

---

## Acetilación y caracterización del almidón de cebada

J. Prieto-Méndez<sup>1\*</sup>, C. L. Trejo-Cárdenas<sup>2</sup>, F. Prieto-García<sup>1</sup> M. A. Méndez-Marzo<sup>2</sup>,  
L. A. Bello-Pérez<sup>3</sup> y A. D. Román-Gutiérrez<sup>4</sup>

<sup>1</sup> Centro de Investigaciones Químicas

<sup>2</sup> Centro de Investigaciones en Materiales y Metalurgia.

<sup>3</sup> CeProBi.

<sup>4</sup> Química en Alimentos. Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo-México.

---

*Acetylation and characterization of the barley starch*

### Abstract

The starch is constituted for amylase and amilopectyn. The acetylation is a chemical modification for esterification, in which his hydroxyl groups are replaced with acetyl groups that offer to him major stability, changing the physicochemical and functional properties of the starches. The acetyl starches presents 6-10°C less in the gelatinization temperature (Tg) and the peak of maximum viscosity is major with regard to the native one, which indicates that the acetyl starches disperse easier. The acetylation also increases the clarity and stability of the gels and reduces the retrogradation. To isolate the starch of barley, to modify the same ones by means of chemical agents (anhydride acetic, AA and acetate of vinyl, AV) and to characterize them, they have been aims of this work. With regard to the content of present starch in the grain (60%) the obtained performance was 50 %. The percentage of acetyls reached between 3 and 6%; with the use of the AA, 1.6 times were obtained major incorporation of acetyl groups; the degree of substitution was of 0.143 and 0.240, as AV or AA was in use, respectively. A difference was observed in the average diameter of particle between three starches, for the native starch (AN) it was of 19µm, whereas for the starches treated with AV and AA it was of 22µm and 104µm respectively. The increase in the size owes to the introduction of the acetyl groups to the chains of starch. The diffraction of X-rays allowed to observe that the peak of crystallinity of the starch treated with AV is great more defined in comparison with the AN, presenting a crystallinity of 28.3 %, for the starch modified with AA it diminishes his peak of crystallinity and his crystallinity is 28 %, this loss in the crystallinity owes to that the modification was carried out in the crystalline region of the starch. The morphology of the granule did not fall ill for the process of acetylation. FTIR analysis corroborated the degree of acetylation of the starch. One concludes that the barley starch can be modified by acetylation with VA and these can be used in the nourishing industry like additives, since they are within the rank allowed by the FDA.

*Key words:* acetylation, starch of barley, anhydride acetic, native starch.

### Resumen

El almidón está constituido por amilosa y amilopectina. La acetilación es una modificación química por esterificación, en la cual se sustituyen sus grupos hidroxilos por grupos acetilos que le brindan mayor estabilidad, variando las propiedades fisicoquímicas y funcionales de los almidones. Los almidones acetilados presentan 6-10°C menos en la temperatura de gelatinización (Tg) y el pico de viscosidad máxima es mayor con respecto al nativo, lo cual indica que los almidones acetilados se dispersan más fácilmente. La acetilación también incrementa la claridad y estabilidad de los geles y reduce la retrogradación. Aislar el almidón de cebada, modificar los mismos mediante agentes químicos (anhídrido acético, AA y acetato de vinilo, AV) y caracterizarlos, han sido objetivos de este trabajo. Con respecto al contenido de almidón presente en el grano (60%) el rendimiento obtenido fue de un 50%. El porcentaje de acetilos alcanzó entre 3 y 6 %; con el uso del AA se obtuvo 1.6 veces mayor incorporación de grupos acetilos; el grado de sustitución fue de 0.143 y 0.240,

---

\*Autor de correspondencia

Email: jud\_292003@yahoo.com.mx; prietog@uaeh.edu.mx

según se utilizó AV o AA, respectivamente. Se observó una diferencia en el diámetro promedio de partícula entre los tres almidones, para el almidón nativo (AN) fue de 19µm, mientras que para los almidones tratados con AV y AA fue de 22 µm y 104 µm respectivamente. El aumento en el tamaño se debe a la introducción de los grupos acetilos a las cadenas de almidón. La difracción de rayos X permitió observar que el pico de cristalinidad del almidón tratado con AV es mucho más definido en comparación con el AN, presentando una cristalinidad de 28.3%; para el almidón modificado con AA disminuye su pico de cristalinidad y su cristalinidad es de 28%, esta pérdida en la cristalinidad se debe a que la modificación se llevó a cabo en la región cristalina del almidón. La morfología del gránulo no se afectó por el proceso de acetilación. El análisis de FTIR corroboró el grado de acetilación del almidón. Se concluye que el almidón de cebada puede ser modificado por acetilación con VA y éstos pueden ser utilizados en la industria alimentaria como aditivos, ya que se encuentran dentro del rango permitido por la FDA.

*Palabras clave:* acetilación, almidón de cebada, anhídrido acético, almidón nativo.

## Introducción

Los almidones acetilados tienen diferentes características a los nativos, presentan 6-10°C menos en la temperatura de gelatinización ( $T_g$ ) y el pico de viscosidad máxima es mayor con respecto al nativo, lo cual indica que los almidones acetilados se dispersan más fácilmente que los nativos. La acetilación también incrementa la claridad y estabilidad de los geles y reduce la retrogradación. Las reacciones que ocurren durante la acetilación son ilustradas en la figura 1; en la reacción principal, el almidón es acetilado con anhídrido

acético y con una base como catalizador. Esta reacción es un ejemplo de una sustitución nucleofílica en un carbono insaturado del anhídrido acético (Della, 2007). Además los tres diferentes grupos hidroxilo tienen diferente reactividad. El primer -OH en el carbono 6 es más reactivo y la acetilación es llevada a cabo más fácilmente que en los carbonos 2 y 3. De los grupos -OH secundarios, el grupo -OH en el C2 es más reactivo que el del C3 (Xu *et al.*, 2004); sin embargo, Heins *et al.*, (1998), demostraron mediante resonancia magnética nuclear (RMN) que al hacer el análisis de los almidones ya acetilados la posición que se encontró mayormente

