

# OBTENCIÓN DE JARABE FRUCTOSADO A PARTIR DE ALMIDÓN DE PLÁTANO (*Musa paradisiaca* L.). CARACTERIZACIÓN PARCIAL

Juan Pablo Hernández-Uribe, Sandra Leticia Rodríguez-Ambriz y Luis Arturo Bello-Pérez

## RESUMEN

El consumo de fructosa se ha incrementado en los últimos años, llegando a reemplazar a la sacarosa en diversas aplicaciones industriales. Usualmente, la fructosa se obtiene por isomerización continua de la glucosa obtenida a partir del almidón de maíz. Sin embargo, debido al aumento del precio de este grano, es necesario identificar nuevas fuentes de almidones que puedan ser utilizadas en la producción de fructosa. En este trabajo se reportan algunas propiedades fisicoquímicas del jarabe de fructosa (JFP) obtenido a partir del almidón de plátano *Musa paradisiaca* L. El JFP se obtuvo mediante dos reacciones secuenciales, catalizadas por enzimas que transformaron el almidón a glucosa y, finalmente, la glucosa a jarabe de fructosa

mediante isomerización. En la isomerización se logró una conversión media de 41,3%, obteniéndose un promedio de 63,3mg·ml<sup>-1</sup> de fructosa a las 80h de proceso. El color del JFP, medido en unidades de densidad óptica (UDO), fue alto (1,78) en comparación con la escala recomendada para jarabe de fructosa (0,025-0,200), lo que probablemente se debió a que el JFP tiene un mayor contenido de cenizas (2,07%) que los jarabes comerciales. La viscosidad del producto fue baja en comparación con los jarabes comerciales. Los resultados demuestran que es posible obtener jarabe fructosado a partir del almidón de plátano, con características comparables a los jarabes comerciales, mediante un procedimiento enzimático.

## OBTENTION OF FRUCTOSE SYRUP FROM PLANTAIN (*Musa paradisiaca* L.) STARCH. PARTIAL CHARACTERIZATION

Juan Pablo Hernández-Uribe, Sandra Leticia Rodríguez-Ambriz and Luis Arturo Bello-Pérez

## SUMMARY

Fructose consumption has increased in recent years, substituting for saccharose in several industrial applications. It is usually produced by continuous isomerization of glucose syrup obtained from maize starch. However, due to the considerable increase in cost of maize, it is necessary to search for new sources that could be used as raw material for fructose syrup production. This study reports some physicochemical characteristics of fructose syrup obtained from plantain (*Musa paradisiaca* L.) starch. The transformation of banana starch to sucrose was carried out in two steps. Starch was enzymatically transformed into glucose, followed by its isomerization into fructose. The isomerization process yielded an average concen-

tration of 63.3mg·ml<sup>-1</sup> of fructose after processing for 80h, representing an average conversion of 41.3%. The color of the fructose syrup, measured in optical density units, showed a high value (1,78) in comparison with the standard value (0.025-0.200) recommended for fructose syrup. This was probably due to a higher ash content (2.07%) than that of commercial syrups. The viscosity of the fructose syrup obtained from plantain starch was lower than in commercial samples. The results show that it is possible to obtain fructose syrup from banana starch with comparable characteristics to those of commercial syrups employing an enzymatic process.

## Introducción

El aumento de la prevalencia en los países desarrollados y en algunos en vías de desarrollo, como México, de numerosas enfermedades de algún modo relacionadas al

consumo excesivo de calorías, tales como las enfermedades cardiovasculares, la diabetes y, especialmente, la obesidad, ha estimulado a la industria a desarrollar y producir diversos edulcorantes de bajo aporte calórico que no alteren el dulzor

que los consumidores exigen de los productos. La fructosa, con un poder edulcorante dos veces mayor que la sacarosa, es reconocida como un edulcorante seguro y alternativo a otros azúcares, siendo recomendado su consumo por pa-

cientes que sufren de Diabetes mellitus tipo I y II (Gerrits y Tsalikian, 1993; Uusitupa, 1994; Moore *et al.*, 2001).

La fructosa es producida industrialmente como jarabe de maíz rico en fructosa (HFCS, por sus siglas en inglés; Atiyeh

## PALABRAS CLAVE / Almidón / Plátano / Jarabe Fructosado /

Recibido: 11/06/2007. Modificado: 24/03/2008. Aceptado: 26/03/2008.

**Juan Pablo Hernández-Uribe.** Químico-Industrial, Universidad Autónoma del Estado de Morelos, México. Maestro en Ciencias en Desarrollo de Productos Bióticos, Centro de Desarrollo de Productos Bióticos del IPN. (CEPROBI-IPN) México. Estudiante de Doctorado en Desarrollo de

Productos Bióticos, CEPROBI-IPN, México.  
**Sandra Leticia Rodríguez-Ambriz.** Química Farmacobióloga, Universidad Autónoma de Puebla, México. Maestro en Ciencias en Ciencia y Tecnología de los Alimentos, Universidad Autónoma de Querétaro, México. Profesor CEPROBI-IPN, México.

