

Efecto de la acetilación sobre propiedades físicas del almidón de Banano (*Musa spp.* AAA subgrupo Cavendish.)

Effect of acetylation on physical properties of Banana starch (*Musa spp.* AAA Cavendish subgroup.)

Cedeño-Sares Luis
Universidad Técnica de Machala
lcedeno@utmachala.edu.ec

Díaz-Torres Raúl
Universidad de La Habana

Casariego-Año Alicia
Universidad de La Habana

Arias-Toro Daniel
Universidad Estatal de Bolívar

Yáñez-Romero María
Universidad Técnica de Machala
myanez@utmachala.edu.ec

Revista Cumbres Vol.7 N°1

Versión electrónica ISSN 1390-3365
<http://investigacion.utmachala.edu.ec/revistas/index.php/Cumbres>
<http://doi.org/10.48190/cumbres.v7n1a1>

RESUMEN

Las propiedades tecnológicas del almidón pueden ser mejoradas mediante modificaciones químicas. El objetivo del presente trabajo es evaluar cómo afectan el volumen de anhídrido acético (AA) y el tiempo de reacción los valores del porcentaje de grupos acetilo (PA), grado de sustitución (GS), porcentaje del poder de hinchamiento (PHi), índice de solubilidad en agua (ISA) e índice de absorción de agua (IAA) del almidón acetilado, así como valorar el posible efecto sobre la superficie del gránulo. Para ello se emplearon 3 niveles del volumen del AA (5, 10, 15 mL) y 3 tiempos de reacción (30, 60 y 90 min).

El volumen de AA aumentó significativamente los valores PA, GS, PHi, ISA e IAA; mientras que el tiempo de reacción solo aumentó significativamente los valores PA, GS e ISA ($p \geq 0,05$). Por su parte, la interacción entre ambas variables aumentó significativamente los valores PHi, ISA e IAA ($p \geq 0,05$). La superficie del gránulo presentó ligeros daños cuando se incrementó el volumen de anhídrido acético y el tiempo de reacción. El valor del coeficiente de regresión R^2 indicó que los modelos ajustados explicaron entre el 99.89 % y el 97.99 % la variabilidad de las variables de respuesta. Estos resultados pueden ser empleados para obtener almidones con mejores propiedades tecnológicas.

Palabras clave: Almidón modificado, acetilación, solubilidad en agua, absorción de agua, poder de hinchamiento.

ABSTRACT

The technological properties of starch can be improved by chemical modifications. The objective of this work is to evaluate how the volume of acetic anhydride (AA) and the reaction time affect the values of the percentage of acetyl groups (PA), degree of substitution (DS), percentage of swelling power (SP), water solubility index (WSI) and water absorption index (WAI) of acetylated starch, as well as assessing the possible effect on the surface of the granule. For this, 3 levels of the volume of AA (5, 10, 15 mL) and 3 reaction times (30, 60 and 90 min) were used.

The volume of AA significantly increased the PA, DS, SP, WSI and WAI values; while the reaction time only significantly increased the PA, DS and WSI values ($p \geq 0.05$). On the other hand, the interaction between both variables significantly increased the SP, WSI and WAI values ($p \geq 0.05$). The surface of the granule showed slight damage when the volume of acetic anhydrous and the reaction time were increased. The value of the regression coefficient R^2 indicated that the adjusted models explained between 99.89% and 97.99% the variability of the response variables. These results can be used to obtain starches with better technological properties.

Keywords: modified starch, acetylation, water absorption, water solubility, swelling power.

INTRODUCCIÓN

Los almidones representan un recurso renovable, biodegradable y económico, muy abundante en la naturaleza y constituyen el principal carbohidrato de reserva de las plantas de hojas verdes. Pese a esto, el mercado mundial se basa principalmente en almidones de maíz, papa, camote y yuca, donde el maíz es la fuente principal de la producción mundial (Sapper & Chiralt, 2018).

Gran número de especies vegetales poseen alto contenido de almidón y podrían ser una fuente potencial para su obtención. Entre ellas se encuentran algunos frutos como el plátano inmaduro, que contiene cantidades importantes de este hidrato de carbono, tanto en la masa comestible, como en la cáscara (Contreras-Pérez, *et al.* 2018; Marta *et al.* 2019).

