

Elaboración de Jarabes de Fructosa a partir de Variedades de Sorgo (*Sorghum bicolor*, L. Moench)

CULTIVADOS EN EL CENTRO DEL PAÍS

M. en C. María de Fátima González Rodríguez¹

INTRODUCCIÓN

Del total de granos y tubérculos producidos en el mundo, solo 1.3 % es procesado para la obtención de almidón. Tradicionalmente se ha considerado al maíz como una de las fuentes principales de almidón por su bajo costo de producción y alto rendimiento. El 75% del almidón producido en el mundo proviene del maíz y se obtiene por molienda húmeda, empleando tratamientos a cierta temperatura, pH y concentración de bisulfito; a partir de procesos posteriores se obtiene aceite, gluten y fibra. El 70% del almidón se emplea en la producción de edulcorantes, los cuales se obtienen por métodos industriales basados en la hidrólisis ácida y enzimática del almidón (Hebeda, 1987; Sims y Cheryan, 1992). Los jarabes glucosados, fructosados y maltodextrinas son edulcorantes nutritivos elaborados a partir de almidón. Los jarabes fructosados son los más dulces y se obtienen por isomerización de la glucosa.

En México, el sorgo es el segundo cultivo en importancia después del maíz en términos de área plantada y de producción (2.5 millones de toneladas) (FAO, 1994). Sus rendimientos por hectárea son superiores en más de 1.6 veces a los de maíz. En nuestro país, su cultivo se inició a partir de los 50's. Actualmente el costo relativo del sorgo es de aproximadamente el 60% del de maíz. México importa 8 millones de ton/año de maíz. El 80% del total de sorgo que se consume

en América Latina se destina a la fabricación de alimentos animales y concentrados.

En cuanto a la extracción del almidón, el sorgo presenta la desventaja de tener un endospermo periférico, matriz proteica dura y entrecruzada que rodea a los gránulos de almidón y que dificulta la penetración de la solución de remojo, así como la posterior recuperación del almidón durante la molienda húmeda; sin embargo, los almidones de ambos cereales, (maíz y sorgo) presentan semejanzas viscoamilográficas, por lo que se pueden utilizar indistintamente para la producción de edulcorantes (Serna, 1994).

Aunado a esto, el consumo de jarabes glucosados y fructosados (HFCS) se ha incrementado debido a factores como: liberación del precio del azúcar, valor nutricional y características sensoriales. La fructosa es más fácil de manipular durante el procesamiento por su baja viscosidad, es fácil de mezclar con otros edulcorantes ácidos y sabores, es muy fácil de digerir, tiene una larga vida de anaquel y es dos veces más dulce que la sacarosa y 2.6 veces más dulce que la glucosa (Aguilar, M. 2002). El mercado global de HFCS es 4 millones de ton/año con un precio promedio de 400 USD/ton y un consumo *per cápita* de 100g (Rudiño, 1996). La producción de jarabes de glucosa y fructosa en nuestro país, es muy limitada, ya que existen muy pocas compañías dedicadas a esta actividad cuya producción apenas abastece una parte del mercado nacional y el resto se tiene que importar (Carrillo, 2000). Actualmente el uso de HFCS es principalmente en la industria refresquera (según las estadísticas de MC Keany-Flavel, la población mexicana

¹ Departamento de Ingeniería Bioquímica, Centro de Ciencias Básicas, UAA.

consume 322 envases de 8 onzas de bebidas de Cola por persona por año), pero también se utiliza como materia prima en industrias de confitería, panadería, helados, alimentos infantiles, postres congelados, conservas, vinos, salsas, productos lácteos, medio de cultivo para levaduras, etc., entre otras.

En este trabajo se extrajo el almidón de dos variedades de sorgo (blanco y rojo) producidos en nuestra propia región con el fin de elaborar jarabes de fructosa, los que se evaluaron cuantitativamente y cualitativamente. Los jarabes de fructosa obtenidos se utilizaron para elaborar malteadas sabor vainilla que fueron evaluadas sensorialmente a través de pruebas afectivas de medición de grado de satisfacción por un grupo de jóvenes consumidores. Por lo tanto, utilizar al sorgo para elaborar jarabes de fructosa representa una alternativa para canalizar la mayor cantidad de maíz a consumo directo, logrando reducir las importaciones y déficit de este cereal.

