

Efecto de la acetilación en el almidón de maíz

*Research skills and professional development in accounting students at the
Ecuadorian university*

DOI: <https://doi.org/10.33262/rmc.v8i4.2965>

Luis Alberto Cedeño Sares^{1*}

Universidad Técnica de Machala

 <https://orcid.org/0000-0002-4251-358X>
*lcedeno@utmachala.edu.ec

Daniel Arias-Toro²

Universidad Técnica de Babahoyo

 <https://orcid.org/0000-0002-8167-2196>
dariast@utb.edu.ec

Freddy Alberto Pereira Guanuche³

Universidad Técnica de Machala

 <https://orcid.org/0000-0003-3882-9079>
fpereira@utmachala.edu.ec

Wilson Patricio León Cueva⁴

Universidad Técnica de Machala

 <https://orcid.org/0000-0002-5474-430X>
wleon@utmachala.edu.ec

DIRECCIÓN PARA CORRESPONDENCIA: lcedeno@utmachala.edu.ec

Fecha de recepción: 01/07/2023

Fecha de aceptación: 20/09/2023

RESUMEN

En este trabajo se determina el efecto de la acetilación en las propiedades físicas de un almidón de maíz comercial. Los almidones se modificaron con tiempos de reacción entre 30 y 60 minutos, manteniendo constante el volumen del Anhídrido Acético como agente modificante y temperatura de reacción; se evidenció que la modificación afectó significativamente la composición en carbohidratos, cenizas, humedad, fibras ($p < 0,05$), menos en proteínas ($p > 0,05$). En las propiedades funcionales se evidenciaron diferencias significativas ($p < 0,05$) entre los almidones. En el análisis termogravimétrico, se encontró que el almidón nativo tiene mayor pérdida de peso en comparación con los almidones acetilados con tiempo de reacción diferentes y que los almidones acetilados presentaron una temperatura de descomposición más

baja que el almidón nativo, pues la presencia de grupos acetilo incrementa los espacios entre cadenas, facilitando el proceso de transferencia de calor y reduce la temperatura de inicio de descomposición.

Palabras clave: *almidón, acetilación, propiedades físicas*

ABSTRACT

In this study, the effect of acetylation on the physical properties of commercial corn starch is determined. Starches were modified with reaction times ranging from 30 to 60 minutes, while keeping the volume of acetic anhydride as the modifying agent and reaction temperature constant. It was observed that the modification significantly affected the composition in carbohydrates, ashes, moisture, and fibers ($p < 0.05$), but had a lesser effect on proteins ($p > 0.05$). Significant differences ($p < 0.05$) in functional properties were observed among the starches. In the thermogravimetric analysis, it was found that native starch had a greater weight loss compared to acetylated starches with different reaction times, and the acetylated starches exhibited a lower decomposition temperature than native starch. This is because the presence of acetyl groups increases the spacing between chains, facilitating the heat transfer process and reducing the onset decomposition temperature.

Keywords: *starch, acetylation, physical properties.*

INTRODUCCIÓN

El almidón natural es un biopolímero de origen agrícola que tiene ventajas al ser de bajo costo, biodegradable, altamente eficiente, renovable y de fácil disponibilidad. A pesar de estas ventajas, las propiedades fisicoquímicas del almidón nativo son limitadas para la mayoría de las aplicaciones industriales y deben ser modificadas (Aslihan y Nurcan 2023).

Su hidrofiliidad, limitaciones en sus propiedades térmicas y mecánicas, degradabilidad rápida y fuertes enlaces de hidrógeno intra e intermoleculares de las cadenas del polímero de almidón dificultan su procesabilidad en fusión y limitan su amplia aplicación comercial como un biopolímero renovable, por lo que es necesaria su modificación para mitigar estas limitaciones y generar otras propiedades deseables (Ojogbo et al., 2020).

