

ESTUDIO DE LA PRODUCCIÓN DE JARABES GLUCOSADOS A PARTIR DE MALTODEXTRINAS EMPLEANDO DOS ENZIMAS COMERCIALES

STUDY OF GLUCOSE SYRUP PRODUCTION FROM MALTODEXTRINES USING TWO COMERCIAL ENZYMES

Luz A. BETTÍN S.¹; Juan C. QUINTERO D.^{1*}

¹Grupo de Bioprocesos, Departamento de Ingeniería Química. Universidad de Antioquia. A.A. 1226. Medellín, Colombia.

RESUMEN

El almidón hidrolizado con alto equivalente de dextrosa tiene amplio uso en la industria de alimentos y como fuente de azúcares fermentables. Para mejorar el rendimiento de este proceso se desarrollan continuamente enzimas más eficientes. La enzima Dextrozyme GA® (DGA) ha salido recientemente al mercado pretendiendo substituir a la enzima AMG 300L® (AMG). En este trabajo se evaluaron los rendimientos y velocidades de conversión en función de concentraciones de enzima entre 0,188-0,75 AGU/mL y maltodextrinas entre 60-180 g/L. La enzima DGA permitió desarrollar velocidades de reacción 26 veces superiores a las observadas con AMG 300L®. Así mismo generó conversiones de hasta el 95% en tiempos de tratamientos menores a 60 minutos, en comparación con conversiones del 50% en 8 h para AMG. En el rango de valores de sustrato y enzima evaluados, se encontró que una concentración de sustrato de 130,2 g/L y de enzima de 0,55 AGU/mL fueron los valores óptimos. DGA presentó inhibición por producto del tipo anticompetitivo, mayor a bajos niveles de enzima. Un modelo matemático tipo Michaelis-Menten con inhibición permitió simular los datos experimentales. Estos resultados podrían ser usados para el diseño de reactores donde se lleven a cabo procesos de obtención enzimática de jarabes glucosados.

Palabras Clave:enzimas, jarabes glucosados, glucoamilasa, maltodextrinas, hidrólisis.

ABSTRACT

Hydrolyzed starch with a high-dextrose equivalent is extensively used in the food industry and as a source of fermentable sugars. In order to obtain a better yield in this process more efficient enzymes had been continuously developed. Dextrozyme GA® (DGA) has been released recently in the market to replace AMG 300L® (AMG) enzyme. In this paper yields and hydrolysis rates were evaluated as a function of maltodextrin concentration between 60 and 180 g/L and enzymes concentration between 0.188 and 0.75 AGU/mL. DGA allows enhancing hydrolysis rates up to 26 times more than those using AMG. Also DGA generates conversion of maltodextrin up to 95% in less than 60 minutes, in comparison with AMG which produces conversions up to 50% in 8 h. Among the values of substrate and enzyme concentration studied it was found that a substrate concentration of 130.2 g/L and enzyme concentration of 0.55 AGU/mL were optimal values. DGA is inhibited by uncompetitively product and is highly affected at a low enzyme concentration. We developed a mathematical model that successfully reproduces the experimental data. These results could be used in reactors design for syrup glucose enzymatic production.

Keywords:enzymes, glucose syrup, glucoamylase, maltodextrynes, hydrolysis.

INTRODUCCIÓN

La glucoamilasa (glucano 1,4- α -glucosidasa) es una enzima fúngica, extracelular, producida comercialmente con *Aspergillus niger* o *Rhizopus* sp., que libera unidades de d-glucosa de los extremos no reductores del almidón y de oligosacáridos como las maltodextrinas. Esta habilidad de degradación del almidón a glucosa tiene una gran aplicación industrial en el proceso de producción de jarabes de glucosa, materia prima en panadería, en la industria de bebidas y en infinidad de procesos biotecnológicos de los cuales los más representativos son la producción de fructosa y etanol (1). La industria del almidón es la segunda consumidora de enzimas, con el 33% de la demanda global, cuyo mercado para 2005-2006 ascendió a 3,75 billones de dólares (2).

Se han llevado a cabo un gran número de estudios empleando glucoamilasa para obtener jarabes glucosados de almidón con enzimas comerciales y enzimas de cepas aisladas; igualmente se han probado sistemas de inmovilización, sistemas de retención por membrana, etc., con el fin de mejorar la economía del proceso (3-5). En muchas de estas investigaciones se han empleado enzimas comerciales; sin embargo, la dinámica de incorporación de nuevas enzimas al mercado hace que en el curso de pocos años los resultados alcanzados sean mejorados con nuevas enzimas. La tradicional enzima amiloglucosidasa AMG 300L®, de Novozymes, es una de las más empleadas para la sacarificación de maltodextrinas (6,7). Con esta enzima se han alcanzado conversiones de maltodextrinas hasta del 90% en azúcares reductores en 72 h de tratamiento, empleando concentraciones de AMG 300L® de 0,75 AGU/mL para tratar soluciones de hasta 60 g de maltodextrinas/L (7, 8). Los modelos matemáticos propuestos para describir la sacarificación de almidones se representan con cinéticas tipo Michaelis- Menten e incluyen fenómenos de inhibición por sustrato y por glucosa como producto final (9, 10). Esto indica que una alta carga de maltodextrinas, deseable para mejorar la productividad del proceso, no es conveniente porque

