

27. Agroalimentos

Obtención y caracterización de almidón químicamente modificado de arroz

Pereyra, Florencia; Cambra, Misael

Orientadores: Rasia, Mercedes; Castagnini, Juan Manuel

pereyraf@fcal.uner.edu.ar; cambram@fcal.uner.edu.ar; rasiyam@fcal.uner.edu.ar;

castagninij@fcal.uner.edu.ar

Facultad de Ciencias de la Alimentación

Universidad Nacional de Entre Ríos

Resumen

El objetivo del presente trabajo fue obtener y caracterizar almidón químicamente modificado de arroz a partir de dos variedades de arroz cultivados en la zona de Concordia (Entre Ríos, Argentina). Se trabajó con dos variedades de arroz: YERUA PA y GURI INTA CL, de las cuales se extrajo almidón de arroz por el método alcalino. Se determinó su composición química y el contenido de amilosa. Además se determinaron las propiedades térmicas y las propiedades de pastificación. Se obtuvieron los almidones nativos con un contenido de proteína despreciable, lo cual indica que el método es adecuado para su obtención. A pesar de tener diferencias en el contenido de amilosa, el grado de sustitución no fue diferente para las dos variedades. El tamaño de los gránulos de almidón tuvo un aumento significativo luego de la modificación química para las dos variedades. La temperatura de comienzo de la gelatinización y el cambio de entalpía presentaron diferencias luego de la modificación química, las cuales indicaron que los almidones modificados requieren menos energía para cambiar su estructura. Las propiedades de pastificación mejoraron luego de la modificación, disminuyendo el tiempo de gelatinización respecto de los almidones nativos. Por lo tanto, este tipo de modificación química aplicada en almidón de arroz puede ser potencialmente empleada para obtener un aditivo que se utilice como espesante y emulsificante en la industria de alimentos.

Palabras clave: almidón de arroz, modificación química, OSA, propiedades de pastificación, propiedades térmicas.

Introducción

El almidón es un polímero de glucosa ramificado con uniones lineales $\alpha(1\rightarrow4)$ y uniones ramificadas $\alpha(1\rightarrow6)$, y se compone de dos tipos de polímeros, amilosa y amilopectina.

El almidón proviene de distintas fuentes botánicas tales como cereales, leguminosas, raíces y tubérculos y frutas inmaduras. Tanto la relación amilosa-amilopectina como la forma y el tamaño (esféricos, elipsoidales, poligonales, discos y túbulos irregulares) de los gránulos de almidón dependen de su origen botánico (Ashogbon y Akintayo, 2014). El gránulo de almidón de arroz tiene caras poligonales y un tamaño que va de 4 a 5 μm . Según su contenido de amilosa las variedades se clasifican en: bajo 9-20%, intermedio 20-25% y alto contenido, mayor a 25% (Mitchell, 2009).

Para obtener el almidón puro a partir de la harina de arroz es necesario separar las proteínas que están asociadas al almidón en el endospermo. Las proteínas presentes en el arroz consisten en cuatro fracciones: prolaminas (3%), albúminas (solubles en agua, 5%), globulinas (solubles en sal, 12%) y glutelinas (solubles en álcali, 80%) (Ashogbon y Akintayo, 2014).

El almidón de arroz es muy utilizado como aditivo en la industria de alimentos debido a sus características. Estas características incluyen que son hipoalergénicos, tienen buena digestibilidad y aceptación por el consumidor, sabor y aroma suave,

gránulos pequeños, color blanco, buena estabilidad de congelación-descongelación de las pastas, resistencia a la acidez y un amplio rango de relación amilosa-amilopectina. Sin embargo, los almidones nativos tienen ciertas desventajas que no los hacen convenientes para determinados usos, como baja solubilidad en agua y baja estabilidad bajo condiciones de temperatura, deformación, pH y refrigeración comúnmente aplicadas a los procesos de alimentos (Song, He, Ruan y Chen, 2006).

