

## EVALUACIÓN DE LA PRODUCCIÓN DE JARABES GLUCOSADOS POR MEDIO DE LA APLICACIÓN DE ENZIMAS AMILASAS SOBRE EL ALMIDÓN DE ÑAME (*Dioscorea rotundata*)

Carlos Ramón Vidal<sup>16</sup>

### RESUMEN

Se produjo jarabe edulcorante por hidrólisis enzimática del almidón de ñame espino (*Dioscorea rotundata*). El almidón se extrajo mediante el proceso físico desarrollado por CORPOICA - Colombia en el 2003, se cuantificó el rendimiento teniendo en cuenta la cantidad de materia prima inicial y se le determinó la concentración de almidón, amilosa, amilopectina, fibra cruda, cenizas, proteína, grasas y humedad acorde con lo exigido en las normas AOAC e ICONTEC. La hidrólisis enzimática del almidón se realizó aplicando  $\alpha$ -amilasa, glucoamilasa y pululanasa en soluciones de almidón al 36 y 46% p/p variando el orden de aplicación de la glucoamilasa y pululanasa; se determinó el pH, grados Brix, humedad, azúcares reductores (AR), azúcares totales (AT) y el equivalente dextrosa (ED) en los jarabes obtenidos. En la licuefacción se obtuvieron jarabes edulcorantes intermedios con un ED de 18,81% y 22,15%. Jarabes de baja y media conversión con un ED entre 34-45% en la primera sacarificación y jarabes de alta conversión con un ED entre 75-79 % como producto final. Los valores anteriores permiten la utilización del almidón de ñame espino para la producción de jarabes de múltiples usos en diferentes procesos de la industria agroalimentaria.

**Palabras claves:** ñame, jarabes edulcorantes, hidrólisis enzimática, equivalente dextrosa.

### ABSTRACT

Syrup produced sweetener by enzymatic hydrolysis from starch of hawthorn yam (*Dioscorea rotundata*). The starch was extracted by the physical process developed by CORPOICA - Colombia in 2003 quantifies performance considering the amount of starting material and was determined the concentration of starch, amylose, amylopectin, crude fiber, ash, protein, fat and humidity in accordance with the requirements of the AOAC standards, and ICONTEC. Enzymatic hydrolysis of starch was conducted using  $\alpha$ -amylase, glucoamylase and pullulanase in starch solutions at 36 and 46% w / w varying the order of application of glucoamylase and pullulanase were determined pH, Brix, moisture, reducing sugars (AR), total sugar (TS) and the dextrose equivalent (ED) in the syrups obtained. In the liquefaction were obtained with intermediate syrups sweeteners ED 18.81% and 22.15%. Syrups of fall and a half conversion with an ED between 34-45 % in the first saccharification and syrups of high conversion with an ED between 75-79 % like final product. The previous values allow the utilization of the starch of yam hawthorn for the production of syrups of multiple uses in different processes of the food-processing industry.

**Key words:** yam, syrups, enzymatic hydrolysis, dextrose equivalent.

16 Ing. Alimentos Esp. MSc, CEAD Valledupar. Grupo de Investigación: Creando Ciencias "CRECI", Código del registro del grupo en Colciencias: COL0055746, Línea de Investigación: Biotecnología alimentaria, Red de Investigación: Cadenas Productiva -Biotecnología, UNAD.

## INTRODUCCIÓN

Acorde con los datos del Ministerio de Agricultura, la región de la Costa Caribe es la de mayor producción de ñame de Colombia. En el año 2005 se cultivaron 24.800 hectáreas que produjeron 283.700 toneladas, con un rendimiento medio de 11,44 t/ha y un crecimiento del 0.61% con respecto al año anterior pero con bajo nivel tecnológico. Este producto constituye la principal fuente de ingresos y de empleo rural. Su aporte al Producto Interno Bruto Agrícola se calcula en el 0,4%.

La demanda interna y las perspectivas del mercado externo provocaron un incremento del área sembrada con ñame criollo (*Dioscorea alata*), ñame espino (*Dioscorea rotundata*) y el clon Diamante 22. Se alcanzan a exportar 23.000 ton/año hacia el mercado de los Estados Unidos, Venezuela y algunos pequeños volúmenes hacia Puerto Rico el Reino Unido y el resto de Europa. (CORPOICA y PRONATA, 2003).