pueden ocurrir los siguientes fenómenos de inhibición: altas concentraciones de sustrato de diferente grado de polimerización, como son las maltodextrinas, compiten por el dominio activo de la enzima dificultando su acoplamiento; además, ocasionan restricciones en la transferencia de masa limitando la velocidad de reacción y, por último, altas concentraciones de glucosa como producto causan inhibición competitiva de la enzima (11).

Recientemente ha salido al mercado un nuevo producto enzimático de Novozymes para la sacarificación de almidones, denominado Dextrozyme GA® (DGA), una glucoamilasa de *Aspergillus niger* con mayor capacidad de hidrólisis que AMG 300L®, que se ha usado ampliamente. El presente trabajo pretende evaluar y comparar la capacidad de hidrólisis de los dos preparados comerciales y cuantificar el nivel de mejoramiento en la obtención de azúcares reductores a partir de maltodextrinas. Así mismo, optimizar la concentración de sustrato empleado, alcanzando el balance entre los fenómenos de inhibición de la reacción por alta carga de sustrato y la productividad del proceso.

MATERIALES Y MÉTODOS

Reactivos

Se emplearon las enzimas AMG 300L® y dextrozyme GA®, ambas de Novozymes Corp., con 300 AGU/mL y 270 AGU/g respectivamente. Estas enzimas fueron suministradas por Coldanzimas S.A., representante en Colombia Novozymes Corp. Las maltodextrinas, un digerido enzimático de almidón de maíz con un 25% de azúcares reductores, fueron adquiridas en la empresa GMP® Productos Químicos S.A.

Sacarificación enzimática de maltodextrinas

Con el fin de evaluar el efecto de la concentración de enzima y de sustrato sobre la formación de azúcares reductores y la velocidad de reacción, y para ampliar el rango de la investigación de Flores y Uribe, 2001 (8), se evaluaron tres niveles de concentración de maltodextrinas (60, 120 y 180 g/L) y tres niveles de concentración de enzima (0,1875; 0,375 y 0,75 AGU/mL). Como la concentración de azúcares reductores en las maltodextrinas es del 25%, las concentraciones reales de sustrato cuando se adicionan 60, 120 y 180 g/L de maltodextrina son: 45, 90 y 135 g/L respectivamente. La secuencia de experimentos se efectuó de manera aleatoria y con cinco réplicas en el punto central, siguiendo un diseño experimental factorial que incluye dos factores a tres niveles, creado con el software Design – Expert 5.0.7® versión de prueba.

Las reacciones de sacarificación se llevaron a cabo a 60°C en erlenmeyers de 100 mL con 50 mL de volumen de reacción en una solución buffer de acetato (0,1 M) pH 4,3. Se tomaron muestras del sistema en diferentes tiempos y se llevaron a un baño de ebullición por 5 min para inactivar la enzima y detener la reacción. Se efectuaron ensayos control con sustrato en las diferentes concentraciones a evaluar, sin la adición de las enzimas, con el fin de determinar alguna posible hidrólisis no enzimática de la maltodextrina. Los resultados del diseño factorial se trataron estadísticamente mediante un análisis de varianza.

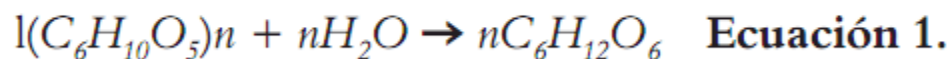
Determinación de azúcares reductores

La determinación de azúcares reductores se realizó por el método de ácido 3,5-dinitrosalicílico (DNS) (12). Una vez detenida la reacción, cada muestra se centrifugó a 5000 rpm durante 5 minutos, y a 1 mL del líquido claro se le adicionó 1 mL de solución de DNS. La mezcla se calentó

durante 5 minutos hasta ebullición, se enfrió en un baño de hielo y se midió la absorbancia de la muestra a 540 nm en un espectrofotómetro.

Modelo matemático

La reacción de hidrólisis del almidón se puede representar por la ecuación 1, de donde se obtiene que 1 g de almidón hidrolizado producirá 1,111 g de glucosa.



