



## CARACTERIZACIÓN DEL ALMIDÓN DE DOS VARIETADES DE SORGO DEL ESTADO DE TAMAULIPAS

Bustos Vázquez, Z. G.<sup>a,\*</sup>, Gómez Aldapa, C. A.<sup>b</sup>, Tellez Luis, S.J.<sup>a</sup> Jonguitd Pratt, L. E.<sup>a</sup>, Trejo Ramírez, P.M.<sup>a</sup>, Ochoa Martínez A.<sup>b</sup>, Castro Rosas J.<sup>c</sup>

<sup>a</sup> Universidad Autónoma de Tamaulipas. Unidad Académica Multidisciplinaria Reynosa-Aztlan, Calle 16 y Lago de Chapala, Colonia Aztlán, C.P. 88740, Reynosa, Tamaulipas, México.

<sup>b</sup> Instituto Tecnológico de Durango. Departamento de Bioquímica de Alimentos. Boulevard Felipe Pescador 1830 Oriente, C.P 34080, Durango, Durango, México.  
\* [zaira\\_44@hotmail.com](mailto:zaira_44@hotmail.com)

<sup>c</sup> Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo. Centro de Investigaciones Químicas. Carr. Pachuca-Tulancingo Km. 7.5, Col. Ciudad Univesitaria, C.P. 42076, Mineral de la Reforma, Hidalgo, México.

### RESUMEN:

Actualmente existe gran interés en la utilización del sorgo como fuente de energía y en la elaboración de alimentos. El objetivo del presente trabajo fue caracterizar las propiedades fisicoquímicas del almidón de dos variedades de sorgo (rojo y blanco) cultivadas en el Estado de Tamaulipas. Previo a la obtención del almidón nativo se estudiaron las propiedades físicas de ambos granos de sorgo, posteriormente se aisló el almidón presente en ambas variedades. A los almidones nativos se les determinaron las propiedades estructurales, térmicas y morfológicas, utilizando microscopía óptica, microscopía electrónica de barrido de bajo vacío (LV-SEM), distribución de tamaño de partícula, calorimetría diferencial de barrido (DSC) y difracción de rayos X. Asimismo se evaluó la relación del contenido amilosa-amilopectina. Las propiedades fisicoquímicas y funcionales del almidón mencionadas anteriormente presentes en las dos variedades de sorgo, dependen del tamaño de partícula y el contenido de la relación amilosa-amilopectina que presentan estos almidones, ya que el almidón del sorgo blanco tiene un tamaño de partícula menor y de ahí que tenga una mayor heterogeneidad y nivel de compactación de los gránulos de almidón en el endospermo, en comparación con el almidón del sorgo rojo que presenta un mayor tamaño de partícula.

### ABSTRACT:

Nowadays it is currently great interest in the use of sorghum as a source of energy and food processing. The aim of this study was to characterize physicochemical properties of starch from two sorghum varieties (red and white) grown in the State of Tamaulipas. Prior to the acquisition of native starch there were studied physical properties of both sorghum grains, then the starch was isolated from both varieties. Native starches structural properties, thermal and morphological characteristics were determined, using optical microscopy, low vacuum scanning electron microscopy (LV-SEM), particle size distribution, differential scanning calorimetry (DSC) and X-ray diffraction. Also the amylose-amylopectin ratio was assessed. Physicochemical and functional properties of starch, as mentioned above, existing in both varieties of sorghum, depend on the particle size and content of amylose-amylopectin ratio presented by these starches, since white sorghum starch has a smaller particle size and hence to have a higher level of heterogeneity and



compaction of the starch granules in the endosperm, compared with red sorghum starch that has a higher particle size.

**Palabras clave:**

Almidón de sorgo, propiedades funcionales, propiedades fisicoquímicas.

**INTRODUCCIÓN**

El sorgo (*Sorghum bicolor* [L.] Moench) es el quinto cereal más importante en el mundo después del trigo, maíz, arroz y cebada. Este cereal se produce en Norteamérica, Sudamérica, Europa y Australia y se destina principalmente para alimento animal, sin embargo, actualmente el grano es usado para el consumo humano (Anglani, 1998). Este cereal ha incrementado su popularidad e importancia en el mundo desarrollado, ya que su principal ventaja agronómica se debe a que es más resistente a la sequía y a las altas temperaturas que el maíz. En México, Tamaulipas ocupa el primer lugar a nivel nacional en producción (SAGARPA/SIACON, 2004), también se han destacado por su volumen de producción histórica los estados de Guanajuato, Michoacán, Jalisco y Sonora.

Actualmente existe un gran interés en la utilización del sorgo como fuente de energía en la elaboración de alimentos para el consumo humano y/o animal, sustituyendo al trigo en la panificación y al maíz amarillo en la elaboración de alimentos concentrados (Valencia and Rooney, 2009). Adicionalmente, al ser considerado un cereal de poco uso industrial, resulta una materia prima de bajo costo. Este cereal puede ser utilizado como precursor de diversos productos biosintéticos a partir de la hidrólisis del almidón, el cual puede llevarse a cabo por medios ácidos y enzimáticos.