Los procesos de transformación agroalimentaria utilizan diversas materias primas edulcorantes, entre los cuales se encuentran el azúcar común o sacarosa, glucosa, lactosa y fructuosa, entre otras. Algunos productos de alta concentración de sólidos, como mermeladas, arequipes o dulces pueden llegar a utilizar hasta un 45 % en su formulación, buscando conservar el producto o proporcionar las características organolépticas de cada producto

A inicios de la década del 70, por el elevado precio del mercado internacional del azúcar, la investigación se enfocó hacia la generación y desarrollo de alternativas de agentes endulzantes denominados *sustitutos del azúcar* a partir de la explotación de materias primas diferentes a la caña de azúcar, entre los cuales se encuentran el maíz y la papa de donde se obtienen jarabes o edulcorantes como el jarabe de maíz, ricos en glucosa y fructosa que ocupan un sitio importante en la línea de procesamiento de la molienda húmeda del maíz en Estados Unidos. Este país se constituye en el mayor productor mundial, lo que hace que muchas industrias dependan de las importaciones que se realicen de estos jarabes como sustitutos perfectos del azúcar en la fabricación de alimentos y bebidas y se genere un monopolio hacia los proveedores que comercializan estos edulcorantes en cada uno de los países hacia donde es importado. (Ministerio de Agricultura, 2006)

En este orden de ideas, cabe mencionar los trabajos realizados por Ingrid Mera y Jorge Carrera Cataño de la Universidad de Cauca, en el 2004, con la producción de glucosa a partir de almidón de yuca, utilizando las enzimas obtenidas de *Aspergillus Niger*, *Bacillus subtilis* y *Aspergillus Oryzae* a diferentes temperaturas, pH y concentraciones de sustrato. Otro aporte lo hace Hernández y col., 2007; en este trabajo se reportan algunas propiedades fisicoquímicas del jarabe de fructosa (JF) obtenido a partir del almidón de plátano *Musa paradisíaca*. El JF se obtuvo mediante dos reacciones secuenciales, catalizadas por enzimas que transformaron el almidón a glucosa y, finalmente, la glucosa a jarabe de fructosa. Por otra parte está el estudio de Satish D, Shewale y Aniruddha B. Pandit con la producción de glucosa a partir de tres calidades de grano de sorgo y mejora del rendimiento en la hidrólisis enzimática por la aplicación de ultrasonidos en la Universidad de Mumbai, Matunga, República del Congo.

La presente investigación pretende dar las bases necesarias para utilizar el almidón de ñame *Dioscorea rotundata* en la obtención de una materia prima necesaria en la industria de alimentos como es el agente edulcorante o jarabe glucosado. Lo anterior traería como consecuencia la necesidad de disponer de mayor número mayor cantidad de ñame y por ende el aumento de áreas sembradas generaría empleo, es decir, el desarrollo de la agroindustria del ñame.

El objetivo general de esta investigación fue evaluar la producción de jarabes glucosados por la aplicación de enzimas  $\alpha$ - Amilasas sobre el almidón de ñame variedad *Dioscorea rotundata* para su utilización en la industria de alimentos, lo que permitirá establecer una pauta para el aprovechamiento del ñame como materia prima no convencional en la producción de jarabes edulcorantes.

## METODOLOGÍA

### **Producción del almidón de ñame (*Dioscorea rotundata*)**

25 kg de ñame espino (*Dioscorea rotundata*), comprados en diferentes puntos del mercado de Basurto de Cartagena de Indias, Colombia fueron procesados para obtener el almidón por medio del proceso implementado por CORPOICA en el 2003.

El almidón obtenido se empacó en bolsas de polietileno de sello hermético, se almacenó y se caracterizó determinando la concentración de almidón mediante el método descrito por Martínez (2005); Humedad por la norma NTC 572 (ICONTEC, 2004) y según método A.O.A.C. 925,10 (AOAC, 2005); Amilosa y Amilopectina por colorimetría, utilizado por McGrance y col., (1998); utilizando dimetilsulfóxido (DMSO) y una recta patrón de amilosa preestablecida. Fibra cruda por el método A.O.A.C. 962 (AOAC 962.09. 1990). Cenizas, se determinó por incineración directa, utilizando el método A.O.A.C. 981.12E (AOAC, 1990). Proteínas, se utilizó el método de Biuret (Hung, 1984). Grasas, se determinó por el método de Soxhlet, sistema Tecator A.O.A.C 31.4.02 (A.O.A.C., 2005). PH por método A.O.A.C. 981,12 (AOAC, 2005).

### **Hidrólisis enzimática del almidón**

#### **Enzimas utilizadas**

Las enzimas utilizadas para desarrollar esta investigación fueron Liquozyme Supra ( $\alpha$ -amilasa), Dextrozyme GA (glucoamilasa EC 3.2.1.3) y Promozyme D2 (pululanasa); de la marca comercial Novozymes y suministradas por la empresa COLDANZIMAS limitada de Bogota, Colombia (Novozymes, 2007).