Como para la sacarificación se emplearon maltodextrinas con un contenido de azúcares reductores del 25%, se considera que la reacción de sacarificación, en su máxima eficiencia, realizará una conversión del 75% con respecto al almidón original. Por cada 1 g de maltodextrinas usado, sólo 0,75 g corresponderán al sustrato hidrolizable. Si este sustrato fuese sólo moléculas de almidón, su estequiometría sería de 1g de almidón por 1,111 g de glucosa formada, pero como las moléculas de maltodextrinas son oligosacáridos, se considera una estequiometría de 1g de sustrato hidrolizado por 1,083 g de glucosa formada.

El modelo general propuesto para describir la hidrólisis en un sistema por lotes se presenta en las ecuaciones 2, 3 y 4. La expresión cinética de velocidad de hidrólisis propuesta es tipo Michaelis- Menten.

$$\frac{d[s]}{dt} = -v \quad \text{Ecuación 2.}$$

$$\frac{d[p]}{dt} = 1,083v \quad \text{Ecuación 3.}$$

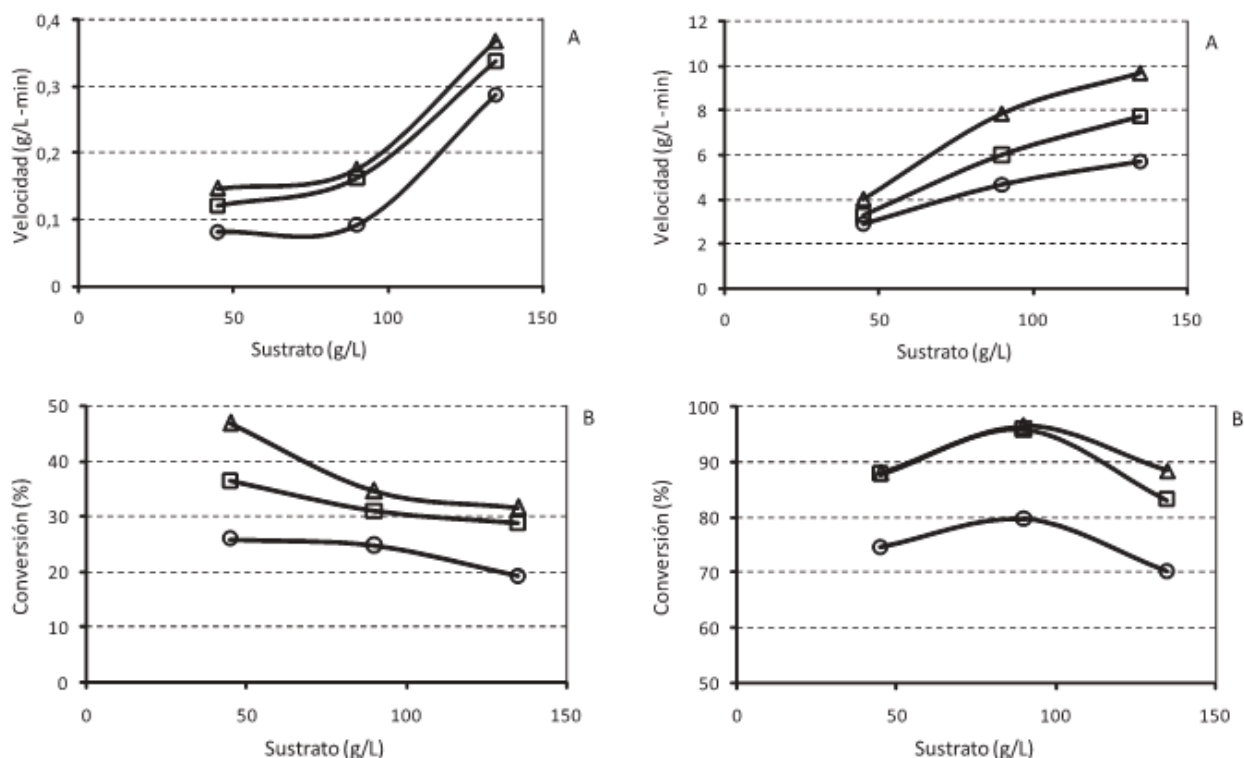
$$v = \frac{V_{\max} [s]}{K_m + [s]} \quad \text{Ecuación 4.}$$

Donde [s] y [p] son la concentración de maltodextrinas y de azúcares reductores en g/L respectivamente. V_{\max} (g/L-h) y K_m (g/L) son parámetros del modelo que representan la velocidad máxima de formación de azúcares reductores y la concentración de sustrato a la cual se alcanza la mitad de la velocidad máxima, respectivamente. La solución del modelo se realizó con el software MatLab 7.0®

RESULTADOS

Los resultados para la sacarificación de maltodextrinas con las enzimas AMG 300L® y DGA, a diferentes concentraciones de sustrato y de enzima, se presentan en la figura 1, .