MATERIALES Y MÉTODOS

Para fines prácticos, esta investigación se puede dividir en 6 etapas:

1) **Características de los granos:** se seleccionaron dos genotipos de sorgo producidos en el centro de nuestro país: sorgo rojo dulce y sorgo blanco amargo, y un genotipo de maíz amarillo como control. Los granos se tamizaron para eliminar las impurezas y granos dañados; se seleccionó un tamaño uniforme. Las muestras se almacenaron en lotes de 500g a 4°C. A cada lote se le determinó el peso hectolítrico, el peso de 1000 granos y la humedad de los granos (NMX-FF-037-1994 y NMX-FF-034/2-SCFI-2003).

2) **Extracción de almidón de los granos:** esta etapa consistió en un experimento trifactorial, usando un diseño experimental completamente al azar. Los factores de estudio fueron: tipo de grano (SR; SB y MA), tiempo de remojo para suavizar el grano (24 o 48 h) y tratamiento enzimático en el remojo (presente o ausente). Por consiguiente, se compararon un total de 12 tratamientos (3x2x2). Las variables de respuesta estudiadas fueron % almidón, % recuperación, % fibra y % gluten. Se obtuvieron al menos 10

repeticiones para cada variable de respuesta. Los granos remojados se sometieron a una molienda húmeda para luego separar la fracción fibra-germen del endospermo mediante el tamizado de la suspensión. La lechada contiene al almidón y gluten, cuya separación se basa en la diferencia de sus densidades (1.6 g/mL y 1.06 g/mL respectivamente) y se consigue por sedimentación del almidón en un canal. El almidón se secó a 55°C durante 24 h, se enfrió y se determinó el rendimiento y la recuperación.

3) **Caracterización de los almidones obtenidos:** para identificar el tipo de endospermo de los almidones, se preparó una solución de almidón al 12% y se calentó hasta la temperatura de gelatinización; se registraron las características de los geles, se dejaron enfriar a 4°C/ 24 h y se midió el volumen de retrogradación. Las determinaciones de humedad, cenizas y proteína fueron con base en lo establecido por la AOAC. Se realizaron al menos 3 repeticiones por variable de respuesta para cada genotipo.

4) **Obtención de jarabes glucosados:** los almidones se sometieron a los siguientes procesos: Licuefacción que consistió en adicionar α -amilasa termorresistente de *Bacillus licheniformis* a una suspensión de gránulos de almidón al 35%, la cual se convierte en una solución de maltodextrinas solubles de baja viscosidad. Posteriormente se realizó la Sacarificación: agregando amiloglucosidasa de *Aspergillus niger*, ésta hidroliza por completo a las amilosas y desramifica lentamente a las amilopectinas. Después se realizó una Refinación: con tierra de diatomeas, carbón activado e intercambio catiónico fuerte para eliminar a los iones calcio. Se obtuvieron al menos 10 lotes de jarabe refinado proveniente de cada genotipo de cereal bajo estudio. Los jarabes refinados se caracterizaron, a través de parámetros, como °Bx, (por medio del refractómetro de Abbé), % Glucosa (por el método colorimétrico de la glucosa oxidasa), % de Sólidos Totales (método de la estufa), Equivalentes de dextrosa (ED) (por el método de Lane y Eynon, según International Starch Institutud-27-1e). Se obtuvieron al menos tres repeticiones para cada variable de respuesta.

5) **Obtención de jarabes fructosados:** los jarabes glucosados se concentraron a 45 °Bx y fueron transformados a jarabes fructosados a través de dos métodos de isomerización,

utilizando la glucosa isomerasa de *Streptomyces murymus* (por tanda según Roushdi, 1979 y por columna o continuo); se obtuvieron al menos 10 lotes de jarabe fructosado por genotipo y por método de isomerización. A los jarabes isomerizados se les determinó el % de conversión a fructosa por medio de un HPLC Waters. Se obtuvieron al menos tres repeticiones para cada método de isomerización y cada genotipo.

6) **Elaboración de nuevos productos y su evaluación sensorial:** se elaboraron dos tipos de productos; primeramente se prepararon malteadas de vainilla endulzadas con los jarabes fructosados obtenidos. La muestra control se endulzó con fructosa comercial, mientras que las tres muestras problema, con jarabe de fructosa (a partir de SB, SR y MA). Por otro lado, se prepararon malteadas de vainilla elaboradas con los almidones obtenidos como agentes espesantes; la muestra control consistió en fécula de maíz comercial, y las cuatro muestras fueron endulzadas con fructosa comercial. Las malteadas se sirvieron en vasos de 50 mL y se codificaron con números aleatorios de 3 cifras al azar, se dieron a probar a un grupo de 40 jóvenes universitarios quienes evaluaron la medición de grado de satisfacción, sobre una escala numérica de 4 a -4. Esta prueba se realizó en sesiones diferentes para cada producto y con tres repeticiones en diferentes días de una semana.