#### **Hidrólisis enzimática**

El proceso de hidrólisis al cual se sometió al almidón de ñame consistió en la aplicación de las tres enzimas mencionadas anteriormente ( Liquozyme, dextrozyme y promozyme) en diferentes secuencias de aplicación; en el proceso de hidrólisis 1 se aplicó la secuencia

Liquozyme – Promozyme – Dextrozyme (L – P – D) y para el proceso de hidrólisis 2 se aplicó la secuencia Liquozyme - Dextrozyme - Promozyme (L – D – P); en cada uno de los procesos se utilizaron soluciones al 36% y 46% de concentración de almidón de ñame. Se tomó cada una de las cantidades calculadas de almidón y agua en un matraz erlenmeyer de 1 litro y se agitó hasta lograr la mezcla y total dilución del almidón; se ajustó el pH a 5,4 con una solución de ácido clorhídrico al 37%, se adicionó 0,052% de enzima liquozyme teniendo en cuenta el peso seco de almidón utilizado en la dilución en cada una de las concentraciones (36 y 46 %). Se le colocó un tapón de caucho con un termómetro adaptado por la mitad del tapón para controlar la temperatura de proceso. La mezcla obtenida, almidón diluido más *liquozyme*, se sometió a un calentamiento progresivo con agitación constante en una estufa de agitación magnética marca Termolyne hasta alcanzar 105 °C y sosteniéndola por 5 minutos; luego, se disminuyó rápidamente la temperatura hasta 95°C en un baño de agua a temperatura ambiente, se sostuvo a esta temperatura en la estufa con agitación constante por una hora hasta alcanzar la licuefacción completa, la cual se determinó por el cambio paulatino de estado pastoso a líquido.

Al jarabe producto de la licuefacción, en el proceso de hidrólisis 1, se le redujo la temperatura hasta 58°C, se le ajustó el pH a 5,2 con solución de ácido clorhídrico al 37%, se le adicionó el 0.09% de enzima promozyme y se sostuvo en estas condiciones por 24 horas con agitación constante. En el proceso de hidrólisis 2, al jarabe obtenido en la licuefacción se le redujo la temperatura hasta 60° C, se ajustó el pH a 4,1 con solución de ácido clorhídrico al 37%, se le adicionó el 0,06% de la enzima *dextrozyme* y se sostuvo en estas condiciones por 48 horas.

El proceso de hidrólisis 1 continuó con la aplicación de la enzima dextrozyme y el proceso de hidrólisis 2 con la aplicación de la enzima promozyme en las condiciones mencionadas anteriormente para cada enzima. Luego de aplicar cada enzima se tomaron 30 gramos de muestra; es decir, tres muestras por proceso; cada muestra fue identificada con un código y se procedió a realizar por triplicado los análisis fisicoquímicos de grados Brix, teniendo en cuenta la norma NTC 4624 (ICONTEC,2004) y según método A.O.A.C. 932,14 (AOAC, 2005), pH por método A.O.A.C. 981,12 (AOAC, 2005). Humedad por la norma NTC 572 (ICONTEC, 2004) y según método A.O.A.C. 925,10 (AOAC, 2005). Azúcares totales, azúcares reductores y equivalente dextrosa por el método volumétrico o iodométrico de Lane Eynon modificado y adaptado de la norma NTC1779 (ICONTEC, 2004) y el método de la AOAC 923,09 (AOAC2005).

### **Diseño estadístico experimental**

Para realizar esta investigación se aplicó un diseño factorial 2<sup>2</sup>. El objetivo fue estudiar el efecto del factor “tipo de proceso” de hidrólisis enzimática aplicado y el factor “concentración de almidón” de ñame utilizado sobre la variable respuesta “el equivalente dextrosa” (ED) de cada jarabe obtenido luego de aplicar cada enzima en los respectivos procesos; para determinar el efecto de los factores principales y la interacción de los factores sobre el equivalente dextrosa del jarabe los datos se procesaron en una versión de evaluación del *software Statgraphics* plus versión 5.1 y la hoja de cálculo Excel de Microsoft office 2003.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Hidrólisis enzimática del almidón de ñame

Los resultados obtenidos de azúcares reductores, azúcares totales, equivalente dextrosa, sólidos, pH y grados Brix durante la aplicación de cada una de las enzimas utilizadas en la hidrólisis enzimática del almidón de ñame se muestran en la tabla 1. Se observó una producción de los azúcares reductores desde un 6,87% hasta un 52,05%; los azúcares totales de un 8,64% a un 60,26%; se logró un equivalente dextrosa entre 18,82% y 78,99%; los sólidos aumentaron del 35% al 70% y los grados Brix del 34% al 69%.