Para Samir et al., (2022) los polímeros biodegradables obtenidos de recursos naturales renovables reciben cada vez más atención debido a su potencial como alternativas de aplicaciones industriales entre los cuales, los polisacáridos destacan como una materia prima altamente conveniente por su disponibilidad, son renovables, económicos y proporcionan una gran diversidad estereocémica. Dentro de los polisacáridos, el almidón ha sido ampliamente investigado y ha despertado interés comercial como materia prima debido a su renovabilidad, biodegradabilidad, bajo costo y abundancia de grupos químicos -OH, lo que lo deja abierto a infinitas posibilidades de modificación y procesabilidad en fusión en presencia de plastificantes.

Los gránulos de los almidones están conformados por dos polímeros de glucosa como: amilopectina, componente macromolecular de estructura ramificada que representa del 70 al 80% de la composición, y la amilosa, polisacárido lineal cuyas unidades de glucosa están unidas a través de enlaces glucosídicos, que representa del 20 al 30% de la composición, las proporciones de ambos polímeros varían en base al origen botánico del mismo (Li et al., 2016).

Los almidones modificados se utilizan en la industria alimentaria como aditivos alimentarios que permiten la adquisición de textura y propiedades funcionales deseables. Son valiosos aditivos para productos como embutidos y pastas, o para platos preparados (sopas, salsas). Las drásticas condiciones de producción y almacenamiento obligan al uso de almidones modificados con alta estabilidad a la temperatura. Los almidones modificados químicamente también se utilizan comúnmente como relleno para postres de frutas a base de agua y leche y en alimentos infantiles (Włodarczyk-Stasiak et al., 2017). El almidón se encuentra fácilmente y se encuentra disponible a partir de materias primas biológicas, se utiliza en las industrias alimentaria, médica y textil, sin embargo, el almidón nativo posee una funcionalidad muy baja y esto limita su utilización donde se requiere, por lo que, se le realizan modificaciones físicas, químicas, enzimáticas, genéticas y de otros tipos (He et al., 2023).

Además de su no toxicidad, biocompatibilidad y biodegradabilidad, el almidón ha demostrado características funcionales eminentes, por ejemplo, formando geles/películas bien definidas, emulsiones/espumas estabilizantes y espesantes/texturizantes de alimentos, lo que lo convierte en un hidrocoloide prometedor para diversos fines alimentarios. No obstante, debido a la gama cada vez más amplia de sus aplicaciones, la modificación del almidón mediante métodos químicos y físicos para ampliar sus capacidades es inevitable. Los métodos físicos para la modificación del almidón, consiste en combinar el almidón con otras moléculas (es decir, gomas, mucílagos, sales, polifenoles), lo que es una plataforma interesante para desarrollar almidones modificados con atributos únicos donde las características del almidón fabricado se pueden ajustar con precisión ajustando los parámetros de reacción, tipo de moléculas que reaccionan con el almidón y concentración de los reactivos (Rostamabadi et al., 2023).

El almidón tiene debilidades como baja estabilidad térmica y alta sinéresis, se puede modificar para mejorar sus características y la modificación química permite realizar cambios en su composición, cristalinidad y propiedades funcionales, la modificación

química causa menos daño a los gránulos por lo que se obtienen buenos rendimientos (Marta et al., 2022).

La modificación química del almidón consiste en cambios estructurales e introducción de nuevos grupos funcionales en las cadenas del polisacárido con el objetivo de variar sus propiedades fisicoquímicas, entre estos tenemos a los almidones acetilados, productos de hacer reaccionar anhídrido acético (AA) con el almidón nativo, en condiciones básicas a pH 8-8,5, empleando hidróxido de sodio como catalizador (Cedeño-Sares et al, 2021).

En el presente trabajo se utiliza como materia prima almidón de maíz comercial que será sometido a una modificación química por acetilación, evaluando los posibles cambios que susciten en su composición proximal y propiedades funcionales.

METODOLOGÍA

Caracterización fisicoquímica del almidón de maíz nativo y acetilado

En la tabla 1, se presentan los métodos empleados en el procedimiento de caracterización fisicoquímica del almidón nativo y del almidón después del proceso de acetilación.