Sin embargo, los almidones nativos tienen algunas limitaciones tecnológicas para su empleo por la industria alimentaria, debido a sus pobres propiedades funcionales, tales como la solubilidad, la absorción de agua y el poder de hinchamiento, pero estas se pueden mejorar por medios físicos, químicos o enzimáticos (Abiodun, *et al.* 2018). Una forma efectiva de lograrlo es la modificación de la estructura química mediante la esterificación catalizada en medio básico. Se ha reportado la acetilación de almidones de diversas fuentes usando anhídrido acético (Ac_2O) como agente esterificante, donde se sabe que el número de grupos acetilo incorporados en la molécula depende de la fuente del almidón, la concentración del reactivo, el tiempo de reacción, la proporción de amilosa/amilopectina y el pH (Figuroa, Salcedo, & Rodríguez 2016).

El objetivo del presente trabajo es evaluar cómo afectan el volumen de anhídrido acético y tiempo de reacción sobre el porcentaje de acetilos, el grado de sustitución, el poder de hinchamiento, índice de solubilidad en agua e y el índice de absorción de agua del almidón acetilado.

MATERIALES Y MÉTODOS

Extracción de almidón

Los bananos (*Musa spp.* AAA subgrupo Cavendish) se adquirieron directamente de las haciendas productoras de la parroquia Barbones-El Guabo de la provincia de El Oro, en estado verde o con un índice de madurez 1 según la escala de maduración de Von Loesecke, con un periodo de 9 a 10 semanas y un calibre de 39 a 46 cm (NTE INEN 2801, 2013). Una vez retirada la piel, los bananos fueron cortados en trozos de 2-3 cm de largo, La molienda húmeda se realizó empleando una disolución de agua y disolución de ácido cítrico al 3% (p/v) en relación 1:1,5; utilizando una licuadora casera a velocidad máxima de 3600 min^{-1} (por dos minutos). Posteriormente el fruto molido se cribó varias veces en una malla de $345 \mu\text{m}$; y se lavó hasta que el líquido de salida

no presentó residuos aparentes de almidón. La suspensión obtenida fue separada por centrifugación a 5000 min^{-1} en una centrífuga Corning LSE. El sobrenadante, fue eliminado y se separó el residuo blanco (almidón nativo) de la pasta y se centrifugó nuevamente, finalmente se secó en estufa MERMET a $40\text{-}55 \text{ }^\circ\text{C}$, hasta alcanzar un peso constante.

Caracterización fisicoquímica del almidón nativo

Se determinaron la humedad mediante secado en estufa a $130 \pm 3^\circ\text{C}$ hasta alcanzar peso constante (NTE INEN 0518,1981) y el contenido de cenizas para lo cual se calcinó la muestra y posteriormente se secó a $550 \pm 15^\circ\text{C}$, empleando una mufla (NTE INEN 0520, 1981).

Diseño experimental

Se empleó un diseño factorial K^n (3^2) para evaluar la incidencia de las variables: volumen de anhídrido acético y tiempo de reacción, sobre los valores de: porcentaje de acetilos (PA); grado de sustitución (GS); poder de hinchamiento (PHi); índice de solubilidad en agua (ISA) e índice de absorción de agua (IAA); con las siguientes condiciones: temperatura $35 \text{ }^\circ\text{C}$, concentración inicial de almidón $43,1 \text{ } \%$ (p/v) y pH $8,00\text{-}8,4$. El orden experimental completamente aleatorizado se obtuvo mediante el programa Statgraphics Centurión Versión XV.II

Acetilación del almidón

Se empleó el método descrito por Salcedo-Mendoza, Rodríguez-Lora, & Figueroa-Flórez (2016). Para ello se dispersaron 50 g de almidón nativo en 116 mL de agua destilada, y se añadió gota a gota (según el tratamiento) 5, 10 o 15 mL de Ac_2O , en agitación por 30, 60 o 90 minutos a temperatura constante de $35 \text{ }^\circ\text{C}$, manteniendo el pH entre 8,00 y 8,04, agregando NaOH al $3 \text{ } \%$ (p/v). Al término de la reacción, se ajustó el pH a 4,5 con HCl 0,4 N, tras lo cual se lavó dos veces con 200 mL agua destilada, y posteriormente se centrifugó a 950 min^{-1} por 10 min, en una centrífuga Corning LSE. Nuevamente, se lavó con 150 ml de alcohol etílico al $96 \text{ } \%$. Finalmente, se secó empleando una estufa MERMET de por 24 h a $40 \text{ }^\circ\text{C}$.

