

PRODUCCIÓN DE JARABES DE FRUCTOSA POR MEDIO DE LA HIDRÓLISIS ENZIMÁTICA DEL ALMIDÓN DE YUCA DE LAS VARIEDADES CORPOICA M TAI-8 Y CORPOICA ORENSE

PRODUCTION OF FRUCTOSE SYRUPS THROUGH ENZYMATIC HYDROLYSIS OF CASSAVA STARCH FROM VARIETIES CORPOICA M TAI-8 AND CORPOICA ORENSE

JAIRO G. SALCEDO M

Profesor asociado, Universidad de Sucre, jairo.salcedo@unisucre.edu.co

EVERALDO J. MONTES M

Profesor Titular, Universidad de Córdoba, emontes@sinu.unicordoba.edu.co

JOSE L. PAJARO S

Estudiante de Biología, Universidad de Sucre, jose2830@yahoo.es

Recibido para revisar julio 15 de 2008, aceptado febrero 6 de 2009, versión final febrero 23 de 2009

RESUMEN: El presente trabajo tuvo como objetivo la producción y evaluación del rendimiento de jarabes de fructosa a nivel de laboratorio, a partir de jarabes de glucosa obtenidos por medio de hidrólisis enzimática de almidones extraídos de dos variedades de yuca, C. Orense y C. M Tai-8. Para el desarrollo del trabajo, se implementó un diseño experimental de múltiple factor categórico completamente al azar con dos factores, el factor concentración de sustrato en cinco niveles (10, 20, 30, 40 y 50 % p/v de concentración de almidón) y el factor variedad de yuca en dos niveles (C. Orense y C. M Tai-8), con tres repeticiones, en un total de 30 unidades experimentales.

Inicialmente, en la etapa de licuefacción el jarabe de glucosa fue obtenido por medio de la hidrólisis enzimática del almidón utilizando la enzima Termamyl 120 L, Posteriormente en la etapa de sacarificación se utilizó la enzima AMG 300L, las cuales fueron suministradas por Coldanzimas distribuidor de Novo Nordisk para Colombia. En el desarrollo de estas dos etapas, para una concentración de 30 % p/v, se alcanzaron 95.32 y 94.12 unidades de equivalentes de dextrosa (E.D) para C. Orense y C. M Tai-8 respectivamente. Los jarabes de glucosa obtenidos fueron sometidos a un proceso de isomerización por 15 horas en un reactor de lecho fijo, que contenía 10 gr de la enzima glucosa isomerasa inmovilizada Sweetzyme IT de Novozymes, utilizada para convertir la glucosa en fructosa. Durante el desarrollo de todo el proceso, para una concentración de almidón del 30% p/v, se alcanzaron porcentajes de conversión de 71.40% para C. Orense y de 74.93% para C. M Tai-8. Los jarabes obtenidos presentaron concentraciones de fructosa de 21.20 % p/p para la variedad C. Orense y 22.10% p/p para variedad M Tai-8, concentraciones que las ubican dentro de los jarabes de segunda generación.

De acuerdo al análisis estadístico realizado a los datos experimentales, se presentan diferencias estadísticas a un nivel de significancia del 5% para la variable rendimiento de fructosa por variedades de yuca, y por concentraciones de almidón para la misma variedad, siendo obtenidos rendimientos máximos de 635.86 y Kg de fructosa/tonelada de almidón para la C. Orense y 674.707 Kg de fructosa/tonelada de almidón para C. M Tai-8 con respecto a la concentración inicial de almidón del 30% p/v.

PALABRAS CLAVE: yuca, *Manihot esculenta* Crantz, jarabes de fructosa, Sweetzyme IT, reactor de lecho fijo.

ABSTRACT: In the present work the production and yield of fructose syrups were studied at laboratory level based on glucose syrups obtained by enzymatic hydrolysis of starches extracted from two cassava varieties C. Orense and C. M Tai-8. For the development of the work, an experimental design of multiple categorical factor totally at random was implemented considering two factors, the factor substrate concentration in five levels (10, 20, 30, 40 and 50% p/v of starch concentration) and the factor cassava varieties in two levels with three replicates, in a total of 30 experimental units.

Glucose syrups were initially obtained by means of the enzymatic hydrolysis of the starch using the enzymes Termamyl 120 L in the liquefaction stage and AMG 300L for saccharification the stage, supplied by Novo Nordisk. Dextrose equivalent (DE) degrees of 95.32% and 94.12% were reached for C. Orense and C. M Tai -8 respectively to the starch concentration of 30 %.

The obtained glucose syrups underwent an isomerization process for a period of 15 hours in a fixed bed reactor with 10 g of the enzyme glucose immobilized isomerase Sweetzyme IT of Novozymes to transform the glucose into fructose. Percentages of conversion of 71.4% were obtained for C. Orense of 74.93% for C. M Tai-8 respectively for the starch concentration of 30% p/v. The obtained syrups presented concentrations of fructose as high as 21.2% p/p for the variety C. Orense and 22.1% for variety M Tai-8 being classified as syrups of the second generation.