Tabla 1.

Métodos empleados en la determinación de las características fisicoquímicas del almidón.

N°	Determinación	Método
1	Porcentaje de humedad	AOAC 925.10
2	Determinar la ceniza	AOAC 923.03
3	Porcentaje de fibra	WEENDE
4	Contenido de proteína	DUMAS
5	Grasa contenida en el almidón	AOAC 203.06
6	Porcentaje de carbohidratos	AOAC 2017.16-2017

Obtención de almidón acetilado

Se dispersan 40 g de almidón nativo en 200 ml de agua destilada, esta dilución se procede a agitar magnéticamente durante 30 min. Terminado el tiempo, se ajustó el pH a 8,0 usando NaOH 0,5 M. Se añadió con un goteo lento 10 mL de anhídrido acético a la mezcla mientras se mantuvo un rango de pH de 8,0 a 8,5. Pasado el tiempo de reacción, se ajustó el pH a 4,5 con HCl 0,5 M. El almidón se filtró y se lavó el residuo retenido en el papel filtro cuatro veces con agua destilada. El residuo se traspasó a la centrífuga durante 10 min a 2500 rpm. Por último, se secó en la estufa durante 24 horas a 40 °C.

Determinación de grupos acetilos y grado de sustitución

Se pesó una muestra de 1 g de almidón en base seca (bs) y se dispersó en 50 mL de agua destilada en un vaso de precipitación. Se añadieron tres gotas de indicador de fenolftaleína, seguido se tituló con NaOH 0,1 N hasta obtener un color rosa permanente. Luego se agregaron 25 mL de NaOH 0,45 N y se agitó vigorosamente durante 40 minutos. Las muestras saponificadas fueron tituladas con HCl 0,8 N utilizando fenolftaleína como indicador hasta la desaparición del color rosa, de la misma manera fue valorado el blanco usando almidón nativo (Smith, 1967).

El porcentaje de acetilo se determinó tomando en cuenta el volumen del HCl 0,8 N consumido como se muestra en la ecuación (1), donde N es la normalidad del ácido clorhídrico empleado, 0,043 representa el miliequivalente del grupo acetilo.

$$\% \text{ Acetilo} = \frac{[mL \text{ blanco} - mL \text{ muestra}] * N \text{ HCl} * 0,043 * 100}{\text{gramos de la muestra (bs)}} \quad (1)$$

El grado de sustitución (GS) fue calculado por medio de la ecuación (2), donde el valor 162 representa el peso molecular de la unidad anhídrido glucosa.

$$\text{Grado de sustitución (GS)} = \frac{162 * \% \text{ Acetilo}}{4300 - (42 * \% \text{ Acetilo})} \quad (2)$$

Determinación de las propiedades funcionales

Se empleó la metodología de Colussi et al, (2017) con algunas modificaciones; se pesó 1 g de almidón en base seca en una balanza analítica, que se depositó en un tubo de centrífuga (previamente llevado a peso constante). A continuación, se adicionaron 25 mL de agua destilada a 60 °C. La suspensión se calentó en un baño a 60 °C durante 30 minutos, y se agitó a los primeros 10 minutos de iniciado el proceso. Luego, la solución fue llevada a una centrifugadora a 2500 rpm durante 15 minutos. Se extrajo el sobrenadante (almidón soluble) y se determinó el volumen total (V). De inmediato una muestra de 10 mL del sobrenadante se colocó en una caja Petri (previamente llevada a peso constante) y fue secada en un horno a 70 °C durante 16 horas. Por último, se registró el peso de la caja Petri con el material soluble y del tubo de centrífuga que contenía el gel (almidón insoluble).