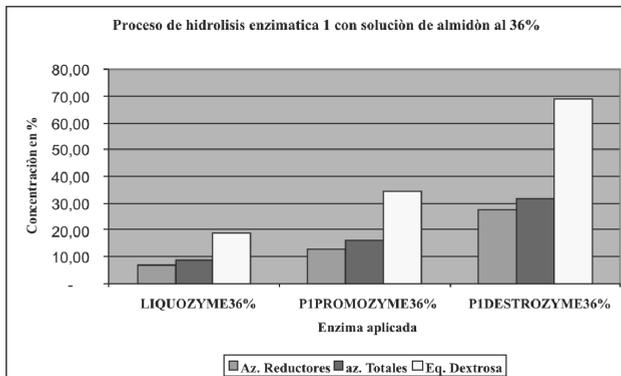
**Tabla 1.** Caracterización de los jarabes obtenidos de cada proceso de hidrólisis aplicado al almidón de ñame

| Enzima Aplicada | %Az. Reductores | %Az. Totales | %Eq. Dextrosa | %Sólidos     | Grados Brix  | pH          |
|-----------------|-----------------|--------------|---------------|--------------|--------------|-------------|
| Liq.36%         | 6,87 ± 0,28     | 8,64 ± 0,27  | 18,82 ± 0,83  | 36,50 ± 0,31 | 34,47 ± 0,12 | 5,25 ± 0,05 |
| Liq.46%         | 10,54 ± 1,33    | 11,20 ± 0,56 | 22,15 ± 2,77  | 47,56 ± 0,72 | 42,6 ± 0,20  | 5,23 ± 0,04 |
| Pro.36%P1       | 12,75 ± 0,85    | 15,75 ± 0,29 | 34,15 ± 1,90  | 37,32 ± 0,56 | 35,2 ± 0,28  | 5,23 ± 0,08 |
| Pro.36%P2       | 30,23 ± 0,35    | 31,19 ± 0,54 | 77,39 ± 2,61  | 39,09 ± 1,24 | 37,3 ± 0,46  | 5,29 ± 0,08 |
| Pro.46%P1       | 18,59 ± 0,46    | 30,52 ± 0,33 | 38,58 ± 0,73  | 48,19 ± 0,33 | 43,4 ± 0,20  | 5,36 ± 0,06 |
| Pro.46%P2       | 52,05 ± 0,82    | 60,26 ± 1,63 | 78,99 ± 1,77  | 65,91 ± 1,62 | 60,20 ± 0,04 | 5,35 ± 0,08 |
| Dex.36%P1       | 27,42 ± 0,37    | 31,48 ± 0,31 | 68,97 ± 1,20  | 39,76 ± 0,43 | 36,2 ± 0,60  | 4,21 ± 0,04 |
| Dex.36%P2       | 22,13 ± 0,72    | 23,07 ± 0,63 | 59,44 ± 2,01  | 37,24 ± 0,12 | 34,73 ± 0,31 | 4,24 ± 0,04 |
| Dex.46%P1       | 50,92 ± 0,88    | 54,79 ± 0,82 | 75,54 ± 1,48  | 67,41 ± 0,16 | 58,00 ± 0,20 | 4,23 ± 0,02 |
| Dex.46%P2       | 43,88 ± 0,47    | 47,26 ± 0,85 | 67,76 ± 1,77  | 64,78 ± 1,27 | 56,27 ± 0,42 | 4,19 ± 0,04 |

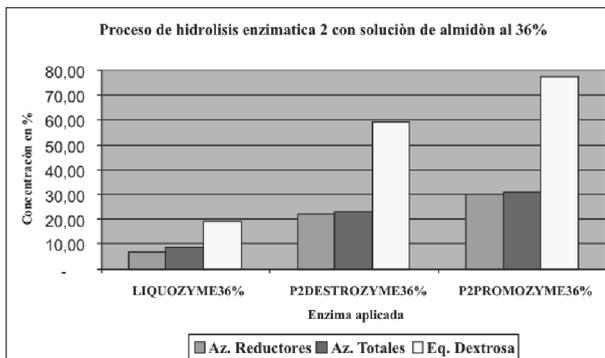
Liq.: Liquozyme; Pro.: Promozyme; Dex.: Dextrozyme.

Los rangos anteriores se encuentran dentro de los reportados por diversos autores (Galindo M., 2000; Prochasca y col., 2005; Sharifa y col., 2007;) utilizando almidón de plátano, yuca y papa. En las figuras del 1 al 4 se pueden observar los resultados para azúcares reductores, azúcares totales y equivalente dextrosa en cada uno de los procesos aplicados variando las enzimas dextrozyme y promozyme con cada concentración de almidón de ñame utilizado en cada secuencia de enzima.