El almidón es el principal carbohidrato y componente del sorgo, constituye aproximadamente el 79% del peso del grano seco (Paul, 1990), presenta gránulos esféricos de tamaño que oscila entre 5 a 20  $\mu\text{m}$  de diámetro. Está compuesto de 70-80 % de amilopectina y 20-30 % de amilosa, siendo influenciada esta relación por factores ambientales y genéticos (Millán, 2004). Esta relación afecta las propiedades fisicoquímicas y funcionales del almidón. El contenido de amilosa afecta fuertemente la gelatinización y la retrogradación, la viscosidad y la gelación. Se ha encontrado que la estructura fina de la amilopectina (distribución de las cadenas) influencia en la gelatinización y las propiedades de retrogradación (Sang *et al.*, 2009) del almidón.

Motivo por el cual, el estudio de las propiedades fisicoquímicas del almidón de sorgo es necesario para lograr una mejor aplicación en la elaboración de alimentos a nivel industrial. En la actualidad, no existe un método específico para aislamiento de almidón de sorgo. El almidón puede ser obtenido por molienda húmeda, aunque los procedimientos requieren largos periodos de tiempo (24-96



horas) para completar el proceso de remojo para aflojar el núcleo (Park *et al.*, 2006).

El objetivo de esta investigación fue estudiar y caracterizar las propiedades fisicoquímicas y funcionales del almidón presente en dos variedades de sorgo (blanco y rojo), tomando como interés que este grano fue cosechado en el Estado de Tamaulipas. Dicha información puede ayudar a identificar el potencial de utilización de estos almidones en la alimentación humana y otras aplicaciones industriales.

## METODOLOGÍA

### Materiales

Para la realización del presente trabajo de investigación se utilizaron dos variedades de grano de sorgo (blanco y rojo), cosechados en distintas regiones del estado de Tamaulipas. Todas las muestras fueron almacenadas en recipientes herméticos hasta el momento de su análisis.

### Métodos

**Calidad física del sorgo:** La calidad física del grano de sorgo fue determinada por la densidad aparente y densidad real de acuerdo con el método descrito por Lazou (2007), determinándose de igual manera la dureza del grano usando un analizador de textura modelo TA-TX2 (Stable Micro Systems).

**Aislamiento del almidón:** Los almidones fueron aislados de los granos del sorgo de acuerdo con el método descrito por Adkins and Greenwood (1966) modificado por González *et al.*, (2003). El almidón obtenido se pesó y fue almacenado a temperatura ambiente hasta su posterior uso. El rendimiento del almidón aislado se determinó utilizando la ecuación de Ji *et al.*, (2004).

**Índice de solubilidad en agua (ISA) e índice de absorción de agua (IAA):** Esta técnica se realizó de acuerdo a Reyes *et al.*, (2002). Se colocaron 0.25 g de muestra y 3 mL de agua destilada en un tubo de centrifuga de 10 mL. La suspensión se homogenizó por 1 min a 25 °C e inmediatamente los tubos se centrifugaron a 3000 x g (6000 rpm) a 25 °C por 10 min. El gel sedimentado, se separó por decantación, vaciando el sobrenadante en un vaso de precipitado de 10 mL. Se registró el peso del tubo con el gel. El ISA se expresó como g de sólidos/g de sólidos originales y se calculó a partir del peso de los sólidos secos que se recuperaron al evaporar el sobrenadante a 105 °C ± 5 °C en una estufa (Fisher Scientific) durante 24 horas. El IAA se calculó mediante el peso del precipitado y se expresó como g de gel/g de sólidos.



**Distribución del tamaño de partícula:** El análisis de distribución de tamaño de partícula se realizó usando un Analizador Láser de Tamaño de Partícula marca Beckman Coulter (modelo LS 13 320) con precisión de  $\pm 1\%$  empleando estándares de calidad Beckman. Se suspendieron 0.5 g de muestra en agua desionizada en relación 50:1. Durante el análisis el equipo utilizó dos fuentes de luz: la fuente de luz principal que cuenta con Diodo de láser de 5 mWatts con una longitud de onda de 750 nm y fuente de luz secundaria que cuenta con una Lámpara de tungsteno-halógeno (PIDS) con longitud de onda de 450, 600 y 900 nm. En el análisis de las muestras se utilizó el modulo de análisis Universal de líquidos (ULM).

**Microscopía electrónica de barrido de bajo vacío (LV-SEM):** Las muestras se analizaron en un Microscopio Electrónico de bajo vacío modelo JEOL JSU-5600 LV. Las muestras se depositaron sobre una cinta de carbono de doble cara sin recubrimiento. Las condiciones bajo las cuales se observaron las muestras fueron: 2000X, 1000X y 500X, 15 KV, a bajo vacío para evitar sobrecarga de electrones secundarios sobre la muestra. Se tomaron 2 micrografías por muestra en una misma zona.