Figura 1. Velocidad de hidrólisis y conversión de maltodextrinas con las enzimas AMG 300L® (A) y Dextrozyme GA® (B). Símbolos: (Δ) 0,75 AGU/mL; (\square) 0,375 AGU/mL; (\circ) 0,1875 AGU/mL.

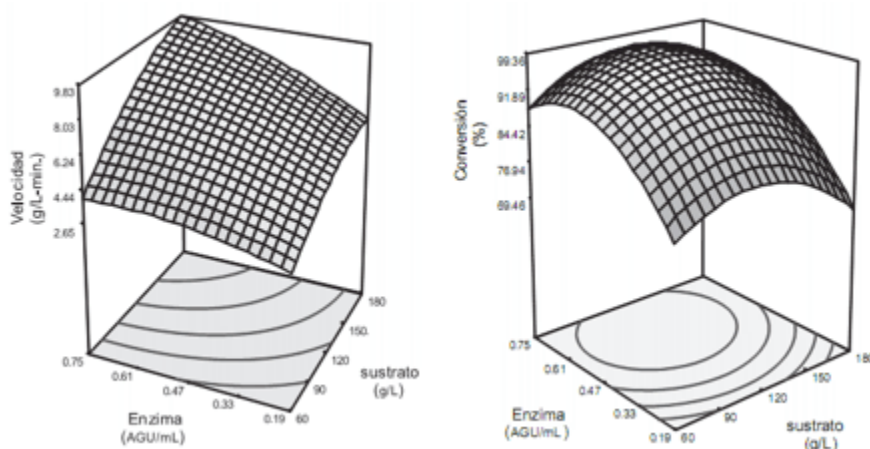


En los tratamientos con la enzima AMG 300L® se puede observar que elevando la concentración de maltodextrinas se incrementa la velocidad de hidrólisis con las tres concentraciones de enzima, siendo más marcado este fenómeno por encima de 90 g/L de sustrato (120 g/L de maltodextrinas). Con la conversión ocurre el fenómeno contrario: a una mayor concentración de sustrato, disminuye la conversión. La máxima conversión encontrada fue alrededor del 50%, para una concentración de sustrato de 45 g/L (60 g/L de maltodextrinas) y de enzima de 0,75 AGU/mL. Los resultados de conversión de maltodextrinas con DGA señalan que al aumentar la concentración de sustrato se incrementa la velocidad de hidrólisis; sin embargo, a diferencia de la enzima AMG 300L®, la velocidad aumenta de manera sostenida a partir de los 60 g/L de maltodextrinas, con valores de velocidad hasta 26 veces superiores. Esto se debe a que los tiempos de reacción con DGA para alcanzar las máximas conversiones fueron menores a 60 minutos, mientras que para AMG 300L® fueron hasta de 8 h. Con DGA se alcanzaron conversiones hasta del 95%, a una concentración de sustrato de 90 g/L (120 g/L de maltodextrinas), mientras que no se observó una diferencia significativa en la conversión al trabajar con 0,375 y 0,75 AGU/mL de DGA. Los controles revelaron que en las condiciones de los ensayos no existe hidrólisis de maltodextrina por factores térmicos, lumínicos o químicos, sino puramente enzimáticos.

Los resultados de la hidrólisis de maltodextrinas con la enzima DGA fueron significativamente mayores en conversión y velocidad que con AMG 300L®. En la figura 2 se presentan los

resultados obtenidos con DGA por medio de superficies de respuesta para la velocidad de reacción y la conversión en función de la concentración de sustrato y de enzima. Los valores que maximizan la velocidad de reacción corresponden a los mayores valores de concentración de enzima y sustrato, mientras que los que maximizan la conversión son 120 g/L para maltodextrinas y 0,61 AGU/mL para la enzima. El análisis de varianza permitió obtener un modelo estadístico para cada variable respuesta, permitiendo así predecir su valor para una pareja de datos de concentración de enzima [E] y de sustrato [S] dentro del intervalo investigado (ecuaciones 5 y 6). Las unidades de las variables corresponden a las que se observan en la figura 2. Las variables independientes que se enseñan en el modelo son las que presentaron un estadístico $P < 0,05$.