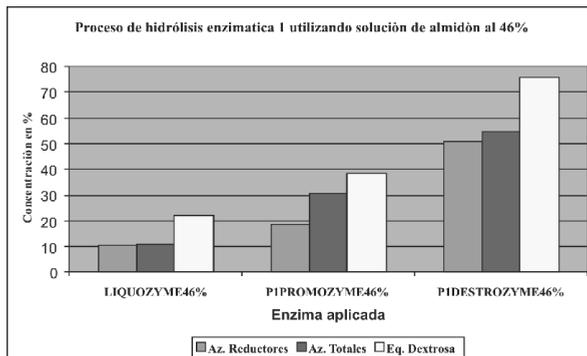
**Figura 1.** Hidrólisis enzimática con la secuencia L-P-D utilizando solución de almidón al 36%

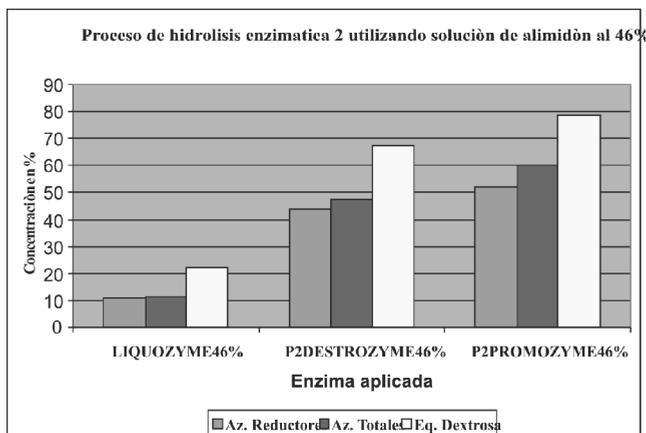


**Figura 2.** Hidrólisis enzimática con la secuencia L-D-P utilizando solución de almidón al 36%



**Figura 3.** Hidrólisis enzimática con la secuencia L-P-D utilizando solución de almidón al 46%





### Licuefacción del almidón de ñame por medio de la aplicación del enzima liquozyme

Del análisis de varianza y la prueba de comparación de medias de las menores diferencias significativas de Fisher (LSD) se determinó que cuando se utiliza una concentración del 36% se obtiene 18,81% de equivalente dextrosa y para una concentración de 46% de almidón se obtiene 22,15% estos resultados permiten confirmar la actividad de la  $\alpha$ -amilasa liquozyme sobre el almidón de ñame y que la mejor alternativa es la de 46%; el aumento de la concentración de almidón de 36% al 46% produce un incremento de sólo 3,34 puntos en el equivalente dextrosa del jarabe; esto puede ser debido a que el aumento de la concentración de almidón disminuye la actividad de la  $\alpha$ -amilasa (Baks Tim, 2005).

El equivalente dextrosa obtenido para las concentraciones de 36% y 46% de almidón utilizado puede ser debido al alto contenido de amilosa encontrado en el almidón de ñame hidrolizado (40,75%); teniendo en cuenta que para la hidrólisis enzimática del almidón de papa de 26,9% de contenido de amilosa (Delgado y col., 2008) y el 27% para el maíz (Badui, 1999) se producen en la etapa de la licuefacción valores de equivalente dextrosa entre 9 al 15% al utilizar concentraciones de almidón entre el 20 al 35% (Clarke, 1993; Wojciech y col., 2003).

El incremento en la concentración de maltodextrinas en el proceso de licuefacción disminuye la actividad enzimática de la  $\alpha$ -amilasa, las maltodextrinas pueden ser hidrolizadas por la  $\alpha$ -amilasa y se presenta una competencia por sustrato (Tim Baks y col, 2005).

### Sacarificación del almidón licuefaccionado por medio de la aplicación de promozyme

A partir del análisis de varianza, el método de comparaciones de medias de Fisher (LSD) y los contrastes de hipótesis para los factores proceso y porcentaje de almidón se determinó que hay interacción entre el % Almidón y el tipo de proceso. Estos factores tienen efecto estadísticamente significativo sobre el equivalente dextrosa del jarabe y que el cambio de concentración de almidón afecta negativamente al

equivalente dextrosa en los dos procesos acentuándose mucho más en el proceso 2 disminuyendo el equivalente dextrosa de 17,95% a 11,23% mientras que en el proceso 1 la disminución es más leve, de 15,08% al 14,43%. El factor proceso no incide de forma aislada sobre el equivalente dextrosa del jarabe al no existir diferencia significativa entre las medias de tipo de proceso. Los resultados anteriores indican que la reducción del contenido de agua por el efecto del aumento del contenido de sólidos (almidón) en la dilución inicial utilizada para la hidrólisis complica el desarrollo de la hidrólisis, aumentando la viscosidad, exigiendo una mayor agitación y temperatura de hidrólisis o el cambio de proceso para lograr una adecuada hidrólisis (Van der Veen, 2006).

El aporte obtenido de equivalente dextrosa en la aplicación de la enzima promozyme en el proceso de hidrólisis 1 (L-P-D) y en el proceso de hidrólisis 2 (L-D-P) utilizando concentraciones de 36% y 46% de almidón se puede comprobar en las figuras 11, 12, 13 y 14. El producto obtenido en el proceso 1, con un equivalente dextrosa acumulado de 34,34% y 38,58% puede ser considerado un jarabe de baja conversión (Díaz, 2003).