Determinación de Grupos Acetilos y Grado de Sustitución

Para la determinación del porcentaje de grupo de acetilos (%Ac) y el grado de sustitución (GS) alcanzado se usó la metodología de Salcedo-Mendoza *et al.* (2016); se pesó 1 g de almidón en base seca en un Erlenmeyer de 250 mL y se agregó 50 mL de agua destilada y 2 gotas de fenolftaleína. La muestra se neutralizó con NaOH 0,01 N, posteriormente se adicionó 25 mL de NaOH 0,45 N agitando vigorosamente durante 30 minutos. Las muestras saponificadas se titularon con HCl al 0,8 N y al mismo tiempo se valoró un blanco de

almidón nativo. El porcentaje de grupos acetilos sustituidos, se determinó en base al volumen de ácido consumido (ec 1), donde 0,043 es el valor miliequivalente del grupo acetilo y el grado de sustitución se calculó de acuerdo a la ecuación 2 (ec 2), donde 162 equivale a la masa molar de la unidad anhídrido glucosa.

Determinación de los índices de solubilidad en agua y de absorción de agua y del poder de hinchamiento

$$\% Ac = \frac{\text{mL blanco} - \text{mL muestra (N HCl * 0,043 * 100)}}{\text{peso de la muestra base seca}} \quad (\text{ec 1})$$

$$GS = \frac{162 * \% Acetilos}{4300 - [42 * \% Acetilos]} \quad (\text{ec 2})$$

Para la determinación de los valores ISA, IAA y PHi, se aplicó la metodología de Salcedo-Mendoza *et al.* (2016). Para ello se depositó 1 g de almidón seco en un tubo de ensayo y se agregaron 25 mL de agua destilada precalentada a 60 °C. La suspensión se colocó en un baño de agua a 60 °C durante 30 min y se agitó manualmente a los 10 min de iniciado el calentamiento. Posteriormente, se centrifugó a 565 min⁻¹ durante 15 min en una centrífuga Corning LSE. Luego, se extrajo el sobrenadante (almidón soluble) y se determinó el volumen total (V). Posteriormente, una muestra de 10 mL del sobrenadante se depositó en una caja de Petri previamente pesada y se secó en un horno a 70 °C durante 16 h. Se registró el peso de la caja de Petri con el material y el tubo de centrifuga que contenía el gel (almidón insoluble) y se calcularon los valores ISA empleando la ecuación 3 (ec 3); %PHi empleando la ecuación 4 (ec 4) e IIA empleando la ecuación 5 (ec 5).

$$ISA = \frac{\left(\text{peso del almidón soluble} * \frac{V}{10}\right)}{\left(\text{peso de la muestra seca}\right)} \quad (\text{ec 3})$$

$$\% PHi = \frac{\text{peso del gel (g)}}{\text{peso de la muestra (g)} - \text{peso soluble (g)}} * 100 \quad (\text{ec 4})$$

$$IAA = \frac{\text{peso del gel (g)}}{\text{peso de la muestra seca}} \quad (\text{ec 5})$$

Microscopía electrónica de barrido (MEB).

Cada muestra fue colocada en un portamuestra con cinta de carbón electroconductora, con una cobertura de aleación de platino/oro para mejorar su contraste y prevenir cualquier daño provocado por el haz de electrones. Los medios de observación de las muestras fueron a 10.0 kV y 30 mA. Las fotografías de los gránulos de almidón nativo y modificado fueron tomadas con una magnificación de 2.87kX y 667X.

