

## Degradación física del almidón de cebada (*Hordeum sativum* Jess). Correlación entre la gelatinización y el tamaño de gránulos

Judith Prieto Méndez<sup>1</sup>, Carmen U. Rubio Hinojosa<sup>1</sup>, Alma D. Román Gutiérrez<sup>1</sup>,  
María A. Méndez Marzo<sup>2</sup>, César A. González Ramírez<sup>1</sup> y Francisco Prieto García<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Centro de Investigaciones Químicas, Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo - México.

<sup>2</sup>Centro de Investigaciones en Materiales y Metalurgia, Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo - México. E-mail: jud\_292003@yahoo.com.mx; prietog@uaeh.edu.mx

### Resumen

El objetivo del trabajo es evaluar la degradación del almidón extraído de la cebada (*Hordeum sativum* Jess.) mediante el seguimiento de la gelatinización. Se evaluó el tamaño de gránulos de almidón y se realizaron valoraciones de microfotografías. Se obtuvo rendimientos de extracción del almidón, con o sin cáscara, del orden del 60%. El tamaño de gránulos fue de aproximadamente 20 $\mu$ m. El proceso de extracción a partir del grano con cáscara o perlado no mostró diferencias significativas lo cual indica la posibilidad de resultados similares con menos costos. Se corroboró que la gelatinización de estos almidones inicia a temperaturas superiores de 35°C y alcanza su máxima expresión alrededor de los 75°C. Esto permite valorar la medición del proceso de hinchamiento y degradación de los almidones mediante la variación del tamaño y distribución de los gránulos de almidón al igual que la valoración de las morfologías de la destrucción granular, en lugar del seguimiento de la viscosidad.

**Palabras clave:** Almidón, hinchamiento, tamaño de gránulo, morfología.

# Degradation of Barley Starch (*Hordeum sativum* Jess). Correlation Between the Gelatinisation and the Size of Grains

## Abstract

The objective of this work has been to evaluate the extracted grain degradation starch of the barley (*Hordeum sativum* Jess.) by means of the pursuit of the gelatinization. One evaluated on the base of measurements of sizes of starch grains and valuations of microphotographies. With yields of extraction of the starch of barley (with or without rind) of the order of 60%, the sizes of starch grains approximately turned out to be from 20  $\mu\text{m}$ . The process of extraction from the grain with preload rind or did not show significant differences which indicates the possibility of similar results with less costs. It was corroborated that the gelatinization of these starches initiates to superior temperatures of 35°C and reaches its Maxima expression around 75°C. This study has allowed the potentiality to evaluate the process of swelling and degradation of starches by means of the variations of the sizes and distribution of starch grains instead of the pursuit of viscosity, as well as to value the morphologies of its granular destruction.

**Key words:** Starch, swelling, size of grain, morphology.

## Introducción

El almidón es la sustancia de reserva alimenticia predominante en las plantas, y proporciona el 70-80% de las calorías consumidas por los humanos de todo el mundo. Tanto el almidón como los productos de la hidrólisis del polímero, constituyen la mayor parte de los carbohidratos digeribles de la dieta habitual. El almidón se utiliza en la industria alimenticia, especialmente en la manufactura de las harinas y en la producción de pan [8].

Se reportan técnicas de aislamiento o extracción de almidón, independientemente del tipo de fuente o fruto que se tenga; así reportan Bello y colaboradores [2] la extracción de almidón a partir del fruto de plátano (*Musa paradisiaca*) en estado inmaduro (plátano verde), tanto sin cáscara como con cáscara; también reportan Torres y colaboradores una técnica similar para aislar almidón de yuca (*Manihot esculenta*).

Comercialmente se obtienen de las semillas de cereales como maíz, maíz céreo, maíz rico en amilosa, trigo, varios tipos de arroz, y de algunas raíces y tubérculos, particularmente de patata, batata y tapioca. Tanto los almidones nativos como los modificados tienen un número enorme de posibles aplicaciones en los alimentos: adhesivo, ligante,

enturbiantes, formador de películas, estabilizante de espumas, agente antienviejecimiento de pan, gelificante, glaseante, humectante, texturizante y espesante [10].

El almidón está organizado en partículas discretas conocidas como gránulos, cuya morfología, composición química y estructura supermolecular (arreglo relativo de las macromoléculas en el estado sólido), son características de cada especie. La variación del tamaño de los gránulos de almidón varía desde 0.5 a 100  $\mu\text{m}$ . Los más grandes están presentes en la papa (15 a 100  $\mu\text{m}$ ) [16] y los más pequeños en las especies de amaranto (0.8 a 2.5  $\mu\text{m}$ ) [18]. El tamaño de partículas, incluyendo la distribución de tamaños, es una de las características que más afectan las propiedades funcionales de los gránulos de almidón. Se ha reportado que los gránulos pequeños tienen una mayor solubilidad en agua y una alta capacidad de absorción de agua [20]. En almidón de trigo se ha reportado que los gránulos más pequeños son más digeribles y tienen un menor contenido de amilasa [21].

Los gránulos de almidón son relativamente densos e insolubles; se hidratan muy mal en agua fría. Pueden dispersarse en agua, dando lugar a la formación de suspensiones de baja viscosidad que pueden mezclarse y bombearse fácilmente, incluso a concentraciones mayores del

35%. El trigo, el centeno y la cebada tienen dos tipos de granos de almidón: los grandes lenticulares y los pequeños esféricos. En la cebada, los granos lenticulares se forman durante los primeros 15 días después de la polinización. Los gránulos pequeños representan un total de 88% del número de granos, aparecen a los 18-30 días posteriores a la polinización [11].

El almidón es una mezcla de dos polisacáridos muy similares, la amilosa y la amilopectina; contienen regiones cristalinas y no cristalinas en capas alternadas. Puesto que la cristalinidad es producida por el ordenamiento de las cadenas de amilopectina, los gránulos de almidón céreo, tienen similar grado de cristalinidad a los almidones nativos [12]. Todos los almidones están constituidos de una o ambas de estas moléculas. Sin embargo, la relación de una a otra varía. El almidón de maíz tiene aproximadamente 25-28% de amilosa y el remanente está constituido por amilopectina. La tapioca tiene aproximadamente 17% de amilosa, la patata tiene aproximadamente 20% de amilosa y el maíz "waxy o ceroso" virtualmente no tiene amilosa [13]. Como puede predecirse, las propiedades con y sin cocción de estos almidones, varían de acuerdo con la relación de amilosa y amilopectina (Tabla 1).