Los datos fueron analizados, usando procedimientos de ANDEVA y las medias fueron comparadas, usando la prueba de Duncan y la

prueba de LSD, bajo un nivel de significancia de 1%. También se realizaron análisis de Regresión Múltiple en algunas variables. El paquete computacional STATISTICA (Versión 5) fue utilizado para realizar los análisis estadísticos.

RESULTADOS

- Características generales de los granos:

En el Cuadro 1 se observa que los sorgos tuvieron mayor peso hectolítrico que el maíz. El SB tiene un tamaño mayor que SR, mientras que MA presenta un tamaño y un peso casi 13 veces mayor que los sorgos. Estos datos se encuentran dentro de los rangos citados en la literatura (Dendy, 1995).

- Extracción del almidón de los granos:

A mayor tiempo de remojo mayor rendimiento en almidón en todos los casos; sin embargo, no hay diferencias altamente significativas con respecto al tratamiento de remojo en los productos de molienda húmeda para un mismo genotipo; el complejo enzimático no incrementó rendimientos como se esperaba.

En cuanto a rendimiento de almidón, se detectaron diferencias altamente significativas entre los genotipos en el remojo ácido. Realizando comparaciones posteriores (prueba de Duncan) se detectó mayor % de almidón del SR,

Propiedades Físicas	SR	SB	MA
Peso hectolítrico (kg/hL)	0.8630	0.8836	0.8174
Peso de 1000 gramos (g)	23.51	25.27	343.6
Humedad del grano (%)	8	6	6

Cuadro 1. Propiedades físicas y humedad de los granos.

	Ácido láctico y SO ₂			Complejo enzimático		
	% Alm.	% Fibra	% Recup.	% Alm.	% Fibra	% Recup.
μ	48.3505	16.9514	91.0624	50.3764	15.2524	92.3979
Rango	28.6900	16.3400	17.3100	18.8000	13.0400	10.8600
σ	5.9483	4.23696	4.26842	4.40556	2.20681	4.26842
p	0.0798	0.237*	.0925	0.0798	0.0237	.0925

Cuadro 2. Comparación del tratamiento de remojo en rendimiento de almidón.

	Ácido láctico y SO ₂			Complejo enzimático		
	% Alm.	% Fibra	% Recup.	% Alm.	% Fibra	% Recup.
SR	52.29 e-h	14.18 a-d	92.22	50.32 a-d	15.4 a-d	92.96
SB	45.08 a-d	19.07 e-h	89.88	50.52 a-d	14.87 e-h	92.09
MA	47.39 a-h	23.14 e-h	95.24	48.31 a-d	20.84 e-h	88.6
p	0.00019*	0.000077*	0.131	0.889	0.0236*	0.234

Cuadro 3. Comparación del tratamiento de remojo en los genotipos.

	OBx	% Glucosa	% ST	\$ ED
SR	28.068 a-d	51.233	46.211	63.264
SB	25.177 e-h	53.809	28.761	67.164
MA	28.050 a-h	54.310	31.580	61.950
p	0.0324*	0.813	0.422	0.776

Cuadro 4. Efecto del tipo de almidón en la conversión a dextrinas.

Método	SR	SB	MA	p
Tanda	50.95 a-d	51.78 e-h	52.62 i-l	0.000000*
Continuo	47.424	47.902	49.330	0.3308

Cuadro 5. Efecto del método de isomerización sobre la conversión a fructosa.

lo cual coincide con investigaciones de Caransa y Bakker (1987).

- Caracterización de los almidones obtenidos:

Un endospermo ceroso, como el de SR, presenta mayor volumen de retrogradación, ya que el alto porcentaje de amilopectina genera un gel débil con gran exudación (12) y (7); el de MA se identificó como endospermo normal y el de SB como heteroceroso (> 90% amilopectina). El contenido proteico y el de cenizas de los almidones indicaron que el proceso de refinación fue más efectivo para MA y SR.

- Obtención de jarabes glucosados:

El % Glucosa, % ST y ED nos dicen que no hay diferencias significativas en la conversión a glucosa, por lo tanto, la hidrólisis es eficiente en cualquier tipo de endospermo, aunque el SR ceroso demoró más tiempo en llegar al máximo.