Las modificaciones químicas pueden implicar: cambios estructurales, que hidrolizan el almidón en moléculas más pequeñas, y/o la adición de grupos químicos (Sweedman, Tizzotti, Schäfer y Gilbert, 2013). Una de estas modificaciones implica adicionarle a la molécula de almidón un ácido orgánico llamado anhídrido octenil succínico (OSA, por sus siglas en inglés, octenyl succinic anhydride). Cuando se realiza la modificación química con OSA, los sustituyentes se unen covalentemente al reaccionar con los residuos hidroxilos disponibles de monómeros de glucosa accesibles. Así, los gránulos de almidón normalmente hidrofílicos ganan un residuo hidrofóbico en la forma de grupos octenil, resultando en moléculas con carácter anfifílico. Por esto los OSA-almidones han sido estudiados como sustitutos de una amplia variedad de compuestos como la goma arábica, las grasas y las proteínas

(Sweedman et al., 2013). La modificación química con OSA le confiere al almidón propiedades hidrofóbicas, las cuales resultan muy interesantes para la aplicación de estos productos en la formación de emulsiones, microencapsulación, reemplazo de grasas, etc. Este tipo de almidones existe comercialmente, pero en su mayoría provienen del maíz, por lo que resulta interesante obtenerlo de otras fuentes vegetales ricas en almidón, como lo es el arroz.

Objetivos

El objetivo del presente trabajo fue obtener y caracterizar almidón químicamente modificado de arroz a partir de dos variedades de arroz cultivados en la zona de Concordia (Entre Ríos, Argentina).

Materiales y Métodos

Materiales

Se utilizaron las variedades de arroz YERUA PA y GURI INTA CL cultivadas en la zona de Concordia (Entre Ríos, Argentina). La variedad GURI es de grano largo fino y se caracteriza por tener alto contenido en amilosa y temperatura baja de gelatinización. La variedad YERUA es de grano largo ancho y tiene bajo contenido de amilosa y temperatura alta de gelatinización.

Obtención de almidón a partir de harina de arroz.

El almidón de arroz se extrajo a partir de la separación alcalina de las proteínas presentes en el arroz, utilizando el método propuesto en Cardoso et al. (2006) con algunas modificaciones. Este método consiste en sumergir una parte de arroz molido en cinco partes de una solución de hidróxido de sodio (NaOH) al 0,25% p/p. Luego de un día de reposo, se retira el sobrenadante y se vuelve a agregar solución alcalina nueva. Este procedimiento se realiza 7 veces para asegurar que todas las proteínas se solubilizan y se retiran de la matriz. Por último se descarta el sobrenadante, se neutraliza y el almidón se seca en estufa a 40°C. Luego, se muele y se tamiza.

Composición química del arroz y del almidón obtenido

La humedad, el contenido de proteínas, grasas, fibras y cenizas se determinaron de acuerdo con las normas AOAC (Association of Official Analytical Chemists, 2007). El contenido de proteínas fue determinado utilizando como factor 5,95. El contenido de amilosa fue determinado por el método colorimétrico basado en la coloración que se forma por el complejo amilosa- iodo (Juliano et al., 1981).

Modificación química con anhídrido octenil succínico

Para la modificación química del almidón de arroz se siguió el método utilizado en Song, He, Ruan, & Chen (2006), el cual se basa en una patente de Caldwell y Wurzburg (1953). Este método consiste

en suspender una determinada cantidad de almidón de arroz en agua destilada (30 % p/p) con agitación constante. Se ajusta el pH de reacción a 8,5 por adición de una solución de NaOH al 3% p/p. Luego se agrega lentamente durante 2 horas, el reactivo OSA (3% p/p con respecto al peso del almidón) previamente diluido 1:3 en etanol absoluto. La reacción se mantiene a una temperatura de 35°C durante el tiempo de reacción de 4 h. Finalizado este tiempo, se ajusta el pH a 6,5 con una solución de HCl al 3% p/p. La suspensión de almidón modificado es centrifugada y el precipitado se lava. El lavado se hace dos veces con agua destilada y dos veces con una solución de alcohol etílico al 70%. Luego del lavado, el almidón modificado se seca en estufa a 40°C. Por último, se muele y se tamiza.