According to the statistical analysis of the experimental data, statistical differences at a significance level of 5% were found between fructose yields for different cassava varieties and for different starch concentrations for the same variety. Maximum yields of 635.86 Kg of fructose/ton of starch and 674.71 Kg of fructose/ton of starch were obtained for C. Orense C. M Tai-8, respectively, considering an initial starch concentration of 30% p/v..

KEY WORDS: Cassava, *Manihot esculenta* Crantz, fructose syrups, Sweetzyme IT, fixed bed reactor.

1. INTRODUCCIÓN

La utilización de materias primas ricas en carbohidratos tanto para la producción de biocombustibles, como para la producción de edulcorantes, tales como el maíz y caña de azúcar, propone buscar fuentes alternativas de materias primas. El departamento de Sucre ha mantenido el tercer lugar en cuanto a producción de yuca (18.135 hectáreas) para el año 2006 con una participación de un 9.4% del total nacional, presentando promedios de 11.5 ton/ha [1].

La variedad C. M Tai se introdujo en el año 1986 con el código de M Tai-8, es un clon que proviene del cruzamiento realizado en Tailandia entre la variedad colombiana MCOL 1684 y la variedad regional Rayong 1. Es considerada amarga por el alto contenido de cianuro en su pulpa [2,3] y presenta rendimientos promedios para el departamento de Sucre de 25 ton/ha [4].

La variedad C. Orense es un producto de una hibridación realizada en el CIAT Palmira en 1994 utilizando como madre el clon BRA 384 y como padre la variedad ICA-NEGRITA Esta variedad fue seleccionada como la selección #2 de la familia CM 9021 en el año 1997 en el centro de investigación CORPOICA- El Carmen, ubicado en el municipio del Carmen de Bolívar [5].

La industria de los jarabes de fructosa tomó gran fuerza debido a que la fructosa tiene capacidad edulcorante 30% mayor que la sacarosa, 2.5 veces mayor que la glucosa y es 2 veces más soluble que la glucosa; a su vez posee menos niveles calóricos, lo que le permite tener muchas aplicaciones en los tratamientos de muchas enfermedades. En el mundo, la mayor parte de la fructosa se obtiene de la hidrólisis del almidón de maíz a glucosa seguido por la isomerización de glucosa a fructosa, sin descartar lo que se produce de otras fuentes ricas en carbohidratos, aunque la azúcar de caña continua siendo el edulcorante de mayor preferencia, hasta mediados de los 90 se apreció una tendencia de su sustitución por otros, ya sean calóricos o artificiales [6,7].

Jarabes fructosados con un grado de conversión del 46% fueron obtenidos a partir de jarabes glucosados con una concentración de 34.7 p/p, obtenidos de almidón de yuca, los resultados demostraron el efecto de inhibición significativo de los iones de calcio sobre la actividad enzimática, a condiciones de temperatura de 60 °C y pH 7.5 [8].

En el trabajo "Producción de un jarabe rico en alta fructosa utilizando almidón de plátano (*Musa paradisiaca*)", basados en la

isomerización de jarabes de glucosa con glucosa isomerasa durante 117 horas, mostró una concentración promedio de 63.3 mg/ml de fructosa a las 80 horas, y una conversión media de 41.3%, el jarabe de plátano presento valores bajos de concentración comparados con los comerciales [9].

En la Universidad Industrial de Santander se realizo un trabajo de investigación, sobre la producción de jarabes de alta fructosa a partir de jarabes de glucosa obtenidos de tres variedades de yuca (ARMENIA, AMARGA y CHILE). Los resultados mostraron que para la producción de jarabes de alta fructosa, las mejores condiciones de trabajo se establecieron fueron: concentración de jarabes de 50% p/p, pH de 7.5, temperatura a 82 °C y una relación carga enzimática-flujo de 2.98 gr. enzima.ml/min. Además la validación del modelo de superficie de respuesta presento porcentajes de error por debajo del 10%, lo que indica la buena correlación entre el modelo y la respuesta que se obtuvieron experimentalmente [6]. En la evaluación a nivel de laboratorio del rendimiento de la producción de jarabes de fructosa a partir del almidón extraído de dos especies de ñame (*Dioscorea alata*, var. Diamante y *Dioscorea rotundata*, var. Espino), para cinco (5) concentraciones de almidón (10, 20, 30, 40, 50 %p/v); inicialmente se obtuvieron jarabes glucosados a partir de la hidrólisis enzimática del almidón de ñame, utilizando las enzimas de Novozymes, Termamyl 120L, para la etapa de licuefacción y AMG 300L, para la etapa de sacarificación. Durante todo el proceso de hidrolisis se lograron alcanzar equivalentes de dextrosa (E.D) de 98.28% y 96.84% con una concentración de sustrato del 30 % p/v. En la isomerización de los jarabes de glucosa, se utilizo la enzima inmovilizada Sweetzyme IT de Novozymes, los mejores resultados fueron alcanzados a una concentración de sustrato del 30 % p/v para ambas especies de ñame, las cuales presentaron porcentajes de conversión de 71.46% y 67.28% en ñame espinos y diamante respectivamente. Igualmente a la concentración de sustrato del 30% p/v, se alcanzaron rendimientos a jarabes de fructosas hasta de 113.60 kg de fructosa/toneladas de ñame diamante, 100.76 kg de fructosa/toneladas de ñame espinos; 701.22 Kg. de fructosa/tonelada de

almidón de ñame diamante y 735.25 Kg. de fructosa/tonelada de almidón de ñame espinos, cuyos porcentajes de fructosa en el jarabe final se encuentran alrededor de 21.04% y 22.06% para ñame diamante y espinos respectivamente [10].