Análisis estadístico

Se realizó un análisis de varianza, mediante el software Statgraphics centurión Versión 17.1.12 en el cual se determinaron los efectos significativos y se obtuvieron los coeficientes de regresión para las ecuaciones de los modelos ajustados.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Caracterización del almidón nativo

Los porcentajes de humedad ($7,04 \pm 0,07$) y cenizas ($3,05 \pm 0,08$) son características importantes del almidón obtenido. Los valores de humedad se encuentran dentro de lo reportado (Montoya-López, Quintero-Castaño, & Lucas-Aguirre 2015; Contreras-Pérez *et al.*, 2018; Cahyana *et al.*, 2018; Marta *et al.*, 2019), mientras que los de ceniza son mayores a los encontrados por otros autores (Montoya *et al.*, 2015; Olatunde, Arogundade, & Orija 2017; Contreras-Pérez, *et al.* 2018). Estas diferencias dependen de las técnicas de cultivo, las condiciones agroecológicas y los métodos de extracción y purificación empleados.

Propiedades funcionales

El comportamiento tecnológico del almidón, depende de sus propiedades funcionales, (específicas para cada almidón) que indican su comportamiento en diferentes condiciones. Mientras que el índice de solubilidad señala la cantidad relativa de almidón que puede ser disuelto en agua, la absorción de agua indica el volumen de agua que puede ser absorbida por gramo de material seco en presencia de un exceso de agua y el poder de hinchamiento se relaciona con el grado de hinchamiento de los gránulos de almidón cuando son sometidos a calentamiento durante la cocción (Contreras-Pérez *et al.* 2018)

Mediante el diseño factorial 3^2 se generaron 18 tratamientos, los que fueron realizados siguiendo un orden seleccionado completamente al azar. En la tabla 1 se muestra el orden del diseño experimental, los valores medios y el error estándar para cada variable y en la tabla 2 se resume la significación estadística encontrada de las variables del diseño (A: volumen de anhídrido acético (VAA) y B: tiempo de reacción), sobre las variables respuesta.

Tabla 1. Diseño experimental y valores medios de la modificación química del almidón nativo a diferentes tiempos de reacción y volúmenes de anhídrido acético. (n = 3). El error estándar se muestra entre paréntesis.

Exp	TRATAMIENTO		VARIABLE				
	T i e m p o (min)	VAA (mL)	PA	GS	PHi	ISA	IAA
AN	0	0	-----	-----	2,1074 a (0,0015)	0,0225 a (0,0010)	2,2373 a (0,0173)
1	60	10	0,5460 e (0,0030)	0,0207 e (0,0001)	2,7573 e (0,0062)	0,0325 f (0,0010)	2,8172 f (0,0020)
2	90	5	0,2150 c (0,0030)	0,0081 c (0,0001)	2,5911 d (0,0010)	0,0281 d (0,0009)	2,5833 d (0,0020)
3	30	5	0,1160 a (0,0050)	0,0044 a (0,0002)	2,2682 b (0,0010)	0,0249 b (0,0010)	2,4515 b (0,0991)
4	60	5	0,1960 b (0,0030)	0,0074 b (0,0001)	2,4092 c (0,0011)	0,0260 c (0,0010)	2,5083 c (0,0011)
5	90	15	0,8950 i (0,0030)	0,0340 i (0,0001)	4,1085 i (0,0011)	0,0456 j (0,0010)	3,9898 j (0,0101)
6	90	10	0,5960 f (0,0070)	0,0226 f (0,0002)	2,9156 f (0,0101)	0,0355 g (0,0005)	2,8883 g (0,0099)
7	60	15	0,8860 h (0,0030)	0,0337 h (0,0001)	3,8216 h (0,0098)	0,0408 i (0,0202)	3,6353 i (0,0011)
8	30	15	0,7930 g (0,0030)	0,0301 g (0,0001)	3,2219 g (0,0101)	0,0385 h (0,0009)	3,5448 h (0,0010)
9	30	10	0,4980 d (0,0030)	0,0189 d (0,0001)	2,6256 d (0,1004)	0,0305 e (0,0005)	2,6987 e (0,0011)
10	60	10	0,5490 e (0,0030)	0,0208 e (0,0001)	2,7584 e (0,2001)	0,0324 f (0,0010)	2,8273 f (0,1345)
11	30	5	0,1150 a (0,0050)	0,0043 a (0,0002)	2,2490 b (0,0010)	0,0250 b (0,0012)	2,4643 b (0,0139)
12	60	15	0,8840 h (0,0050)	0,0336 h (0,0002)	3,8209 h (0,1053)	0,0405 i (0,0100)	3,6359 i (0,0047)
13	60	5	0,1990 b (0,0030)	0,0075 b (0,0001)	2,4112 c (0,0945)	0,0256 c (0,0265)	2,5079 c (0,5127)
14	90	15	0,8960 i (0,0040)	0,0341 i (0,0002)	4,1951 i (0,0605)	0,0457 j (0,0192)	3,9891 j (0,1941)
15	30	10	0,4950 d (0,0080)	0,0187 d (0,0003)	2,6189 d (0,0112)	0,0306 e (0,0237)	2,6977 e (0,3453)
16	90	10	0,5960 f (0,0120)	0,0226 f (0,0005)	2,9156 f (0,0332)	0,0356 g (0,0007)	2,8881 g (0,0049)
17	30	15	0,7940 g (0,0070)	0,0301 g (0,0003)	3,2119 g (0,2006)	0,0385 h (0,0012)	3,5447 h (0,1110)
18	90	5	0,2160 c (0,0060)	0,0082 c (0,0003)	2,5914 d (0,0921)	0,0280 d (0,0027)	2,5899 d (0,1969)