Índice de Absorción de Agua (IAA)

$$IAA = \frac{\text{Peso del gel (g)}}{\text{Peso de la muestra (g bs)}} \quad (3)$$

Índice de Solubilidad del almidón (ISA)

$$ISA = \frac{\text{Peso de solubles (g)} * \frac{\text{Volumen del sobrenadante (mL)}}{10}}{\text{Peso de la muestra (g bs)}} \quad (4)$$

Poder de Hinchamiento (PH)

$$PH = \frac{\text{Peso del gel (g)}}{\text{Peso de la muestra (g bs)} - \text{Peso de solubles (g)}} \quad (5)$$

Análisis Termogravimétrico (TGA)

Se usó un analizador térmico (STARE SYSTEM TGA2 METTLER TOLEDO), para el análisis se pesan 2 mg de muestra (almidón) en un crisol de cerámica tarado, posteriormente se debe colocar el crisol con la muestra en una bandeja de platino calentándolo de 25 °C a 550 °C, con una velocidad de calentamiento de 20 °C/min. Finalmente, cada muestra es examinada con una atmósfera de nitrógeno con velocidad de flujo de 10 mL/min. Las curvas fueron proyectas en un monitor con un software METTLER STARE Default DBV14.00 (Qin et al., 2016).

RESULTADOS Y DISCUSIONES

Efecto de la acetilación en la característica química del almidón de maíz.

En la reacción de acetilación, se evidenció que el tiempo de reacción afectó el porcentaje de acetilo y grado de sustitución ($p < 0,05$), revelando una tendencia al incremento de estas dos variables a medida que se acrecienta el tiempo de reacción, tal como se registra en la Tabla 2. Resultados similares fueron reportados por Min et al., (2017), en donde estudiaron las propiedades del almidón de maíz con alto grado de sustitución, comprobando que el incremento en el tiempo de reacción incrementa los valores del porcentaje de acetilo y grado de sustitución; por otro lado, Salcedo-Mendoza et al., (2016) demostraron que el incremento del tiempo de reacción acrecienta el porcentaje de acetilo y grado de sustitución en el almidón de yuca y ñame, esto se debe a que a medida que incrementa el tiempo de reacción más grupos acetatos se irán incorporando a la matriz del almidón nativo; así mismo Cedeño-Sares et al., (2021), reportó que el tiempo de reacción es significativo al momento de incorporar grupos acetatos en la molécula de almidón de banano variedad Cavendish AAA.

Tabla 2.

Porcentaje de acetilo y grado de sustitución a diferentes tiempos de reacción

Tiempo de reacción	%Ac	GS
0 min	0 ^a	0 ^a
30 min	0,364±0,030 ^b	0,014±0,001 ^b
60 min	0,565±0,026 ^c	0,021±0,001 ^c

Media aritmética de tres repeticiones ± error estándar; medias en una columna con diferente letra son significativamente diferentes ($p \leq 0,05$)

Efecto de la Acetilación en la composición proximal del almidón de maíz

Se puede evidenciar que la reacción de acetilación provoca cambios en la composición proximal de los almidones de maíz comercial, tal como se reporta en la Tabla 3; con relación al porcentaje de humedad, se registró que el incremento del tiempo de reacción provoca una disminución en su contenido ($p < 0,05$), Torres et al., (2017) y Bello et al., (2002), reportaron situaciones similares con almidones acetilados de malanga y plátano. En lo relacionado a la composición del porcentaje de grasa, fibra y cenizas, el tiempo de reacción provoca una disminución en sus contenidos ($p < 0,05$), lo que concuerda con Bello et al., (2002), Lawal et al., (2004), Rincón et al., (2007), Olayinka et al., (2013), evidenciando que las degradaciones que sufre el almidón durante el proceso de modificación, provoca una disminución de estos componentes en la molécula; sin embargo, el contenido de proteínas no registró cambios significativos ($p > 0,05$), lo que concuerda con Bello et al., (2002), pero es contrario a lo reportado por Rincón et al., (2007) en estudios de modificación por acetilación en almidón de fruto de pan, por lo que en estos tipos de almidones con diferentes tiempos de reacción, sus porcentajes de proteínas disminuyeron ($p < 0,05$), demostrando que a más de las degradaciones propias del proceso de acetilación, el origen botánico del almidón es otra variable que influye en esta reacción. Con relación al contenido de carbohidratos, el proceso de modificación provocó un incremento en sus valores ($p < 0,05$), concordado con lo reportado por Yadav y Patki (2015) en estudios comparativos de almidón nativo y acetilado de garbanzo.