El modelo de Briggs - Haldane satisface la evaluación de los parámetros cinéticos en la isomerización de glucosa a fructosa y su inactivación utilizando la enzima inmovilizada glucosa isomerasa, bajo condiciones de operación de temperatura y concentraciones de interés industrial, modelo que simplifica los problemas de optimización industrial de reactores de lecho fijo para la producción de jarabes de alta fructosa [11]

2. MATERIALES Y MÉTODOS

Esta investigación fue desarrollada en las instalaciones de la Universidad de Sucre. La materia prima fue suministrada por la organización de productores de yuca MANDIOCA con sede en el Municipio de Sincelejo.

2.1 Diseño Experimental

El experimento fue conducido bajo un diseño experimental de múltiple factor categórico completamente al azar con dos factores, el factor concentración de sustrato (almidón) en cinco 5 niveles: 10, 20, 30, 40, 50 % p/v y el factor variedades de yuca en dos niveles: Corpoica M Tai-8 y Corpoica Orense, con tres repeticiones, para un total de 30 unidades experimentales.

2.2 Obtención del Almidón

Inicialmente se procede al lavado de la yuca con agua potable para eliminar las impurezas, se retira la epidermis con el fin de dejar la pulpa expuesta para el rallado, que se hizo con ayuda de un rallador manual el cual permitió liberar los gránulos de almidón contenidos en las células del parénquima, a la masa obtenida se le adiciona agua potable en una cantidad suficiente para facilitar el proceso de tamizado,

que se realiza en un lienzo de tela de nylon, el cual permite sólo el paso de la lechada. La sedimentación se realizó en tanques plásticos de 100 litros por 24 horas, se retiró el agua sobrenadante y la mancha que quedó en la superficie. Luego, el almidón se resuspendió en agua con el objetivo de eliminar la mayor cantidad de impurezas (4 – 5 horas). El secado del almidón se realizó mediante métodos naturales, aprovechando la energía solar, el almidón de yuca seco se empaca en bolsas plásticas de polietileno para luego ser embasadas en tarros plásticos secos y herméticamente sellados. La humedad se determinó por evaporación de una muestra de 10 g de almidón, a una temperatura de 100 – 110 °C en un horno durante 24 horas. Además, se midió el rendimiento de extracción de almidón, el cual se expresó en Kilogramos del almidón extraído / Kilogramos de yuca fresca, para lo que hubo necesidad de pesar la yuca antes y después del pelado, y del secado para establecer parámetros de rendimiento

2.3 Producción de Jarabes de Glucosa

Para los procesos de licuefacción y sacarificación se adaptaron Beakers de 1 Litro como bioreactores, en los cuales se depositó la solución de 0.5 litros de almidón con concentraciones de (10, 20, 30, 40, y 50 % p/v), Luego se adicionó una concentración de iones calcio (CaCl_2) a 70 ppm, se ajustó el pH hasta 6.5 y se agregó la enzima Termamyl 120L de Novozymes. Posteriormente los bioreactores se introdujeron en un baño termostático a 90 °C, y la solución se sometió a una agitación de 250 rpm con un tiempo de residencia alrededor de 2 horas durante las cuales se tomaron muestras cada 20 minutos. En el proceso de sacarificación se enfrió y controló la temperatura a 60 °C, se ajustó el pH a 4.5 con ácido sulfúrico 0,4 N, manteniéndose estable con una solución tampón fosfato. Luego, se agregó la enzima amiloglucosidasa (AMG 300L) de Novozymes, con agitación de 250 rpm, durante un tiempo de reacción de 2 horas, en donde se tomaron muestras cada 30 minutos. Las enzimas Termamyl 120L y AMG 300L, se utilizaron en las cantidades y parámetros estipulados por Novozymes, basados en su actividad 120 KNU/g

y 300 AGU /ml [12]. La determinación de equivalentes de dextrosa (ED), durante el proceso se estableció por medio el análisis de los azúcares reductores según el método del ácido 3,5 dinitrosalicílico [13]. Con el fin de eliminar las impurezas que interfieren con el producto final, los jarabes de glucosa se trataron con carbón activado a temperatura ambiente (30°C). Posteriormente se sometieron a filtración con una bomba de vacío 1/6H.P Modelo SA55NXGTE-4870 a 400mmHg

2.4 Conversión de Jarabes de Glucosa a Jarabes De Fructosa

En este proceso se tomaron 200 ml de jarabe glucosado el cual se llevó a una concentración de iones Mg_{+2} a 100 ppm y una concentración de sulfito (SO_2) a 100 ppm. El pH se ajustó a 7.5 con carbonato de sodio (Na_2CO_3). El catalizador utilizado fue la enzima glucosa isomerasa inmovilizada Sweetzyme IT [14]. El proceso se realizó en un reactor diferencial de lecho fijo (con una relación diámetro-altura de 1:20) a una temperatura de 58-60°C regulada por un baño termostático (figura 1).