Se conoce que la amilopectina y tal vez, también la amilosa, están arregladas de manera tal que se orientan hacia la superficie del gránulo [7]. Algunas evidencias indican que la amilopectina se encuentra dentro del gránulo separada de la amilosa, ya que por ejemplo, la amilosa se separa fácilmente del gránulo en agua caliente, así como que el yodo, la glicerina y otros agentes forman complejos fácilmente con la amilosa [23].

Los gránulos de almidón pueden reconocerse por su forma, tamaño, posición del hilio, punto original a partir del cual ocurre el crecimiento del gránulo y temperatura de gelatinización y degradación. Los almidones de tubérculos son generalmente voluminosos y helicoidales con hilio excéntrico. Otros son esféricos o hemiesféricos truncados o poliédricos como los de sorgo, avena y tapioca o polimórficos como los de los cereales. Cuando los gránulos de almidón se encuentran libres de una matriz de proteínas, la superficie no dañada es relativamente suave sin presentar presencia de poros o fracturas. Bajo la luz polarizada, los gránulos presentan la apariencia de esferocristales. El signo de birrefringencia es positivo, lo cual implica que existe un alto grado de orientación molecular dentro del gránulo sin refringencia a ninguna forma cristalina [16].

En los últimos años ha cobrado gran interés el estudio de las propiedades mecánicas fundamentales de suspen-

Tabla 1. Contenido de amilosa/amilopectina de los almidones 4.

Producto	Amilosa	Amilopectina
Maíz	25%	75%
Maíz ceroso	%	99%
Tapioca	17%	83%
Patata	20%	80%
Alta amilosa	55-70%	45-30%
Trigo	25%	75%
Arroz	19%	81%

siones de almidón y geles, con el propósito de identificar la relación entre las propiedades físicas de la estructura de estos materiales. La investigación sobre el comportamiento termomecánico de los polisacáridos en forma pura o a partir de los alimentos que los contienen es de gran importancia para determinar las propiedades reológicas del almidón.

Estos estudios ayudan a entender y predecir propiedades como texturas, condiciones de flujo durante los procesamientos al igual que la predicción del tiempo de vida media y atributos de calidad de los productos que contienen almidón. En la mayoría de los casos, las dispersiones acuosas de polisacáridos muestran respuesta reológica [5]. También se conoce que almidones con elevados contenidos de amilopectina, incrementan su viscosidad cuando se eleva la temperatura por encima de la temperatura de gelatinización, debido a la naturaleza ramificada de la amilopectina [5]. Una figura que permite ilustrar las modificaciones de las estructuras granulares de los almidones nativos con la temperatura y la viscosidad es la que reportan algunos autores y se observa en la Figura 1.

Un perfil térmico típico que se obtiene de un equipo de calorimetría diferencial de barrido, muestra transiciones (endotermas) a bajas temperaturas (generalmente menores de 90°C), que reflejan el efecto calor-humedad que induce el fenómeno orden-desorden de los cristales de la amilopectina; a temperaturas superiores (entre 100-120°C) se suele apreciar otra endoterma que ha sido atribuida a la desorganización del complejo amilosa-lípido. Esta última endoterma no ha sido observada en almidones cerosos. Esta técnica se ha aplicado para evaluar el efecto de la amilasa, amilopectina, azúcares y agua sobre la gelatinización [5].

Los gránulos de almidón son insolubles en agua fría, pero pueden embeber agua de manera reversible; es decir, pueden hincharse ligeramente con el agua y volver luego al

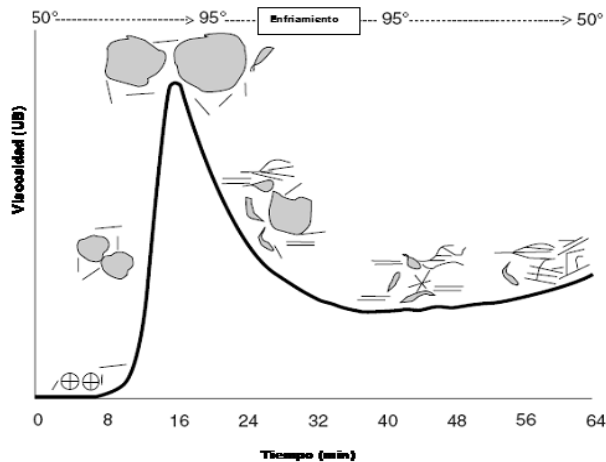


Figura 1. Variación de la viscosidad de los gránulos de almidón en el tiempo y con la temperatura 14, 15.

tamaño original al secarse; las propiedades ópticas no se pierden (por ejemplo la birrefringencia). Sin embargo, cuando se calientan en agua, los gránulos de almidón sufren el proceso denominado gelatinización, que es la ruptura de la ordenación de las moléculas en los gránulos. Durante la gelatinización se produce la lixiviación de la amilosa, la gelatinización total se produce normalmente dentro de un intervalo más o menos amplio de temperatura, siendo los gránulos más grandes los que primero gelatinizan [14].

El poder de hinchamiento se relaciona con la capacidad de adsorción de agua de cada almidón. Los almidones nativos son insolubles en agua por debajo de su temperatura de gelatinización. Cuando estos gránulos son calentados progresivamente en agua a temperaturas más altas, se alcanza un punto donde comienza a hincharse irreversiblemente. Al hincharse estos gránulos de almidón aumentan la viscosidad de la pasta, permitiendo saber el poder de espesamiento de este compuesto. Por lo que se observa en la Tabla 2, el almidón obtenido de la mandioca (yuca en algunos países del Caribe) tiene un poder de hinchamiento casi 3.4 veces mayor que el almidón de trigo; 2.9 veces más que el de maíz y 1.1 veces más que el almidón de maíz waxy o ceroso. Como se puede observar la capacidad de hinchamiento es proporcional a la temperatura de gelatinización, es decir a mayor temperatura de gelatinización los almidones muestran menores capacidades de hinchamiento [22].