Figura 2. Superficie de respuesta de velocidad de hidrólisis y conversión de maltodextrinas en azúcares reductores empleando la enzima Dextrozyme GA®.



$$\begin{aligned}
 \text{Velocidad} = & -1,95 + 5,49[E] + 0,068[S] - 5,86[E]^2 \\
 & + 0,041 [E][S] \qquad \qquad \qquad \text{Ecuación 5.} \\
 R^2 = & 0,9797
 \end{aligned}$$

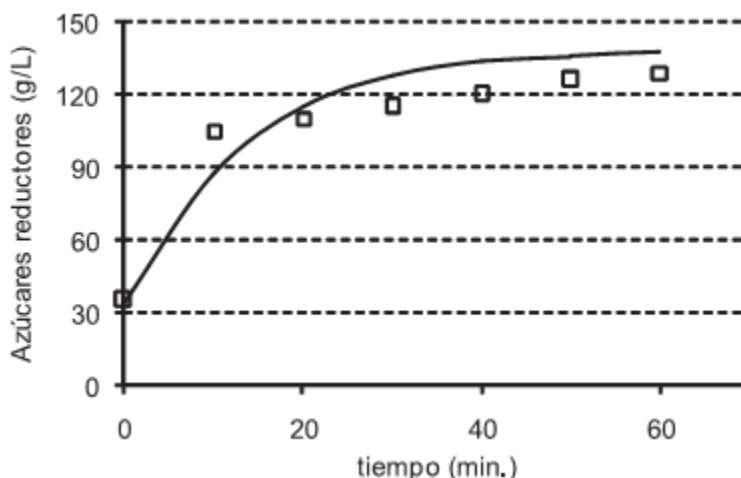
$$\begin{aligned}
 \text{Conversión} = & 32,09 + 129,79 [E] + 0,49 [S] - \\
 & 117,36 [E]^2 - 2,292E-3[S]^2 \text{ Ecuación 6.} \\
 R^2 = & 0,9765
 \end{aligned}$$

Donde [E] es la concentración de la enzima DGA (AGU/mL) y [S] es la concentración de maltodextrinas (g/L).

Utilizando la herramienta de predicción de óptimos del software Design - Expert 5.0.7® se obtuvieron valores para concentración de maltodextrinas de 130,2 g/L, y para concentración de enzima, de 0,55 AGU/mL (0,2% p/v), como los óptimos, que permiten maximizar la velocidad de hidrólisis y la conversión de manera simultánea. Los valores de velocidad y de conversión predichos con los valores óptimos fueron 7,58 g/L-min y 98,8%. En la figura 3 se muestran los resultados experimentales de la evaluación de las condiciones óptimas. La máxima conversión que se alcanzó fue de 96,3% y la velocidad de reacción máxima fue de 7,00 g/L-min, lo que da

un porcentaje de error de 2,53% para la conversión y de 7,65% para velocidad con respecto a los resultados óptimos predichos por el software, lo que demuestra la bondad de la predicción.

Figura 3. Sacarificación enzimática de maltodextrina con Dextrozyme GA® empleando los valores óptimos de concentración de enzima y sustrato: 0,55 AGU/mL y 130,17 g/L. Los cuadrados representan los datos experimentales. La línea es la simulación predicha por el modelo matemático de Michaelis-Menten.



Para emplear el modelo propuesto en las ecuaciones 2, 3 y 4 se requiere la obtención de los parámetros cinéticos V_{max} y K_m . En la figura 4 se presentan los valores de velocidad de hidrólisis y concentración de sustrato en la forma sugerida por Lineweaver-Burk para la linealización de la ecuación de Michaelis-Menten. Los valores obtenidos para los parámetros cinéticos pueden apreciarse en la tabla 1.

Figura 4. Gráfica de linealización de Lineweaver – Burk para los resultados de velocidad de hidrólisis en función de la concentración de sustrato empleando la enzima DGA. Concentración de enzima empleada: (Δ) 0,75 AGU/mL; (\square) 0,375 AGU/mL; (\circ) 0,1875 AGU/mL

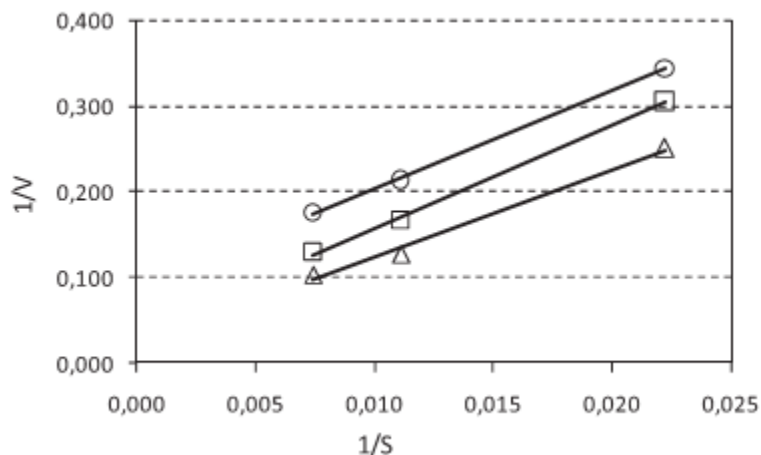


Tabla 1. Parámetros de la cinética de Michaelis Menten para cada concentración de enzima.