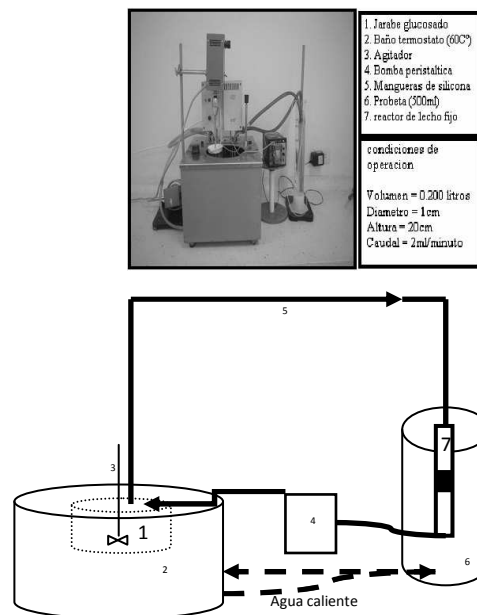


Figura 1. Descripción del sistema de producción de jarabes de fructosa

Figure 1. Description of fructose syrups production system

Al reactor de lecho fijo se le adicionaron 10 gr de enzima, el sustrato fue administrado con una bomba peristáltica Maxterflex C/L ® PUMP SYSTEM, a una velocidad de flujo de 2 ml/minuto. Se recolectaron muestras cada 60 minutos durante 15 horas a las cuales se les determinó el contenido de glucosa por el método de Glucosa oxidasa/Peroxidasa (GOD/POD) de acuerdo con las condiciones recomendada por la firma BIOSYSTEMS. Este procedimiento se llevo a cabo en un fotolorímetro (MICROLAB 200 de MERCK). El contenido de fructosa fue calculado por la diferencia entre las concentraciones iniciales y finales de glucosa.

3. RESULTADOS Y DISCUSIONES

3.1 Obtención del Almidón de Yuca

Los rendimientos obtenidos en la producción de almidón a partir de las variedades de yuca estudiadas, como sus contenidos de humedad se muestran en la tabla 1. El porcentaje de humedad de la materia fresca de yuca fue de 65.2% b.h para la C. Orense y de 64.6% b.h para la C. M Tai-8, estos valores se encuentran dentro del porcentaje de humedad registrado por CIAT [3] para la yuca los cuales están alrededor de 62% y 65% b.h

Tabla 1. Balances de materia en la obtención de almidón de las variedades C. M Tai y C. Orense
Table 1. Mass balances in obtaining of starch varieties C.M Tai and C. Orense

Variiedad de yuca	C. M Tai-8	C. Orense
Peso yuca fresca (Kg.)	20	20
Peso yuca descascarada (Kg.)	19.16	18.6
Peso de la cascara (Kg.)	0.84	1.4
Peso almidón obtenido (Kg.)	3.6	3.5
Rendimiento %	18.5	17.5
Humedad yuca b.h.	65.2	64.6
Humedad almidón b.h	10.8	12.8

Se presentaron rendimientos en la producción de almidón desde 17.5% hasta 18.5%, valores cercanos a los obtenidos por Aristizabal y colaboradores [15] en su trabajo Guía técnica para la producción y el análisis de almidón de

yuca quienes reportan rendimiento de 17% y 20%.

3.2 Producción de Jarabe de Glucosa

El comportamiento del proceso de licuefacción y sacarificación de los almidones de las variedades de yuca C. Orense y C. M Tai-8 se presentan en las figuras 2 y 3. Los equivalentes de dextrosa (E.D) aumentan hasta alcanzar valores máximos durante todo el proceso por encima de 90 unidades.

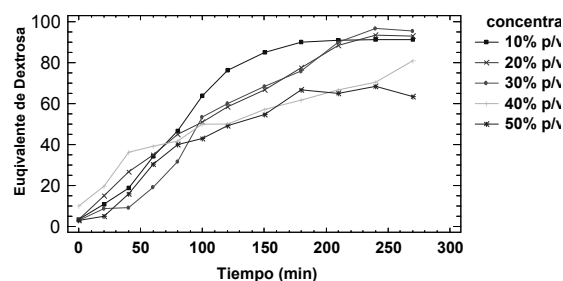


Figura 2. Hidrólisis del almidón de la variedad C. Orense, equivalentes de dextrosa (E.D)
Figure 2 Hydrólisis of starch of the variety C. Orense, dextrose equivalent (ED)