- Obtención de jarabes fructosados:

El método de isomerización por tanda fue más efectivo que el continuo ($p < 0.01$), lográndose

una conversión promedio de 51.42% y 47.7% respectivamente. Hubo diferencias altamente significativas entre los genotipos en cuanto al grado de conversión, en orden descendente: MA, SB y SR, en ambos métodos (Cuadro 5).

El análisis de regresión múltiple nos revela una fuerte correlación negativa entre el volumen de retrogradación y la conversión a fructosa, tanto por el método de columna ($r^2 = 0.99$) como por tanda ($r^2 = 0.94$), lo cual sugiere que un endospermo ceroso (SR) es menos adecuado para conversión a fructosa.

- Elaboración de nuevos productos y su evaluación sensorial:

Al aplicar el análisis de varianza no se detectaron diferencias significativas ($p < 0.05$) entre las bebidas endulzadas con los jarabes de SR y SB; en cuanto a las malteadas elaboradas con los almidones como agentes espesantes, tampoco hubo diferencias significativas ($p < 0.05$), sólo se percibe que el de SR es el menos aceptado, posiblemente por la presencia de compuestos fenólicos que imparten un sabor amargo.

DISCUSIÓN DE RESULTADOS Y CONCLUSIONES

El aumento en el tiempo de remojo de 24 a 48 h fue más efectivo para lograr un mayor rendimiento en almidón, aunque esto aumenta la solubilización de proteínas que reducen la pureza del almidón extraído.

El complejo enzimático degradador de pared celular no incrementó el rendimiento de almidón ni disminuyó el tiempo de remojo en comparación con la molienda húmeda convencional (ácido láctico y SO_2). Roushdi *et al.* (1981) menciona que el ácido láctico propicia una mayor absorción del agua de remojo en granos de maíz y que ayuda a la solubilización de las proteínas, afectando positivamente rendimientos de molienda y calidad del almidón. Esto también se explica porque en los cereales sanos la entrada de agua ocurre sólo a través del germen y éste es incapaz de absorber compuestos de alto peso molecular, como el caso de enzimas. Serna (1998) propone que una premolienda podría ser una alternativa para hacer más efectiva la acción enzimática.

Por otro lado, en el remojo convencional se detectaron diferencias significativas en cuanto a rendimiento de almidón para los genotipos, siendo el SR y MA los que rindieron mayor cantidad. De acuerdo a Rooney y Pflugfelder (1986), los genotipos cerosos (SR) no contienen endospermo periférico o capa de subaleurona y poseen una matriz proteica más débil que los genotipos regulares (SB), teniendo, por lo tanto, una textura del endospermo más parecida a la del maíz. Watson *et al.* (1955) mencionan que el sorgo rinde menos almidón que el maíz porque los gránulos de almidón están fuertemente cubiertos por una matriz de proteína, dificultando la separación de almidón/gluten. De acuerdo a Wall, J. y Ross, W., (1975) la matriz y cuerpos proteicos del sorgo, ricos en glutelinas y prolaminas, tienen mayor cantidad de puentes disulfuro, mayor entrecruzamiento y son más difíciles de extraer que las proteínas correspondientes del endospermo de maíz.

El SR inició más rápido su gelatinización y presentó el mayor volumen de retrogradación por tener un endospermo ceroso. Durante la sacarificación la cinética de conversión a glucosa es diferente para cada genotipo debido a sus diferencias estructurales y morfológicas

Wankhede *et al.* (1989); sin embargo, al finalizar el proceso, las cantidades de glucosa son similares. El SR demoró más tiempo en llegar al máximo de la curva debido a que la amilopectina, que conforma a la gran mayoría su almidón, fue degradada previamente por la α -amilasa a dextrinas ramificadas las cuales se hidrolizan más lentamente en glucosa por la acción de la amiloglucosidasa, en comparación con las dextrinas lineales del almidón de MA. Lloyd y Nelson (1984) mencionaron que las dextrinas ramificadas son menos susceptibles al ataque de la amiloglucosidasa, ya que es menos específica para enlaces α (1-6).

MA y SB generan mayor % conversión a fructosa, al parecer los endospermos regulares son la mejor alternativa en producción de fructosa.