Determinación del grado de sustitución y de la eficiencia de reacción

El grado de sustitución (DS) se determinó por cuantificación del álcali consumido después de una acidificación y posterior lavado del almidón esterificado (Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2009). Este método consiste en pesar 5 g (en base seca) de muestra y suspenderlo en 25 mL de una solución 2,5 M de HCl en 2-propanol. Se agita durante 30 minutos. Luego de este tiempo se agregan 100 mL de una solución al 90% v/v de 2-propanol y es agitado 10 minutos más. La muestra es filtrada y lavada con la solución de 2-propanol al 90% v/v hasta que el líquido filtrado no presente iones

cloruros (Cl⁻). La presencia de iones Cl⁻ se determina con una solución de nitrato de plata (AgNO₃) 0,1 N. Luego de esto el almidón retenido es transferido a un vaso de precipitado y es dispersado en 300 mL de agua destilada. La dispersión es calentada por 20 minutos en un baño de agua hirviendo y luego es titulada con NaOH 0,1 M hasta el viraje de la fenolftaleína. Un blanco con almidón nativo es tratado de igual manera y en simultáneo. El DS es calculado como indica la Ecuación 1:

$$DS = \frac{0,162 * (A * M)/W}{1 - [0,210 * (A * M)/W]} \quad (1)$$

Donde A es el volumen de NaOH gastados en la titulación (mL), M es la molaridad de la solución de NaOH y W es el peso seco de la muestra (g).

La eficiencia de reacción (RE) fue calculada con la Ecuación 2:

$$\% RE = \frac{DS_{real}}{DS_{teórico}} * 100 \quad (2)$$

El DS teórico se calcula asumiendo que todo el OSA agregado reacciona con el almidón para formar el éster. Por lo tanto el valor de DS teórico será 0,03.

Microscopía electrónica

La forma de los gránulos del almidón nativo y del almidón modificado fue observada mediante microscopía electrónica de barrido de emisión de campo (FESEM) (Ultra 55, Zeiss, Alemania). Antes del análisis las muestras se fijaron en un portamuestra y se cubrieron con platino a vacío. Se utilizó un

aumento de 1000x para observar las muestras.

Determinación del tamaño de partícula

La determinación del tamaño de los gránulos de almidón se realizó por difracción laser (Mastersizer 2000, Malvern Instruments Ltd., Reino Unido). El agente dispersante de la muestra fue agua corriente. La velocidad de bombeo fue de 1900 rpm. Se tomó como índice de refracción de la muestra 1,54 y para el agente dispersante 1,33. Los resultados fueron expresados como la distribución del tamaño de las partículas en volumen ($D_{4,3}$) y la media del tamaño de la distribución de partículas en superficie ($D_{3,2}$). El primero representa el diámetro de una esfera de volumen equivalente, y el segundo representa el diámetro de una esfera de superficie equivalente.

Determinación de la temperatura de gelatinización

Se determinó la temperatura y la entalpía de gelatinización de los almidones nativos y modificados utilizando un calorímetro diferencial de barrido (DSC Q20, TA Instruments, Estados Unidos). El calorímetro fue calibrado con un patrón de indio. Las muestras de almidón fueron dispersadas en agua destilada a una relación 1:4, 24 h antes del análisis por DSC para asegurar su hidratación homogénea. Luego, fueron agitadas y se pesaron 15 μ L de muestra en crisoles de aluminio hermético. Un crisol vacío fue usado como referencia. Las muestras fueron calentadas desde 25°C hasta

110°C a 10°C/min. Luego del ensayo, los crisoles fueron perforados y secados hasta peso constante, para determinar el peso seco del almidón. Los termogramas fueron analizados utilizando el programa del DSC (Universal Analysis Program, TA Instruments, Estados Unidos).