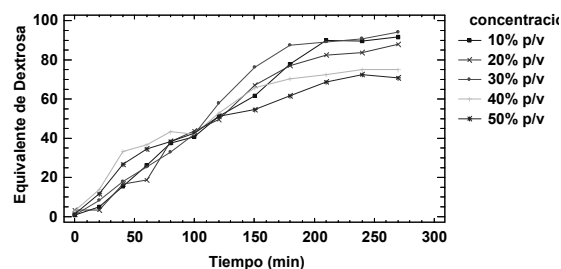


Figura 3. Hidrólisis del almidón de la variedad C. M Tai-8, equivalentes de dextrosa (E.D)
Figure 3. Hydrolysis of starch of the variety C. M Tai - 8, dextrose equivalent (E.D)

Las mayores producciones de E.D. para la C. Orense y C. M Tai-8 se obtuvieron con las concentraciones de 30% , 20% y 10% p/v, mostrando valores de (95.32 , 93.10 , 91.07) y (94.12 , 87.92 y 91.77) respectivamente, que se encuentran cercanos a los publicados por Pardo

y colaboradores [16] quienes obtuvieron E.D. de 96 utilizando almidón de Papa y a los de la Novo Nordisk [17] quienes con almidón de yuca reportaron E.D. entre 95 y 98.

3.3 Proceso de Isomerización (Producción de Jarabe de Fructosa)

Los resultados obtenidos durante el proceso de isomerización de glucosa a fructosa se presentan en las figuras 4a y 4b, donde se muestran la cantidad de fructosa en gramos producidos por litro del jarabe de glucosa obtenido de la hidrólisis del almidón. Se observa, que para la C. Orense en la concentración de almidón del 30% p/, se presenta la de mayor producción con 212.33 gramos de fructosa / litro de jarabe, seguida de 50% y 40% p/v. Además se observa que en la concentración 10% p/v, tuvo la menor producción con un valor de 45.33 gramos de fructosa por litro de jarabe.

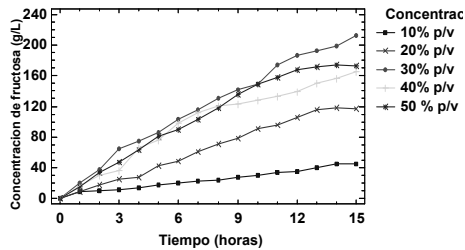


Figura 4a. Concentración de fructosa C. Orense

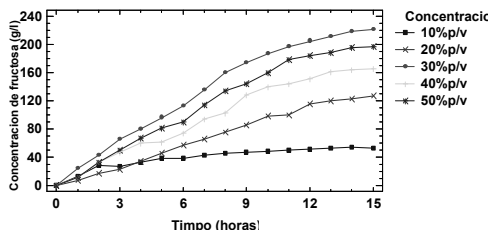


Figura 4b. Concentración de fructosa C. M tai-8

Figura 4. Comportamiento de la concentración de fructosa durante el proceso de isomerización a.) C. Orense y b.) C. M Tai-8

Figure 4. Behavior of the concentration of fructose in the process of isomerization a.) C.Orense and b.) C M Tai - 8

Para la variedad C. M Tai-8, se evidencian las mismas tendencias apreciadas para la variedad C. Orense, la concentración del 30% p/v, es la que presenta mayor producción con un valor de 221.23 g de fructosa / litro de jarabe y la concentración 10% p/v con un valor de 56.7 gramos de fructosa por litro de jarabe fue la de menor producción.

Los resultados obtenidos en ambas variedades guardan algunas similitudes sobre todo en los ensayos que reportaron los mejores comportamientos, registrando valores por encima de los 200 g de fructosa. Los ensayos de menor producción fueron los de 10% p/v, los cuales mostraron valores alrededor de los 50g de fructosa. Estos resultados exceptuando los de las pruebas del 10% p/v son mayores a los registrados por Hernández y colaboradores [9], quienes obtuvieron jarabes con 63.3g de fructosa utilizando almidón de plátano *Musa paradisiaca* durante 80 horas de isomerización.

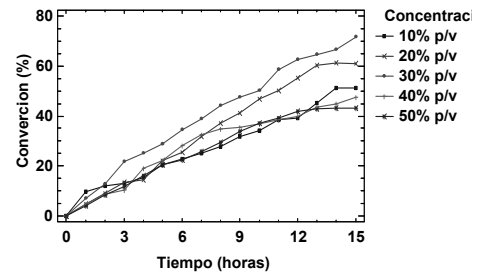


Figura 5a. Conversión de glucosa – fructosa C. Orense

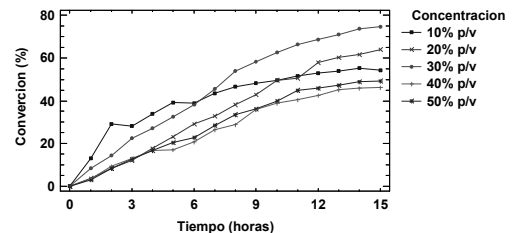


Figura 5b. Conversión glucosa – fructosa C. M . tai

Figura 5. Comportamiento de la conversión en la reacción de isomerización glucosa - fructosa a.) C. Orense y b.) C. M Tai-8

Figure 5. Behavior of the conversion in the isomeration - reaction glucose – fructose a.) C. Orense and b.) C. M Tai-8

La conversión de glucosa a fructosa para cada variedad se muestra en las figuras (5a y 5b). Observándose en la C. Orense porcentajes de conversión que alcanzan valores cercanos al 72% correspondiente a la prueba del 30% p/v. Los ensayos donde menor porcentaje de conversión se registra son los del 40% y 50% p/v con valores respectivos de 47% y 43%.