**Luis Arturo Bello-Pérez.** Ingeniero Bioquímico Instituto Tecnológico de Acapulco, México. Maestro en Ciencias en Bioingeniería Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del IPN, México, D.F. y Doctor en Ciencias en Biotecnología de Plantas, Centro de Investigación y de

Estudios Avanzados del IPN, Irapuato, Guanajuato, México. Profesor CEPROBI-IPN. Miembro regular de la Academia Mexicana de Ciencias. Dirección: Km 8.5 carr. Yau-tepec-Jojutla, colonia San Isidro, Apdo. Postal 24, 62731 Yau-tepec, Morelos, México. e-mail: labellop@ipn.mx

# OBTENCIÓN DE XAROPE DE FRUTOSE A PARTIR DE AMIDO DE PLÁTANO (*Musa paradisiaca* L.). CARACTERIZACIÓN PARCIAL

Juan Pablo Hernández-Urbe, Sandra Leticia Rodríguez-Ambríz e Luis Arturo Bello-Pérez

## RESUMO

O consumo de frutose tem se incrementado nos últimos anos, chegando a substituir a sacarose em diversas aplicações industriais. Usualmente, a frutose se obtém por isomerização contínua da glicose obtida a partir do amido de milho. No entanto, devido ao aumento do preço deste grão, é necessário identificar novas fontes de amidos que possam ser utilizadas na produção de frutose. Neste trabalho se relatam algumas propriedades físico-químicas do xarope de frutose (JFP) obtido a partir do amido de plátano *Musa paradisiaca* L. O JFP se obteve mediante duas reações seqüenciais, catalisadas por enzimas que transformaram o amido a glicose e, finalmente, a glicose a xarope de frutose mediante isomerização. Na isomerização se conse-

guiu uma conversão média de 41,3%, obtendo-se uma média de 63,3mg·ml<sup>-1</sup> de frutose às 80h de processo. A cor do JFP, medido em unidades de densidade óptica (UDO), foi alta (1,78) em comparação com a escala recomendada para xarope de frutose (0,025-0,200), o que provavelmente foi devido a que o JFP tem um maior conteúdo de cinzas (2,07%) que os xaropes comerciais. A viscosidade do produto foi baixa em comparação com os xaropes comerciais. Os resultados demonstram que é possível obter xarope de frutose a partir do amido de plátano, com características comparáveis aos xaropes comerciais, mediante um procedimento enzimático.

y Duvnjak, 2002), el cual se obtiene por isomerización continua de la glucosa producida a partir de almidón de maíz. El paso de isomerización es realizado mediante catálisis enzimática, para lo cual se usa la enzima glucosa isomerasa inmovilizada en matrices empacadas en columnas (Palazzi y Converti, 2001). El uso de la enzima inmovilizada permite alcanzar concentraciones altas del catalizador, el cual mantiene su actividad durante más tiempo, lo que incrementa el rendimiento del proceso y abarata el producto. Además, se puede realizar recirculación con la finalidad de obtener mayor pureza del producto final (Arroyo, 1998).

En los últimos años el aumento en el precio del maíz (CEFP, 2007) ha estimulado la búsqueda de fuentes alternativas para la producción de fructosa. Flores-Gorosquieta *et al.* (2003) reportaron un procedimiento para la obtención de almidón a partir de plátano (*Musa paradisiaca*) var. macho. En el presente trabajo se reporta un método enzimático, desarrollado a nivel de planta piloto para la producción de jarabe de fructosa a partir de este almidón.

## Materiales y Métodos

### Aislamiento de almidón

El plátano de la variedad macho en estado fisiológico maduro fue adquirido en la

central de abasto de Cuautla, Morelos. Se utilizó el método de extracción propuesto por Flores-Gorosquieta *et al.* (2004), procedimiento que consiste en molienda de la pulpa, tamizado, centrifugado y secado, para la obtención del almidón en polvo.

### Licuefacción del almidón de plátano

Se siguió el método utilizado por Flores-Gorosquieta (2003), utilizando un reactor de 20 litros. Se preparó una suspensión de almidón de plátano en agua destilada al 20% (p/v), se ajustó el pH a 7,3 y se gelatinizó a 80°C por 10min. Se disminuyó la temperatura a 70°C, se adicionó  $\alpha$ -amilasa (Starzyme TE, actividad de 8,430 $\mu$ g maltosa/min) de ENMEX®, México, al 0,06% (v/v) y se dejó reaccionar por 3h, para posteriormente inactivar la enzima con HCl 0,1N (pH 2,0). A continuación se centrifugó a 1700rpm a fin de separar el almidón no hidrolizado.