Después de la gelatinización o formación de pastas de almidón, las moléculas de amilosa y amilopectina se disuelven. Durante el enfriamiento la dispersión de almidón gelatinizado adquiere, dependiendo de la concentración,

Tabla 2. Temperaturas de gelatinización y capacidad de hinchamiento (calentados a 95°C) de gránulos de almidones de diferentes orígenes 17.

Almidones	Temperaturas de gelatinización (°C)	Capacidad de hinchamiento a 95°C de calentamiento
Patatas	60-65	153
Mandioca	60-65	71
Maíz waxy o ceroso	65-70	64
Maíz	75-80	24

una consistencia de pasta suave o gel. Cuando la pasta o gel se almacena por largos períodos de tiempo, las moléculas de amilosa tienen una tendencia fuerte a reasociarse a través de la formación de enlaces de hidrógeno con moléculas de amilosa adyacentes.

El grado de hinchamiento y desintegración del gránulo, al igual que la exudación de la amilosa, depende del tipo y concentración del almidón, temperatura, presencia de otros solutos y la agitación aplicada durante el calentamiento. En otras palabras, los gels de almidón están en estado metaestable de no equilibrio y por lo tanto sufren una transformación de su estructura al presentarse una agregación de cadenas y recristalización durante el almacenamiento [5]. Los cristales empiezan a formarse y eventualmente se presenta un incremento gradual en la rigidez del gel y una separación de fases entre el polímero y el solvente (sinéresis). De manera similar ha de ocurrir en el almidón de cebada. El objetivo de este estudio ha sido evaluar en el almidón extraído de la cebada maltera (*Hordeum sativum* Jess.), la degradación y modificación de los tamaños de gránulos por gelatinización a diferentes temperaturas.

## Materiales y Métodos

El aislamiento o extracción del almidón de cebada se basó en el método neutro, propuesto por Bello y colaboradores [3, 4] en amaranto y banana, con las modificaciones requeridas y adaptado para los granos de cebada. Este método es uno de los más utilizados para aislar el almidón ya que produce un mínimo de modificaciones a los almidones. Los granos de cebada de la variedad *Hordeum sativum* Jess adquiridos de la cosecha de primavera-verano 2007 en el Municipio de Apan, Estado de Hidalgo, se procesaron con cáscara y sin cáscara. El grano se lava inicialmente con agua destilada para eliminar el polvo y otras sustancias ad-

heridas al grano. Posteriormente, se remojaron en una solución reguladora de acetato de sodio 0.02 M (pH= 6.5), con sales de cloruro de mercurio 0.01 M en una relación de solución: grano de 1:2 (p/v) a 5°C, con agitación (50 rpm) en un agitador orbital por 24 horas, cambiando la solución a las 12 horas. Los granos suavizados se drenan, se lavan con agua y se preparan para moler.

Se colocaron en un vaso de precipitado de 4 litros con una solución antioxidante de ácido cítrico 0.3 % p/v con vista a evitar el contacto directo con oxígeno que pudiera provocar la oxidación de la pulpa a obtener. La relación de granos:solución fue de 1:1.5 p/v. Esta masa fue sometida a molienda húmeda, para lo cual se utilizó una licuadora casera convencional a máxima velocidad por tres minutos. Posteriormente la masa molida o licuada, se tamiza o criba sucesivamente a través de mallas 40, 100, 270 y 325; en cada tamizado se lava el residuo con agua destilada hasta comprobar que en el líquido de salida no existan partículas de almidón aparente. El sobrenadante obtenido del tamizado en cada malla o tamiz y las aguas del lavado, se pasan a centrifugación previo enfriamiento (5000xg, 30 min., temperatura de 5°C) en una centrifuga marca Veronesi Mod. SAT 130, con la finalidad de separar los sólidos (almidón) desechando el líquido obtenido de esta operación.

El precipitado presenta dos capas, la superior de aspecto mucilaginoso de color café y la inferior de color blanco que corresponde al almidón. Ambas capas se separan cuidadosamente con la ayuda de una espátula. Después de juntar los residuos blancos, se resuspenden en una solución de NaCl 0.1 M: tolueno (7:1 v/v) y se mantiene en agitación durante toda la noche. El tolueno retiene proteínas desnaturalizadas y grasas que son separados con tolueno fresco, las capas formadas con el tolueno se liberaron de los gránulos de almidón mediante varios lavados con agua destilada. Esta operación se repite tres veces [4] y finalmente se resuspende una vez más la pasta blanca de almidón en una solución 1:1 agua-éter etílico, se centrifuga y la pasta final se resuspende con una mínima cantidad de éter etílico y se pone a secar con circulación de aire hasta la eliminación total del éter. Posteriormente se congela a -30°C y se liofiliza, obteniéndose el almidón purificado.

La extracción o aislamiento del almidón de cebada se realizó de dos maneras, al grano descascarado y con cáscara. Esto se realizó para valorar las posibilidades de que las fibras de la cáscara se eliminen en su mayoría durante el cribado; esta forma de aislamiento con cáscara presupone un ahorro significativo de tiempo.

El almidón de cebada purificado se pregelatinizó para evaluar la dinámica de la viscosidad. Para llevar a cabo la pregelatinización de los almidones con cáscara (AEC) y descascarillado o perlado (AEP) se cocinaron y luego secados. La pregelatinización se realizó a diez (10) diferentes temperaturas desde 20°C hasta 105°C, con agitación magnética. A cada temperatura se mantuvo por 5 minutos y posteriormente se enfrió la solución gelatinosa y se llevó a medir la distribución y tamaños de gránulos. Esta determinación se realizó en un equipo analizador de tamaño de partículas por difracción de rayos láser LS13-320 Beckman Coulter. Se preparó una suspensión en proporción 1:20 p/v de la masa gelatinizada [19]. Todas las muestras se secaron posteriormente a vacío y se sometieron a una evaluación morfológica con un Microscopio Electrónico de Barrido de la firma JEOL, modelo JSM-6300; se trabajó a aumentos de X1000 y X2000 y distancias de 15 a 20 mm y 20 kV. Se utilizó además un almidón soluble grado reactivo (ASR) de la firma Beaker de 99% de pureza para comparación.

## Resultados y Discusión

De manera general se puede indicar que se alcanzaron rendimientos de extracción de los almidones de cebada con cáscara y sin cáscara similares y de alrededor del 60% (m/m). Esto indica la posibilidad de un uso alternativo para aquellas producciones de cebada que no reúnen la calidad maltera que se exige para la elaboración de cerveza.