Para la variedad C. M Tai-8 las mejores conversiones se presentan en los ensayos de 30% y 20% p/v con valores correspondientes de 74.93% y 64.04% y las menores conversiones están en las concentraciones de 50% y 40% p/v. Las conversiones obtenidas en ambas variedades de yuca, exceptuando el ensayos del 50% p/v en la C. Orense, arrojan valores que están por encima del 46% de conversión, estos porcentajes son mayores a los obtenidos por Blanco [6] quien reportó un porcentaje de conversión de 46,5% a 12 horas de reacción y de 45,5% a 48 horas de reacción utilizando jarabes glucosados al 50% p/p obtenidos a partir de tres variedades de yuca (ARMENIA, AMARGA Y CHILE) y a los obtenidos por Rojas. L [8], quienes isomerizando jarabes de glucosa obtenidos a partir de almidón de yuca durante 55 minutos obtuvieron una conversión del 46%.

3.4 Evaluación De Los Rendimientos A Jarabe De Fructosa

La tabla 2 muestra los resultados de los rendimientos de fructosa que se pueden obtener a partir de una tonelada de yuca y almidón, además se muestran los porcentajes de la concentración de fructosa en los jarabes. Es importante notar como la concentración al 30 % p/v de almidón presenta los mejores rendimientos en la producción de fructosa y alcanza la mayor concentración de fructosa para ambas variedades de yuca.

Los análisis de varianza realizados para la evaluación de los rendimientos de fructosa a partir de yuca fresca (tabla 3); evaluación del rendimiento en la producción de fructosa a partir de almidón (tabla 4); y en la concentración final de jarabes de fructosa (tabla 5), muestran que existen diferencias significativas con un 5% de significancia tanto

para las dos variedades en estudio como para las concentraciones de almidón. Este mismo resultado se presenta para el análisis de varianza para el rendimiento en la producción de fructosa a partir de almidón como para las concentraciones finales de los jarabes de fructosa

Tabla 2. Rendimientos de los jarabes de fructosa derivados para cada uno de los ensayos expresados en: Kg de fructosa / ton de yuca, Kg de fructosa / ton de almidón y concentración final del jarabe de fructosa

Table 2. Yields fructose syrups derived for each test, expressed in: kg of fructose/ton of cassava, kg of fructose/ton starch and final concentration of the fructose syrup

Especies	Concentración %P/V	Kg. de Fructosa/Ton. Yuca	Kg. de Fructosa/Ton. Almidón	Concentración de fructosa en el jarabe (% p/p)
variedad de yuca ORENSE	10	74.90	514.85	4.2
		82.75	550.00	4.6
		80.19	530.00	4.8
	20	104.75	642.48	12.2
		101.15	635.41	11.9
		103.76	636.84	11.9
	30	123.55	669.90	21.3
		124.55	675.40	21.4
		123.46	678.80	21
	40	71.79	450.54	16.3
		72.04	451.79	16.5
		73.14	440.11	16.8
	50	60.25	400.49	17.2
		60.79	409.42	17.4
		59.89	414.21	17.1
variedad de yuca MTAL-8	10	94.50	585.85	5.4
		93.55	571.42	5.4
		93.69	581.63	5.3
	20	110.99	640.00	12.6
		112.18	643.21	12.8
		111.93	641.79	12.9
	30	128.32	639.07	21.9
		129.06	630.00	22.1
		129.93	638.51	22.4
	40	72.65	598.45	16.7
		72.15	593.62	16.4
		72.18	584.31	16.5
	50	69.94	408.95	20.1
		68.53	387.69	19.5
		68.36	396.96	19.5

Tabla 3. Análisis de Varianza para el rendimiento (Kg. de fructosa/ton. de yuca) a partir de yuca
Table 3. Analysis of variance for yield (Kg of fructose / ton of cassava) from cassava

Fuente	Suma de cuadrados	GL	Cuadrado Medio	Cociente-F	P-Valor
Efectos principales					
A: yuca	410.535	1	410.535	180.85	0,0000
B: concentración	15552.6	4	3888.15	1712.81	0,0000
Interacciones					
AB	171.488	4	42.8721	18.89	0.0000
RESIDUOS	45.4009	20	2.27004		
total (corregido)	16180.0	29			