Enzima (AGU/mL)	Km (g/L)	Vmax. (g/L-min)
0,1875	130,23	11,35
0,375	290,03	26,25
0,75	463,59	45,45

Las líneas obtenidas por la linealización de Lineweaver – Burk son rectas y aproximadamente paralelas, y señalan que para esta enzima se presenta un fenómeno de inhibición anticompetitiva (13), con una mayor inhibición a bajas concentraciones de enzima, dado que los valores de V_{max} y K_m son menores al disminuir la concentración de enzima. Se obtuvo un ajuste para los valores de V_{max} y K_m en función de la concentración de enzima (e), de acuerdo a las ecuaciones 7 y 8. Estos ajustes se introducen en la ecuación 4 para obtener el modelo cinético de la hidrólisis de maltodextrinas correspondiente a la ecuación 9.

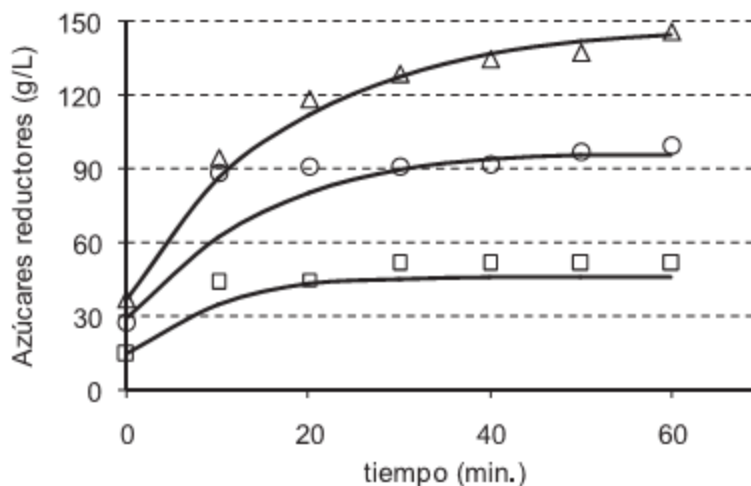
$$K_m = -1042e^2 + 1569e - 127,3 \quad \text{Ecuación 7.}$$

$$V_{max} = -51,03e^2 + 108,4e - 7,177 \quad \text{Ecuación 8.}$$

$$v = \frac{(-51,03 * e^2 + 108,4 * e - 7,177)[s]}{(-1042 * e^2 + 1569 * e - 127,3) + [s]} \quad \text{Ecuación 9.}$$

Como la maltodextrina contenía un 25% de azúcares reductores, los valores iniciales para el producto P corresponden al 25% de la masa de maltodextrinas empleada en cada ensayo. Para las concentraciones de maltodextrina de 60, 120 y 180 g/L, los valores de azúcares reductores iniciales corresponden a 15, 30 y 45 g/L respectivamente. Los resultados de la simulación para una concentración de enzima DGA de 0,1875 AGU/mL se pueden observar en la figura 5. En la figura 3 se observa el ajuste del modelo al perfil obtenido en las condiciones óptimas

Figura 5. Producción de azúcares reductores a partir de maltodextrinas empleando la enzima DGA a una concentración de 0,1875 AGU/mL. Símbolos para las concentraciones de maltodextrinas: () 60 g/L; (O) 120 g/L; (Δ) 180 g/L. Los símbolos representan los datos experimentales, las líneas son la simulación predicha por el modelo.



DISCUSIÓN

La enzima DGA tiene una actividad mucho mayor para hidrolizar maltodextrinas que la AMG 300L®, lo que demuestra que la primera es un producto mejorado de Novozymes para el proceso de producción de jarabes glucosados. Con la enzima AMG 300L® las velocidades iniciales de hidrólisis, aunque cerca de 30 veces menores que con DGA, son superiores a 0,07 g/L-min., reportado en la literatura (3). Estos autores obtuvieron conversiones superiores al 90% empleando un reactor de membrana, mientras que en el presente trabajo las mayores conversiones fueron cercanas al 50% en sistemas por lotes durante 8 h de tratamiento. En un sistema de membrana, los azúcares producidos que generan inhibición a la enzima son retirados del sistema, lo que explica las mayores conversiones alcanzadas. En otros trabajos, empleando alfa-amilasa y la enzima glucoamilasa AMG 300L® sobre almidón, se han obtenido conversiones hasta del 35% en azúcares reductores después de 24 h de tratamiento (14). Esos valores son similares a los obtenidos en este trabajo, que señalan la baja eficiencia de la enzima AMG 300L® para tiempos cortos de exposición. De otro lado, con DGA se han encontrado conversiones de hasta 96% en la sacarificación de almidón en 48 h de incubación (15). Con DGA se observa un valor óptimo para la sacarificación de 120 g/L de maltodextrinas, y una concentración de enzima de 0,61 AGU/mL. No se aprecia un incremento significativo en la conversión al elevar la concentración de enzima de 0,375 a 0,75 AGU/mL, probablemente porque las bajas concentraciones de sustrato residual, obtenidas por altas conversiones, generan muy bajas velocidades de reacción. De otro lado, el descenso en la conversión, de 95 a 85%, a altas concentraciones de maltodextrinas (180 g/L), es evidencia de la inhibición de la glucoamilasa por los azúcares reductores, fenómeno que también ha sido observado por diversos investigadores (16). Este fenómeno de inhibición también se observó al aplicar la linealización de Lineweaver-Burk para encontrar los parámetros cinéticos de la enzima, como se observa en la figura 4. La relación entre los azúcares producidos y la concentración de enzima para cada tratamiento es una medida de la cantidad de inhibidor presente; por ejemplo: para una concentración de maltodextrina de 120 g/L, las cantidades de azúcares reductores presentes al final del tiempo de hidrólisis por unidad de enzima DGA fueron de 544, 308 y 154 (mg/AGU), para concentraciones de enzima de 0,188; 0,375 y 0,75 AGU/mL respectivamente. De acuerdo con estos valores, las concentraciones de producto por unidad de enzima son mayores a bajas concentraciones de enzima, por lo que el mayor efecto de inhibición se encuentra a bajas concentraciones de enzimas, y disminuye al incrementar la concentración de enzima. Este efecto es equivalente a la