### Sacarificación del almidón

Una vez separado el almidón no hidrolizado, se sometió al sobrenadante a una temperatura de 60°C y el pH fue ajustado a 4,5 con HCl 0,1N o con NaOH 0,1N. Se adicionó 0,15% (v/v) de amiloglucosidasa (Starzyme TE, actividad de 13,385 $\mu$ g maltosa/min) de

ENMEX®, México y se dejó reaccionar por 6h (Bello-Pérez *et al.*, 2002). Al jarabe de glucosa obtenido se le determinó la dextrosa equivalente (DE) empleando el método de Pancoast y Junk (1980). En este paso se realizó una estandarización del método para la obtención de un jarabe con una DE de 80 utilizando un reactor de 20 litros.

### Obtención de jarabe fructosado

Antes de llevar a cabo la isomerización del jarabe de glucosa obtenido de la sacarificación del almidón de plátano, se procedió a realizar el proceso de isomerización utilizando glucosa anhidra, con el objeto de verificar la funcionalidad del reactor. Para ello se trabajó un total de 168h, tiempo durante el cual la concentración de fructosa fue variable, lo que indicó que existía inestabilidad en el sistema. Factores como el pH pueden alterar la actividad y la estabilidad de la enzima (Mishra y Debnath, 2002) y en consecuencia causar variaciones en la concentración de fructosa durante el proceso continuo. Para comprobar esta hipótesis se corrió un segundo proceso de isomerización por 48h, monitoreando el pH en el reservorio del sustrato, el cual cambió de 7,5 a 8,14, indicando que el regulador de carbonato no estaba funcio-

nando. Se procedió entonces a cambiar el regulador que contiene el sustrato de la reacción, eligiéndose a partir de la literatura (Kumakura *et al.*, 1979; Zhou *et al.*, 1992; Ge *et al.*, 1999; Bandlish *et al.*, 2002) un regulador de fosfatos y se realizó una prueba de isomerización durante la cual la concentración de fructosa en el efluente se mantuvo constante en 179mg·ml<sup>-1</sup> por un total de 28h. Sin embargo, el uso de este regulador provocó que precipitaran cristales de color blanco en el reactor y después de un tiempo se obliteró por el exceso de precipitado.

A partir de estos datos se encontró que el control del pH del sustrato es clave para el proceso de isomerización y que el regulador de fosfato permite controlar el pH en forma adecuada, pero después de un tiempo oblitera el reactor haciendo imposible el flujo del sustrato. Se decidió entonces volver a utilizar el regulador de carbonato monitoreando y controlando el pH del sustrato. Los resultados mostraron que la concentración de fructosa fue constante (205mg·ml<sup>-1</sup>) a la salida del reactor por 88h y se obtuvo una conversión del 45,7%. Una vez realizada esta caracterización del sistema y conociendo las condiciones de trabajo se procedió a realizar la isomerización del jarabe de glucosa obtenido a partir del almidón de plátano.

TABLA I  
CLASIFICACIÓN SUBJETIVA DEL COLOR  
DE ACUERDO AL VALOR DE LAS UNIDADES  
DE DENSIDAD ÓPTICA DE LOS JARABES

Unidades DO	Color Visual
0,025	Agua
0,035	Paja muy ligero
0,050	Paja ligero
0,060	Paja
0,075	Paja amarillo muy ligero
0,100	Amarillo medio ligero
0,125	Amarillo ligero
0,150	Amarillo
0,200	Amarillo fuerte

Fuente: Guzmán-Maldonado (1992)

La obtención del jarabe fructosado se realizó a 60°C, en un reactor de columna con camisa para control de temperatura, con una relación 1:20 (diámetro:altura) y se usaron 2,0g de enzima glucosa isomerasa (Sweetzyme IT<sup>®</sup>, Bagsvaerd, Denmark) con actividad de 160 IGIU/g, donde IGIU son las siglas de *immobilized glucose isomerase units* (Bandlish *et al.*, 2002). Para activar la enzima se siguió el procedimiento descrito por Novozymes (2002). Se pesaron 2,0g de enzima en un vaso de precipitado de 100ml, se adicionaron 40ml de sustrato de glucosa anhidra al 45% (p/v) preparado bajo las condiciones de Novozymes; pH 7,5 ajustado con H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 0,5M y NaOH 1M; 1g·l<sup>-1</sup> MgSO<sub>4</sub>·7H<sub>2</sub>O; 0,18g·l<sup>-1</sup> Na<sub>2</sub>S<sub>2</sub>O<sub>3</sub>; 0,21g·l<sup>-1</sup> Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>), se dejó reaccionar por 1h agitando cada 5min, durante los primeros 15min y después con intervalos de 15min. Posteriormente se vertió la enzima en el reactor. A continuación se alimentó de forma continua el reactor con el jarabe de glucosa obtenido a partir del almidón de plátano (también preparado bajo las condiciones de Novozymes), para lo que se empleó una bomba peristáltica (Master Flex C/L, modelo 77120-62, Barrington, IL, EEUU) a una velocidad de flujo de 0,8ml/min (Bandlish *et al.*, 2002) y se mantuvo constante el pH (7,55) con un controlador digital (Modelo pH 7615,