AN: Almidón nativo; PA: porcentaje de acetilos; GS: grado de sustitución; PHi: porcentaje del poder de hinchamiento; ISA: índice de solubilidad en agua; IAA: índice de absorción de agua
Valores en la misma columna, con diferentes letras difieren estadísticamente (p < 0,05)

Tabla 2. Significación estadística del efecto de las variables independientes sobre las variables respuesta. Las cifras indican el valor p. NS indica no significativo

VARIABLE					
Fuente de variación	PA	GS	PHi	ISA	IAA
A: VAA	< 0.0001	< 0.0001	0,0005	0,0176	< 0.0001
B: TIEMPO	< 0.0001	< 0.0001	NS	< 0.0001	NS
A ²	0,0001	0,0001	< 0.0001	< 0.0001	< 0.0001
A x B	NS	NS	0,0000	< 0.0001	< 0.0001
B ²	0,0003	0,0003	NS	< 0.0001	NS

PA: porcentaje de acetilos; GS: grado de sustitución; PH: porcentaje del poder de hinchamiento; ISA: índice de solubilidad en agua; IAA: índice de absorción de agua.

Porcentaje de grupos acetilos (PA)

El porcentaje de grupos acetilos es importante para la aplicación industrial. Para esta variable (tabla 2) influyeron significativamente los términos A y A², pues al existir mayor disponibilidad de las moléculas de anhídrido acético circundante a la molécula de almidón, se incrementan las colisiones y por tanto el grado de sustitución, consistente en una modificación química que reemplaza los grupos hidroxilo en los monómeros de glucosa (carbonos 2, 3 o 6) por grupos acetilo, aumentando su hidrofobicidad (Colussi *et al.* 2017). Resultados similares han sido reportados en almidones de cebada (Colussi *et al.* 2015), de arroz (Colussi *et al.* 2017) y maíz (Luo & Shi, 2018), al encontrar mayor grado de sustitución al aumentar la concentración de reactantes. A la vez, el tiempo de reacción (B y B²) resultó significativo, lo que concuerda con lo planteado por otros autores (Guerra-Dellavalle *et al.* 2008; Pérez Navarro *et al.* 2018; Cuenca, Ferrero, & Albani 2020) quienes señalaron que la cantidad de grupo de acetilo incorporada a la molécula de almidón se incrementó al aumentar el tiempo de reacción, en almidones acetilados de plátano, yuca y maíz. Las diferencias pueden deberse al tipo de reactivo, su concentración, pH, presencia de catalizadores, tiempo de reacción, origen botánico y al tamaño y estructura de los gránulos del almidón.

Grado de sustitución (GS)

En la tabla 2 se observa que los valores GS se ven afectados significativamente por A y A² debido a la mayor disponibilidad de moléculas de acetilo próximas a la molécula de almidón, que incrementa la tasa de colisiones y por B y B², lo cual concuerda con lo reportado por otros autores (Guerra-Dellavalle *et al.* 2008; Salcedo Mendoza *et al.* 2016) quienes plantean que el GS aumenta significativamente al incrementar el tiempo de reacción, de manera similar a lo reportado en almidones de arroz (Colussi *et al.* 2015 y maíz (Luo & Shi, 2018).

