

## **Mejoras en el proceso de producción de glucosa apoyados en la simulación con *SuperPro Designer* v10.0**

Improvements in the glucose production process supported by simulation with *SuperPro Designer* v10.0

Lianne Fernández-Pulido<sup>1</sup> <https://orcid.org/0000-0003-0014-607X>

Lourdes Zumalacárregui-de Cárdenas<sup>1</sup><https://orcid.org/0000-0001-6921-737X>

Osney Pérez-Ones<sup>1\*</sup><https://orcid.org/0000-0002-0366-0317>

Liesbel René Díaz-Chavez<sup>2</sup><https://orcid.org/0000-0002-0880-2476>

<sup>1</sup>Facultad de Ingeniería Química, Universidad Tecnológica de La Habana “José Antonio Echeverría” (CUJAE), La Habana, Cuba

<sup>2</sup>Refinería del petróleo Níco López, La Habana, Cuba

\*Autor para la correspondencia correo electrónico: [osney@quimica.cujae.edu.cu](mailto:osney@quimica.cujae.edu.cu)

### **RESUMEN**

Se evalúan propuestas para el mejoramiento del actual proceso de producción de glucosa por inversión ácida a partir de azúcar refino que se desarrolla en la UEB Argentina ubicada en Camagüey, usando el simulador *SuperPro Designer* v10.0. La planta cuenta con una tecnología simple, resultado de una transferencia de tecnología de Checoslovaquia y con un plan de producción anual de 250 t de glucosa; por cada 6 t de azúcar refino se obtiene 1 t de glucosa actualmente, ocasionado esto por la baja conversión en la hidrólisis. Se presentan dos alternativas para incrementar el rendimiento de producción de glucosa, ambas basadas en hidrólisis enzimática seguida de dos procesos para la separación de la glucosa: Hidrólisis enzimática + cristalización-centrifugación. Hidrólisis enzimática + separación cromatográfica. Con la

primera alternativa la producción de glucosa aumenta en 1,48 veces debido al mayor grado de conversión que se puede obtener. Para la segunda alternativa, que conlleva la compra de equipos, se realizó la evaluación económica utilizando el método de Hand, resultando un costo de inversión de 5 640 000 CUP. Se calcularon los indicadores económicos siguientes: el valor actual neto que resultó positivo, el plazo de recuperación del capital de 2,4 años, un plazo de recuperación del capital al descontado de 3,4 años, una tasa interna de rendimiento de 30 % y un retorno sobre la inversión de 41,1 %. Estos indicadores favorables para la alternativa 2 y el incremento alcanzado en la producción de glucosa con la alternativa 1 arrojan que ambas son factibles.

**Palabras clave:** glucosa; rendimiento; simulación; hidrólisis enzimática.

## **ABSTRACT**

A study is carried out to improve the current process of glucose production by acid inversion from refined sugar that is developed in the Argentine UEB located in Camagüey, using *SuperPro Designer* v10.0 simulator. The plant has a simple technology, transfer from Czechoslovakia and an annual production plan of 250 t of glucose. For each 6 t of refined sugar, 1 t of glucose is currently obtained, caused by the low conversion in hydrolysis reaction. Two alternatives are presented to increase the yield of glucose production, both based on enzymatic hydrolysis and two different processes for glucose separation: Enzymatic hydrolysis + crystallization-centrifugation, Enzymatic hydrolysis + chromatographic separation. With the first alternative, glucose production increases 1,48 times due to the higher degree of conversion that can be obtained. For the second alternative, which involves the purchase of equipment, an economic evaluation was carried out using Hand's method, resulting in an investment cost of 5 640 000 CUP. The following economic indicators were calculated: the net present value that was positive, the period of recovery of the capital of 2,4 years, a period of recovery of the discounted capital of 3,4 years, an internal rate of return of 30 % and a return on investment of 41,1 %. These favorable indicators for alternative 2 and the increase achieved in glucose production with alternative 1 show that both are feasible.