B&C Electronics, Italia). La concentración de fructosa se determinó por el método de Ting (1956) y fue monitoreada mediante un programa basado en tomar muestras a diferentes intervalos de tiempos.

#### Color y estabilidad de color en el jarabe de fructosa

El color y la estabilidad del color se determinaron de acuerdo al método reportado por Pancoast y Junk (1980). El color de los jarabes usualmente se reporta en unidades de densidad óptica (UDO) que se calculan con la fórmula

$$UDO = \frac{\text{Log T (600 nm)} - \text{Log T (450 nm)}}{\text{Espesor de la celda}}$$

donde T: transmitancia.

Las valores de UDO (Tabla I) se relacionaron con una escala de color (Guzmán-Maldonado, 1992).

La estabilidad del color se midió a través del incremento de color originado por el calentamiento de la muestra. La muestra se colocó en tubos de vidrio sellados que se sumergieron en un baño de agua en ebullición por 1h. Los cálculos se realizaron con la fórmula

$$\Delta DO = Dof - Doi$$

donde  $\Delta DO$ : incremento en el color, Dof: densidad óptica final, Doi: densidad óptica inicial.

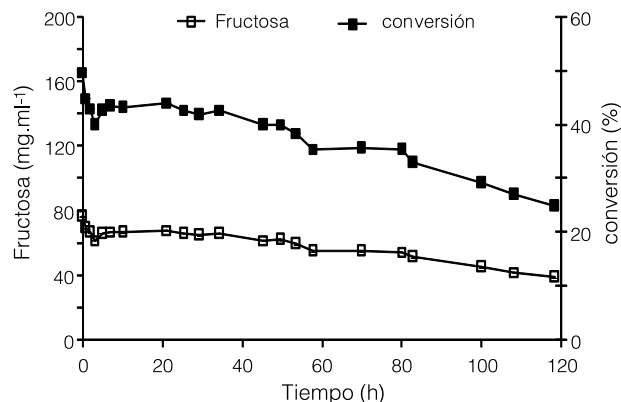


Figura 1. Conversión de glucosa a fructosa a partir de la sacarificación del almidón de plátano, durante 117h, en un reactor continuo con glucosa isomerasa inmovilizada. Promedio de tres determinaciones  $\pm$  error estándar.

Como estándares de comparación para el jarabe fructosado a partir de plátano se utilizaron los jarabes comerciales Miel Carlota<sup>®</sup> (MC) y la Miel Karo<sup>®</sup> (MK) (ambas obtenidas a partir de almidón de maíz).

#### Análisis químicos y fisicoquímicos

Los análisis de densidad, cenizas sulfatadas, grados brix (°Bx), humedad, sólidos se realizaron con los métodos oficiales 945,06; 900,02; 932,14; 925,10 y 945,62; respectivamente; de la AOAC (1990). La viscosidad y el pH se determinaron mediante las técnicas utilizadas por Flores-Gorosquieta (2003) y Guzmán-Maldonado (1992), respectivamente.

#### Análisis estadístico

Para determinar la significancia estadística de las propiedades fisicoquímicas de los jarabes fructosados, se aplicó un análisis de varianza de una sola vía ( $p \leq 0,05$ ). Cuando se encontraron diferencias significativas, se aplicó la prueba de comparación múltiple de Tukey (Walpole *et al.*, 1991) usando el paquete estadístico Sigma-Stat, versión 2,1.

#### Resultados y Discusión

##### Obtención del jarabe de fructosa

La conversión de glucosa a fructosa llevada a cabo durante

117h, a partir de la sacarificación del almidón de plátano (Figura 1) mostró que durante 50h de reacción la conversión de glucosa a fructosa se mantuvo por arriba del 40%, hubo una disminución a las 57h, para después mantenerse constante hasta las 80h y, finalmente, la conversión de glucosa a fructosa disminuyó gradualmente hasta las 117h. Esto se debió a que la actividad de la enzima disminuyó conforme transcurrió el tiempo de reacción, ocasionado por la presencia de impurezas en el jarabe de glucosa alimentado al reactor. Un reactor continuo operado durante un tiempo largo está expuesto a una gran cantidad de sustrato y en consecuencia el efecto acumulado de impurezas en el jarabe de alimentación puede llevar a la reducción significativa de la actividad enzimática. Algunas impurezas solubles, tales como proteínas, aminoácidos y cenizas, son inhibidores potenciales de la enzima glucosa isomerasa inmovilizada y pueden inactivarla químicamente, mientras que otras se absorben en la enzima bloqueando gradualmente los sitios activos (Novozymes, 2002). Estos resultados se corresponden con la cantidad elevada de cenizas encontrada en el jarabe de fructosa obtenido del almidón de plátano.