Los resultados anteriores permiten confirmar la acción de la enzima promozyme como una pululanasa sobre el enlace  $\alpha$ -1,6 de la amilopectina parcialmente hidrolizada en forma de maltotriosa en la etapa de la licuefacción; luego de la sacarificación parcial por parte la enzima dextrozyme como una solución al posible problema de la acumulación de isomaltosa por la acción especializada de la glucoamilasa dextrozyme sobre los enlaces alfa 1,4 y la hidrólisis lenta de los enlaces alfa 1,6 presentes en las maltodextrinas (Van Der Maarel, 2002).

### **Sacarificación del almidón licuefaccionado por medio de la aplicación de dextrozyme**

Tomando como base el análisis de varianza, el método de comparaciones de medias de Fisher (LSD) y los contrastes de hipótesis para los factores proceso y porcentaje de almidón se determinó que no hay interacción de los factores concentración de almidón y proceso que afecte el valor de equivalente dextrosa del jarabe y que estos factores tienen incidencia estadísticamente significativa de forma aislada sobre el valor del equivalente dextrosa del jarabe; en el proceso 1 se obtiene un incremento de 2,13 puntos en el equivalente dextrosa del jarabe al cambiar de una concentración de 36% al 46%. En el proceso 2, se obtiene el incremento de 6,71 puntos en el equivalente dextrosa del jarabe obtenido, tres veces más que en el proceso 1; que el aporte mayor al aumento del equivalente dextrosa del jarabe es logrado con la aplicación del proceso 2, en el cual se obtiene un equivalente dextrosa de 40,89% a 36% de concentración de almidón y aumenta hasta 47,60% cuando se utiliza 46% de almidón. La estimación del efecto almidón es 4,42% y para el proceso es de 8,37%. Los resultados indican que se obtienen mejores rendimientos de equivalente dextrosa en el jarabe a partir de la utilización del enzima dextrozyme sobre una solución de almidón al 46% aplicando el proceso de hidrólisis 2 (liquozyme-dextrozyme- promozyme). Lo anterior, debido a que desde el punto de vista del proceso se pueden obtener jarabes de alto equivalente dextrosa bajo condiciones de concentraciones de humedad reducida siempre y cuando el almidón sea completamente gelatinizado y fundido (Van der Veen, 2006). Los valores obtenidos en el incremento del equivalente dextrosa permiten confirmar la acción de la enzima dextroxime como una glucoamilasa sobre los enlaces  $\alpha$ -1,4 y  $\alpha$ -1,6 del almidón

licuado o parcialmente sacarificado (Van der Veen y col., 2006); (Buchholz y col., 2008); (Van Der Maarel, 2002); (Martínez, 2005).

El incremento del equivalente de dextrosa logrado en los procesos de hidrólisis aplicados son mayores que los reportados para el proceso de hidrólisis enzimática sobre el umari y para la yuca. (Paredes y col., 2001); (Grzeskowiak y col., 2007); obtienen un incremento del equivalente dextrosa del 31% al 33% en la sacarificación del jarabe del almidón de papa en un reactor de ultrafiltración utilizando concentraciones del 32% peso/ peso de almidón.

### **Análisis del Jarabe final obtenido**

Del análisis de varianza, la prueba de comparación de medias de Fisher (LSD) y el contraste de hipótesis se determinó la existencia de interacción entre ambos factores. Tanto la concentración de almidón utilizado y el tipo de proceso son significativos para el equivalente dextrosa y que el factor proceso es el que tiene mayor efecto sobre la media del equivalente dextrosa del jarabe; en el proceso dos se obtiene un equivalente dextrosa mayor al utilizar la concentración del 36% y la del 46% de almidón, al aumentar la concentración de almidón de 36% al 46% se logra un aumento del equivalente dextrosa del jarabe en ambos procesos pero de mayor valor en el proceso 2, el cual tiene un valor medio inicial de 77,39%, hasta registrar su mayor concentración: 78,99%. Mientras que en el proceso 1, se obtiene un valor de equivalente dextrosa inferior en ambas concentraciones de almidón utilizado. Lo anterior es debido a que dextrozyme es una amiloglicosidasa o glucoamilasa que actúa sobre los enlaces  $\alpha$ -1,4 y  $\alpha$ -16 de la amilosa y la amilopectina mientras que promozyme es una pululanasa y tiene sólo actividad sobre los enlaces  $\alpha$ -16 de la amilopectina, plulano y dextrinas límites (Badui, 1993); (Fennema, 1993).

Experimentalmente se ha demostrado que la hidrólisis del almidón a glucosa puede ser llevada a cabo en condiciones de concentración de sustrato superior al 65% y que los resultados obtenidos son específicos para cada tipo de glucoamilasa utilizada (Van der Veen y col., 2006). También se comprueba, que la estimación del efecto %Almidón es 4,08% y la del efecto proceso es 5,94%; lo que permite comprobar que el factor proceso es el de mayor incidencia en el equivalente dextrosa del jarabe; aunque la concentración de almidón también influye en el equivalente de dextrosa final del jarabe. Como se puede ver, la mejor alternativa es la de utilizar la concentración del 46 % y el proceso 2.