Determinación de las propiedades de pastificación

Las propiedades de pastificación fueron determinados utilizando un analizador rápido de viscosidad (RVA 4500, Perten, Suecia). Las muestras fueron preparadas mezclando 3 g de almidón con 25 mL de agua destilada. La velocidad inicial de agitación de la muestra en el analizador fue 960 rpm por 10 s, se siguió con agitación a 160 rpm por el resto del ensayo. Los ciclos de calentamiento y enfriamiento fueron programados de la siguiente manera: la muestra se mantuvo a 50°C durante 1 minuto, se calentó a 95°C en 3,75 minutos y se mantuvo a esa temperatura por 2,5 minutos, se enfrió hasta 50°C en 3,75 minutos y se mantuvo a esa temperatura por 1,4 minutos. Se tomaron los siguientes parámetros de las curvas: viscosidad pico (es la máxima viscosidad alcanzada durante la pastificación), viscosidad *holding* (es la viscosidad alcanzada al final de la fase de mantenimiento de la temperatura), y viscosidad final (es la viscosidad final alcanzada luego del enfriamiento).

Análisis estadístico de los datos

Para el análisis de los datos experimentales se realizó un análisis de

varianza (ANOVA) seguido por un test de comparación de medias. Todas las comparaciones fueron realizadas con un nivel de confianza del 95%. Los datos fueron expresados como media y la desviación estándar de dos experimentos. Se utilizó el paquete estadístico Statgraphics Centurion XVI (Statpoint Technologies, Inc., Estados Unidos).

Resultados y Discusión

Composición química del arroz y del almidón

Se caracterizó la composición química del arroz y del almidón extraído. En la Tabla 1 se presenta la composición tanto para las dos variedades de arroz como para el almidón nativo obtenido a partir de ellas. Puede verse que el contenido de proteínas presentes en el arroz está entre 6,41 y 8,45 %. Luego de la extracción por el método alcalino, el contenido de proteínas residual para la variedad YERUA fue de 0,44% y para la variedad GURI fue 0,48%. Estos valores indican que el método aplicado es adecuado para la separación del almidón a partir del arroz y está de acuerdo con la bibliografía (Mitchell, 2009).

Puede observarse en la Tabla 1 la diferencia en el contenido de amilosa entre las dos variedades de arroz estudiadas, siendo para la variedad YERUA menor que para la variedad GURI. Es importante conocer el contenido de amilosa ya que este afecta directamente las propiedades físicas,

químicas y funcionales del almidón tales como las propiedades de pastificación, la estabilidad del gel, la solubilidad en agua, etc. (Song, Zhao, Li, Fu y Dong, 2013).

En las Figuras 1 y 2 se puede observar cómo es la morfología desde el grano de arroz pulido y cómo va cambiando de aspecto durante el proceso de obtención del almidón modificado.



Figura 1. Variedad YERUA: a) arroz pulido, b) harina de arroz, c) almidón de arroz, d) almidón modificado de arroz.



Figura 2. Variedad GURI: a) arroz pulido, b) harina de arroz, c) almidón de arroz, d) almidón modificado de arroz.

Tabla 1. Composición química (%) de las dos variedades de arroz y de su respectivo almidón nativo.

Variedad	Arroz		Almidón	
	YERUA PA	GURI INTA CL	YERUA PA	GURI INTA CL
Humedad	11,63 ± 0,17	11,76 ± 0,40	11,46 ± 0,32	13,45 ± 0,27
Proteínas	6,41 ± 0,01	8,45 ± 0,10	0,44 ± 0,00	0,49 ± 0,06
Grasas	0,68 ± 0,11	1,29 ± 0,02	ND	ND
Fibras	0,89 ± 0,03	0,94 ± 0,07	0,79 ± 0,06	1,01 ± 0,11
Cenizas	0,33 ± 0,09	0,45 ± 0,13	0,15 ± 0,02	0,06 ± 0,02
Amilosa	19,50 ± 0,14	27,80 ± 0,14	22,50 ± 0,00	32,45 ± 0,35

ND: no detectable

Grado de sustitución y eficiencia de la reacción

Se realizó la modificación química de ambas variedades de almidón a las siguientes condiciones de reacción: Concentración de almidón de arroz 30% p/p, Temperatura de reacción 35°C; 8,5 pH de reacción, tiempo de reacción 4 h concentración de OSA 3% p/p respecto del almidón, y se caracterizó el DS utilizando el almidón nativo como blanco. En la Tabla 2 se presentan los resultados y puede observarse que no existen diferencias estadísticamente significativas entre las dos variedades de arroz. Esto no estaría de acuerdo con la bibliografía (Song et al., 2013), en donde obtienen un aumento en el DS con el aumento en el contenido de amilosa.