La concentración de fructosa promedio que se tuvo hasta las 80h fue de 63,3mg·ml<sup>-1</sup>, lo que representa una conversión media de 41,3%, valor que está dentro de la conversión esperada para esta enzima (40-45%) según las

TABLA II  
COLOR Y ESTABILIDAD DE COLOR, DE LOS JARABES DE FRUCTOSA<sup>1</sup>

Evaluación	MC	MK	JFP
Color (UDO)	0,052 ±0,003 a	0,049 ±0,002 a	1,78 ±0,006 b
Clasificación subjetiva	Paja ligero	Paja ligero	---
Color (UDO)	0,14 ±0,006 b	0,072 ±0,001 a	3,27 ±0,011 c
Clasificación subjetiva	Amarillo ligero	Paja	---

<sup>1</sup> Promedio de tres repeticiones ± desviación estándar.

MC: Miel Carlota®, MK: Miel Karo®, JFP: Jarabe fructosado a partir de plátano. UDO: Unidades de densidad óptica. Las letras iguales dentro de la fila indican que no hay diferencias significativas ( $\alpha=0,05$ ).

especificaciones del fabricante. Es importante conocer esta conversión utilizando un nuevo sustrato diferente al jarabe de glucosa obtenido a partir de almidón de maíz. A su vez, la concentración de DE utilizada (80%) permitió obtener la velocidad máxima de conversión de la enzima para este nuevo sustrato. Después de las 80h de uso continuo del reactor con la enzima inmovilizada, la actividad de la enzima empezó a disminuir, indicando que debe ser reemplazada, o bien que el flujo de alimentación debe ser ajustado en función de la disminución de la actividad de la enzima (Olsen, 1995; Novozymes, 2002). Se han propuesto modelos con la finalidad de optimizar la productividad neta de jarabes de fructosa (Zhang *et al.*, 2004), así como también se ha buscado el uso de fuentes naturales de edulcorantes (Pontoh y Low, 1995; Sáenz *et al.*, 1998).

#### Color en el jarabe fructosado

El valor del color para el jarabe de fructosa a partir de almidón de plátano (JFP) fue de 1,78 UDO (Tabla II), siendo significativamente diferente ( $\alpha=0,05$ ) a los valores obtenidos

para los estándares. Este valor tampoco está dentro de los de la escala de color para los jarabes, lo cual puede deberse al alto contenido de cenizas (Tabla III) que proporciona cierta turbiedad al jarabe. Esto muestra que tan importante es la refinación del producto de la isomerización a través de tratamiento con carbón activado o columnas de intercambio iónico donde se puede eliminar el color y obtenerse un jarabe transparente, aunque esto último dependerá de la aplicación eventual dada al jarabe (Wilson *et al.*, 1995).

#### Estabilidad del color en los jarabes

Se encontraron diferencias estadísticas significativas ( $\alpha=0,05$ ) entre los tres jarabes ensayados (Tabla II). Los jarabes comerciales MC y MK, a pesar de estar dentro de la escala de color, no son estables en el tiempo, ya que sus valores aumentaron, respectivamente, de 0,052 a 0,14 y de 0,049 a 0,072. El valor de 3,27 para el JFP pudiera deberse a que el jarabe obtenido de la isomerización contiene rastros de proteína y aminoácidos que logran provocar una reacción de oscurecimiento, ya que el jarabe

no fue previamente clarificado antes de concentrarse, pues a simple vista el jarabe presentó ausencia de color. Es conocido que los jarabes purificados contienen rastros de proteínas y aminoácidos que llegan a reaccionar con los azúcares reductores, dando las reacciones de oscurecimiento o reacciones de Maillard, donde se obtienen productos de color oscuro. Otra de las causas de la inestabilidad del color es la caramelización que se produce por el calentamiento de los carbohidratos (Kearsley y Dziedzic, 1995). Por otra parte, el JFP presentó un valor de pH >6 y la estabilidad del color del jarabe se favorece a un pH más ácido (Bostan y Boyacioglu, 1997).