Tabla 3.

Composición proximal del almidón nativo y acetilados.

Tiempo de reacción	Humedad (%)	Proteína (%)	Grasa (%)	Ceniza (%)	Fibra (%)	Carbohidrato (%)
0 min	11,58±0,07 ^a	1,06±0 ^a	0,028±0 ^a	0,16±0,05 ^a	1,29±0,09 ^a	85,80±0, 13 ^a
30 min	11,10±0,10 ^b	1,07±0, 12 ^a	0,023±0 ^b	0,09±0,01 ^b	1,14±0,05 ^a	86,03±0, 65 ^a
60 min	10,91±0,21 ^b	1,07±0, 18 ^a	0,017±0 ^c	0,04±0,03 ^b	0,55±0,16 ^b	87,39±0,26 ^b

Media aritmética de tres repeticiones ± error estándar; medias en una columna con diferente letra son significativamente diferentes (p<0,05)

Efecto de la acetilación en las propiedades funcionales de los almidones.

El proceso de acetilación afecta las propiedades funcionales del almidón de maíz comercial, en la Tabla 4 se puede evidenciar que el almidón nativo de maíz registra valores más bajos de porcentaje de poder hinchamiento, índice de solubilidad en agua e índice de absorción en agua, que en los almidones acetilados, haciéndose más significativa la diferencia a medida que se acrecienta el tiempo de reacción (p<0,05), siendo los más altos valores en los almidones de 60 minutos de reacción; los valores de índice de absorción de agua, concuerdan con lo reportado por Baltazar (2017) y por González y Pérez (2002), quienes evidencian que en condiciones similares a las estudiadas, causa alteraciones en el índice de absorción de agua entre los almidones acetilados, esto es debido a la incrustación de grupos acetilos en la molécula, consiguiendo impedir la unión de cadenas de almidón con la finalidad de agrandar la hidratación y acceso de agua, ampliando los valores de índice de absorción del agua en los almidones modificados; situación similar suscita con el porcentaje de poder hinchamiento, debido a que la reacción promueve la incrustación de grupos acetilos sustituyentes que inmovilizan moléculas de agua por medio de puentes de hidrogeno en los gránulos de almidón, consiguiendo el acceso a las áreas amorfas (Lawal, 2004; Sindhu et al., 2021). El índice de solubilidad en agua también fue afectado, Sulbarán et al., (2018) y Ayucitra (2012) llegan a establecer que los aumentos de solubilidad son debido a la mayor atracción de moléculas de agua y rupturas de enlaces de hidrógeno, produciendo mayor movilidad en las cadenas, provocando una reorganización estructural que debilita los gránulos de almidón después de la acetilación. Esto mejora la lixiviación de la amilosa del gránulo y, por lo tanto, aumenta la solubilidad del almidón.

Tabla 4.

Índices de absorción de agua, solubilidad en agua y poder de hinchamiento de los almidones nativos y acetilados

Tiempo de reacción	PH (%)	ISA (g de soluble/ g de la muestra)	IAA (g de gel/ g de muestra)
0 min	2,5022±0,001 ^a	0,0058±0,001 ^a	2,6949±0,001 ^a
30 min	3,6370±0,001 ^b	0,0121±0,0010 ^b	3,5915±0,0003 ^b
60 min	4,0489±0,002 ^c	0,0189±0,0002 ^c	4,0334±0,0005 ^c

Media aritmética de tres repeticiones ± error estándar; medias en una columna con diferente letra son significativamente diferentes (p<0,05). PH: poder de hinchamiento; ISA: índice de solubilidad en agua; IAA: índice de absorción en agua.