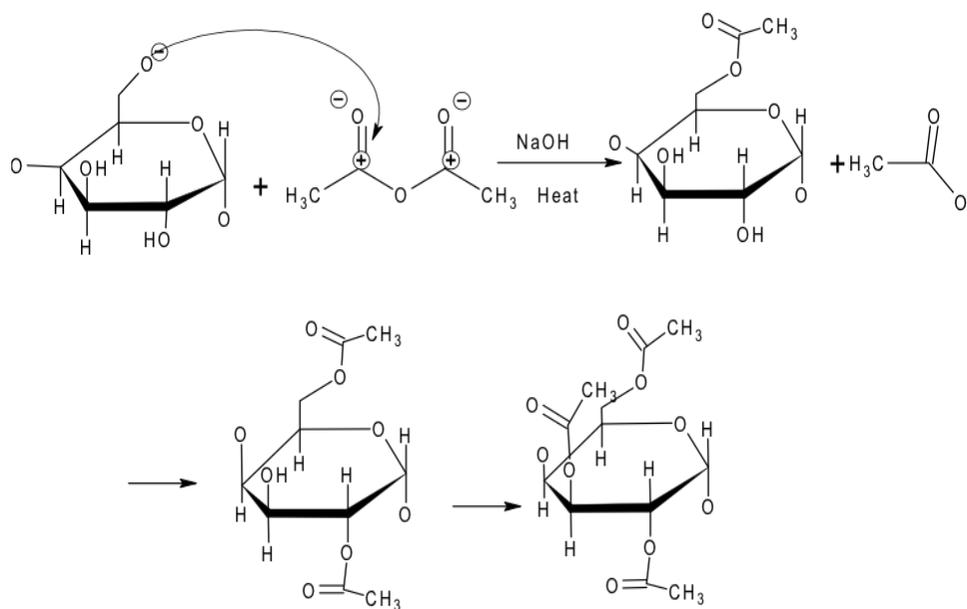


Figura 1. Reacción química durante la acetilación (Xu *et al.*, 2004)

acetilada fue la del C3. La acetilación de los almidones depende de ciertos factores, como la fuente de obtención del almidón, concentración del reactivo, tiempo de reacción y pH. Varios investigadores mencionan que la reacción de acetilación es reversible, mostrando una desacetilación en el almidón (Xu *et al.*, 2004; de Graaf *et al.*, 1995).

### Material y Métodos

El método descrito por Huang *et al.* (2007), fue utilizado para modificar por acetilación el almidón de cebada. El almidón fue dispersado en agua destilada (45 ml) y agitado durante una hora a 25°C. La solución de NaOH al 3% fue utilizada para ajustar el pH a 8.0. El anhídrido acético (11.6 ml) fue agregado gota a gota a la mezcla, mientras se mantenía el pH en un intervalo de 8.0-8.3 con el NaOH al 3%. Después de agregar el reactivo la reacción se mantuvo por 10 min. La mezcla fue ajustada a pH 4.5 con HCl 0.5M, después fue lavada dos veces con agua destilada y una vez con alcohol etílico al 96%. Se secó por 24 h a 40°C. El porcentaje de acetilación y el grado de sustitución (GS) fueron calculados. El almidón acetilado (1 g) fue colocado en un matraz de 250 ml, se le agregaron 50 ml de etanol al 75%, se tapó y fue calentado en un baño de agua a 50°C por 30 min, después de ese tiempo se dejó enfriar a temperatura ambiente y se le agregaron 40 ml de KOH (0.5 M). Fue titulado con HCl 0.5 M usando fenolftaleína como indicador. El mismo procedimiento se realizó en almidón nativo para utilizarlo como referencia. Se realizó análisis por difracción de rayos láser en polvo. Fue realizado en granulómetro Mastersizer 2000 (Malvern Instrument, USA) con un índice de refracción de 1.494 y precisión de  $\pm 1\%$ , utilizando estándares de calidad Malvern; se utilizó como medio de transporte el aire. Los espectros de IR por transformada de Fourier (FTIR) de los almidones nativos y acetilados fueron obtenidos por el método de Pushpamalar *et al.* (2006). La muestra seca se mezcló con KBr en una relación almidón/KBr de 4:1. La mezcla se prensó para obtener una pastilla y se analizó en un espectrómetro Nicolet Magna-IRTM 550; el espectro fue analizado en un intervalo de resolución de 400-4000  $\text{cm}^{-1}$  y se realizaron 16 barridos. Las muestras de almidón fueron secadas en una estufa a una temperatura de  $35^\circ\text{C} \pm 3^\circ\text{C}$  por dos días; se colocaron sobre una cinta conductora de

doble adhesión, la cual se fijó previamente en un soporte de aluminio; se recubrieron con una capa de oro en un electro-depositador (marca Denton modelo Vaccum Desk II). Las muestras se observaron en un microscopio electrónico de barrido (MEB), marca JOEL, modelo JSM-G-300 a un voltaje de 20 KV, 18 mm. Las fotografías se tomaron a amplitudes de 2000x, 1500x, 1000x, 500x y 100x. Se colocó una cantidad mínima de muestra de almidón en el portaobjetos, se adicionó una gota de agua destilada y se puso un cubreobjetos. Las muestras se observaron en un microscopio de luz polarizada (marca Nikon modelo EFD-3) acoplado a una cámara de video (marca Dage, modelo MTI DC- 330) utilizando un programa About Meta Morph version 6.1r0, con un objetivo de 10x. Los gránulos de almidón se seleccionaron al azar y se observó el fenómeno de birrefringencia mediante la formación de la cruz de malta en el centro del gránulo de almidón. Utilizando el mismo microscopio la muestra fue observada en campo claro con un objetivo de 10x. Las imágenes obtenidas fueron analizadas utilizando el programa Sigma Scan Pro, versión 5.0.0.

Para evaluar la temperatura de gelatinización de los almidones se pesaron 2.2 mg de muestra base seca en charola de aluminio; se adicionaron 7.5  $\mu\text{l}$  de agua des-ionizada. La charola fue sellada herméticamente y se dejó equilibrar por espacio de unos 30 minutos antes de realizar el análisis. Como referencia se utilizó una charola de aluminio vacía. Transcurrido el tiempo de humectación (1 hora) la muestra fue sometida a un programa de calentamiento en un intervalo de temperatura de 10 a 120°C y una velocidad de  $10^\circ\text{C min}^{-1}$ . La temperatura de inicio ( $T_i$ ), temperatura de gelatinización o de pico ( $T_p$ ), temperatura final ( $T_f$ ) y la entalpía ( $\Delta H$ ) fueron obtenidas a partir de los termogramas directamente del análisis del software TA Instruments OS/2 versión 2.1. Para la determinación de retrogradación se almacenaron las charolas en refrigeración por siete días.