**Microscopía óptica:** 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. Los gránulos de almidón se seleccionaron al azar y la muestra fue observada en campo claro con un objetivo de 40x y 20x. Las imágenes obtenidas fueron analizadas utilizando el programa Sigma Scan Pro, versión 5.0.0.

**Cuantificación de la relación amilosa-amilopectina:** La cuantificación de Amilosa/Amilopectina se llevó a cabo mediante el kit de ensayo MEGAZYME INTERNATIONAL®, en estas determinaciones se emplearon entre 20 a 25 mg de muestra de almidón o harina y se siguió el procedimiento descrito en este kit.

**Calorimetría diferencial de barrido (DSC):** Para determinar las propiedades térmicas del almidón se utilizó un Calorímetro Diferencial de Barrido modelo 822E (Mettler Toledo). La calibración del DSC se realizó de acuerdo a los manuales de operación del equipo, utilizando como estándar Indio ( $T_0 = 156.6 \text{ }^\circ\text{C}$ ,  $\Delta H = 28.4 \text{ J/g}$ ). Se emplearon crisoles de aluminio estándar de 40  $\mu\text{L}$ , en cada crisol se colocaron aproximadamente 4 mg de almidón y se adiciono agua destilada hasta alcanzar una relación 1:4 (almidón/agua). Las muestras se evaluaron en el intervalo de 30 a 95  $^\circ\text{C}$  con una velocidad de calentamiento de 5  $^\circ\text{C}/\text{min}$ . Con la ayuda del software del equipo se obtuvo de cada termograma las temperaturas características: temperatura de inicio u "onset" ( $T_0$ ), temperatura máxima de pico "at peak" ( $T_p$ ), temperatura final "endset" ( $T_c$ ) y la entalpía " $\Delta H_g$ " (J/g).

**Difracción de rayos X:** Los patrones de difracción de rayos X se obtuvieron usando un equipo Siemens D 5000 operado con una diferencia de potencia de 35 KV<sub>a</sub> y una densidad de corriente de 15 mA, con una línea de radiación monocromática CuK $\alpha$  con  $\lambda = 1.5406 \text{ \AA}$ . Los datos fueron recolectados de 4 a 30° sobre la escala 2 $\theta$ , a una velocidad de 0.1 seg<sup>-1</sup> y un tiempo de conteo por paso angular de 5 segundos. Los Difractogramas se analizaron usando el método propuesto por Rodríguez *et al.*, (1996).

**Análisis estadístico:** El análisis estadístico de los datos se realizó mediante un ANOVA de una sola vía usando el software Statistica versión 6.0 (Statsoft, Inc. 1997), trabajando con un 95 % de confiabilidad. Las medias se compararon usando la prueba de Duncan con un nivel de significancia del 95 %.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### CALIDAD FÍSICA DEL SORGO

En la Tabla 1 se muestran los parámetros de calidad física para los dos tipos de grano de sorgo; dureza, densidad real, densidad aparente. La dureza del grano de sorgo rojo presenta una fuerza de 8.10 Kg-F, mientras que en el sorgo blanco se observa una dureza de 8.29 Kg-F; distinguiéndose que entre ambos tipos de grano no se presenta una diferencia estadística significativa. Se puede notar que el grano de sorgo blanco presenta una dureza ligeramente mayor en comparación con el grano de sorgo rojo, lo cual puede ser debido al nivel de compactación de los gránulos de almidón en el endospermo; de manera tal que éste es mayor en el grano de sorgo blanco que en el grano de sorgo rojo. Esto se puede relacionar con la heterogeneidad de los gránulos de almidón, debido a que cuanto mayor diferencia en los tamaños de partícula el nivel de arreglo molecular es mucho más estable.

En cuanto a la densidad real y aparente, ambos tipos de grano presentan valores muy similares entre sí, de tal manera que en el caso de la densidad real los valores son muy cercanos entre sí y por lo tanto no presentan diferencia estadísticamente significativa. En el caso de la densidad aparente los valores son igualmente cercanos entre sí para cada tipo de grano, sin embargo presentan diferencia significativa debido a que este parámetro en el sorgo es muy bajo.

**Tabla 1.** Calidad física del grano de sorgo.

Grano de sorgo	Dureza (Kg-F)	Densidad Real (g/cm <sup>3</sup> )	Densidad Aparente (g/cm <sup>3</sup> )
Rojo	8.10 ± 1.30 <sup>a</sup>	1.19 ± 0.12 <sup>a</sup>	5.89 x 10 <sup>-4</sup> ± 0.00004 <sup>a</sup>
Blanco	8.29 ± 1.27 <sup>a</sup>	1.20 ± 0.06 <sup>a</sup>	5.02 x 10 <sup>-4</sup> ± 0.00003 <sup>b</sup>

Media ± Desviación estándar.

a,b,c,d Medias con la letra diferente dentro de la columna indica diferencias significativas.