Análisis Termogravimétrico (TGA)

Esta valoración analítica facilita identificar los cambios en la estabilidad térmica del almidón nativo con respecto al almidón acetilado, en la Figura 1 se muestran los resultados obtenidos por el análisis TGA en almidón nativo y acetilados con diferentes tiempos de reacción (30 minutos y 60 minutos), la muestra inicial 2,063 mg de cada almidón. La deshidratación de los almidones acetilados y el nativo corresponde a la primera etapa teniendo como temperatura inicial 25 °C y final 279 °C, está etapa libera moléculas de agua físicamente absorbidas; la descomposición corresponde a la segunda etapa, donde los grupos hidroxilos forman uniones éter; en el almidón nativo y modificado la descomposición inició a 279 °C y terminó en 325 °C, sin embargo, cuando la temperatura alcanza los 550 °C se produce el calentamiento adicional que provoca la carbonización y formación de cenizas en los almidones modificados y nativo. En almidón nativo se toman pérdidas de peso de 0,09 mg en comparación con los almidones acetilados a 30 minutos y 60 minutos que son de 0,1128 mg y 0,192 mg respectivamente; las descomposiciones del almidón nativo y acetilados fueron pesos menores, indicando que, cuando se llega a la etapa dos, los almidones nativos van a tener mayor pérdida de peso a diferencia de los almidones acetilados; caso similar, reportaron Liu et al., (2021) en almidones de maíces cerosos nativos y acetilados, indicando que existe más pérdida de peso en almidones nativos que en acetilados, llegando alcanzar a 600 °C en la etapa de formación de cenizas. Colussi et al., (2014) indican que en almidones acetilados disminuyeron la longitud de la cadena de glucosa a causa de la hidrólisis parcial de la molécula, por ende, los almidones acetilados van a tener temperatura de descomposición más baja, pues la presencia de grupos acetilo incrementa los espacios entre cadenas,

facilitando el proceso de transferencia de calor, reduciendo la temperatura de inicio de descomposición.

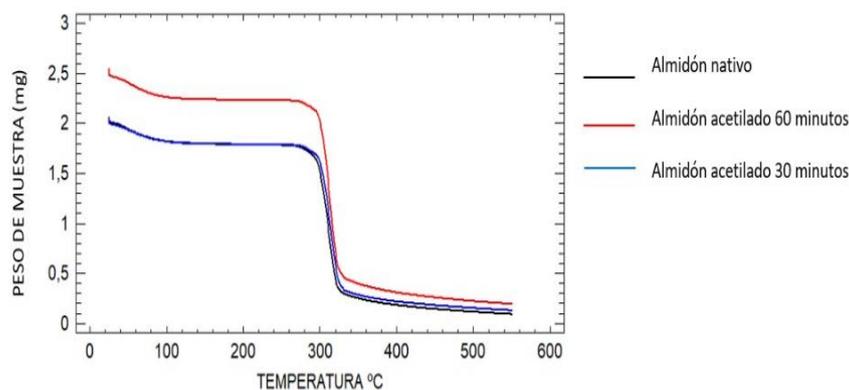


Figura 1. Análisis Termogravimétrico de almidón nativo y almidones acetilados

CONCLUSIONES

- A mayor tiempo de reacción se incrementa el porcentaje de acetilo y grado de sustitución, así como también incrementos ($p < 0,05$) en los índices de absorción de agua, solubilidad en agua y poder de hinchamiento de los almidones nativos y modificados.
- A mayor tiempo de reacción se observan disminuciones en el porcentaje de grasa, fibra y cenizas, evidenciando que la reacción que sufre el almidón por el proceso de modificación, provoca una disminución de estos componentes; sin embargo, el contenido de proteínas no registró cambios significativos
- En los análisis TGA se encontró que el almidón acetilado tiene mayor pérdida de peso en comparación con los almidones nativos con tiempo de reacción diferentes.
- En los análisis TGA los almidones acetilados presentaron una temperatura de descomposición más baja que el almidón nativo, pues la presencia de grupos acetilo incrementa los espacios entre cadenas, facilitando el proceso de transferencia de calor y reduce la temperatura de inicio de descomposición.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AOAC (2012). Official methods of analysis Washington, DC: Association of Official Analytical Chemists
- Aslihan, Y., & Nurcan, T. (2023). Effect of ultrasound-microwave and microwave-ultrasound treatment on physicochemical properties of corn starch. *Ultrasonics Sonochemistry*. 1-15. <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2023.106516>