### Resultados y discusión

El porcentaje de acetilos que se encontró para el almidón de cebada, en dependencia del agente utilizado (vinil acetato, VA o anhídrido acético, AA) se muestra en la tabla 1. Se puede observar cómo se alcanza entre 3 y 6 % de acetilación, con el

uso del AA se obtuvo 1.6 veces mayor incorporación de grupos acetilos. Estos resultados guardan relación directa con el grado de sustitución (GS) que equivale al número promedio de grupos-OH que se reemplazaron por grupos CH<sub>3</sub>-C=O en la molécula de almidón de cebada en este caso.

El nivel de sustitución de los grupos hidroxilos a lo largo de la cadena de almidón, a menudo son expresados como GS. En la misma tabla 1 se muestran los resultados obtenidos durante el proceso acetilación del almidón nativo de cebada. Se puede observar el GS del almidón obtenido después del tratamiento con 11.4 ml de VA y 11.6 ml de AA, en iguales condiciones, es mayor para el almidón tratado con AA, esto se debe a que el AA es un agente muy reactivo. La sustitución llevada a cabo en los carbonos 2, 3 y 6, debido a que son los menos impedidos estéricamente a lo largo de la amilosa, por lo que al ser una cadena lineal sus grupos -OH pueden ser sustituidos más fácilmente. El GS también se va a ver limitado por la disponibilidad de los grupos -OH dentro de la cadena de almidón, dado que la reacción siempre va a comenzar por el carbono que se encuentre más libre para reaccionar.

En estudios realizados por Huang *et al.* (2007), en almidones extraídos de leguminosas, el GS es mayor para los almidones tratados con VA, el grado de sustitución en los almidones de chícharos tratados con AA fue de 0.066, para los que se utilizó VA fue de 0.07, para los almidones de garbanzo el GS fue de 0.059 con AA y 0.064 con VA y en los almidones extraídos del ejote fue de 0.057 con AA y 0.068 con VA. Lawal (2004), obtuvo valores más bajos de GS en almidones acetilados con AA a diferentes concentraciones, utilizando concentraciones de 6% y 8% en almidón de avena, obtuvo un GS de 0.05 y 0.11 respectivamente, tratando el almidón de maíz con 10 g de AA, obtuvo un GS de 0.03 y con 15 g se obtuvo 0.04 de GS. Así mismo Mormoghtadaide *et al.* (2009), utilizaron concentraciones de 27.77 ml y 37.88 ml en almidón

de avena, dando un GS de 0.05 y 0.11 respectivamente.

Las variaciones en el GS pueden deberse a la utilización de diferentes fuentes de almidón, contenidos diferentes de amilosa y amilopectina, tamaño y morfología del gránulo y a las condiciones en las que se lleven a cabo la reacción de acetilación, así como en la variación de diferentes parámetros como son el tiempo de reacción y temperatura. El bajo GS obtenido en estos almidones los hace aptos para su utilización en la industria de alimentos, ya que la FAO permite la utilización de almidones acetilados con bajo GS. Asimismo la Administración de Drogas y Alimentos de los Estados Unidos (FDA) permite en alimentos, almidones con bajo GS, limitándolos a valores menores a 2.5% de grupos acetilos en almidones para uso en la industria (Rincón *et al.*, 2007). En la figura 2 se puede apreciar el promedio del tamaño de partículas de los almidones nativos y modificados por acetilación. Se puede observar una diferencia en cuanto al diámetro promedio de partícula entre los tres almidones, el tamaño para el almidón nativo (AN) fue de 19 µm, mientras que para los almidones tratados con VA y AA fue de 22 µm y 104 µm respectivamente. El aumento en el tamaño se debe a la introducción de los grupos acetilos a las cadenas de almidón.

Las moléculas largas y ramificadas de la amilopectina forman cristales en una orientación regular entre regiones amorfas y cristalinas, que dan al gránulo las características de birrefringencia según reportan algunos autores (Fox y Cameron, 2002). Estas regiones amorfas contienen en lo fundamental moléculas de amilosa. Esto posibilita asumir que cuando el gránulo de almidón absorbe agua, las áreas amorfas quedan más disponibles y por tanto se pueden mover más libremente dentro del gránulo. Los estados de gelatinización que fueron determinados a diferentes temperaturas y en correspondencia con el tamaño y distribución de los gránulos de AN de cebada, (variedad Esmeralda)

**Tabla 1. Porcentaje de acetilación y Grado de Sustitución de los almidones con diferentes agentes.**

Almidón de Cebada	Porcentaje de acetilación	
	VA	AA
	3.66 ± 0.07	6.00 ± 0.11
Almidón de Cebada	Grado de Sustitución (GS)	
	VA	AA
	0.143 ± 0.008	0.240 ± 0.008
VA (Vinil Acetato)	AA (Anhídrido Acético)	

con cáscara (AEC) o perlado (AEP), se muestran en la tabla 2. A las temperaturas iniciales de 20°C y hasta 35°C, no se observó ninguna variación en el tamaño promedio de los gránulos del AN de cebada ni tampoco diferencia significativa entre las muestras AEC y AEP. Esto indica que al menos hasta 35°C no se produce hinchamiento en los gránulos.

Los almidones son materiales semicristalinos, y su cristalinidad depende de las características estructurales de la amilopectina y la reasociación de

la amilosa (Della, 2007). La difracción de rayos X (DRX), es una técnica que se utiliza para el estudio de la naturaleza cristalina de los almidones. En la figura 3 se muestra el patrón de DRX correspondiente a los AN y acetilados. Se puede observar que el pico de cristalinidad del almidón tratado con VA es mucho más definido en comparación con el AN, presentando una cristalinidad de 28.3%. Por otra parte el almidón modificado con AA disminuye su pico de cristalinidad y su cristalinidad es de 28%, esta