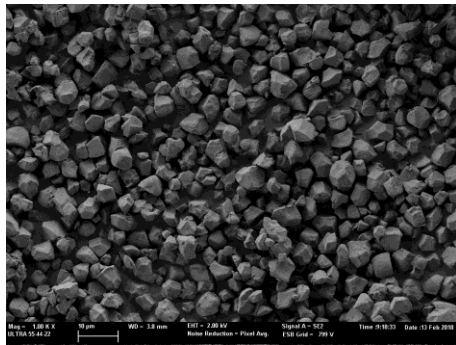
Microestructura de los gránulos de almidón

Se observó mediante microscopía FESEM la microestructura de los gránulos de almidón, nativos y modificados. Se presentan en la Figura 3 las

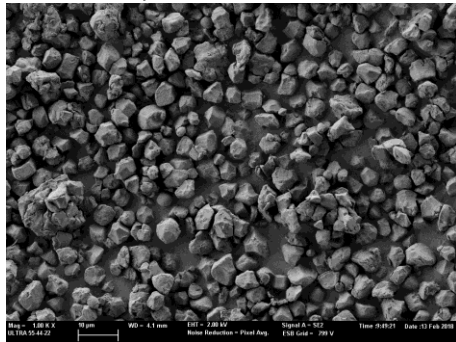
microfotografías tomadas. Ambas variedades presentaron una forma poligonal con los bordes bien definidos y superficies suaves. En las imágenes b) y d) correspondientes a los almidones modificados se observan las superficies de los gránulos ligeramente rugosas y con los bordes menos definidos que sus respectivos almidones nativos. Esto está de acuerdo con otros autores (Song et al., 2006), y puede deberse a que el OSA reaccionó primero en la superficie del gránulo y formó poros en ella.

Tabla 2. Grado de sustitución (DS) de los almidones de arroz modificados.

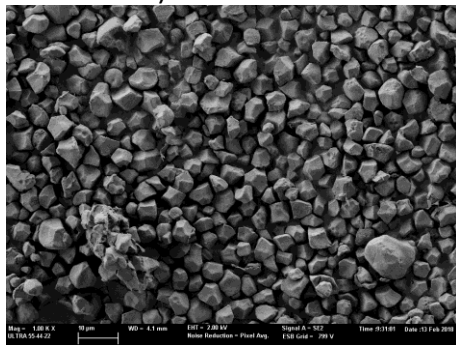
YERUA PA		GURI INTA CL	
Blanco		Blanco	
DS	Desv. estándar	DS	Desv. estándar
0,0097	0,0046	0,0077	0,0021
Muestra		Muestra	
DS	Desv. estándar	DS	Desv. estándar
0,0306	0,0036	0,0286	0,0012
DS final	0,0208	DS final	0,0210
RE final	69,46%	RE final	69,86%



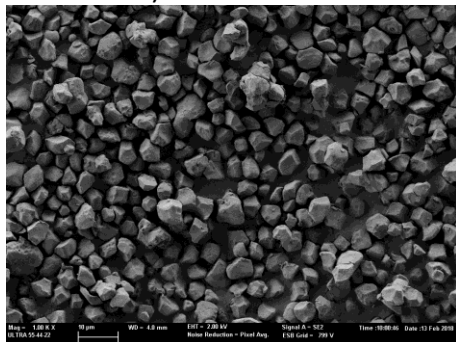
a) Nativo YERUA



b) OSA YERUA



c) Nativo GURI



d) OSA GURI

Figura 3. Microfotografías por FESEM de los gránulos de almidón nativo y modificado.

Distribución del tamaño de partícula

En la Tabla 3 se presentan los resultados obtenidos para la distribución de tamaño de partícula. Puede observarse que para

el parámetro $D_{4,3}$ no existen diferencias entre las variedades de almidones nativos. Sin embargo, se observa un aumento de tamaño luego de la modificación química entre el almidón nativo y el almidón modificado. Esto puede deberse a un leve cambio de estructura por la incorporación de los grupos voluminosos del reactivo químico OSA.