Los valores de densidad obtenidos se encuentran directamente relacionados con la dureza observada en este estudio. Un grano de sorgo con valores de dureza altos, presentan valores de densidad real por encima de uno, ya que cuando más elevada es la dureza mayor es la compactación del endospermo en el grano y por lo tanto mayor será su peso específico. Por su parte, la densidad aparente muestra valores muy pequeños porque este parámetro está directamente relacionado con el tamaño que presenta el grano de sorgo; ya que para la determinación de este parámetro se tomo en cuenta tanto el peso como el tamaño de un grano.

### PROPIEDADES FÍSICAS DEL ALMIDÓN

En la Tabla 2 se presentan las propiedades físicas del almidón; ISA, IAA y tamaño de partícula, así como el rendimiento de almidón recuperado para ambos granos.

El rendimiento del almidón recuperado se determino por medio de la ecuación de Ji *et al.*, (2004), que relaciona la cantidad de grano inicial con la cantidad de almidón recuperado. El rendimiento de almidón de sorgo (rojo y blanco) recuperado se presenta en la Tabla 2, donde se observa un 41.33% y un 42.58% de rendimiento en base seca del almidón de sorgo rojo y blanco respectivamente. Como se distingue, de acuerdo al rendimiento reportado para otros cereales que oscila entre un 60-75% aproximadamente, el rendimiento obtenido para ambos almidones es bajo; esto puede ser debido al método de extracción empleado, el cual fue reportado por Tovar, (2009), en donde se menciona que el rendimiento será bajo pero como ventaja se obtendrá un almidón purificado con mucho menor daño y mayor pureza.

**Tabla 2.** Propiedades físicas del almidón de sorgo

Muestra	Almidón (%) <sup>x</sup>	ISA (%)	IAA (g. gel/g. sól.)	Tamaño de partícula
Sorgo Rojo	41.33 ± 1.06 <sup>a</sup>	0.004 ± 0.00 <sup>a</sup>	2.04 ± 0.02 <sup>a</sup>	13.89 ± 2.39
Sorgo Blanco	42.58 ± 2.25 <sup>a</sup>	0.003 ± 0.00 <sup>a</sup>	2.06 ± 0.02 <sup>a</sup>	13.10 ± 2.47

IAA = Índice de absorción de agua, ISA = Índice de solubilidad en agua. Media ± Desviación estándar. <sup>a,b,c,d</sup> Medias con la letra diferente dentro de la columna indica diferencias significativas. Comparación de medias de Duncan P (<0.05)  
 x= Expresado en base seca

Los parámetros ISA e IAA, indican el peso de sólidos solubles en agua presentes en el almidón y el peso del material que puede formar un gel, respectivamente. Con este análisis se determinó cual de los dos almidones de sorgo (rojo y blanco) absorbió más agua según su contenido de almidón. Este factor evalúa la calidad de los almidones en cuanto a la pérdida de sólidos en el agua.



En la Tabla 2 se observa el ISA e IAA para ambos almidones. Se puede distinguir que presentan un ISA muy bajo y un IAA de 2.04 g gel/g sólidos y de 2.06 g gel/g sólidos para el almidón de sorgo rojo y blanco, respectivamente. De acuerdo a lo anteriormente expuesto tenemos que la cantidad de material soluble en las muestras es muy bajo y que ambos almidones presentan una capacidad de formar geles estadísticamente iguales.

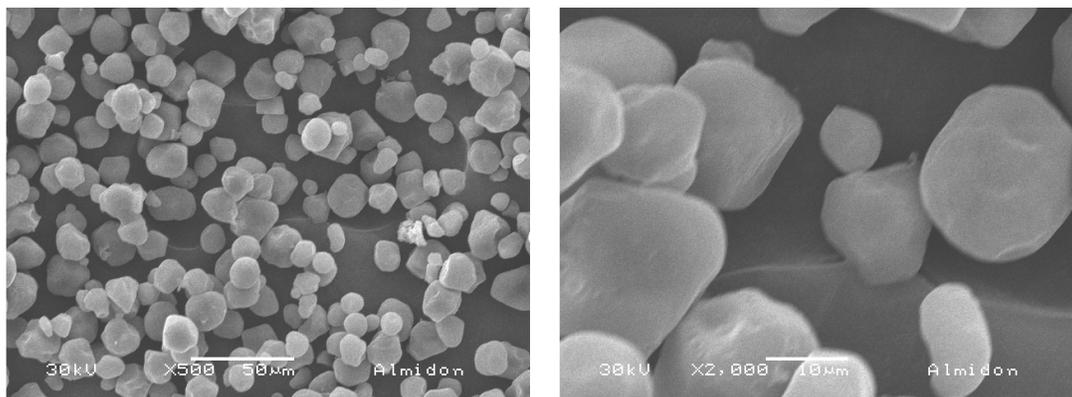
En la Tabla 2 se presenta el tamaño de partícula del almidón de sorgo rojo, donde se puede observar que la mayor proporción fue de 12.89% con un tamaño de partícula de 13.89  $\mu\text{m}$ . Sin embargo se distingue que también presenta tamaños de partículas inferiores a dicho tamaño, pero en menor proporción. Observándose un comportamiento similar para el almidón de sorgo blanco, el cual presentó la mayor proporción de 12.41% con un tamaño de partícula del 13.10  $\mu\text{m}$ . Además se puede distinguir que presenta tamaños de partículas menores al mencionado anteriormente, pero en inferior proporción.