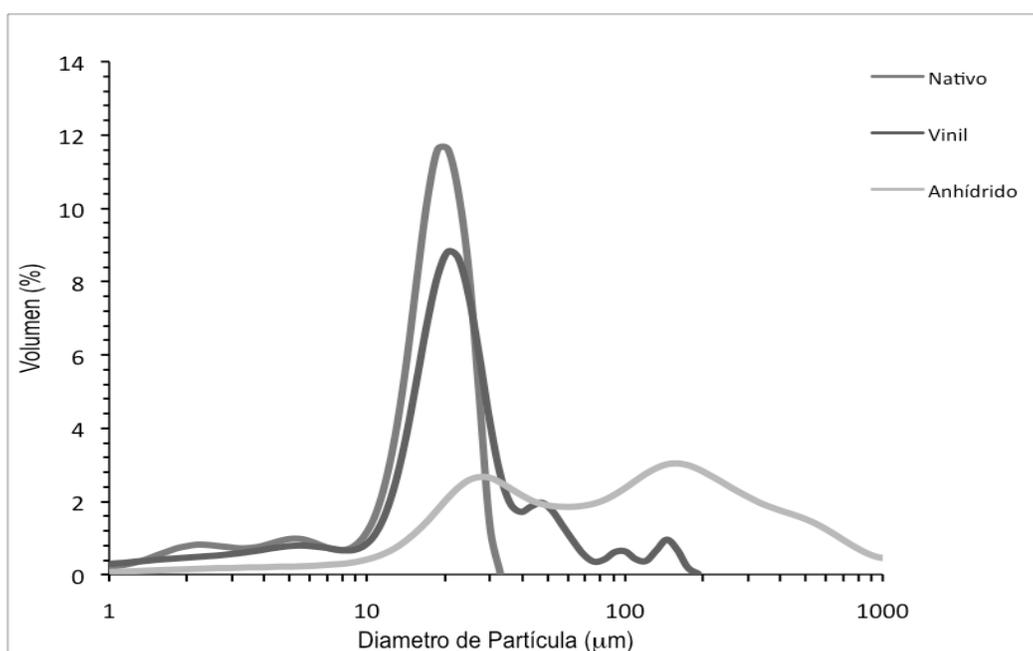


Figura 2. Distribución del tamaño de partícula de los almidones nativos y modificados.

**Tabla 2. Tamaño de gránulos de almidón (µm) por tipos (%DSR)**

Temperatura °C	AEP	AEC
20	19.76 (0.77)	19.54 (0.53)
35	19.76 (0.77)	19.54 (0.31)
<b>45</b>	<b>30.45 (1.05)</b>	<b>25.12 (0.79)</b>
55	49.56 (2.04)	30.15 (1.68)
65	88.60 (2.76)	36.65 (2.07)
75	<b>96.35 (3.21)</b>	<b>40.25 (2.16)</b>
85	94.60 (5.12)	34.56 (1.88)
95	42.60 (2.22)	28.70 (0.93)
100	39.20 (1.85)	27.00 (0.68)
105	37.60 (1.66)	26.50 (0.64)

pérdida en la cristalinidad se debe a que la modificación se llevó a cabo en la región cristalina del almidón. Debido a que la modificación es llevada a cabo con mayor facilidad en la región amorfa (compuesta por la amilosa), y al no tener un alto grado de sustitución, su región cristalina no se va a ver dañada, como se observa en el patrón de difracción del almidón acetilado con VA. Esto

también se puede observar en la figura 4 de microscopía con luz normal (a) y luz polarizada (b), donde se observa que el almidón no pierde su cruz de Malta ni su birrefringencia, contrario de lo que sucedió con el almidón tratado con AA, ya que aumentó su GS, llevándose a cabo la sustitución en la región cristalina del gránulo. En la figura 5 se muestra como el gránulo perdió su cristalinidad al

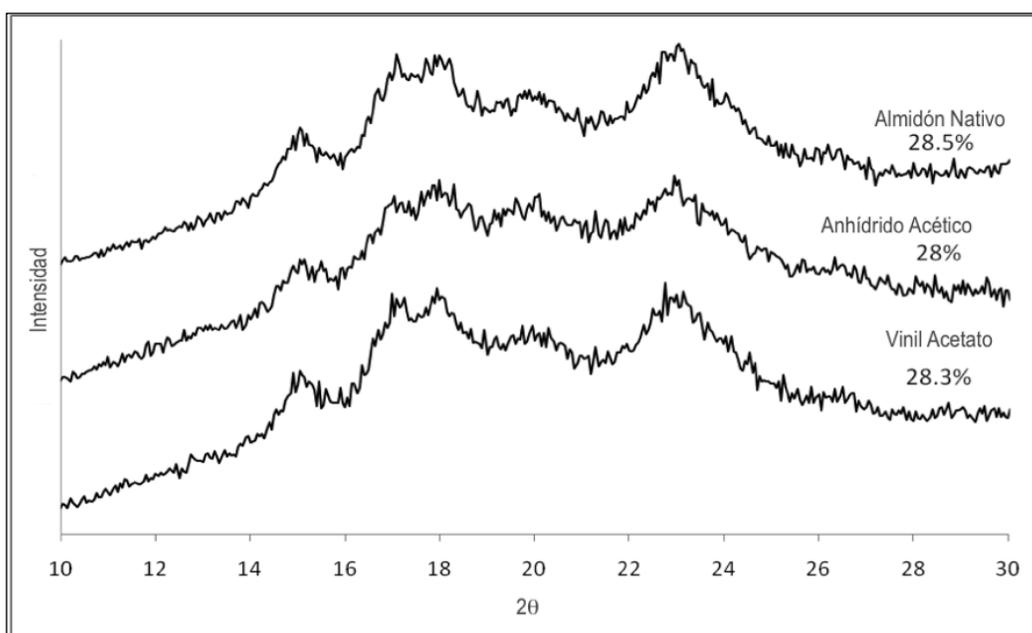


Figura 3. Patrón de difracción de rayos X de los almidones de cebada nativo y modificados por acetilación.