#### Propiedades fisicoquímicas del jarabe fructosado

Se encontraron diferencias significativas ( $\alpha=0,05$ ) en el contenido de cenizas entre el JFP y los jarabes comerciales MK y MC (Tabla III), pero los tres jarabes presentaron un valor menor que el estándar recomendado (DEIA, 2002). El contenido de ceniza para el JFP (2,07%) probablemente fue influenciado por el contenido de sales adicionadas al jarabe

TABLA III  
CARACTERÍSTICAS FISICOQUÍMICAS DEL JARABE DE FRUCTOSA<sup>1</sup>

Características	Estándar (recomendado)	MC	MK	JFP
Cenizas <sup>2</sup> (% bs)	2,12	0,38 ±0,03 a	0,39 ±0,05 a	2,07 ±0,02 b
Sólidos <sup>3</sup> (% bs)	78≤	78,79 ±0,26 a	77,87 ±0,56 a	77,90 ±0,64 a
Humedad (%)	—	21,21 ±0,26 a	22,13 ±0,56 a	22,10 ±0,64 a
Sólidos solubles <sup>3</sup> (°Bx)	76,46-76,28	79,5 ±0,03 b	78,0 ±0,03 a	77,50 ±0,03 a
pH <sup>4</sup>	4,3	4,6 ±0,06 a	4,5 ±0,01 a	6,50 ±0,04 b
Densidad <sup>4</sup> (g·ml <sup>-1</sup> )	1,39	1,39 ±0,001 b	1,38 ±0,002 a	1,38 ±0,002 a

<sup>1</sup> Promedio de tres repeticiones ± error estándar. <sup>2</sup> DEIA (2002). <sup>3</sup> Arancia (2004). <sup>4</sup> CAFAGDA (Cámara Argentina de Fructosa, Almidones, Glucosas, Derivados y Afines).

MC: Miel Carlota®, MK: Miel Karo®, JFP: Jarabe fructosado a partir de plátano. Las letras iguales dentro de cada fila indican que no hay diferencias significativas ( $\alpha=0,05$ ).

de glucosa y las cenizas intrínsecas provenientes de la fuente de almidón, así como también por las soluciones utilizadas en el ajuste de pH durante la reacción de isomerización. Las sales son removidas en los procesos industriales mediante purificación y filtración en columnas de intercambio iónico para que el contenido residual de cenizas sea bajo (Wilson *et al.*, 1995), ya que con esto se evitan problemas muy frecuentes en las bebidas embotelladas, donde el contenido de cenizas puede ocasionar cambios en el sabor y la formación de precipitados y turbiedad en los productos finales, que en ocasiones también presenta la sacarosa.

El contenido de sólidos no fue diferente ( $\alpha=0,05$ ) entre los tres jarabes y sus valores estuvieron cercanos al valor estándar. En cuanto al contenido de sólidos solubles no se encontraron diferencias estadísticas significativas ( $\alpha=0,05$ ) entre el JFP y el comercial MK, pero estos sí fueron diferentes a MC. Los valores de los sólidos solubles de los tres jarabes analizados fueron mayores del estándar recomendado (Tabla III), lo cual probablemente se debió a que hay un mayor contenido de azúcares disueltos en esos jarabes con respecto al sugerido en el estándar.

Los valores de pH de los tres jarabes variaron de 4,5 a 6,5 (Tabla III). El mayor valor correspondió a JFP, lo que está relacionado con la ausencia de refinación como se hace a nivel industrial, donde además se ajusta el pH entre 4 y 5 para que haya una calidad final de aceptabilidad y estabilidad durante el almacenamiento del producto.

#### Viscosidad de los jarabes de fructosa

Los tres jarabes fructosados (MK, MC y JFP) tuvieron un comportamiento de fluido newtoniano, coincidiendo el comportamiento reportados para el jarabe de maíz (Rao, 1986) y la miel (Tello *et al.*, 1996).

La gráfica (Figura 2) de esfuerzo de corte ( $\tau$ ) versus la velocidad de deformación ( $\dot{\gamma}$ )

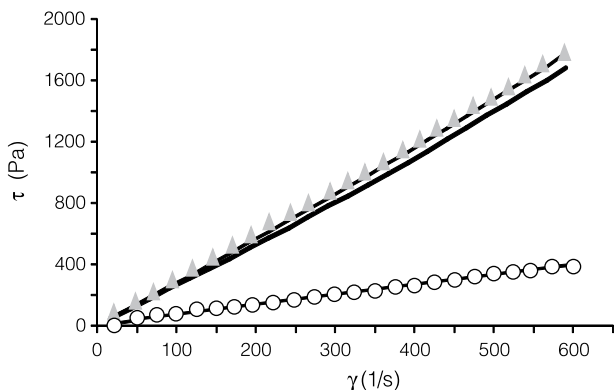


Figura 2. Relación entre velocidad de deformación ( $\dot{\gamma}$ ) y esfuerzo de corte ( $\tau$ ) para diferentes jarabes fructosados y sus valores de pendiente. ▲: Miel Carlota ( $\mu = 2,88\text{Pa}\cdot\text{s}^{-1}$ ;  $R=0,999$ ); —: Miel Karo ( $\mu = 2,71\text{Pa}\cdot\text{s}^{-1}$ ;  $R=0,999$ ); ○: Jarabe fructosado a partir de plátano ( $\mu = 0,727\text{Pa}\cdot\text{s}^{-1}$ ;  $R=1,0$ ). Promedio de tres determinaciones  $\pm$  error estándar.