Tabla 3. Distribución del tamaño de partícula de los almidones nativos y modificados.

	$D_{4,3}$ (μm)	$D_{3,2}$ (μm)
NATIVO YERUA	$10,40 \pm 0,56^{ab}$	$6,27 \pm 0,10^a$
OSA YERUA	$13,26 \pm 1,86^c$	$6,75 \pm 0,57^a$
NATIVO GURI	$9,05 \pm 1,27^a$	$6,43 \pm 0,15^a$
OSA GURI	$11,61 \pm 0,71^{bc}$	$6,63 \pm 0,16^a$

Letras distintas por columnas indican diferencias estadísticamente significativas ($p < 0,05$).

Propiedades térmicas y propiedades de pastificación

Se determinaron las propiedades térmicas mediante calorimetría diferencial de barrido y las propiedades de pastificación mediante un analizador rápido de viscosidad.

El almidón es un polímero semicristalino sensible a la presencia de agua. Cuando el agua está presente en exceso la hidratación de las partes amorfas del almidón ocurre conjuntamente con la fusión de las partes cristalinas. Esto da como resultado un pico endotérmico en el termograma, como puede observarse en la Figura 4.

En la Tabla 4 se muestran los parámetros térmicos de la gelatinización: temperatura de comienzo (T_o , *onset*), temperatura del pico (T_p , *peak*), temperatura de conclusión (T_c), cambio entálpico (ΔH) y rango de temperatura ($\Delta T = T_c - T_o$). T_o osciló entre 58,8°C y 62,3°C, para la variedad YERUA modificada y para la variedad GURI sin modificar, respectivamente. A pesar de presentar diferencias en el contenido de amilosa (22,5% para la variedad YERUA y 32,4% para la variedad GURI), no se encontraron diferencias estadísticamente significativas ($p < 0,05$) entre las variedades de almidones nativos para los parámetros

estudiados. Sin embargo, en los almidones modificados T_o y ΔH presentan diferencias significativas con respecto a los almidones nativos. La introducción de un grupo voluminoso como el OSA supone una interrupción en la estructura del almidón, disminuyendo así la resistencia a la transición térmica. Como se ve en los resultados, la temperatura de gelatinización disminuye con la modificación química con OSA. Por la misma razón, ΔH también disminuye. Esto quiere decir que requiere menos energía para cambiar su estructura (Shih y Daigle, 2003).

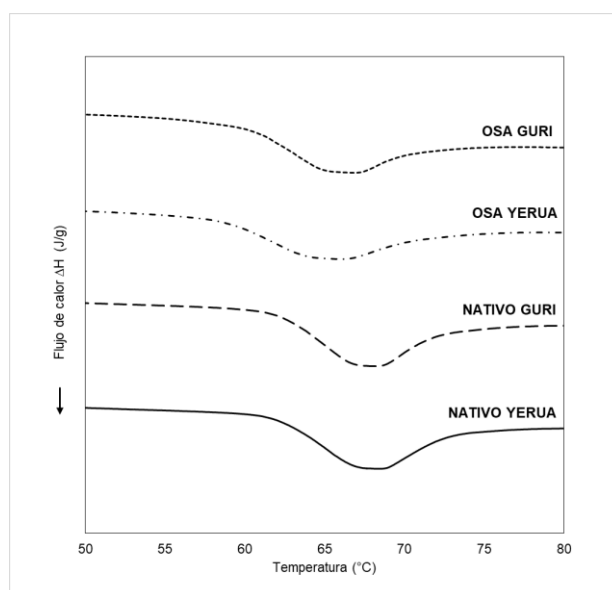


Figura 4. Perfiles térmicos obtenidos por DSC para los almidones nativos y modificados.

Tabla 4. Datos de las propiedades térmicas de los almidones nativos y modificados.