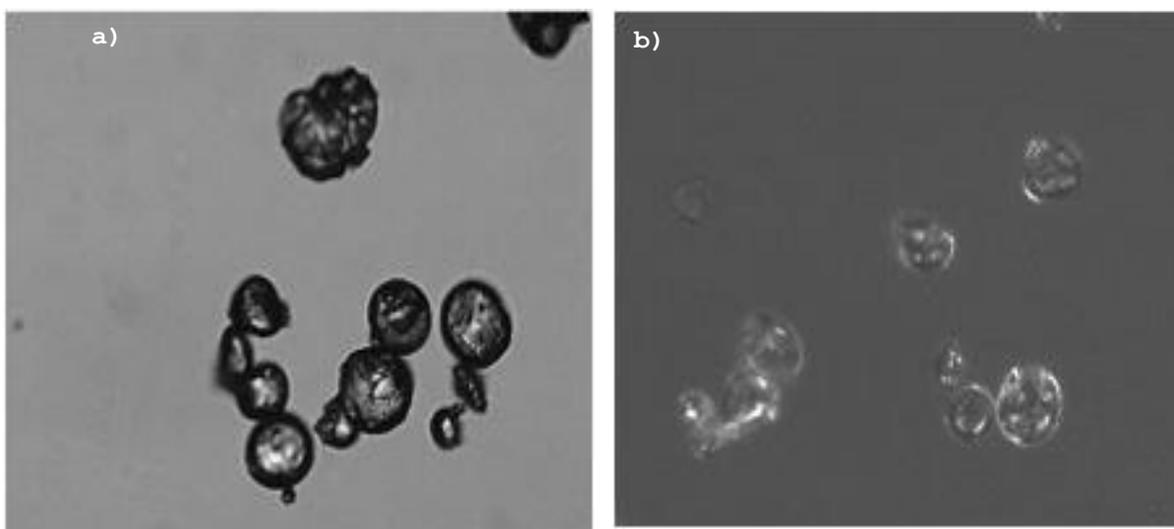


Figura 4. Micrografía del almidón modificado con VA a) Luz Normal b) Luz Polarizada

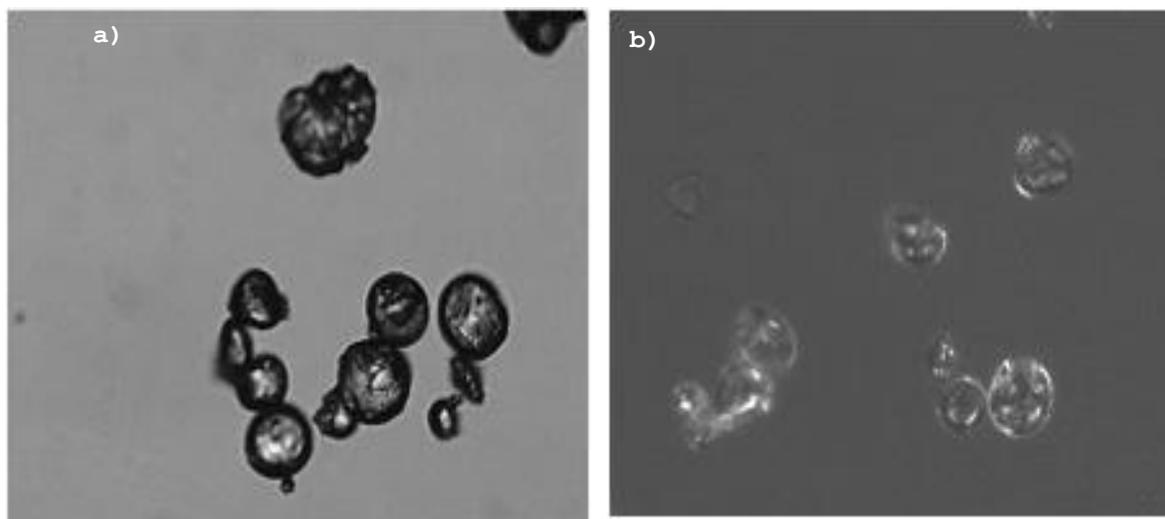


Figura 5. Micrografía del almidón modificado con AA a) Luz Normal b) Luz Polarizada

no observarse la cruz de Malta. Della (2007), observó que la cristalinidad en los almidones acetilados de plátano va disminuyendo conforme el tiempo en la reacción se va aumentando. Otros estudios realizados en almidones de maíz acetilado, muestran que los almidones con bajo Grado de Sustitución muestran perfiles de cristalinidad similares al del nativo. Sin embargo cuando aumenta el GS la estructura cristalina del almidón es destruida (Xu *et al.*, 2004). Las propiedades térmicas de los almidones nativos y modificados, fueron evaluadas por medio de DSC. La temperatura ( $T_p$ ) y entalpía ( $\Delta H$ ) de gelatinización de los almidones nativos y acetilados se presenta en la tabla 3.

Se puede observar que hay una disminución en cuanto a las temperaturas de los almidones modificados entre 6.4-12.9 °C con respecto a las temperaturas del AN. Mormoghtadaie *et al.* (2009), obtuvieron una reducción en los almidones acetilados de arroz y arroz ceroso. También observó una disminución en las  $T_i$  y  $T_c$  en almidones modificados de avena, esta disminución se debe al debilitamiento de las fuerzas intragranulares e rango; esto mismo ocurre a los catorce días de retrogradación, la variación no muestra variaciones significativas. En cuanto a la entalpía de gelatinización se puede observar una disminución en los almidones derivatizados, siendo de 4.84 J g<sup>-1</sup> para el almidón acetilado con VA y menor en el

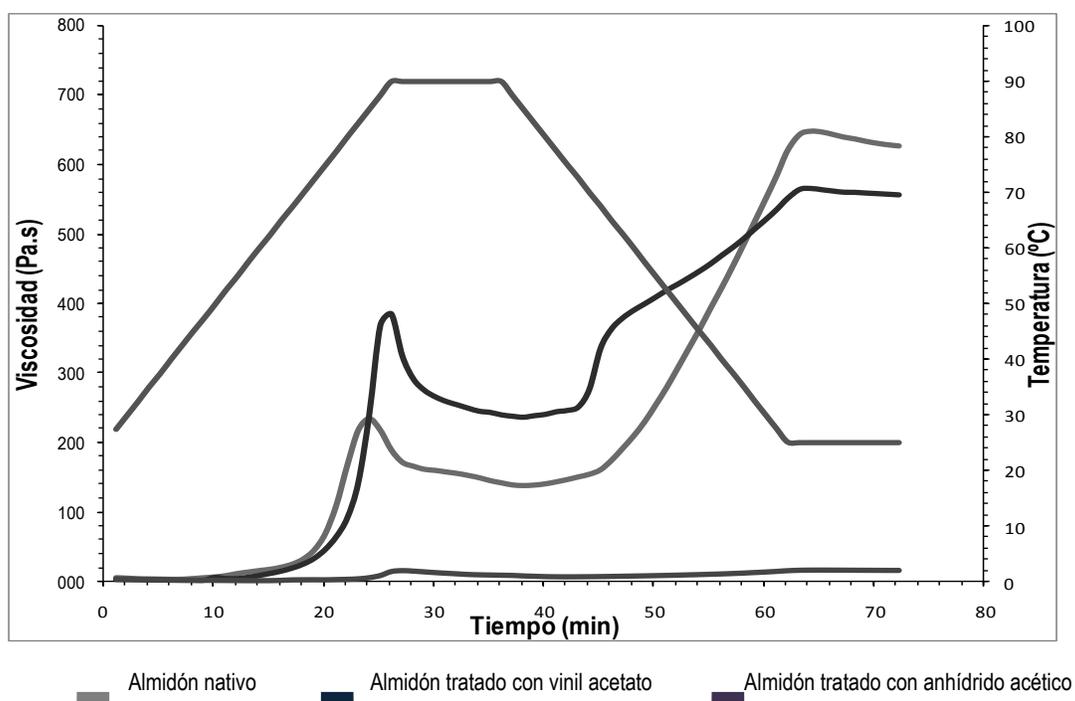
almidón tratado con AA de 2.36 J g<sup>-1</sup>. Esto se atribuye a que durante la modificación el gránulo sufre daño y va perdiendo su organización, lo cual provoca que disminuya la cantidad de energía necesaria para realizarse la transición de fase (Della, 2007). Lawal (2004), observó una reducción en la entalpía de gelatinización después del segundo y séptimo día, entre las muestras de almidón derivatizados el más alto nivel de reducción se observó en el almidón acetilado después del segundo y séptimo día. La recrystalización de las moléculas de almidón se produjo durante el almacenamiento congelado y el recalentamiento del gel en un DSC produjo una transición endotérmica que estaba ausente en las primeras muestras.