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 [13]. 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 determinados a diferentes temperaturas y en correspondencia con el tamaño y distribución de los gránulos de almidón, se muestran en la Tabla 3.

A las temperaturas iniciales de 20°C y hasta 35°C, no se observó ninguna variación en el tamaño promedio de los gránulos del almidón 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 de almidón. Lo mismo se observó para el almidón soluble grado reactivo (ASR), a pesar de que su tamaño de gránulo promedio es unas tres veces mayor que el de los gránulos de almidón de cebada.

Tabla 3. Tamaño de gránulos de almidón ( $\mu\text{m}$ ) por tipos (%DSR)

Temperatura °C	ASR	AEP	AEC
20	60.56 (4.54)	19.76 (0.77)	19.54 (0,53)
35	60.56 (4.89)	19.76 (0.77)	19.54 (0.31)
<b>45</b>	<b>68.90 (4.51)</b>	<b>30.45 (1.05)</b>	<b>25.12 (0.79)</b>
55	135.70 (5.73)	49.56 (2.04)	30.15 (1.68)
65	185.90 (5.99)	88.60 (2.76)	36.65 (2.07)
<b>75</b>	<b>203.70 (6.07)</b>	<b>96.35 (3.21)</b>	<b>40.25 (2.16)</b>
85	198.60 (6.01)	94.60 (5.12)	34.56 (1.88)
95	116.30 (5.29)	42.60 (2.22)	28.70 (0.93)
100	110.35 (5.33)	39.20 (1.85)	27.00 (0,68)
105	112.6 (5.89)	37.60 (1.66)	26.50 (0,64)

ASR = Almidón Soluble Reactivo

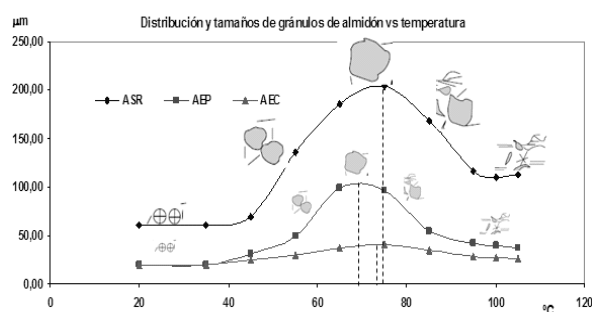
AEC = Almidón Esmeralda con Cáscara

AEP = Almidón Esmeralda Perlado.

El hinchamiento de los gránulos de almidón que se presenta, significa que el proceso de gelatinización se inicia a temperaturas superiores de 35°C. Inicialmente la gelatinización ocurre en las regiones del gránulo más accesibles que aparentemente, son las amorfas. Conforme la temperatura se incrementa los enlaces de hidrógeno intermoleculares que mantienen la integridad estructural de las regiones cristalinas, se destruyen. Las moléculas de agua solvatan los grupos hidroxilos liberados y el gránulo continúa hinchándose. Esto es lo que se observa en la tabla 3 entre 45°C y 75°C. Como consecuencia de una severa destrucción de los enlaces de hidrógeno, el gránulo se hidrata completamente y finalmente la malla miscelar se separa y difunde dentro del medio acuoso. Después de la destrucción de los gránulos, la viscosidad disminuye. Esta disminución de la viscosidad está relacionada con la disminución de los tamaños promedio de los gránulos como se aprecia en la tabla 3. El incremento de la viscosidad en las primeras etapas del calentamiento se debe principalmente a la liberación de la amilosa. En las últimas etapas, el incremento continuo de la viscosidad se debe a interacciones del material extragranular y al hinchamiento de los gránulos, tal como reportan algunos autores [13] y que coincide con las variaciones de los tamaños de gránulos de almidón evaluados.

Los resultados obtenidos y resumidos en la tabla 3 muestran concordancia con las consideraciones teóricas expuestas en las Figuras 1 y 2 con respecto al comportamiento de los gránulos de cebada a las diferentes temperaturas.

El ASR alcanza el máximo de volumen (correspondiendo al máximo grado de hinchamiento) aproximadamente a 78,0°C (alcanza un tamaño de gránulo de 203,7  $\mu\text{m}$ ); por su



Legenda: ASR= Almidón Soluble Reactivo; AEC= Almidón Esmeralda con Cáscara; AEP= Almidón Esmeralda Perlado. Los diagramas que se ilustran representan una simulación

Figura 2. Variaciones de los tamaños de los gránulos de almidón de cebada por transformaciones debidas a cambios por gelatinización a diferentes temperaturas.

parte el AEP a 70°C (con un tamaño de 99,2  $\mu\text{m}$ ), en tanto que el AEC a 74°C (con un tamaño de 40,3  $\mu\text{m}$ ).

En la Figura 3a, b y c se muestran los patrones de tamaños y distribución de partículas (gránulos de almidón) para los almidones con cáscara (AEC), Perlado (AEP) y el almidón soluble reactivo (ASR), respectivamente.

Se observa que el tamaño promedio de los gránulos de almidón de la cebada con cáscara (AEC) o descararillado o perlado (AEP) es de aproximadamente de 20  $\mu\text{m}$ ; se observan además, algunos tamaños de partículas más pequeños (entre 2 y 6  $\mu\text{m}$ ). Una vez que se alcanza una temperatura de 55°C, se aprecia el inicio del proceso de la gelatinización y con ello las transformaciones de los gránulos (degradación). En este caso se inicia un proceso de hinchamiento en el cual los gránulos de almidón incrementan su