Poder de Hinchamiento (PHi)

En la tabla 2 se puede apreciar que en los valores de PHi incidieron significativamente A y A², así como también la interacción A * B. El incremento en PHi se debe a la incorporación de grupos acetilo a la molécula de almidón nativo, que puede producir la rotura de las fuerzas intragranulares de la región amorfa, y esto conduce al inicio del desdoblamiento de las regiones del almidón que presentan doble hélice con lo cual se va generando una desorganización en la estructura del gránulo (Salcedo Mendoza *et al.* 2016), En este sentido se ha planteado (Figueroa *et al.* 2016) que la sustitución de grupos OH por grupos acetilos puede causar una desorganización en la estructura del gránulo de almidón, debilitando la estructura cristalina y la rotura de las cadenas de amilopectina que favorecen el poder de hinchamiento del gránulo. Dentro de los tratamientos estudiados, el tiempo de reacción no fue significativo ($p \geq 0,05$), lo que se relaciona con la temperatura relativamente baja del proceso y las características del almidón de banano de poseer un bajo contenido de amilopectina en relación a almidones de otras fuentes (Contreras-Pérez *et al.* 2018). Los resultados en general, coinciden con lo reportado por otros autores (Vanier *et al.* 2017; Ulfa *et al.* 2019) que plantean que el almidón acetilado muestra mejoras en el poder de hinchamiento respecto al almidón nativo, pero que existen otros factores, además del grado de sustitución que influyen en esta propiedad, especialmente la fuente del almidón.

Índice de solubilidad en agua (ISA)

En la tabla 2 se puede apreciar que este índice se ve afectado por (A), (A²), (B), (B²) y (AB), lo que concuerda con otros autores (Salcedo-Mendoza *et al.* 2016). Esto puede ser originado por la reducción de interacciones entre las cadenas de almidón y al aumento hidrofílico derivado de la incorporación de grupos acetilo, facilitando que la amilosa se solubilice y salga al exterior del granulo de almidón hinchado.

Índice de absorción de agua (IAA)

En la tabla 2 se puede apreciar que el IAA es afectado por A, A², y AxB, concordando con resultados previos (Salcedo-Mendoza *et al.* 2016; Figueroa *et al.* 2016); el tiempo de reacción no resultó ser significativo ($p \geq 0,05$). Los resultados indican que según aumenta el grado de sustitución, se incrementa el IAA, lo que contradice lo reportado por Contreras-Pérez *et al.* (2018) pero concuerda con lo reportado por Anchundia (2019). Esta contradicción puede deberse a la diferencia en el método de obtención del almidón modificado y la temperatura de trabajo, que son factores que afectan los resultados.

Modelación de los resultados para las variables estudiadas

En la tabla 3 se presentan los modelos ajustados. Los altos valores del coeficiente de regresión R², indican que estos modelos pueden ser empleados para diseñar almidones con las propiedades funcionales deseadas, dentro de los límites de trabajo de esta investigación.

Tabla 3. Modelos ajustados

ECUACIÓN DEL MODELO AJUSTADO (VALOR R2 AJUSTADA %)
Porcentaje de Acetilos (R ² = 99,8929) $\% PA = -0,436333 + 0,0919833 A + 0,00494444 B - 0,00119 A^2 - 0,0000272222 B^2$
Grado de Sustitución (R ² = 99,8898) $GS = -0,0165889 + 0,00346833 A + 0,000189722 B - 0,0000436667 A^2 - 0,0000010463 B^2$
Poder de Hinchamiento (R ² = 97,9964) $PHi = 2,69433 - 0,170017 A + 0,0123907 A^2 + 0,000886679 A^B$
Índice de solubilidad en agua (R ² = 99,8801) $ISA = 0,0238106 + 0,000296 A - 0,000107333 B + 0,0000412667 A^2 + 0,00000683333 AB + 0,00000102963 B^2$
Índice de absorción de Agua (R ² = 99,2189) $IAA = 2,86722 - 0,159766 A + 0,0127007 A^2 + 0,000438762 AB$

Microscopía electrónica de barrido (MEB).