Los resultados obtenidos del equivalente dextrosa del jarabe final son superiores a los reportados para la hidrólisis de almidones de yuca (50%) y batata (36%) (Shariffa y col., 2009); pero inferior al obtenido a partir de la hidrólisis del almidón de plátano (80%) (Hernández y col., 2008); para el almidón de maíz 91% (Van Der Veen y col, 2006). Los jarabes obtenidos en esta investigación con equivalentes dextrosa de 78,99% y 77,39%, se consideran de alta conversión por su alto contenido en glucosa (Díaz y col., 2003); el valor del equivalente dextrosa obtenido en los jarabes durante la hidrólisis enzimática dependen del tiempo de reacción o incubación y la dosificación de enzima (Van Der Maarel., 2002).

## CONCLUSIONES

La etapa de licuefacción del almidón de ñame produjo jarabes intermedios que pueden ser utilizados por sus propiedades funcionales o como base para desarrollar otros procesos como el de la fermentación.

Al aplicar la pululanasa promozyme luego de la etapa de licuefacción se obtienen jarabes de baja conversión.

El equivalente dextrosa obtenido fue más significativo cuando se aplica dextrozyme luego de la etapa de licuefacción del almidón; es decir en el proceso 2 (L-D-P).

Se produjo un efecto altamente significativo de la concentración de almidón utilizada y el proceso de hidrólisis aplicado sobre el equivalente dextrosa del jarabe; el jarabe de mayor equivalente dextrosa se produce al utilizar una concentración de almidón el 46% aplicando el proceso de hidrólisis 2 (liquozyme- dextrozyme-promozyme).

El equivalente dextrosa del jarabe final obtenido de la hidrólisis enzimática del almidón de ñame variedad Dioscorea rotundata, permite clasificarlo como un jarabe de alta conversión.

El almidón de ñame variedad Dioscorea rotundata, puede ser utilizado como materia prima para obtener jarabes edulcorantes por medio de un proceso de hidrólisis enzimática.

La elección de una secuencia de aplicación de las enzimas para efectuar la hidrólisis enzimática del almidón de ñame, depende de las características necesarias de los jarabes a utilizar en la industria de alimentos.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- A.O.A.C. (2005). Oficial methods of a Analysis of the Associations of Oficial Analytical Chemists. 18 th. Cereal Food.
- A.O.A.C. (1990); Official Methods of Analysis of the Association of Official Analytical Chemists. 15 ed. EEUU.
- BAKS Tim y col. (2006), The effect of carbohydrates on  $\alpha$ -amylase activity measurements, Food and Bioprocess Engineering Group, Wageningen University and Research Center, P.O. Box 8129, 6700 EV, Wageningen, The Netherlands, Enzyme and Microbial Technology, Vol. 39, pp.114–119.
- BADUI Salvador, (1993). Química de alimentos, México, pearson educación, segunda edición, pp. 43-122.

- BUCHHOLZ K., Seibel J. (2008), Industrial carbohydrate biotransformations, *Carbohydrate Research*, Vol 343, pp.1966–1979.
- CLARKE M. A., (1993), SYRUPS, Sugar Processing Research Institute Incorporated, New Orleans, LA, USA *Encyclopedia of Food Science, Food Technology and Nutrition*, pp. 5711 – 5717.
- CORPOICA; PRONATTA, (2003) Concepción de un modelo de agroindustria rural para la elaboración de harina y almidón a partir de raíces y tubérculos promisorios, con énfasis en los casos de achira (*canna edulis*), arracacha (*arracacia xanthorrhiza*) y ñame (*Dioscorea sp.*) Informe técnico final, pp. 25 – 59.
- DÍAZ García Armando, Ricardo L. Zaldivar B. Suárez Grisel; (2003), Análisis de la viscosidad de la glucosa cubana de la fábrica de hidrolizados de almidón de Cienfuegos, Universidad de Oriente, Habana, Cuba. *TECNOLOGÍA QUÍMICA* Vol. XXIII, No. 2.
- DUFOUR Dominique, Hurtado Jhon, Gonzalo Rodríguez B. (2002), Procesamiento de dos especies de ñame (*dioscorea alata*, d. *Rotundata*): estudio de la factibilidad técnica y económica para la producción de almidón y harina, CIAT, CORPOICA, CIRAC.
- DUFOUR Dominique; Alarcón Fredy, (2001), Almidón agrio de yuca en Colombia: planta procesadora: descripción y planos de equipos. Centro internacional de agricultura tropical, Cali - Colombia; centre de coopération internationale en recherche agronomique pour le développement, département d'amélioration des méthodes pour l'innovation scientifique Montpellier, Francia, pp. 19, 20, 33.
- FAO. 2003. Estadísticas de producción de cultivos a nivel mundial. Consultado 15 febrero, (2009). Disponible en <http://apps.fao.org/page/form?collection=Production.Crops.Primary&Domain=Production&servlet=1&language=ES&hostname=apps.fao.org&version=default>.
- FENNEMA, Owen. (1993). *Química de los alimentos*. Ed. Acribia s.a. Zaragoza, España, segunda edición pp.189-265.
- FREITAS, R. A., Paula, P. C., Feitosa, J. P. A., Rocha, S. and Sierakowski M. R.(2004), Amylose content, rheological properties and gelatinization kinetics of yam (*Dioscorea alata*) and Cassava (*Manihot utilissima*) starches. *Carbohydrate Polymers*. 55: 3-8.
- HERNÁNDEZ Juan Pablo y col; (2004), Obtención de jarabe fructosado a partir de almidón de plátano (*musa paradisíaca* L.). Tesis para obtener el grado de maestro, instituto politécnico nacional, México, pp. 8 – 49.
- HUNG N.D.; Vas M.; Cheke E.; Bolcsi S.Z.A. (1984), Relative tryptic digestion rates of food proteins. *J Food Sci*, Vol. 49, pp. 1535-1542.