**Keywords:** glucose, performance, simulation, enzymatic hydrolysis.

Recibido: 15/12/2021

Aceptado: 08/04/2022

## Introducción

Una de las áreas donde ha tenido mayor impacto la biotecnología desde el punto de vista tecnológico, económico y social, es la producción de edulcorantes. En la actualidad existen diferentes tipos de edulcorantes; algunos de estos, como la sacarosa, se encuentran de forma natural en los alimentos. La sacarosa es el compuesto orgánico de mayor producción en forma pura.<sup>(1)</sup> Es un disacárido compuesto de glucosa y fructosa que, mediante una reacción de hidrólisis se transforma en estos monosacáridos obteniéndose como producto el azúcar invertido.<sup>(2)</sup> Dichos monosacáridos son más solubles, higroscópicos, presentan menor punto de congelación y una menor tendencia a cristalizar, lo cual justifica su uso preferencial en la industria alimentaria.<sup>(3)</sup> Las principales fuentes de obtención de glucosa son a partir de almidón de maíz y de azúcar refino empleando los métodos de hidrólisis ácida, intercambio iónico e hidrólisis enzimática.<sup>(4)</sup> En Cuba se lleva a cabo el proceso de inversión de la sacarosa con una tecnología que opera en régimen discontinuo. Normalmente se produce glucosa y jarabe rico en fructosa mediante hidrólisis ácida a partir del azúcar refino. Este método tiene como inconveniente el empleo de ácidos (como clorhídrico, fosfórico, cítrico) a elevada temperatura 85-90 °C, lo que puede originar productos coloreados con presencia de cenizas, bajo porcentaje de inversión, alto consumo de sacarosa, corrosión, presencia de residuos ácidos en el producto y subproductos no deseados.<sup>(5)</sup> Actualmente existe una marcada tendencia a la simulación y optimización de procesos, para contribuir al análisis de alternativas para la disminución de los tiempos de operación y al incremento de los rendimientos. La simulación comprende la utilización de recursos computacionales para desarrollar modelos

matemáticos con el fin de construir un modelo representativo de un proceso bajo estudio. Cada modelo de simulación se obtiene para predecir el comportamiento de una o varias operaciones unitarias. Estas herramientas pueden ser empleadas en todas las etapas del desarrollo de procesos, desde el diseño conceptual hasta la operación y posterior optimización de la planta.<sup>(6)</sup> El simulador profesional *SuperPro Designer* facilita la modelación, diseño y optimización de procesos integrados en un amplio intervalo de industrias tales como farmacéuticas, biotecnológicas, agroquímicas, alimentarias, tratamiento de residuales y purificación de agua, entre otras. Se caracteriza fundamentalmente por contener herramientas para la estimación de balances de masa y costos en una planta dada operando tanto de forma continua como por lotes, así como también por contener herramientas de cálculo diseñadas específicamente para procesos que incluyen componentes biológicos.<sup>(7)</sup>

El central azucarero Argentina, ubicado en la provincia de Camagüey, está integrado por una refinería y una planta de glucosa y fructosa, resultado de una transferencia de tecnología desde Checoslovaquia. La planta de glucosa y fructosa cuenta con una tecnología simple, produciendo 250 toneladas al año de glucosa; de la sacarosa, al ser un disacárido compuesto por dos moléculas con igual fórmula química global (isómeros), al invertirse se obtienen cantidades equimolares de fructosa y glucosa. Por ello, si en la planta por cada 6 toneladas de azúcar refino se obtiene una tonelada de glucosa, el rendimiento de producción de glucosa es sólo de 33 % respecto a la glucosa que se podría obtener con la sacarosa alimentada.<sup>(4, 8)</sup>

Algunos autores <sup>(4)</sup> evaluaron el proceso de obtención de glucosa con la tecnología existente en la planta Argentina empleando la simulación, quedando el modelo de simulación validado con errores inferiores al 5 %.<sup>(9)</sup> Además, se propusieron dos alternativas de mejoras para incrementar el rendimiento de producción de glucosa, una sin inversión económica y otra con inversión, aumentando las producciones de glucosa a 1,5 t y 2,8 t por lote respectivamente con las modificaciones realizadas. Finalmente, a modo de recomendación se planteó realizar estudios para sustituir la etapa de inversión

ácida en el proceso de obtención de glucosa a partir de azúcar refinado por la de inversión enzimática.<sup>(10)</sup>

Por ello en este trabajo se simuló el proceso de inversión de la sacarosa por vía enzimática, continuando la separación de glucosa por dos métodos. En la primera alternativa se incluye una cristalización seguida de una centrifugación; en la segunda alternativa la separación se realiza en una columna cromatográfica. Ambas alternativas tienen como objetivo incrementar el rendimiento de glucosa en el proceso.

## **Materiales y métodos**

### **Descripción de la tecnología de obtención de glucosa a partir de azúcar refinado**

Para obtener glucosa a partir del azúcar refinado se empleó la tecnología propuesta en el Instituto Cubano de Investigaciones de los Derivados de la Caña de Azúcar (ICIDCA) la cual se fundamenta en realizar la inversión ácida de la sacarosa operando en régimen discontinuo.