La morfología de los gránulos de almidón depende de factores como la bioquímica del amiloplasto y la fisiología de la planta. Mediante la MEB se revelan posibles cambios morfológicos del gránulo de almidón que pueden ser causados por su modificación química (fig. 1). La superficie de los gránulos es lisa, sin porosidad y su forma ligeramente irregular, predominantemente ovalada lo que concuerda con lo reportado por Marta et al. (2019). A medida que se incrementan el volumen de anhídrido acético y el tiempo de reacción, la superficie del gránulo es atacada por el anhídrido acético lo que ocasiona ligeros daños superficiales en el gránulo, similar a lo reportado por Guerra-Dellavalle et al. (2008), aunque otros autores (Olagunju *et al.* 2020) no han encontrado estas modificaciones probablemente debido a que emplearon almidones de otro origen y menor proporción de anhídrido acético.

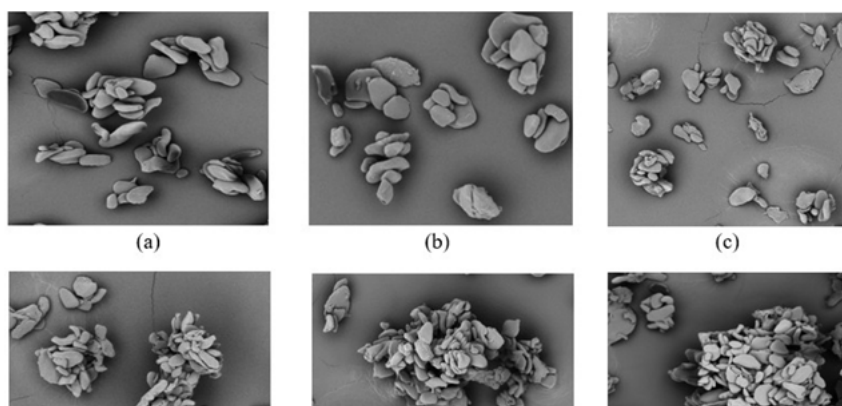


Figura 1. Fotografías de los gránulos de almidón nativo y modificado tomadas con una magnificación de 2.87kX y 667X. (a) Gránulo de almidón nativo; (b) almidón modificado con 5 mL de anhídrido acético y 30 min.; (c) almidón modificado con 5 mL de anhídrido acético y 60 min.; (d) almidón modificado con 10 mL de anhídrido acético y 60 min.; (e) almidón modificado con 10 ml de anhídrido acético y 90 min; (f) almidón modificado con 15 mL de anhídrido acético y 90 min.

CONCLUSIONES

El volumen de anhídrido acético y el tiempo de reacción afectan significativamente ($p \leq 0,05$) el porcentaje de grupos acetilos y su grado de sustitución; el almidón acetilado muestra mayor poder de hinchamiento, solubilidad en agua e índice de absorción de agua que el almidón nativo de banano (*Musa spp.* AAA subgrupo Cavendish.). Los modelos matemáticos encontrados es una propuesta para la obtención de almidones de banano modificado con las propiedades adecuadas según el uso que se desee hacer de los mismos, lo cual permitiría incrementar el empleo de esta fuente subutilizada de almidón.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abiodun, O. A., Odedeji, J. O., Adepeju, A. B., & Oladapo, A. S. (2018). Physicochemical properties of modified trifoliolate yam starches. *Ife Journal of Science*, 20(1), 189-198.
- Anchundia, M. A. (2019). Caracterización funcional de almidón acetilado de camote y su utilización en la formulación de pudines de frutas. *SATHIRI* 14(1): 160-173.
- Cahyana, Y., Titipanillah, R., Mardawati, E., Sukarminah, E., Rialita, T., Andoyo, R., ... & Handarini, K. (2018). Non-starch contents affect the susceptibility of banana starch and flour to ozonation. *Journal of food science and technology*, 55(5), 1726-1733.
- Colussi, R., El Halal, S. L. M., Pinto, V. Z., Bartz, J., Gutkoski, L. C., da Rosa Zavareze, E., & Dias, A. R. G. (2015). Acetylation of rice starch in an aqueous medium for use in food. *LWT-Food Science and Technology*, 62(2), 1076-1082.
- Colussi, R., Pinto, V. Z., El Halal, S. L. M., Biduski, B., Prietto, L., Castilhos, D. D., ... & Dias, A. R. G. (2017). Acetylated rice starches films with different levels of amylose: Mechanical, water vapor barrier, thermal, and biodegradability properties. *Food chemistry*, 221, 1614-1620.
- Contreras-Pérez, R. K., De la Torre-Gutiérrez, L., González-Cortés, N., & Jiménez-Vera, R. (2018). Caracterización funcional de almidones de plátano cuadrado (*Musa balbisiana* Colla). *European Scientific Journal, ESJ*, 14, 30-82.
- Cuenca, P., Ferrero, S., & Albani, O. (2020). Preparation and characterization of cassava starch acetate with high substitution degree. *Food Hydrocolloids*, 100, 105430.
- Figuroa, J.; Salcedo, J.; Rodríguez, M. (2016). Acetilación de Almidón Nativo de Batata (*Ipomea batata* L). *Vitae* 23: S174.
- Guerra-DellaValle, D., Bello-Perez, L. A., Gonzalez-Soto, R. A., Solorza-Feria, J., & Arámbula-Villa, G. (2008). Efecto del tiempo de reacción en la acetilación del almidón de plátano. *Revista Mexicana de ingeniería química*, 7(3), 283-291.