Los perfiles de viscosidad de los almidones nativos y acetilados, se muestran en la figura 6, se observa que el pico de viscosidad del AN se encuentra por debajo del de los almidones tratados con acetatos. El almidón modificado con AA muestra un pico de viscosidad de 386 Pa.s a una temperatura de 90 °C, mientras que el pico de viscosidad del almidón tratado con VA se encuentra en 234 Pa.s a una temperatura de 82.5 °C. Esto se debe a que la acetilación causa daño en los gránulos de almidón. Rincón *et al.* (2007), obtuvieron en almidones acetilados de fruto de Pan un incremento en los valores de viscosidad a una temperatura inicial de gelatinización de 69.3 °C. También observaron un aumento en los picos de viscosidad de almidones cerosos de arroz modificados por acetilación a

**Tabla 3. Análisis térmico del almidón modificado.**

Almidón	Gelatinización			Retrogradación (7 días)			Retrogradación (14 días)			
	Nativo	VA	AA	Nativo	VA	AA	Nativo	VA	AA	
Cebada	$T_i$	55.52±0.35	49.96±0.21	48.05±0.19	55.07±0.14	49.96±0.17	44.18±0.48	55.89±0.06	46.56±1.38	46.65±1.40
	$T_p$	59.48±0.10	54.17±0.02	52.58±0.20	59.38±0.14	54.17±0.01	49.65±1.40	59.13±0.13	51.28±1.12	51.63±0.96
	$T_f$	77.20±0.94	66.54±0.34	61.90±0.51	74.77±1.89	66.54±0.28	59.63±0.96	76.47±0.83	63.58±0.19	61.51±0.49
	$\Delta H$	7.65±0.14	4.84±0.11	2.36±0.14	8.26±0.68	4.84±0.09	2.76±0.32	7.87±0.31	5.39±0.16	2.47±0.14

VA (Vinil Acetato)      AA (Anhídrido Acético)      ± Error estándar.



**Figura 6. Perfil de viscosidad de los almidones modificados.**

menores temperaturas que los AN.

El AN mostró señales por FTIR que corresponden a la elongación (estiramiento) de los principales grupos característicos de la molécula de almidón (Figura 7) lo que coincide con lo que señalan algunos autores (Xu *et al.*, 2004; Mano *et al.*, 2003; Guerra *et al.*, 2008). De igual manera, las muestras acetiladas presentaron también señales en el intervalo de 900-1280  $\text{cm}^{-1}$ , que corresponde al estiramiento del enlace C-O (Figuras 8 y 9). Se puede observar que la señal que aparece aproximadamente a 1255  $\text{cm}^{-1}$  corresponde

específicamente al estiramiento del enlace C-O de los grupos acetilo lo cual han confirmado y discutido algunos autores (Mano *et al.*, 2003). Esta señal fue mayor cuando la reacción se llevó a cabo con AA (Figura 8) debido al aumento en el GS; esto permite corroborar la mayor reactividad del AA en comparación con el VA. Guerra *et al.* (2008), han reportado esta señal en 1226  $\text{cm}^{-1}$  para el almidón de plátano acetilado; en este estudio, para el almidón de cebada acetilado, se puede reportar como señal típica esta que aparece a 1255  $\text{cm}^{-1}$ , ligeramente desplazada a mayores número de ondas