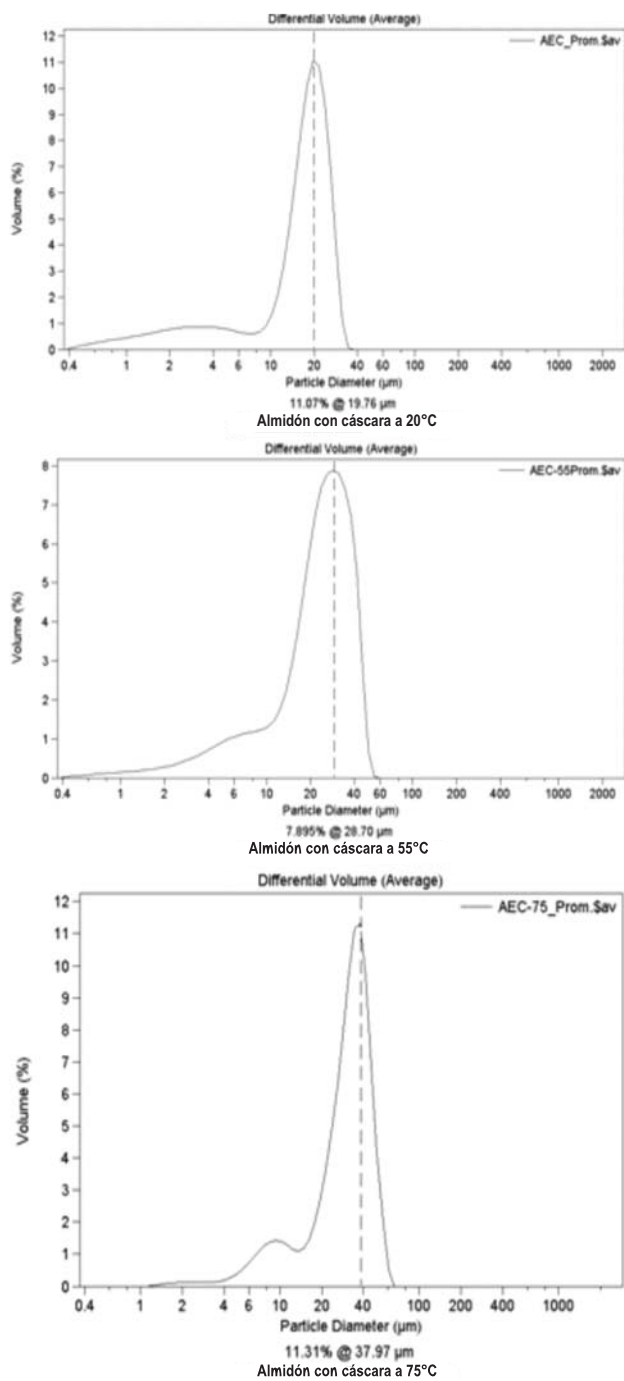


Figura 3a. Distribución y tamaños de los gránulos de almidón de cebada con cáscara (AEC) a temperaturas de 20°C, 55°C y 75°C.

tamaño. A los 75°C se alcanza el máximo tamaño de los gránulos que aproximadamente es el doble del inicial, y en correspondencia a lo indicado en la Figura 2.

La gelatinización del almidón es un proceso obligado como un pretratamiento ligado a la conversión del almi-

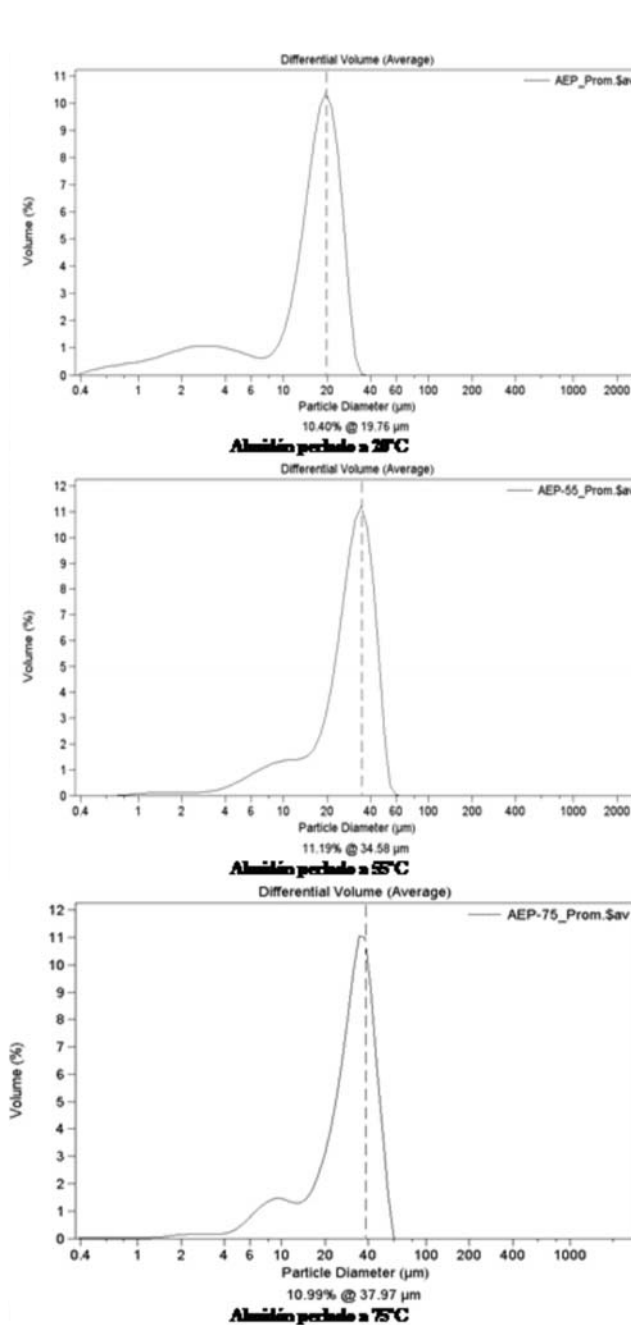


Figura 3b. Distribución y tamaños de los gránulos de almidón de cebada perlada (AEP) a temperaturas de 20°C, 55°C y 75°C.

dón nativo a diferentes productos procesados como maltodextrinas, glucosa y alcohol [15]. Los geles obtenidos una vez que el almidón ha sufrido la gelatinización presentan diversas propiedades, las cuales van a depender del contenido de amilosa y amilopectina. Al final se genera