- Luo, Z. G., & Shi, Y. C. (2018). Distribution of acetyl groups in acetylated waxy maize starches prepared in aqueous solution with two different alkaline concentrations. *Food Hydrocolloids*, *79*, 491-497.
- Marta, H., Cahyana, Y., Djali, M., Arcot, J., & Tensiska, T. (2019). A comparative study on the physicochemical and pasting properties of starch and flour from different banana (*Musa* spp.) cultivars grown in Indonesia. *International Journal of Food Properties*, *22*(1), 1562-1575.
- Montoya-López, J., Quintero-Castaño, V. D., & Lucas-Aguirre, J. C. (2015). Caracterización de harina y almidón de frutos de banano Gros Michel (*Musa acuminata* AAA). *Acta Agronómica*, *64*(1), 11-21.
- NTE INEN 2801. (2013). Norma para el Banano (Plátano). CODEX STAN 205-1997, MOD
- NTE INEN 0518 (1981) (Spanish): Harinas de origen vegetal. Determinación de la pérdida por calentamiento
- NTE INEN 0520 (1981) (Spanish): Harinas de origen vegetal. Determinación de la ceniza
- Olagunju, A. I., Omoba, O. S., Enujiugha, V. N., Wiens, R. A., Gough, K. M., & Aluko, R. E. (2020). Influence of acetylation on physicochemical and morphological characteristics of pigeon pea starch. *Food Hydrocolloids*, *100*, 105424.
- Olatunde, G. O., Arogundade, L. K., & Orija, O. I. (2017). Chemical, functional and pasting properties of banana and plantain starches modified by pre-gelatinization, oxidation and acetylation. *Cogent Food & Agriculture*, *3*(1), 1283079.
- Pérez Navarro, O., Ley Chong, N., González Suárez, E., Ferráz Negrín, Y., & Toledo Martínez, L. D. L. C. (2018). Determinación de condiciones de reacción y cinética en la acetilación de almidón de yuca. *Centro Azúcar*, *45*(2), 88-100.
- Salcedo-Mendoza, J. G., Rodríguez-Lora, M. C., & Figueroa-Flórez, J. A. (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.
- Sapper, M., & Chiralt, A. (2018). Starch-based coatings for preservation of fruits and vegetables. *Coatings*, *8*(5), 152.
- Ulfa, G. M., Putri, W. D. R., & Widjanarko, S. B. (2019, July). The influence of sodium acetate anhydrous in swelling power, solubility, and water binding capacity of acetylated sweet potato starch. In *AIP Conference Proceedings* (Vol. 2120, No. 1, p. 050021). AIP Publishing LLC.
- Vanier, N. L., El Halal, S. L. M., Dias, A. R. G., & da Rosa Zavareze, E. (2017). Molecular structure, functionality and applications of oxidized starches: A review. *Food chemistry*, *221*, 1546-1559.