Tabla 4. Análisis de Varianza para rendimiento (Kg. de Fructosa/Ton. de almidón) a partir de almidón
Table 4. Analysis of Variance for yield (Kg. of Fructose/Ton. of starch) from starch

Fuente	Suma de cuadrados	GL	Cuadrado Medio	Cociente-F	P-Valor
Efectos principales					
A: Concentración	249778.0	4	62444.5	913.71	0,0000
B: yuca	6488.97	1	6488.97	94.95	0,0000
Interacciones					
AB	30791.0	4	7697.75	112.64	0,0000
Residuos	1366.83	20	68.3415		
Total (corregido)	288425.0	29			

Tabla 5. Análisis de Varianza para la concentración final de fructosa %(p/p)

Table 5. Analysis of Variance for the final fructose concentration %(p/p)

Fuente	Suma de cuadrados	GL	Cuadrado Medio	Cociente-F	P-Valor
Efectos principales					
A: Concentración	1003.1	4	250.776	3761.64	0,0000
B: yuca	8.00833	1	8.00833	120.12	0,0000
Interacciones					
AB	4.77667	4	1.19417	17.91	0,0000
Residuos	1.33333	20	0.0666667		
Total (corregido)	1017.22	29			

A: Variedades de yuca

B: Concentración de almidón

Las figuras 6 y 7 presentan las medias para los rendimientos de fructosa obtenidos a partir de las diferentes concentraciones iniciales de almidón, los ensayos del 30% p/v de ambas variedades presentan los mayores valores con 129,1 Kg de fructosa / tonelada de yuca para la variedad C. M Tai-8 y 123,8 kg de fructosa / tonelada de yuca para la variedad C. Orense. También es posible producir 635,8 Kg de fructosa / tonelada de almidón de la variedad M Tai-8 y 674,7 Kg de fructosa/ tonelada de almidón de la variedad C. Orense. Los rendimientos más bajos para yuca y almidón se observaron en las concentraciones del 50% p/v.

Los resultados muestran que las medias obtenidas por variedad para los rendimientos de producción de jarabes de fructosa, se puede afirmar que la variedad M Tai tuvo un mejor

desempeño, en la producción de jarabes de fructosa que la variedad C. Orense.

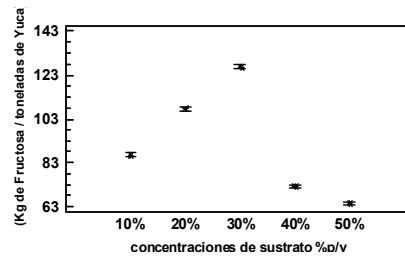


Figura 6. Rendimientos medios de la producción de kg fructosa por ton de yuca basadas en diferentes concentraciones del almidón (p/v) de las variedades de yuca C. Orense y C. M Tai-8

Figure 6. Average yields in the production of fructose kg per ton of cassava based on different concentrations of starch (w / v) of cassava varieties C. Orense and C. M Tai -8

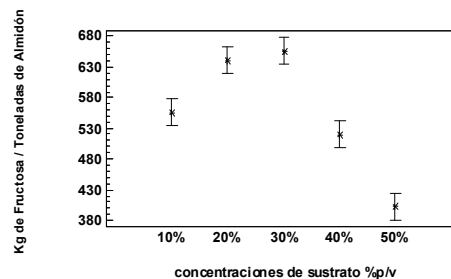


Figure 7. Rendimientos medios de la producción de kg. fructosa por ton de almidón basadas en diferentes concentraciones del almidón (p/v) de las variedades de yuca C. Orense y C. M Tai -8

Figure 7. Average yields in the production of kg. fructose per ton of starch based on different concentrations of starch (w / v) of cassava varieties C. Orense and C. M Tai -8

Las concentraciones medias de los jarabes de fructosa (figura 8 obtenidas a partir de las concentraciones de almidón evaluadas, muestran sus mejores resultados en los ensayos del 30% p/v, con valores de 22.13% p/p de fructosa para la variedad C. M Tai-8 y 21.23 % p/p para la variedad C. Orense respectivamente.

Estos resultados están por debajo a los obtenidos por Torres en 1996 [18], quien reporta jarabes con 34.5% de fructosa en 20 horas de reacción utilizando almidón de pituca y a los sugeridos por la Novozymes (14) que afirma que es posible obtener jarabes con un máximo de 42% - 45% de fructosa utilizando la enzima Sweetzyme IT.