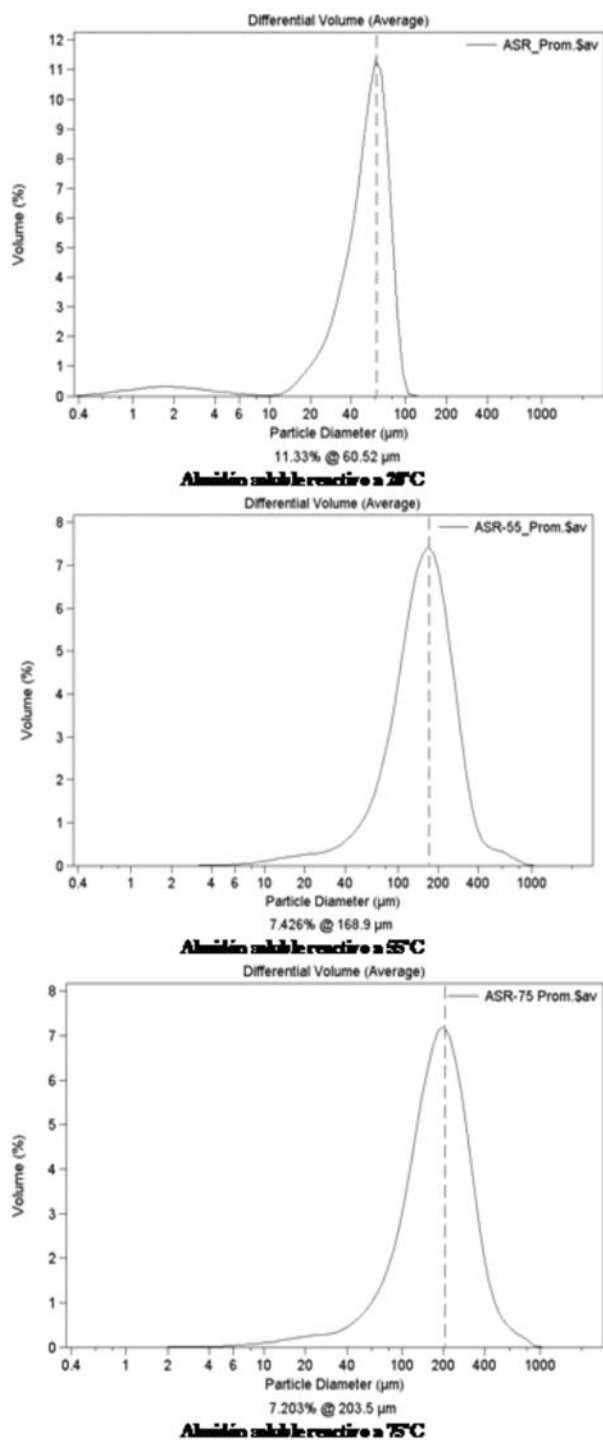


Figura 3c. Distribución y tamaños de los gránulos de almidón soluble grado reactivo (ASR) a temperaturas de 20°C, 55°C y 75°C.

una pasta en la que existen cadenas de amilosa de bajo peso molecular altamente hidratadas que rodean a los agregados, también hidratados.

Con la hidratación progresiva se rompen los más débiles enlaces de hidrógeno en las áreas amorfas [23], acabándose la estructura altamente orientada y cristalina que presentaba al inicio. Con el hinchamiento de la amilosa contenida en los gránulos, dichas moléculas son solubilizadas y permanecen en solución. Estas moléculas luego se reasociarán en agregados o a altas concentraciones formarán un gel [21]. Por tanto, la insolubilización y la precipitación espontánea, principalmente de las moléculas de amilosa, ocurre debido a que sus cadenas lineales se orientan paralelamente y accionan entre sí por puentes de hidrógeno a través de sus múltiples hidroxilos. Se puede efectuar por diversas rutas que dependen de la concentración y de la temperatura del sistema [7, 23].

En la Figura 4a, b y c, se muestran las microfotografías de los gránulos de almidón iniciales (extraídos), correspondiendo a la muestra AEC, AEP y ASR, respectivamente. A continuación se observan en la Figura 5a, b y c las mismas muestras, al término de la degradación (secadas posteriormente al tratamiento a 100°C). Las letras “R” y “D” que se indican en las microfotografías de las figuras 4 y 5 respectivamente, se refieren a las muestras reactivas (R) o iniciales y degradadas (D) o finales.

Se puede observar en la muestra de AEC inicial la presencia de otras impurezas que bien podrían ser fibras de la cáscara no separada totalmente, así como gránulos muy pequeños que podrían ser partículas de proteínas. La muestra AEP inicial indica igualmente presencia de gránulos de proteínas y se aprecia aparentemente más limpia. Esto permite corroborar que la extracción con cáscara al parecer logra reducir la presencia de cascarilla en el cribado aunque no de manera total. Las muestras degradadas indican la destrucción total de los gránulos y solo se observan las formas alargadas y de apariencia cristalina que pudieran corresponder a las moléculas de amilopectina, asociadas a otras partículas de apariencia amorfa (probablemente moléculas de amilosa).

Si se calienta una solución concentrada de amilosa y se enfría rápidamente hasta alcanzar la temperatura ambiente se forma un gel rígido y reversible, pero si las soluciones son diluidas, se vuelven opacas y precipitan cuando se dejan reposar y enfriar lentamente; esto se corresponde con lo señalado por Meneses y colaboradores [17] y Ceballos y colaboradores [9]. La retrogradación por ejemplo, está directamente relacionada con el envejecimiento del pan, las fracciones de amilosa o las secciones lineales de amilopectina que retrogradan, forman zonas con una organización cristalina muy rígida, que requiere de una alta