muestra una línea recta proporcional entre ambos parámetros, dando un valor del coeficiente de regresión  $>0,99$ . La viscosidad del JFP ( $\mu = 0,727\text{Pa}\cdot\text{s}^{-1}$ ) fue menor ( $\alpha=0,05$ ) que la de los jarabes comerciales MK y MC, de  $\mu = 2,71$  y  $2,88\text{Pa}\cdot\text{s}^{-1}$ , respectivamente. Las viscosidades de los tres jarabes fueron diferentes ( $\alpha=0,05$ ). Se ha reportado que la viscosidad de un jarabe es directamente proporcional a su contenido de humedad y su peso molecular, e inversamente proporcional al contenido de DE (Arancia, 2004). En este caso el contenido de humedad fue el mismo para los tres jarabes; sin embargo, la disminución de la viscosidad podría deberse a la diferencia en el contenido de carbohidratos de bajo peso molecular que pueda contener cada uno. El jarabe de fructosa está formado por carbohidratos de bajo peso molecular, por lo cual presenta una viscosidad baja respecto a otro tipo de edulcorantes, y debido a ello se facilita su manejo (Arancia, 2004). Por otra parte, variando los niveles de viscosidad en los jarabes se tiene un mejor control de la textura de los productos en donde se adiciona, especialmente en alimentos líquidos o semilíquidos (DEIA, 2002).

## Conclusiones

El almidón de plátano es una fuente alternativa para la obtención de un jarabe con alto contenido de fructosa. El método propuesto mostró alto ren-

dimiento y permite obtener un producto que cumple con las características necesarias para ser usado como edulcorante. Los resultados obtenidos indican que es factible su aplicación a nivel industrial, en donde debe ser considerada una etapa de refinación del jarabe de fructosa.

## AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen el apoyo económico de la SIP-IPN, EDI-IPN, COFAA-IPN, México. El primer autor agradece al IPN la beca de maestría y la beca PIFI.

## REFERENCIAS

AOAC (1990) *Official Methods of Analysis*. Association of Official Analytical Chemists. Arlington, VA, USA. 1141 pp.

Arancia (2004) *Tablas de sólidos para jarabes de maíz de alta fructosa*. Arancia Corn Products. México. www.aracornproducts.com.mx (Cons. 17/11/2003).

Arroyo M (1998) Immobilized enzymes: Theory, methods of study and applications. *Ars Pharm.* 39: 23-39.

Atiyeh H, Duvnjak Z (2002) Production of fructose and ethanol from sugar beet molasses using *Saccharomyces cerevisiae* ATCC 36858. *Biotechnol. Prog.* 18: 234-239.

Bandlish RK, Michael-Hess J, Epting KL, Vieille C, Kelly RM (2002) Glucose to fructose conversion at high temperature with xilose (glucose) isomerases from *Streptomyces Murinus* and two hyperthermophilic Thermotoga species. *Biotechnol. Bioeng.* 80: 185-194.

Bello-Pérez LA, Sánchez-Hernández L, Moreno-Damian E, Toro-

Vázquez JF (2002) Laboratory scale production of maltodextrins and glucose syrup from banana starch. *Food Technol.* 53: 44-48.

Bostan A, Boyacioglu D (1997) Kinetic of non-enzymatic colour development in glucose syrup during storage. *Food Chem.* 60: 581-585.

CAFAGDA (2008) Fructosa. Cámara Argentina de Fructosa, Almidones, Glucosos, Derivados y Afines. www.cafagda.com.ar

CEFP (2007) *México: El Mercado del Maíz y la Agroindustria de la Tortilla*. Centro de Estudios de Las Finanzas Públicas. México. www.cefp.gob.mx

DEIA (2002) *Diccionario de Especialidades para la Industria Alimentaria*. Solís Sánchez JA, y Rosenstein Ster E (Eds.) 12ª ed. Thomson PLM. México. pp 80-90.

Flores-Gorosquieta E (2003) *Obtención de jarabe de glucosa a partir de almidón de plátano empleando un reactor enzimático a nivel planta piloto*. Tesis. Instituto Politécnico Nacional. México. 92 pp.