inhibición anticompetitiva, la cual muestra que a mayor nivel de inhibición, se reducen la velocidad máxima de formación de producto y la constante K_m , tal como se observa en los resultados que aparecen en la tabla [1](#).

Los altos valores de K_m que se encontraron en este trabajo permiten indicar que los ensayos se hicieron a muy bajas concentraciones de sustrato, muy por debajo de los valores de K_m . Esto quiere decir que si se incrementa la concentración de maltodextrinas por encima de 180 g/L, a valores altos de enzima, se podrían obtener mayores velocidades de hidrólisis y, por consiguiente, menores tiempos de tratamiento. Esta tendencia puede apreciarse también por la superficie de respuesta para la velocidad de hidrólisis, en la figura [2](#). Con estas condiciones, sin embargo, se reduciría considerablemente la conversión, como es evidente en la figura [2](#), para la superficie de respuesta en función de la conversión, de donde se concluye la importancia de optimizar estas dos variables respuesta simultáneamente. Por último es interesante señalar que los resultados experimentales sobre las condiciones óptimas predichas permitieron validar el modelo estadístico, y sobre estos resultados y los obtenidos en la experimentación a las diferentes concentraciones de enzima DGA y sustrato, el modelo matemático mostró un alto nivel de ajuste ($r^2=0,97$). Otros autores también han mostrado modelos de inhibición por producto para la sacarificación de maltodextrinas con glucoamilasa. La inhibición encontrada es del tipo competitivo (11,13), mientras que en este trabajo se observó una de tipo anticompetitivo. En la inhibición anticompetitiva, el inhibidor se enlaza al centro activo de la enzima después de que el sustrato lo ha hecho. Esta descripción coincide con el fenómeno donde la enzima y el sustrato (oligosacárido) se unen y forman una molécula de producto que, a su vez, se puede unir a la enzima generando un complejo ESI (enzima-sustrato-inhibidor) inactivo, reduciendo la hidrólisis del restante oligosacárido. El producto de la hidrólisis de maltodextrinas inhibe anticompetitivamente a la enzima DGA, y este fenómeno es mayor a bajas concentraciones de enzima. En la figura 5 se presentan los resultados de la simulación, junto con los datos experimentales obtenidos para la menor concentración de enzima, alcanzando ajustes con coeficientes de correlación (r^2) de 0,97.

CONCLUSIONES

De este trabajo se puede concluir que la enzima DGA es mucho más eficiente que la enzima AMG 300L® para la sacarificación de maltodextrinas, dado que con la primera se alcanzan altas velocidades de conversión con rendimientos superiores al 95%. Dentro de las condiciones estudiadas se halló que una concentración de sustrato de 130,2 g/L y de enzima de 0,55 AGU/mL, son los valores óptimos para obtener una alta velocidad de reacción y producción de azúcares reductores. Este trabajo, además de demostrar las bondades de la enzima DGA, permitió optimizar el proceso de hidrólisis, identificando los niveles de los factores más relevantes del proceso, como son la carga de sustrato y de enzima, entre los cuales existe una relación que involucra obtener una alta velocidad de reacción y una máxima conversión, minimizando así el efecto de inhibición identificado en el proceso. El conocimiento de las propiedades superiores de la enzima DGA sobre la AMG 300L®, la identificación de las condiciones óptimas para esta enzima y el planteamiento de un modelo cinético que describe la formación de producto en el proceso de hidrólisis, son resultados de gran valor para un adecuado diseño del proceso y de los biorreactores en una planta de producción de jarabes glucosados. Sin embargo, habiendo identificado un fenómeno de inhibición por producto en el proceso, es conveniente el diseño de reactores con eliminación de producto simultáneamente, como en procesos de sacarificación y fermentación simultánea para obtención de diferentes productos