Haciendo una comparación de los tamaños de partículas que presenta los dos diferentes almidones de sorgo (rojo y blanco), se puede constatar que el tamaño de partícula es mayor en el almidón de sorgo rojo.

### MICROSCOPIA ELECTRÓNICA DE BARRIDO DE BAJO VACÍO (LV-SEM)

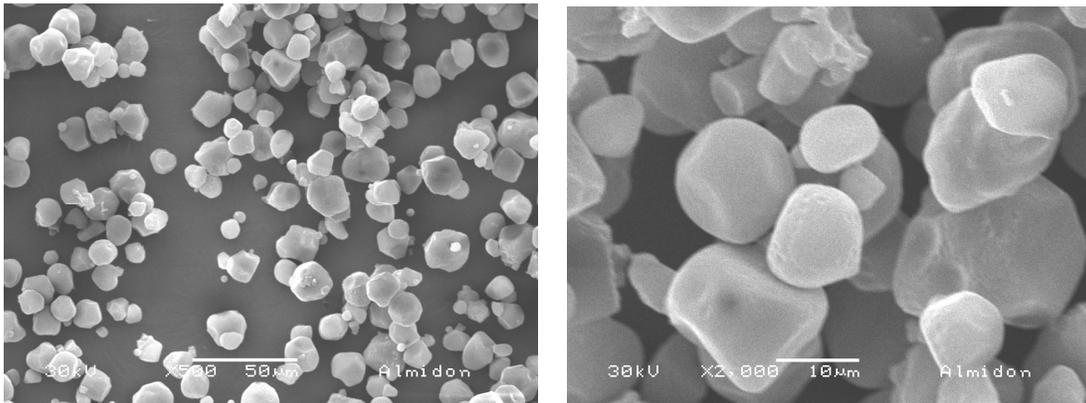
La microscopía electrónica de barrido mostró un panorama más amplio de la superficie del gránulo del almidón así como su morfología y distribución de tamaño del mismo. Estas características no difieren substancialmente entre los dos diferentes almidones aislados.

En la Figura 1 se presenta las micrográficas del almidón de sorgo rojo a dos diferentes amplitudes 500X (A), 2000X (B). En donde se puede observar que los gránulos de almidón de sorgo rojo son de forma esférica y redonda, además que se distingue que la mayoría de los gránulos de almidón son del mismo tamaño y que se encuentran más homogéneos.



**Figura 1.** Micrografías del almidón de sorgo rojo tomadas a una amplitud de 500X (A) y 2000X (B).

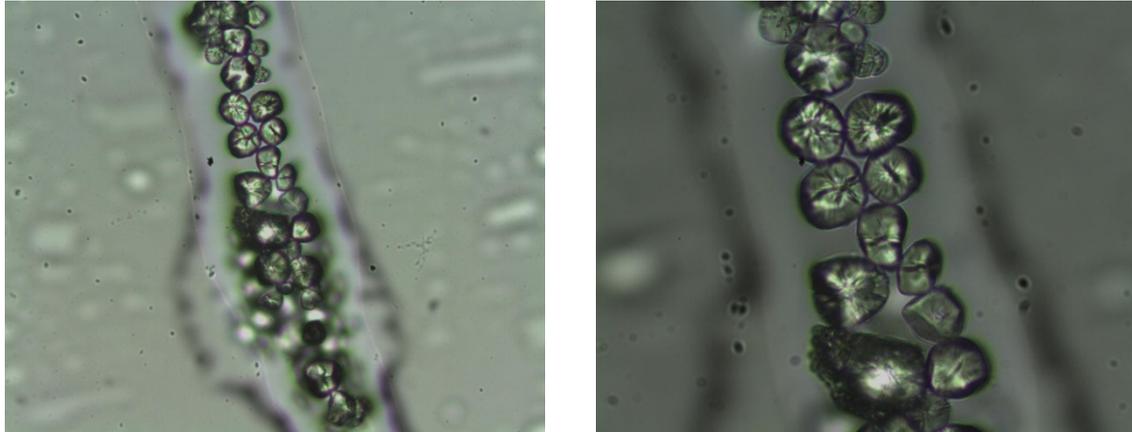
En la Figura 2 se presenta las micrografías de almidón de sorgo blanco tomadas a dos diferentes amplitudes 500X y 2000X. Como se puede observa presenta la misma forma que en el almidón de sorgo rojo, sin embargo este almidón presenta una mayor heterogeneidad en su tamaño. Este comportamiento se puede observar en la micrografía tomada a una amplitud de 500X, donde se distinguen gránulos de tamaños grandes, medianos y pequeños.