	T_o (°C)	T_p (°C)	T_c (°C)	ΔH (J/g)	ΔT (°C)
NATIVO GURI	62,3 ± 0,1 ^c	67,4 ± 0,4 ^c	74,6 ± 0,8 ^a	9,6 ± 0,4 ^{bc}	12,3 ± 0,8 ^a
OSA GURI	60,5 ± 0,1 ^b	65,4 ± 0,3 ^b	74,2 ± 0,5 ^a	8,6 ± 0,8 ^{ab}	13,7 ± 0,5 ^b
NATIVO YERUA	62,2 ± 0,1 ^c	67,2 ± 0,2 ^c	74,8 ± 0,6 ^a	10,2 ± 0,6 ^c	12,6 ± 0,5 ^a
OSA YERUA	58,8 ± 0,2 ^a	64,5 ± 0,3 ^a	73,6 ± 0,2 ^a	7,7 ± 0,3 ^a	14,8 ± 0,0 ^b

Letras distintas por columnas indican diferencias estadísticamente significativas ($p < 0,05$).

En la Figura 5 se presentan los perfiles obtenidos con el RVA para los almidones nativos y modificados de las dos variedades de arroz seleccionadas para este estudio. En las curvas del RVA puede observarse que la viscosidad de los almidones modificados es mayor que la de los almidones nativos. En la Tabla 5 se presentan los parámetros obtenidos de las curvas. Se puede observar una diferencia significativa entre los almidones nativos para los valores de viscosidad pico, en donde el almidón con menor contenido de amilosa (variedad YERUA) tiene una viscosidad pico mayor que el almidón con mayor contenido de amilosa. Song et al. (2013) también observaron esta correlación negativa entre la viscosidad pico y el contenido de amilosa. Esta diferencia también se observa para los respectivos almidones modificados, siendo muy superior la viscosidad del pico

para el almidón YERUA modificado con respecto a la variedad GURI modificado. Puede observarse que la incorporación de un grupo voluminoso como el OSA mejoró la capacidad de pastificación del almidón, y los almidones modificados tendieron a gelatinizar más fácilmente y a temperaturas más bajas (OSA GURI 68,5°C, OSA YERUA 69,0°C) que sus respectivos almidones nativos (GURI 77,1°C, YERUA 75,9°C). Los almidones nativos tuvieron un crecimiento menor en la curva del RVA, un tiempo de pico mayor (GURI 418 s, YERUA 394 s) que los modificados (OSA GURI 270 s, OSA YERUA 250 s) y una temperatura del pico mayor, lo cual refleja su estructura ordenada y resistente a la gelatinización. Esto está de acuerdo con lo que obtuvieron otros autores (Shih y Daigle, 2003; Song et al., 2006; Song, Pei, Zhu, Fu y Ren, 2014).

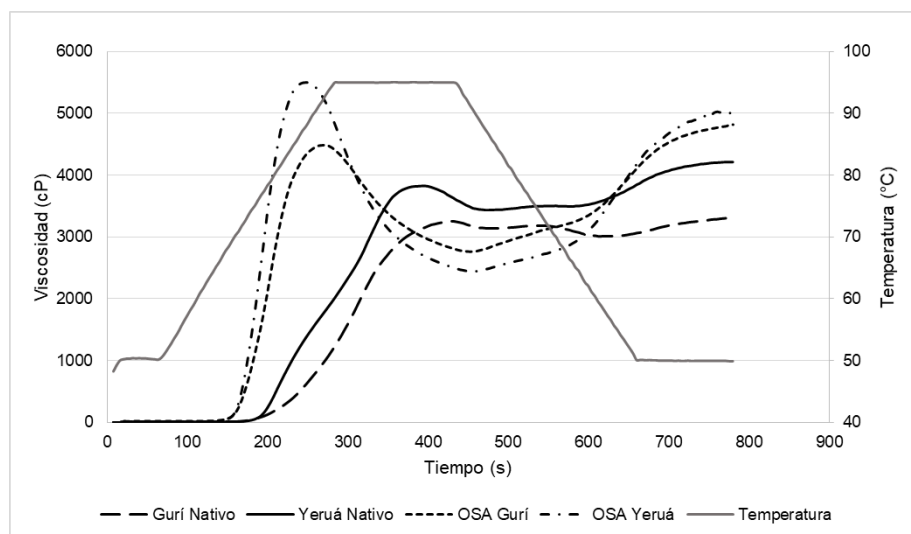


Figura 5. Perfil de las propiedades de pastificación de los almidones nativos y modificados.