El jarabe de SB fue más aceptado que el jarabe de SR, tanto como edulcorante como agente espesante de una malteada de vainilla. Al parecer, los pigmentos fenólicos presentes en el almidón de SR le propician un color rosado y un sabor amargo, como lo indican Watson *et al.* 1951, 1955 y Wall, J. y Ross, W., 1975. Por lo tanto, el SB producido en la región central del país parece ser una buena alternativa para sustituir al MA en la producción de jarabes de fructosa. Sería muy interesante escalar a nivel industrial lo aquí propuesto.

REFERENCIAS

- Aguilar, M. 2002. Gerente de planta de Arancia Corn Products, San Juan del Río, Qro. Comunicado Personal.
- Anzaldúa-Morales, A. 1994. *La evaluación sensorial de los alimentos*. Ed. Acribia, pp.45ss.
- AOAC. 1990. *Oficial Methods of Analysis Association of Oficial Analytical Chemist*. 15th Edición. Arlington, VA, USA.
- Bernetti, R. 1990. *From corn Syrup to fructose*. *Cereal Food World*. 35(4)390-393.
- Caransa, A. y Bakker, WGM. 1987. *Modern process for the production of sorghum starch*. *Starch/Starke*. 39:381-385.
- Carrillo, Benjamín. 2000. Gerente de Control de Calidad de Productos de Maíz, planta Aguascalientes. Comunicado personal.

- Carasik, W. y Carroll, J.O. 1983. *Development of immobilized Enzymes of Production of High Fructose Corn Syrup*. Food Technology. 37(10)85-91.
- Dendy, D.A.V. 1995. *Sorghum and the Millets: Chemistry and Technology*. American Association of Cereal Chemist. St. Paul, MN, USA.
- Food Agricultural Organization. 1994. *Production Yearbook 1993*. FAO Statistics. Vol. 45. Roma, Italia.
- Jackson, D.S. et al. 1988. *Characterization of starch cooked in alkali by aqueous high-performance size-exclusion chromatography*. Cereal Chem. 66:493.
- Hebeda, R.E. 1987. *Corn Syrup. Corn Chemistry and Technology*. Watson and P.E. Ramstad editors. American Association of Cereal Chemist. S.A. St. Paul, Mi., U.S.A. cap. 17.
- Lloyd, N.E. y Nelson, W.J. 1984. "Glucose and Fructose containing sweeteners from Starch". Chemistry and Technology. En Whistler, R.L., Bemiller, J.N. y E.F. Paschall. Second Edicion. Academic Press. Orlando. Fl. U.S.A.
- Rooney, L.W. y Pflugfelder, R.L. 1986. "Factor affecting starch digestibility with special emphasis on sorghum and corn". *Journal of Animal Science*. 63:1607-1623.
- Rudiño, L.E. 1996. Proponer el consumo de jarabes de maíz, anuncian transnacionales: se oponen azucareros. *El Financiero*. Miércoles 7 de agosto de 1996.
- Roushdi, G. 1979. "Studies on the combined action of amylases and glucose isomerase on starch and its hydrolysates. Part III". Conversion of starch to glucose fructose syruo. *Starch/Särke*. Vo. 31(12.5)414-417.
- Roushdi, M. et al. 1981. Role of lactic acid in corn steeping and its relation with starch isolation. *Starch/Särke*. Vo. 33: 426-428.
- Quax, W. 1991. "Enhancing the thermostability of glucose isomerase by protein engineering". *Biotechnology*. 9 (8) 379ss.
- Serna, S.S. 1998. *Refinación de almidón y producción de jarabes glucosados en un sistema continuo a partir de diferentes sorgos y maíz*. ITESM, Monterrey, N.L., México.
- Sims, K.A. 1992. "Hidrolisis and Liquefied Corn Starch in Membrane Reactor". *Biotechnology and Bioengineering*. John Wiley & sons Inc. Vol. 39. 960-967.
- Sims, K.A. y Cheryan, M. 1992. "Continuos Saccharification of corn starch in a membrane reactor. Part II. Membrane performance and reactor stability". *Starch/Särke*. 44(9)345-348.
- Wall, J. y Ross, W., 1975. *Producción y usos del sorgo*. Editorial Hemisferio Sur, Argentina. vv.pp.
- Watson, S.A. 1984. "Corn and sorghum starches: production" Capítulo 18. *Starch: Chemistry and Technology*. 2nd edition. Academic Press. Orlando, FL. USA.
- Zober, H.F. 1984. "Gelatinization of Starch and Mechanical Properties of Starch Pastes". Capítulo 9. *Starch: Chemistry and Technology*. 2nd edition. Academic Press, Orlando, FL, USA.