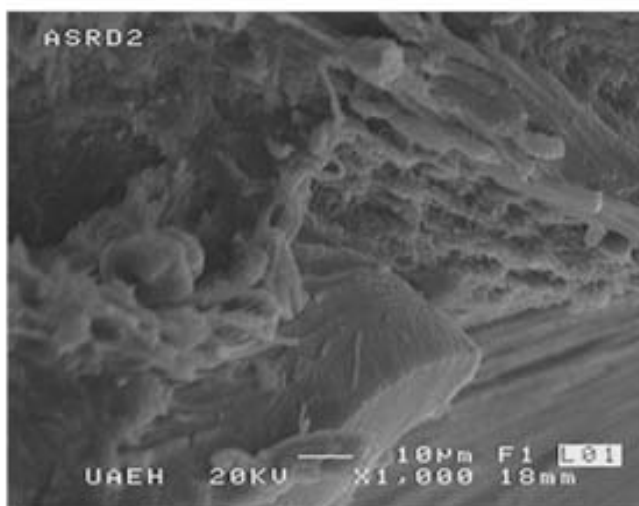
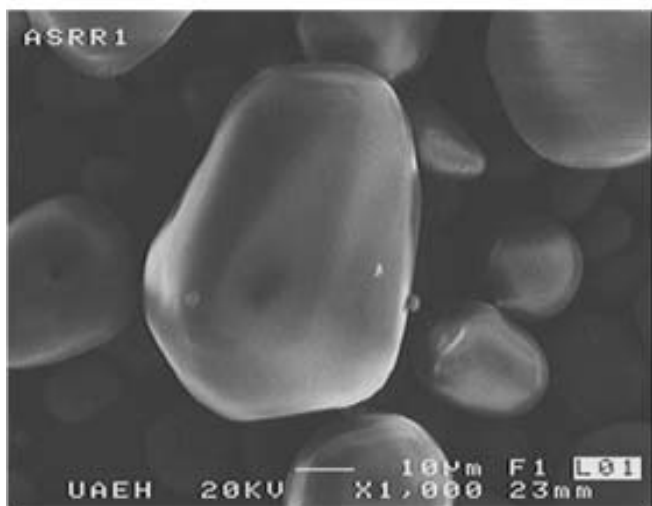
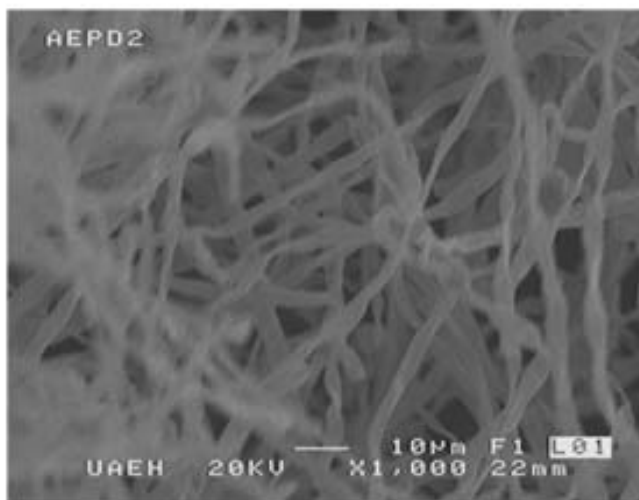
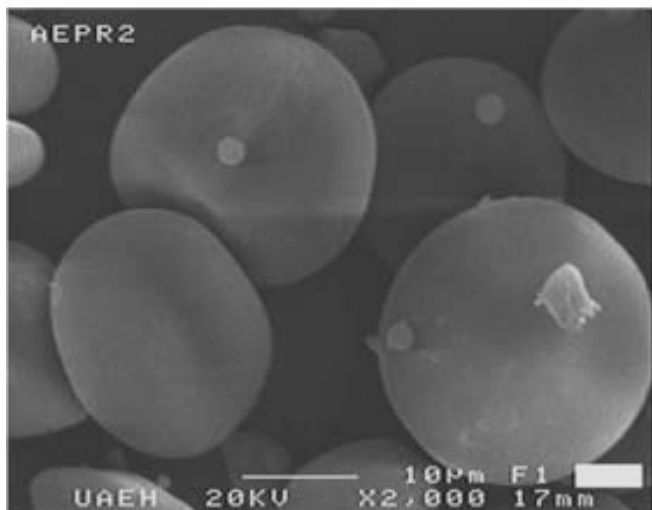
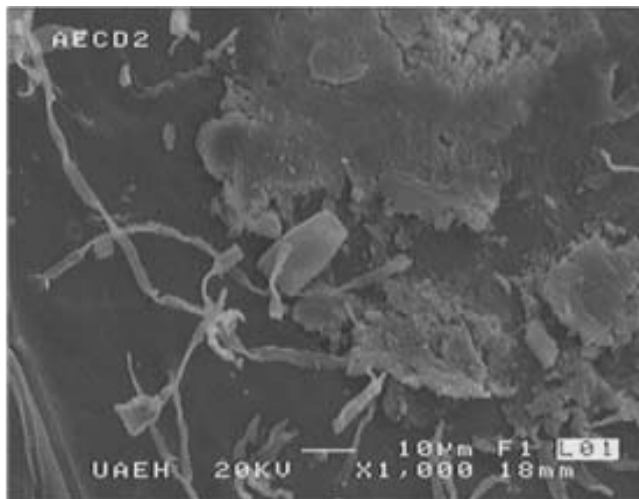
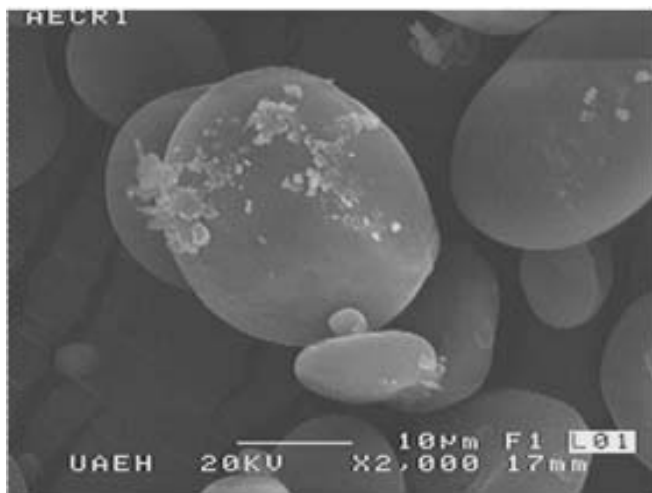


Figura 4. Microfotografías de gránulos de almidón antes de la degradación por temperaturas.

Figura 5. Microfotografías del almidón degradado, luego de 100°C.

energía para que se rompan y el almidón gelatinice. El poder de hinchamiento se relaciona con la capacidad de adsorción de agua de cada almidón. Los almidones nativos son insolubles en agua por debajo de su temperatura de gelatinización. Cuando estos gránulos son calentados progresivamente en agua a temperaturas más altas, se alcanza un punto donde comienza a hincharse irreversiblemente. Al hincharse estos gránulos de almidón aumentan la viscosidad de la pasta, permitiendo saber el poder de espesamiento de este compuesto [14]. Para el caso del almidón de cebada, podrá servir para evaluaciones posteriores de alternativas de usos en la industria alimentaria.