Tabla 5. Propiedades de pastificación de los almidones nativos y modificados.

	Viscosidad pico (cP)	Viscosidad holding (cP)	Viscosidad final (cP)
NATIVO GURI	3265,5 ± 27,6 ^a	3018,5 ± 6,4 ^a	3324,0 ± 18,4 ^a
OSA GURI	4489,5 ± 13,4 ^b	2752,5 ± 9,2 ^b	4813,0 ± 2,8 ^b
NATIVO YERUA	3856,0 ± 41,0 ^c	3441,5 ± 7,8 ^c	4228,0 ± 22,6 ^c
OSA YERUA	5452,0 ± 75,0 ^d	2430,0 ± 24,0 ^d	5011,0 ± 2,8 ^d

Letras distintas por columnas indican diferencias estadísticamente significativas ($p < 0,05$).

Conclusiones

Se obtuvo almidón de arroz químicamente modificado a partir de dos variedades de arroz y se los caracterizó. Estos almidones modificados presentaron diferencias en las propiedades térmicas respecto de los almidones nativos debido al cambio de estructura por a la incorporación de un grupo químico voluminoso. Las propiedades de pastificación mejoraron luego de la modificación, disminuyendo el tiempo de gelatinización respecto de los almidones nativos. Por lo tanto, este tipo de modificación química aplicada en almidón de arroz puede ser potencialmente empleada para obtener un aditivo que se utilice como espesante y emulsificante en la industria de alimentos.

Bibliografía

Ashogbon, A. O., y Akintayo, E. T. (2014). Recent trend in the physical and chemical modification of starches from different botanical sources: A review. *Starch/Staerke*, 66(1–2), 41–57.

Association of Official Analytical Chemists.

(2007). *Official Methods of Analysis AOAC International* (18th ed.).

Caldwell, C. G., y Wurzburg, O. B. (1953). Polysaccharide derivatives of substituted dicarboxylic acids. United States.

Cardoso, M. B., Samios, D., y Silveira, N. P. (2006). Study of Protein Detection and Ultrastructure of Brazilian Rice Starch during Alkaline Extraction. *Starch - Stärke*, 58(7), 345–352.

Food and Agriculture Organization of the United Nations. (2009). *Compendium of food additive specifications*. Rome.

Juliano, B., Perez, C. M., Blakeney, A. B., Castillo, T., Kongseree, N., Laignelet, B., y otros. (1981). International Cooperative Testing on the Amylose Content of Milled Rice. *Starch - Stärke*, 33(5), 157–162.

Mitchell, C. R. (2009). Rice starch: Production and properties. In J. BeMiller & R. Whistler (Eds.), *Starch. Chemistry and Technology* (Third Edit, pp. 569–578). Elsevier.

Shih, F. F., y Daigle, K. W. (2003).

- Gelatinization and pasting properties of rice starch modified with 2-octenylsuccinic anhydride. *Nahrung - Food*, 47(1), 64–67.
- Song, X., He, G., Ruan, H., y Chen, Q. (2006). Preparation and properties of octenyl succinic anhydride modified Early Indica rice starch. *Starch - Stärke*, 58, 109–117.
- Song, X., Pei, Y., Zhu, W., Fu, D., y Ren, H. (2014). Particle-stabilizers modified from indica rice starches differing in amylose content. *Food Chemistry*, 153, 74–80.
- Song, X., Zhao, Q., Li, Z., Fu, D., y Dong, Z. (2013). Effects of amylose content on the paste properties and emulsification of octenyl succinic starch esters. *Starch - Stärke*, 65(1–2), 112–122.
- Sweedman, M. C., Tizzotti, M. J., Schäfer, C., y Gilbert, R. G. (2013). Structure and physicochemical properties of octenyl succinic anhydride modified starches: A review. *Carbohydrate Polymers*, 92(1), 905–920.

Financiamiento

El presente trabajo fue financiado con un proyecto de investigación y desarrollo de la Universidad Nacional de Entre Ríos (PID 8087).