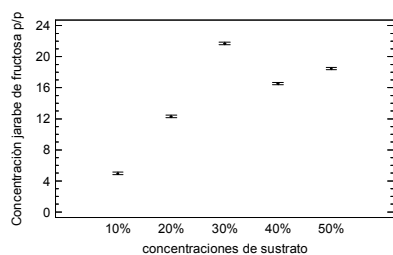


Figura 8. Rendimiento para la producción de fructosa por concentración de almidón a partir de las variedades de yuca C. Orense y C. M Tai- 8

Figure 8. Yields for the production of fructose concentration of starch from varieties of cassava C. Orense y C. M Tai-8

4. CONCLUSIONES

- Las mayores producciones de E.D. durante el proceso de hidrólisis para la C. Orense y C. M Tai-8 fueron de 95.32 y 94.12 respectivamente, para concentraciones de 30% p/v de almidón
- Para la variedad C. Orense la concentración del 30% p/v de almidón como sustrato genera la mayor producción de fructosa 212.33 gramos de fructosa / litro de jarabe, seguida de 50% y 40% p/v. La concentración 10% p/v con un valor de 45.33 gramos de fructosa por litro de jarabe fue la de menor producción.
- Para la variedad C. M Tai-8 la concentración del 30% p/v, es la que genera mayor producción con un valor de 221.23 g de fructosa / litro de jarabe y la concentración 10% p/v con un valor de 56.7 gramos de fructosa por litro de jarabe es la de menor producción.
- Los ensayos del 30% p/v de concentración de almidón en ambas variedades presentan los mayores rendimientos con valores de 129,1 Kg de

fructosa / tonelada de yuca para la variedad C. M Tai-8 y 123,8 kg de fructosa / tonelada de yuca para la variedad C. Orense.

- Es posible producir 635,8 Kg de fructosa / tonelada de almidón de la variedad C. M Tai-8 y 674,7 Kg de fructosa/ tonelada de almidón de la variedad C Orense para la concentración 30% p/v.

REFERENCIAS

[1] MINISTERIO DE AGRICULTURA Y DESARROLLO RURAL, Censo agrícola del departamento de Sucre, 2006

[2] CIAT, CORPOICA, DOCUMENTO. Nuevas variedades de yuca para uso industrial en la Región Caribe colombiana, 2004.

[3] CIAT. Annual report for CIAT Cali, Colombia, 2005.

[4] ORTEGA E., (CIAT), Informe anual sobre rendimientos de yuca industrial en los departamentos de Sucre y Córdoba, 2007

[5] CORPOICA, Ficha técnica de variedades de yuca cultivadas en Colombia, 2005.

[6] BLANCO, J., Producción de jarabes especiales de alta fructosa (HFSS), a partir de jarabes de glucosa obtenidos de tres variedades de yuca (Armenia, Amarga y Chile) cultivadas en la región Guanenta (Santander), Departamento de química. Universidad Industrial de Santander., 1,81, 2002.

[7] ASIF, M., ABASEED, A. Modelling of glucose isomerization in a Huidized bed immobilized enzyme bioreactor. *Bioresource Technology.*, 64, 229,235, 1998.

[8] ROJAS, L., Isomerización de glucosa a fructosa a nivel de laboratorio a partir de glucosa Isomerasa inmovilizada, II CONGRESO COLOMBIANO DE BIOTECNOLOGIA., 2004.

- [9] HERNÁNDEZ, J. FLÓREZ, E. Producción de un Jarabe Rico en Fructosa Utilizando Almidón de Plátano *Musa paradisiaca* L. (var. Macho), Centro de desarrollo de productos bióticos de IPN., Yauatepec, México, 2005.
- [10] DÍAZ, M, MÁRQUEZ, D. AND SALCEDO, J., Evaluación de los rendimientos de jarabes de fructosa empleando la hidrólisis enzimática del almidón del ñame (*Dioscorea alata* y *Dioscorea rotundata*), Trabajo de grado para optar título de biólogo., universidad de Sucre, Colombia, 2007.
- [11] PALAZZI, E., CONVERTI A. Generalized Linearization of Kinetics of Glucose Isomerization to Fructose by Immobilized *Glucose Isomerase*, biotechnology and bioengineering, vol. 63, No. 3, 1998.
- [12] NOVO NORDISK A/S. Ficha técnica, Termamyl 120 L, Fungamyl, AMG, 2002.
- [13] MILLER, GL., Dinitrosalicylic acid reagent for determination of reducing sugar. Analytical Chemistry., vol 31: 426,428, 1959.
- [14] NOVOZYME A/S. Uso de Sweetzyme-IT en la Producción de Jarabes de Alta Fructosa. Pág. 1,6, 2002.
- [15] ARISTIZABAL, J., SANCHES, T. MEJIA, D . Guía técnica para la producción y el análisis del almidón, Boletines de servicios agrícolas de la FAO., 50, 2007.
- [16] PARDO, M., RIVERA, P. CASTELLANO, O. GONZALEZ E. Estudio cinético de la hidrólisis enzimática del almidón de Papa, Revista Ingeniería e Investigación., No. 54, Pág. 66 , 84, 2004.
- [17] NOVO NORDISK A/S. Product Sheet Termamyl 120 L, Fungamyl, AMG. Enzyme Business, Bagsvaerd, Denmark, 1994.
- [18] TORRES, W. Obtención de Jarabe de Glucosa del Almidón de Pituca (*Colocacia esculenta schott*) por acción de la alfa-amilasa y la amiloglucosidasa. <http://www.fao.org/AG/agl/agll/rla128/unas/unas13/unas13-69.htm> .[Citado diciembre 12 de 2007].