químicos, como etanol por ejemplo, o en sistemas de membrana, donde puedan permear los monosacáridos formados cuando se pretenda obtener solamente los jarabes.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a la empresa COLDANZIMAS S.A., representante para Colombia de Novozymes®, por el suministro de las enzimas. Este trabajo se desarrolló con el apoyo del proyecto sostenibilidad CODI-UdeA SOS07-1-01.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Jennylynd AJ, Byong HL. Glucoamylases: Microbial Sources, Industrial Applications and Molecular Biology – A Review. *J Food Biochem.* 1997 Dec; 21 (6): 1-52. [Links]
2. Comyns AE. Industrial enzymes – New products to flood the market. *Focus Catalysis.* 2006 Nov 1; 2006 (11): 2. [Links]
3. Agudelo B, Sánchez C, Figueroa C. Producción de jarabe glucosado mediante sacarificación enzimática. Empleo de un reactor con membrana. *Ingeniería Química.* 2004 Jul; 415: 197-199. [Links]
4. Kaur P, Satyanarayana T. Production and starch saccharification by a thermostable and neutral glucoamylase of a thermophilic mould *Thermomucor indicae-seudaticae*. *World J Microb Biot.* 2004 Jun; 20 (4): 419-425. [Links]
5. Kovalenko GA, Perminova LV, Plaksin GV, Chuenko TV, Komova OV, Rudina NA. Immobilized glucoamylase: A biocatalyst of dextrin hydrolysis. *Appl Biochem Micro.* 2006 Mar; 42 (2): 145-149. [Links]
6. Nebesny E, Rosicka J, Tkaczyk M. Influence of Conditions of Maize Starch Enzymatic Hydrolysis on Physicochemical Properties of Glucose Syrups. *starch.* 2004 Apr; 56 (3-4): 132-137. [Links]
7. Mera I, Carrera CJ. Obtención de glucosa a partir de almidón de yuca *Manihot sculenta*. *Rev Fac Cienc Agrop.* 2005 Jan-Dec; 31 (1): 54-63. [Links]
8. Flores O, Uribe N. Sacarificación enzimática para la producción de jarabe glucosado. *Rev Fac Ing Univ Antioquia.* 2001; 22 (22): 81-90. [Links]
9. Morales S, Alvarez H, Sanchez C. Dynamic models for the production of glucose syrups from cassava starch. *Food Bioprod Process.* 2008 Jul-Sep; 86 (C1): 25-30. [Links]
10. López C, Torrado A, Fuciños P, Guerra N, Pastrana L. Enzymatic inhibition and thermal inactivation in the hydrolysis of chestnut purgè with an amylases mixture. *Enzyme Microb. Technol.* 2006 Jun 26; 39 (2): 252-258. [Links]
11. Polakovic M, Bryjak J. Modelling of potato starch saccharification by an *Aspergillus niger* glucoamylase. *Biochem Eng J.* 2004 Apr; 18(1): 57-63. [Links]
12. Miller GL. Use of DNS for determination of reducing sugar. *Anal Chem.* 1959; 31 (3): 426-428. [Links]

13. Cepeda E, Hermosa M, Ballesteros A. Optimization of maltodextrin hydrolysis by glucoamylase in a batch reactor. *Biotechnol Bioeng.* 2001 May; 76 (1): 70-76. [Links]
14. Slominska L, Klisowska M, Grzeskowiak A. Degradation of Starch granules by amylases. *Elec J Polish Agric Univ.* 2003; 6(6): #15. [Links]
15. Johnson R, Moorthy SN, Padmaja G. Optimized parameters for the enzyme catalysed liquefaction and saccharification of sweet potato starch. *J Root Crops.* 2005; 31 (1): 7-13. [Links]
16. Saville BA, Huang C, Yacyshyn V, Desbarats A. Properties and performance of glucoamylases for fuel ethanol production. *Appl Biochem Biotech.* 2006 Mar; 129 (1-3): 180-194. [Links]

Recibido: Junio 05 de 2009; Aceptado: Junio 04 de 2010

* Autor a quien debe dirigirse la correspondencia: jcquinte@udea.edu.co



All the contents of this journal, except where otherwise noted, is licensed under a [Creative Commons Attribution License](#)

Facultad de Química Farmacéutica
Edificio de Extensión
Calle 70 N° 52-62 - Oficina 303
Tel.: 57(4)2198470 Fax: 57(4)2195459



revistavitae@udea.edu.co