### Consideraciones Finales

Se obtuvo rendimientos de extracción de almidón de cebada en ambos métodos (con o sin cáscara) del orden del 60%, lo cual permite valorar un uso industrial alternativo para este cereal. Los tamaños de gránulos de las partículas de almidón resultaron ser de aproximadamente 20  $\mu\text{m}$ , el proceso de extracción a partir del grano con cáscara o perlado no mostró diferencias significativas lo cual corrobora la posibilidad de lograr resultados similares con menos costos (con cáscara directo). Se corrobora que la gelatinización de estos almidones se inicia a temperaturas superiores de 35°C y alcanza su máxima expresión alrededor de los 75°C. El presente estudio resalta el potencial de la evaluación del proceso de hinchamiento y degradación del almidón de cebada mediante el monitoreo de las variaciones del tamaño y distribución de los gránulos de almidón y su morfología como herramienta para seleccionar temperaturas de pregelatinización óptimas para procesos industriales específicos del almidón.

### Referencias

- [1] ATWELL, T. (1994). Starch, pp. 19-21. Chapter 2: **Starch Analysis Methods. En Ed. McGraw-Hill. USA.**
- [2] BELLO, L. A.; FARHAT, I. A.; PAREDES, O.; AGAMA, E.; ORTIZ, M. A. O. (2005). Aislamiento y caracterización del almidón de maíces pigmentados. *Agrociencia*, Vol. 39(4): 419-429.
- [3] BELLO, L. A.; PAREDES, O.; ROGER, P.; COLONNA, P. (1998). Amylopectin: Properties and fine structure. *Food Chemistry*, 56, 171-176.
- [4] BELLO, L. A.; PAREDES, O.; ROGER, P.; COLONNA, P. (1999). Macromolecular features of starches determined by aqueous high-performance size exclusion chromatography. *Cereal Chemistry*, 74, 161-169.
- [5] BELLO, L. A.; TOVAR, J. (2001). Actualización en Química y Nutrición del Almidón, pp. 13-14. En Editorial COFAA. Instituto Politécnico Nacional, CEPROBI, Morelos, México.
- [6] BERNAL, L.; MARTÍNEZ, E. (2006). Una nueva visión de la degradación del almidón. *Revista del Centro de Investigaciones. Universidad La Salle*, Vol. 7, 25: 77-90.
- [7] BILIADERIS, C. G.; PROKOPOWICH, D. J. (1994). Effect of polyhydroxi compounds on structure formation in waxy maize starch gels: a calorimetric study. *Carbohydrate Polymers*, 23, 193-202.
- [8] CALLEJO, M. DE J. (2002). Industria de cereales y derivados, pp. 313-325. En AMV Editorial, Ediciones y Mundo-Prensa. 1ª. Edición, Cap. 14, España.
- [9] CEBALLOS, H., SÁNCHEZ, T., MORANTE, N., FREGENE, M., DUFOUR, D., SMITH, A. M., DENYER, K., PÉREZ, J. C., CALLE, F., MESTRES, CH. (2007). Discovery of an Amylose-free Starch Mutant in Cassava (*Manihot esculenta* Crantz). *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, Published on Web 08/14/2007 page est: 7.2.
- [10] CHARLEY, H. (2000). Tecnología de alimentos. Procesos químicos y físicos en la preparación de alimentos, pp. 189-197, En Editorial Limusa. Noriega Editores, España.
- [11] DENDY, D. A.; DOBRASZCZYK, B. J. (2004). Cereales y productos derivados. Química y tecnología. pp. 87-107; 127-130; 341-358; 380-382; 389-394. En Editorial Acribia, S. A. México.
- [12] FENEMA. (2000). Química de los alimentos. pp. 276, 745-767, En 2ª Edición. Editorial acribia S.A. Zaragoza, España. *Revista EIA*, ISSN 1794-1237 Número 8, p. 57-67.
- [13] FOX, B.A.; CAMERON, A.G. (2002). Ciencia de los alimentos, nutrición y salud. Editorial Limusa. Grupo Noriega Editores p. 150-171.
- [14] HERRERA, A.; CANÓNICO, F.; RAMOS, G. (2003). Mecanismo de degradación en gránulos de almidón. *Superficies y Vacío*, 16: 10-16.
- [15] LEE, Y. C.; KIM, K. T. (1990). Gelatinization and liquefaction of starch with a heat stable -amylase. *Journal of Food Science*, 55, 1365-1366, 1372.
- [16] LINEBACK, D. R. (1984). The starch granule. Organization and properties. *Baker Digest*, March, 16-21.
- [17] MENESES, J., CORRALES, C. M., VALENCIA, M. (2008). Síntesis y caracterización de un polímero biodegradable a partir del almidón de yuca.
- [18] PAREDES LÓPEZ, O.; BARBA DE LA ROSA, A. P.; HERNÁNDEZ LÓPEZ, D.; CRABEZ TREJO, A. (1990). Amaranth, características alimentarias y aprovechamiento agroindustrial. Secretaría General de los Estados Unidos Americanos. Washington, D.C.
- [19] PRIETO, F.; FILARDO, S.; PÉREZ, E.; BELTRÁN, R. I.; ROMÁN, A. D.; MÉNDEZ, M. A. (2006). Caracterización física y química de semillas de opuntias (*Opuntia* spp.) culti-

- vadas en el Estado de Hidalgo, México. *Bioagro*, Vol.18(3), 163-169.
- [20] SINGHAL, R. S.; KULKARNI, P. R. (1988). Review: amaranths- an underutilized resource. *Internacional Journal of Food Science and Technology*, 23, 125-139.
- [21] TIAN, S.R.; RICHARD, J. E.; BLANSHARD, J. M. V. (1991). Physicochemical properties of sweet potato starch. *Journal of Science of Food Agricultura*, 57, 459-491.
- [22] TSCHEUSCHNER, H. D. (2001). Fundamentos de tecnología de los alimentos, pp. 14, En Editorial Acribia. Zaragoza, España.
- [23] ZOBEL, H. F. (1993). Starch Granule Structure. In *Developments in Carbohydrate Chemistry*. Eds. J. Alexander and H. F. Zobel. American Association of Cereal Chemist, St Paul Minnesota, 1-36.
-