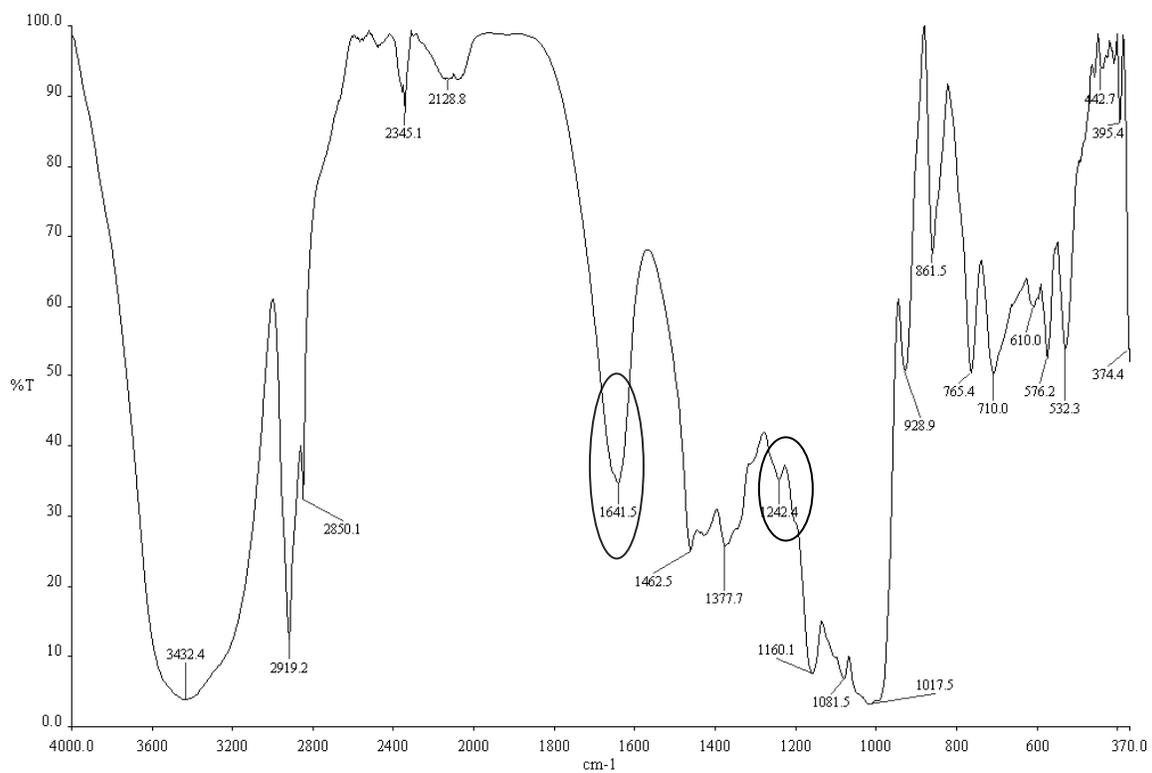


Figura 7. Análisis por FTIR del AN de cebada.

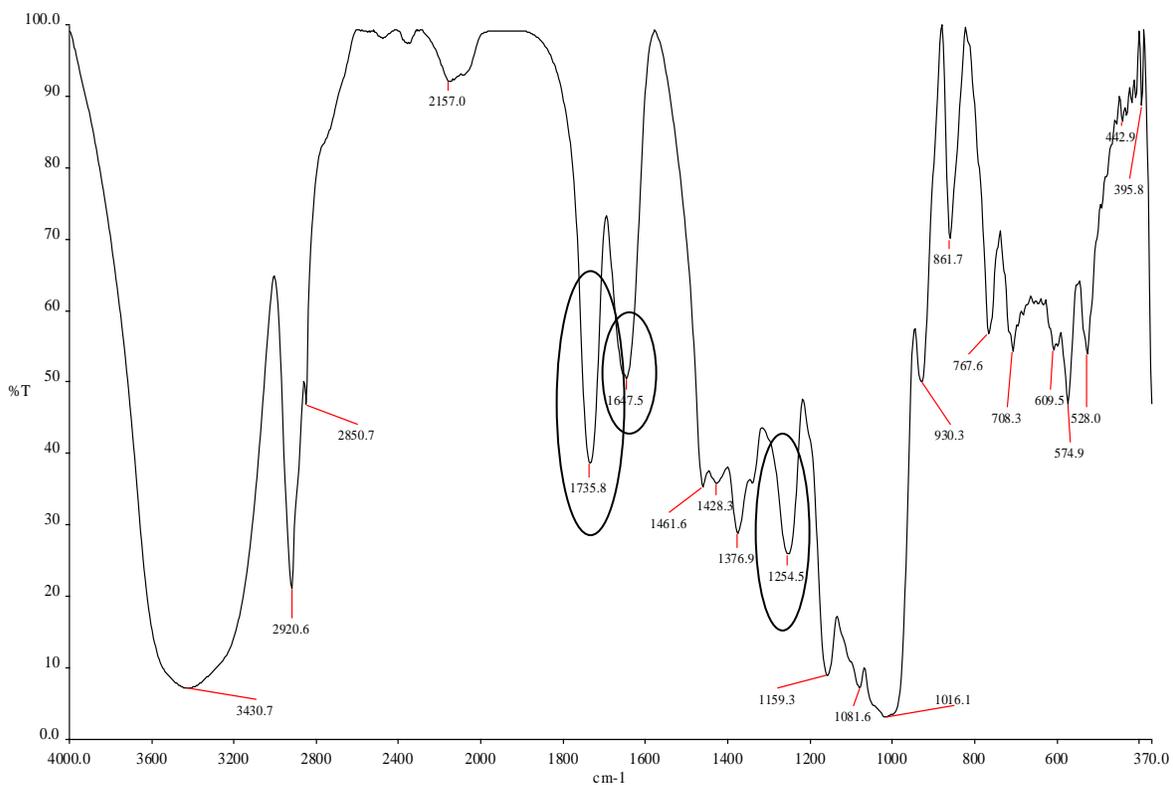


Figura 8. Análisis por FTIR del AN acetilado con VA.

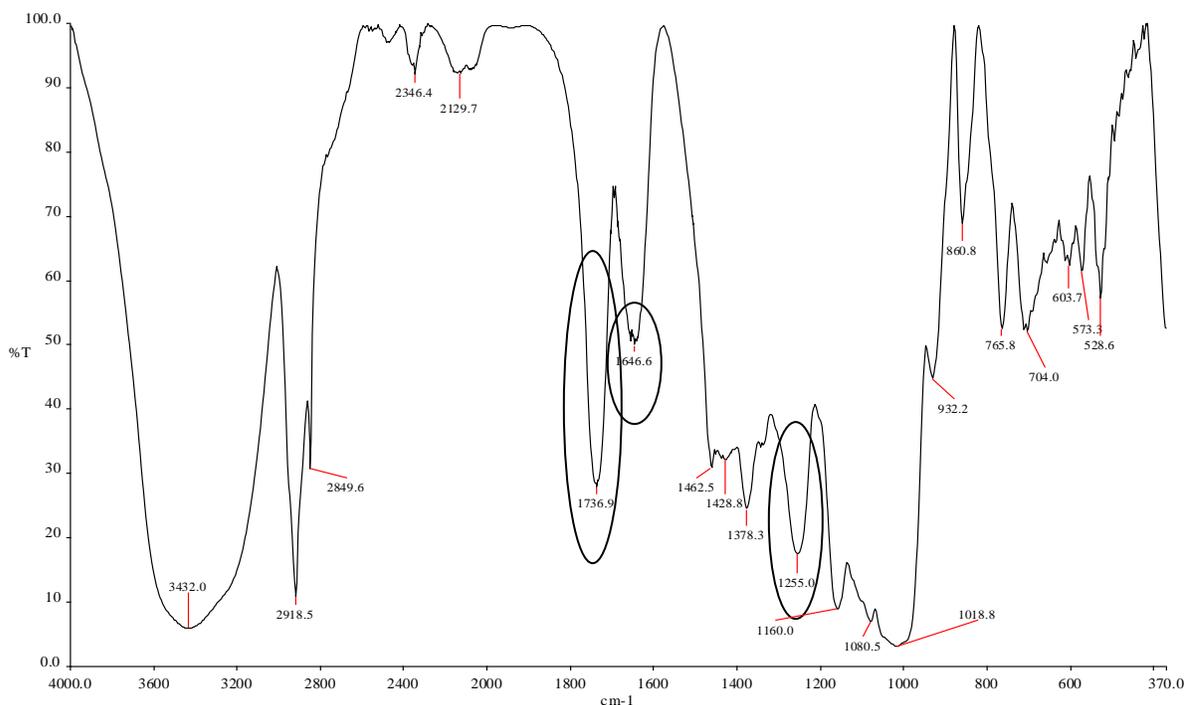


Figura 9. Análisis por FTIR del AN acetilado con AA.