**Figura 2.** Micrografías del almidón de sorgo blanco tomadas a una amplitud de 500x (A), 1000x (B) y 2000x (C).

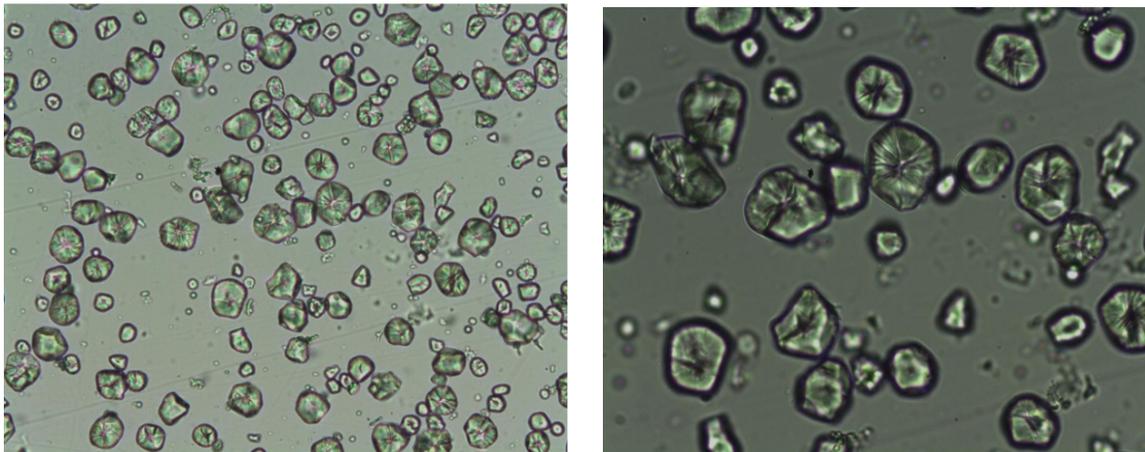
## MICROSCOPIA ÓPTICA

La microscopía óptica se realizó a los dos diferentes almidones de sorgo (rojo y blanco), tomadas con luz normal a dos diferentes amplitudes de 20x (A) y 40x (B). En la Figura 3 se presentan las micrografías de almidón de sorgo rojo a las dos diferentes amplitudes mencionadas anteriormente; en donde se puede observar que los gránulos de almidón son del mismo tamaño, es decir que su tamaño es homogéneo y que la forma de estos gránulos es redonda.



**Figura 3.** Micrografías de almidón de sorgo rojo tomadas con luz normal a una amplitud de 20x (A) y 40x (B).

En la Figura 4 se muestran las micrografías del almidón de sorgo blanco a las dos diferentes amplitudes 20x (A) y 40 (B). En las cuales se puede observar la heterogeneidad de los tamaños del granulo de almidón del sorgo blanco y además se puede distinguir con más facilidad la forma que presentan los gránulos de almidón que son esféricos y redondos.



**Figura 4.** Micrografías de almidón de sorgo blanco tomadas con luz normal a una amplitud de 20x (A) y 40x (B).

### **CUANTIFICACIÓN DEL CONTENIDO DE AMILOSA-AMILOPECTINA**

En la Tabla 3 se muestra el contenido de amilosa-amilopectina en los almidones de sorgo rojo y blanco. De acuerdo al contenido de amilosa, los almidones se pueden clasificar en diferentes grupos como son los almidones cerosos que contienen muy poca cantidad de amilosa, alrededor de 1 %, los normales contienen entre 18 – 30% de amilosa y los altos en amilosa que contienen 50 % o



más de este polímero (Chehtel,1976). Se encontró que el almidón de sorgo rojo contiene 23.73% de amilosa, mientras que el almidón de sorgo blanco fue de 29.61%. Encontrándose que estos contenidos concuerdan con los datos reportados por Anglani (1998); que nos permiten clasificar a los almidones aislados como normales. Estos resultados tienen una gran trascendencia ya que la amilopectina es una molécula ramificada mientras que la amilosa, por el contrario, posee pocas ramificaciones (Hizukuri *et al.*, 1981) y tiene una gran tendencia a retrogradar, por lo cual es considerada como la principal causa de deterioro a corto plazo. Adicionalmente es sabido que esta relación tiene un efecto predominante sobre las propiedades funcionales del almidón.

**Tabla 3.** Contenido de amilosa y amilopectina <sup>x</sup>

Almidón	Amilosa	Amilopectina
Sorgo Rojo	23.73 ± 6.90 <sup>a</sup>	70.39 ± 6.90 <sup>a</sup>
Sorgo Blanco	29.61 ± 5.49 <sup>b</sup>	76.27 ± 5.49 <sup>b</sup>

x= Expresado en porcentaje. Media ± Desviación estándar.