- GRZESKOWIAK-PRZYWECKA Anna y Lucyna Słominska, (2007), Saccharification of potato starch in an ultrafiltration reactor. *Journal of Food Engineering* 79 pp. 539–545.
- KRZYŻANIAK Wojciech y col., (2003), Characteristics of oligosaccharides produced By enzymatic hydrolysis of potato starch using mixture of pullulanases and alpha-amylases, Department of Biotechnology and Food Microbiology, The August Cieszkowski Agricultural University of Poznań, Poland, *Electronic Journal of Polish Agricultural Universities*. Vol 6 cap.2.
- MARTÍNEZ Gallego Juan Francisco, (2005), Utilización de alfa amilasas en la formulación de detergentes. Tesis de Doctorado, universidad de granada. España, pp. 95 -199.
- MERA Ingrid y Carrera Jorge. Obtención De Glucosa A Partir De Almidón de Yuca Manihot Sculenta: *Revista Facultad de Ciencias Agropecuarias Universidad del cauca Volumen 3 No.1 Marzo 2005*.
- MCGRANCE, S.J.; Cornell, H.J. y Ris, C.J., (1998), A simple and rapid colorimetric method for the determination of amilose in starch products. *Starch/Staerker*. Citado en: Martinez Gallego, J.F. (2005). Utilización de alfa amilasas en la formulación de detergentes. Tesis de Doctorado, universidad de granada.
- MINISTERIO DE AGRICULTURA DE COLOMBIA. (2006), *Agrocadenas, la agroindustria del azúcar en Colombia*.
- NOVOZYMES. (2007), Fichas de aplicación de las enzimas Liquozyme, Promozyme y Dextrozyme suministradas por la empresa Coldanzimas, Bogota, Colombia (2007).
- OFFICIAL METHODS OF ANALYSIS. A.O.A.C. 15 TH EDITION. U.S.A. (1990), Método AOAC 962.09, 1990).
- PAREDES Roger Ruiz, (2001), Hidrólisis enzimática de desechos del umarí (poraqueiba sericea tulasne) y de la yuca (manihot esculenta crantz) *Revista Amazónica de Investigación Alimentaria*, Vol.1, N° 1, p. 22 – 29.
- PROCHASKAA Krystyna, Kedzioraa Patrycja, Le Thanhb Joanna, Lewandowiczb Grazyna. (2007), Surface Properties Of Enzymatic Hydrolysis Products Of Octenylsuccinate Starch Derivatives, *Food Hydrocolloids*, pp. 654–659.
- SHARIFFA Y.N, Karim A.A, Fazilah A. Zaiduly I.S.M. (2008), Enzymatic hydrolysis of granular native and mildly heat-treated tapioca and sweet potato starches at sub-gelatinization temperature, *journal homepage: Food Hydrocolloids*, Vol. 23, pp. 434 – 440.

SHEWALE Satish D. y PANDIT Aniruddha B. Enzymatic production of glucose from different qualities of grain sorghum and application of ultrasound to enhance the yield: *Carbohydrate Research* 344 (2009) 52–60.

VAN DER VEEN M.E, Veelaert S. Van der Goot A.J., Boom R.M., (2006), Starch Hydrolysis Under Low Water Conditions: A Conceptual Process Design. *Journal of Food Engineering*, Vol. 75, pp. 178–186.

VAN DER MAAREL Marc, Van der Veen Bart, Uitdehaag Joost C.M., Leemhuis Hans, Dijkhuizen L. (2002), Properties And Applications Of Starch-Converting Enzymes Of The  $\alpha$ -Amylase Family, *Journal of Biotechnology*, Vol. 94, pp. 137–155.