Cuando se produce la reacción de acetilación en la molécula de almidón, se observa una disminución (acortamiento) en las señales que corresponden a las vibraciones por estiramiento o tensión (entre 3000-3900  $\text{cm}^{-1}$ ) y a las vibraciones por flexión ( $\approx 1650 \text{ cm}^{-1}$ ) de los grupos -OH (más notable en esta última vibración). Esto es debido a la introducción de grupos aceto en el almidón, que propician un cierto efecto estérico a las vibraciones por flexión, corroborando que la acetilación se efectuó en las muestras analizadas.

Además, se observó un incremento en la señal a 1730-1740  $\text{cm}^{-1}$  en el almidón de cebada modificado (indicado con flechas). Esta señal es característica para el almidón acetilado y se corresponde con reportes de la bibliografía consultada y se señala en las figuras 8 y 9 (Della, 2007; Xu *et al.*, 2004; Guerra *et al.*, 2008). Guerra *et al.* (2008), también reportan esta señal para el almidón de plátano acetilado e indican que se hace mayor, cuanto mayor es el tiempo en que se lleva a cabo la reacción. En este trabajo se observó además que en el almidón acetilado con AA (Figura 8) es más intensa esta señal, lo que corrobora la mayor

reactividad del anhídrido acético con respecto al acetato de vinilo en el proceso de acetilación del almidón.

### Conclusiones

El rendimiento obtenido hace posible la utilización de cebada forrajera como una buena fuente de obtención de almidón para su uso industrial. Al realizarse la modificación se obtuvieron almidones con bajos valores de GS, lo que demuestra que estos almidones acetilados pueden ser utilizados en la industria alimentaria como aditivos, ya que se encuentran dentro del rango permitido por la FDA.

El análisis morfológico mostró que el almidón tratado con VA durante la reacción de modificación no sufrió daño en su superficie, en cambio en el almidón tratado con AA los gránulos sufren un cierto daño debido a la modificación. En el análisis térmico se evidencian los cambios sufridos por la modificación en los almidones, ya que se disminuye su temperatura de gelatinización, así como la energía necesaria para que se lleve a cabo la transición de fases.

Otros análisis como espectroscopia de infrarrojo (FTIR), microscopía electrónica de barrido (MEB) o el análisis del tamaño de partículas, han permitido caracterizar los productos modificados por acetilación y su comparación con el almidón nativo. Por el análisis reológico se determinó que al modificar los almidones por métodos químicos, se afecta la estructura.

## Bibliografía

- de Graaf, R.A., Broekroelofs, G.A., Janssen, L.P.B.M., Beenackers, A.A.C.M. 1995. The kinetics of the acetylation of gelatinized potato starch. *Carbohydrate Polymers*, 28: 137-144.
- Della, V.D. 2007. Efecto del nivel de acetilación en las características morfológicas y moleculares del almidón de plátano (*Musa paradisiaca* L). Tesis de maestría del Centro de Desarrollo de Productos Bióticos de Yauatepec, Morelos.
- Fox, B.A., Cameron, A.G. 2002. *Ciencias de los Alimentos, Nutrición y Salud*. Editorial Limusa. Grupo Noriega Editores. P.150-171.
- Guerra-Dellavalle, D., Bello-Pérez, L.A., González-Soto, R.A., Solorza-Feria, J., Arámbula-Villa, G. 2008. Efecto del tiempo de reacción en la acetilación de almidón de plátano. *Revista Mexicana de Ingeniería Química*. Vol. 7(3).
- Heins, D., Kulicke, W.M., Käuper, P., Thielking, H. 1998. Characterization of acetyl starch by means of NMR spectroscopy and SEC/MALLS in comparison with hydroxyethyl starch. *Starch/Stärke*, 50(10): 431-437.
- Huang, J., Schols, H.A., Klaver, R., Jin, Z., Sulmann, E., Voragen, A.G.J. 2007. Characterization of differently sized granule fraction of yellow pea, cowpea and chickpea starches after modification with acetic anhydride and vinyl acetate. *Carbohydrate polymers*, 67:11-20.
- Lawal, O.S. 2004. Succinyl and acetyl Starch derivatives of a hybrid maize. Physicochemical characteristic and retrogradation properties monitored by DSC. *Carbohydrate Reserch* 339 2673-2682.
- Mano J.F., Koniarova D., Reis R.L. 2003. Thermal properties of thermoplastic starch/synthetic polymer blends with potential biomedical applicability. *Journal of Materials Science* 14, 127-135.
- Mormoghtadaie, L., Kadivar, M., Shahedi, M. 2009. Effects of cross-linking and acetylation on oat starch properties. *Food Chemistry* 116, 709-713.
- Pushpamalar, V., Langford S.J., Ahmad, M., Lim Y.Y. 2006. Optimization of reaction conditions for preparing carboxymethyl cellulose from sago waste. *Arbohydrate Polymers* 64: 312-18.
- Rincón, M.A., Rached, B.L., Aragoza, L.E., Padilla, F. 2007. Efecto de la acetilación y oxidación sobre algunas propiedades del almidón de semillas de Fruto de pan (*Artocarpus altilis*). *ARCHIVOS LATINOAMERICANOS DE NUTRICIÓN*. Organó Oficial de la Sociedad Latinoamericana de Nutrición. Vol. 57, No. 3
- Xu Y., Miladinov, V., Hanna, M.A. 2004. Synthesis and characterization of starch acetates with high substitution. *Cereal Chemistry*, 81: 735-740.