<sup>a,b,c,d</sup> Medias con la letra diferente dentro de la columna indica diferencias significativas. Comparación de medias de Duncan P (<0.05)

La proporción de amilosa:amilopectina y la estructura de las moléculas determinan las características reológicas y funcionales del almidón (Jane and Chen, 1992). La formación de geles y la retrogradación de amilosa y amilopectina en dispersiones acuosas o soluciones son de gran relevancia para la industria.

### CALORIMETRÍA DIFERENCIAL DE BARRIDO (DSC)

La Tabla 4 nos muestra las propiedades térmicas asociadas al fenómeno de gelatinización para ambos almidones de sorgo. En donde se puede observar que la entalpia de gelatinización en ambos almidones es estadísticamente igual. Además también se puede visualizar que la temperatura de inicio de la transición es la única propiedad térmica que presenta diferencia significativa en los dos almidones de sorgo, siendo el almidón de sorgo blanco el que tiene una menor temperatura de inicio de la transición. Lo anterior podría estar relacionado a la dureza del grano de sorgo blanco que es mayor en comparación con el grano de sorgo rojo y a su vez con la heterogeneidad de tamaño que presenta el almidón de sorgo blanco.

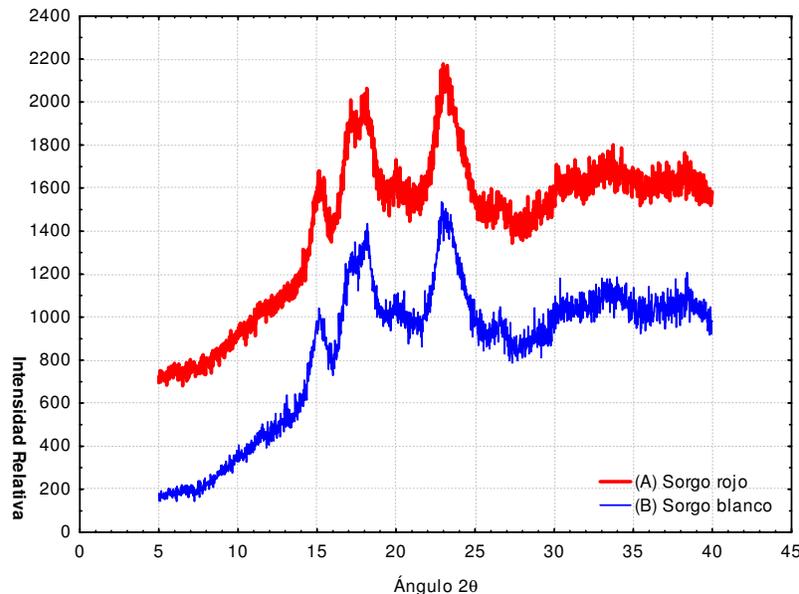
**Tabla 4.** Temperaturas características del fenómeno de gelatinización.

Almidón	T <sub>i</sub>	T <sub>p</sub>	T <sub>f</sub>	ΔH <sup>z</sup>
Sorgo Rojo	68.37 ± 0.27 <sup>a</sup>	71.43 ± 0.18 <sup>a</sup>	75.47 ± 0.14 <sup>a</sup>	11.06 ± 0.89
Sorgo Blanco	66.19 ± 0.43 <sup>b</sup>	71.00 ± 0.50 <sup>a</sup>	75.49 ± 0.63 <sup>a</sup>	11.06 ± 0.88

T<sub>i</sub>, T<sub>p</sub> y T<sub>f</sub>= Temperaturas de inicio, pico y final. Expresado en °C. Media ± Desviación estándar.

a,b,c,d Medias con la letra diferente dentro de la columna indica diferencias significativas. Comparación de medias de Duncan P (<0.05).  
 $z = \Delta H$  es la entalpía de gelatinización. Expresado en J/g

## DIFRACCIÓN DE RAYOS X



**Figura 6.** Diffractogramas de almidón de sorgo rojo (A) y blanco (B).  
En la Figura 6 se presentan los diffractogramas de ambos almidones de sorgo. Ambos diffractogramas presentan un patrón Tipo A, característico de los almidones provenientes de cereales (Zobel, 1988). Al comparar los diffractogramas obtenidos con aquellos mostrados en la literatura se puede notar que la estructura cristalina del gránulo no se encuentra modificada ni con daños aparentes en su estructura, ya que al mantenerse dicha estructura se puede inferir que el almidón no tiene daños aparentes.

## CONCLUSIONES

Las características físicas del grano de sorgo como las características fisicoquímicas del almidón extraído son diferentes dependiendo de la variedad de sorgo (rojo o blanco).

La metodología empleada para la purificación del almidón nativo de las dos variedades de sorgo es adecuada para la obtención de almidón sin daño en su estructura granular.

El almidón presente en las dos variedades de sorgo (rojo y blanco) tiene propiedades fisicoquímicas y funcionales que lo hacen apto para su uso en la industria alimentaria como aditivo.