- Ayucitra, A. (2012). Preparation and Characterization of Acetylated Corn Starches. *Int. J. Chem. Eng. Appl.* 3(3): 156–159.
- Baltazar, R. (2017). Efecto del tiempo de acetilación sobre el grado de sustitución, viscosidad aparente, absorción de agua y solubilidad e hinchamiento en agua de almidón de arracacha (*Arracacia xanthorrhiza*) variedad morada., Universidad Nacional de Trujillo, Perú, Tesis.
- Bello, L., Contreras, S., Romero, R., Solorza, J., & Jimenez, A. (2002). Propiedades químicas y funcionales del almidón modificado de plátano *Musa paradisiaca* L. (Var. Macho). *Agrociencia.* 36(2): 169–180.
- Cedeño-Sares, L., Díaz-Torres, R., Casariego-Año, A., Arias-Toro, D., & Yáñez-Romero, M. (2021). El Efecto de la acetilación sobre propiedades físicas del almidón de Banano (*M. Sapientum* L.) variedad Cavendish. *Cumbres.* 7(1): 9-20. <https://doi.org/10.48190/cumbres.v7n1a1>
- Colussi, R., Pinto, V., El Halal, S., Vanier, N., Almeida, F., Marques, R., Rosa, E., & Guerra, A. (2014). Structural, morphological, and physicochemical properties of acetylated high-, medium, and low-amylose rice starches. *Carbohydrate Polymers.* 103:405-413. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2013.12.070>
- Colussi, R., Pinto, V., El Halal, S., Biduski, B., Prietto, L., Castilhos, D., & Dias, A. (2017). Acetylated rice starches films with different levels of amylose: Mechanical, water vapor barrier, thermal, and biodegradability properties. *Food chemistry.* 221: 1614-1620. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2016.10.129>
- González, Z., & Pérez, E. (2002). Effect of Acetylation on Some Properties of Rice Starch. *Starch - Stärke.* 54 (3–4): 148–154. <https://doi.org/10.1002/1521-379X>
- He, R., Li, S., Zhao, G., Zhai, L., Qin, P., & Yang, L. (2023). Starch Modification with Molecular Transformation, Physicochemical Characteristics, and Industrial Usability: A State-of-the-Art Review. *Polymers,* 15, 2935. <https://doi.org/10.3390/polym15132935>
- Lawal, O. (2004). Composition, Physicochemical Properties and Retrogradation Characteristics of Native, Oxidised, Acetylated and Acid-Thinned New Cocoyam (*Xanthosoma Sagittifolium*) Starch. *Food Chem.* 87(2): 205–218. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2003.11.013>
- Li, H., Prakash, S., Nicholson, T., Fitzgerald, M., & Gilbert R. (2016). The importance of amylose and amylopectin fine structure for textural properties of cooked rice