Flores-Gorosquieta E, García-Suárez F, Flores-Hiucochea E, Núñez-Santiago MC, Gonzales-Soto RA, Bello-Pérez LA (2004) Rendimiento del proceso de extracción de almidón de frutos de plátano (*Musa paradisíaca*). Estudios en planta piloto. *Acta Cient. Venez.* 55: 86-90.

Ge Y, Wang Y, Zhou H, Wang S, Tong Y, Li W (1999) Coimmobilization of glucoamylase and glucose isomerase by molecular deposition technique for one-step conversion of dextrin to fructose. *J. Biotechnol.* 67: 33-40.

Gerrits PM, Tsalikian E (1993) Diabetes and fructose metabolism. *Am. J. Clin. Nutr.* 58: 796S-799S.

Guzmán-Maldonado S (1992) Optimización de un procedimiento enzimático para la licuefacción del almidón mediante la metodología de superficie de respuesta. Tesis. Instituto Politécnico Nacional. México. 197 pp.

Novozymes (2002) *Use of Sweetzyme® T in the production of high fructose syrup*. Novozymes A/S, Bagsvaerd, Denmark.

Kearsley MW, Dziedzic SZ (1995) Physical and chemical properties of glucose syrups. En Kearsley MW, Dziedzic SZ (Eds.) *Handbook of Starch Hydrolysis Products and Their Derivatives*. Blackie. Ucrania. pp. 129-154.

Kumakura M, Yoshida M, Kaetsu I (1979) Immobilization of glucose isomerase-containing *Streptomyces phaeochromogenes* cells in fine-particle form. *Appl. Env. Microbiol.* 37: 310-315.

Mishra A, Debnath Das M (2002) Effect of pH on simultaneous

saccharification and isomerization by glucoamylase and glucose isomerase. *Appl. Biochem. Biotechnol.* 102: 193-200.

Moore MC, Mann SL, Davis SN, Cherrington AD (2001) Acute Fructose Administration Improves Oral Glucose Tolerance in Adults With Type 2 Diabetes. *Diabetes Care* 24: 1882-1887.

Olsen HS (1995) Enzymatic production of glucose syrup. En Kearsley MW, Dziedzic SZ (Eds.) *Handbook of Starch Hydrolysis Products and Their Derivatives*. Blackie. Ucrania. pp. 26-63.

Palazzi E, Converti A (2001) Evaluation of diffusional resistances in the process of glucose isomerization to fructose by immobilized glucose isomerase. *Enz. Microb. Technol.* 28: 246-252.

Pancoast HM, Junk WR (1980) *Handbook of Sugar*. AVI. Westport, CT, EEUU. 598 pp.

Pontoh J, Low NH (1995) Glucose syrup production from Indonesian palm and cassava starch. *Food Res. Int.* 28: 379-385.

Rao MA (1986) Rheological properties of fluid foods. En Rao MA, Rizvi SSH (Eds.) *Engineering Properties of Foods*. Dekker. Nueva York, EEUU. pp. 1-47.

Sáenz C, Estévez AM, Sepúlveda E, Mecklenburg P (1998) Cactus pear fruit: A new source for a natural sweetener. *Plant Foods Hum. Nutr.* 52: 141-149.

Tello E, Pasquel A, Trebejo E (1996) Uso de reometría capilar para la caracterización reológica de néctares de frutas de *Solanum topiro*. *Mem. Ier Cong. Iberoam de Ingeniería de Alimentos*. Valencia, España. p. 19.

Ting SV (1956) Rapid colorimetric method for simultaneous determination of total reducing sugar and fructose in citrus juices. *J. Agric. Food Chem.* 4: 263-266.

Usitupa MI (1994) Fructose in the diabetic diet. *Am. J. Clin. Nutr.* 59: 753S-757S.

Walpole ER, Myes HR, Myes LS (1991) Probabilidad y Estadística para Ingenieros. 6ª ed. Printice-Hall Hispanoamericana. México. pp. 688-699.

Wilson JA, Mitchell GA, Spruyt DSJ, Vanderbist MJP (1995) Analysis of glucose syrup. En Kearsley MW, Dziedzic SZ (Eds.) *Handbook of Starch Hydrolysis Products and Their Derivatives*. Blackie. Ucrania. pp. 83-128.

Zhang Y, Hidajat K, Ajay KR (2004) Optimal design and operation of SMB bioreactor: production of high fructose syrup by isomerization of glucose. *Biochem. Eng. J.* 21: 111-121.

Zhou H, Kong W, Cha X, Li W, Shen J (1992) Simultaneous saccharification and isomerization by immobilized glucoamylase and glucose isomerase. *J. Chem. Technol. Biotechnol.* 54: 43-46.