## REFERENCIAS

- Adkins, G. K. and Greenwood, C. T. 1966. The isolation of cereal starches in the laboratory. *Starch/Stärke*. 7:213-218.
- Anglani, C. 1998. Sorghum carbohydrates. *Plant Foods Human Nutrition*. 52 (3):77-83.
- Chehtel, J. 1976. Introducción a la bioquímica y biotecnología de los alimentos. España. Acribia. 81-87, 118-129, 229-233.
- González R.E., Méndez M.G., Solorza F.J., Toro V.J.F. and Bello P. L.A. 2003. Rheological and thermal characterization of *Okenia hypogaea* (Schlech & Cham) starch. *Carbohydr Polymeres*. 52:297-310.
- Hizukuri, S., Takeda, Y and Yasuda, M. 1981. Multi branched nature of amylase and the action of debranching enzymes. *Carbohydrate Research*. 94:205-213.
- Jane, J. and Chen, J. 1992. Effect of amylose molecular size and branch chain length on paste properties of starch. *Cereal Chem*. 69:60-65.
- Ji, Y., Seetharaman, K. and White, P. J. 2004. Optimizing a small scale corn starch extraction method for use in the laboratory. *Cereal Chemistry*. 81(1):55-58.
- Lazou, A.E., Michailidis, P.A., Thymi, S. and Krokida, M.K. 2007. Structural properties of corn-legume based extrudates as a function of processing conditions and raw material characteristics. *International Journal of Food Properties*. 10: 721-738.
- MEGAZYME INTERNATIONAL 2006. Amylose/Amylopectin Assay Procedure. K-AMYL 04/06, Irlanda.
- MEGAZYME INTERNATIONAL 2009. Total Starch Assay Procedure (amyloglucosidase/ $\alpha$ -amylase method). K-TSTA 04/2009, Irlanda.
- Millán, T. C. 2004. Estudios estructurales y moleculares del almidón de fuentes no convencionales: mango (*Mangifera indica* L.), plátano (*Musa paradisíaca*) y okenia (*Okenia hypogaea*). Tesis de Maestría del Instituto Politécnico Nacional.
- Park, S.H., Bean, S.R., Wilson, J.D. and Schober, T.J. 2006. Rapid isolation of sorghum and other cereal starches using sonication. *Cereal Chem*. 85(6): 611-616.
- Paul, C. 1990. Agronomía del sorgo. Origen, Diseminación y Clasificación del Sorgo. Programa de mejoramiento de Sorgo del ICRISAT para América Latina (ICRISAT/LASIP). Ed. CENTA. El Salvador, C. A. 1-14.
- Reyes, M.C., Milán, C.J., Rouzand, S.O., Garzón, T.J. and Mora, E.R. 2002. Descascarillado/Suavización/Extrusión (DSE): Alternativa tecnológica para mejorar la calidad nutricional del grabanzo (*Cicer arietinum* L.). *Agrociencia*. vol. 36 (002), pp. 181-189.
- Rodríguez, M.E., Yañez-Limón, J.M., Alvarado, J.J., Vargas, H., Sanchez S. F., Figueroa, F., Martínez, B.F., González, H.J., Silva, M.D. and Miranda, L.C.M. 1996. Influence of the structural changes during alkaline cooking on the thermal,



rheological, and dielectric properties of maize tortillas. *Cereal Chem.* 73:593-690.

- SAGARPA, Sistema de Información Agropecuaria de Consulta (SIACON), Agrícola anuario dinámico. Servicio de Información y Estadística Agroalimentaria y Pesquera/SAGARPA. 2004. Disponible en: [http://www.siap.sagarpa.gob.mx/ar\\_comagri.html](http://www.siap.sagarpa.gob.mx/ar_comagri.html).
- Sang, Y., Bean, S., Seib, P.A., Pedersen, J. and Shi, Y.C. 2008. Structure and functional properties of sorghum starches differing in amylose content. *J. Agric. Food Chem.* 56 (15): 6680-6685.
- Stable Micro Systems. 1999. Software Texture Expert. Versión 1.22 (Español). GlebeLands Centre, Vicent Lane. Disponible en: <http://www.stablemicrosystems.com>
- StatSoft Inc. 1997. Statistica for Windows. Computer program manual. Tulsa, OK: statSoft. Disponible en: [www.statsoft.com](http://www.statsoft.com)
- Tovar, B.T. 2008. Caracterización morfológica y térmica del almidón de maíz (*zea mays L.*) obtenido por diferentes métodos de aislamiento. Tesis de Licenciatura de la Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo.
- Valencia, René C. and Rooney, William Bill L. 2009. Control Genético del Color del Grano de Sorgo. Centro Nacional de Tecnología Agropecuaria y Forestal (CENTA). El Salvador
- Zobel, H. F. 1988. Starch crystal transformations and their industrial importance. *Starch / Stärke.* 40 – 50