- grains. Food Chemistry. 196:702-711.
<https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2015.09.112>
- Liu, Q., Li, F., Ji, N., Dai, L., Xiong, L., & Sun, Q. (2021). Acetylated debranched starch micelles as a promising nanocarrier for curcumin. *Food Hydrocolloids*. 111:106253.
<https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2020.106253>
- Marta, H., Hasya, H., Lestari, Z., Cahyana, Y., Arifin, H., & Nurhasanah, S. (2022). Study of Changes in Crystallinity and Functional Properties of Modified Sago Starch (Metroxylon sp.) Using Physical and Chemical Treatment. *Polymers*, 14(22), 4845.
<https://doi.org/10.3390/polym14224845>
- Min, S., Hongbo, T., Yanping, L. (2017). Synthesis, Characterization and Properties of Acetylated High-Amylose Corn Starch. *Cellulose Chemistry and Technology*. 51 (9–10): 929–938.
- Ojogbo, E., Ogunsona, E., & Mekonnen, T. (2020). Chemical and physical modifications of starch for renewable polymeric materials. *Materials Today Sustainability*. 7–8(3): 100028. <https://doi.org/10.1016/j.mtsust.2019.100028>
- Olayinka, O., Adebawale, K., & Olu-Owolabi, I. (2013). Physicochemical Properties, Morphological and X-Ray Pattern of Chemically Modified White Sorghum Starch. (Bicolor-Moench). *J. Food Sci. Technol.* 50(1): 70–77.
<https://doi.org/10.1007/s13197-011-0233-3>
- Qin, Y., Liu, C., Jiang, S., Xiong, L., & Sun, Q. (2016). Characterization of starch nanoparticles prepared by nanoprecipitation: Influence of amylose content and starch type. *Industrial Crops and Products*. 87:182-190.
<https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2016.04.038>
- Rincón, A., Lizet, L., & Aragoza, F. (2007) Efecto de la acetilación y oxidación sobre algunas propiedades del almidón de semillas de Fruto de pan (*Artocarpus altilis*). *Arch. Latinoam. Nutr.* 2007, 57 (3), 287–294.
- Rostamabadi, H., Bajer, D., Demirkesen, I., Kumar, Y., Su, C., Wang, Y., Nowacka, M., Singha, P-. & Falsafi, S. (2023). Starch modification through its combination with other molecules: Gums, mucilages, polyphenols and salts. *Carbohydrate Polymers*, 314,120905. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2023.120905>.
- Salcedo-Mendoza, J., Rodríguez-Lora, M., & Figueroa-Flórez, J. (2016). Efecto de la Acetilación en las Propiedades Estructurales y Funcionales de Almidones de Yuca (*Manihot esculenta Crantz*) y Ñame (*Dioscorea alata cv. Diamante 22*). *Revista Mexicana de Ingeniería Química*. 15 (3):787-796.

- Samir, A., Ashour, F., Hakim, A., & Bassyouni, M. (2022). Recent advances in biodegradable polymers for sustainable applications. *npj Mater Degrad* 6, 68. <https://doi.org/10.1038/s41529-022-00277-7>
- Sindhu, R., Devi, A., Khatkar, B. (2021). Morphology, Structure and Functionality of Acetylated, Oxidized and Heat Moisture Treated Amaranth Starches. *Food Hydrocoll.* 118: 106800. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2021.106800>
- Smith, R. (1967). Characterization and analysis of starches. In Whistler, R.L. & Paschall, E. *Starch: Chemistry and Technology*. Vol II. Industrial Aspects. New York, Academia Press. p 593.
- Sulbarán, A., Matiz, G., & Baena, Y. (2018). Acetilación del almidón de millo (*Pennisetum glaucum*) y evaluación de su aplicación como posible excipiente. *Rev. Colomb. Cienc. Quím.-Farm.* 47 (2): 255–276.
- Torres, M., Carmona, R., & Aguirre, A. (2017). Obtención y caracterización estructural y funcional de almidón acetilado de malanga (*Colocasia esculenta Schott*). *Rev. Mex. Cienc. Agríc.* 6(4): 905–912.
- Włodarczyk-Stasiak, M., Mazurek, A., Jamroz, J., Hajnos, M., & Sokołowska, Z. (2017). Influence of physico-chemical modification of waxy corn starch on changes in its structure, *Food Hydrocolloids*, 70, 201-210. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2017.04.004>.
- Yadav, D., & Patki, P. (2015). Effect of Acetyl Esterification on Physicochemical Properties of Chick Pea (*Cicer Arietinum L.*) Starch. *J. Food Sci. Technol.* 52(7):4176–4185. <https://doi.org/10.1007/s13197-014-1388-5>