En dos tanques cilíndricos encaquetados verticales de 6 m<sup>3</sup> de volumen con tapas semiesféricas se adicionan 6 000 kg de azúcar refinado y 750 L de agua dura a 25 °C. Se emplean agitadores de hélice para obtener una disolución que debe tener 77-78 °Brix y temperatura 85-90 °C. Posteriormente ocurre el proceso de inversión en el mismo tanque disolutor. Para ello se adicionan 600 mL de ácido fosfórico al 85 % volumétrico por cada tonelada de azúcar refinado disuelta; se mantiene la disolución en agitación durante cuatro horas, tiempo necesario para que ocurra la inversión.

La disolución de azúcar invertida pasa a una batería de siete cristalizadores de capacidad de 45 m<sup>3</sup> de volumen. Los cristalizadores tienen enfriamiento por aire del ambiente, mediante convección libre hasta alcanzar 33 °C. El objetivo de esta etapa es lograr la cristalización de la mayor cantidad de glucosa presente. Para contar con un pie de semilla de glucosa se adicionan 126 kg de glucosa por cristalizador. La masa se considera agotada, cuando al determinar el rendimiento en cristales se obtengan valores de 22-23 %. La masa de la

primera cristalización pasa por dos filtros prensa de 44 y 46 marcos respectivamente de 1 m<sup>2</sup> de área. En este punto se efectúa la separación de torta y licor. La torta contiene la glucosa y el licor obtenido es el jarabe rico en fructosa que debe tener 74-75 °Brix.

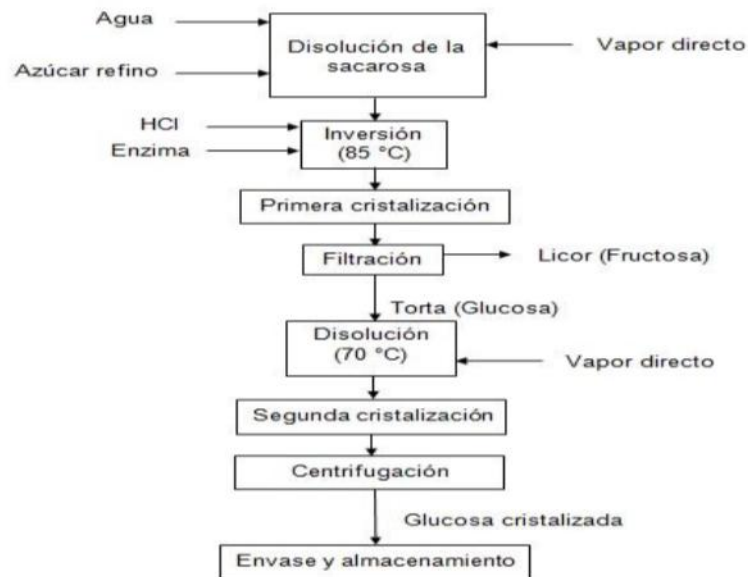
La glucosa que sale del filtro pasa a un tanque de 6 m<sup>3</sup> de capacidad donde se funde la glucosa hasta obtener una disolución de 74-76 °Brix y temperatura 65-70 °C. La glucosa fundida pasa a una batería de cinco cristalizadores de capacidad de 12 m<sup>3</sup> y ocurre el enfriamiento por la acción del aire del medio, mediante convección libre hasta alcanzar aproximadamente una temperatura de 34 °C. Estos cristalizadores contienen un pie de semilla de glucosa, al alimentarse 126 kg de glucosa por cristalizador. Cuando la masa esté agotada debe lograrse un rendimiento en cristales de 26-27 %. La masa obtenida pasa por gravedad al mezclador de la centrífuga, donde se separa la glucosa cristalina con 7-8 % de humedad y 89-90 % de pureza del sirope de glucosa 63-65 °Brix. La glucosa cristalina se envasa en sacos de nylon multicapa de 34 kg. La glucosa producida en esta planta se envía como materia prima para la fábrica de sorbitol, el que tiene como destino final su empleo como aditivo en las producciones que desarrolla la empresa Suchel S.A.

### **Simulación de las alternativas de mejoras**

A partir de los resultados de Díaz y colaboradores <sup>(4)</sup> y utilizando el modelo de simulación validado se sustituyó la hidrólisis ácida por la hidrólisis enzimática empleando la enzima invertasa <sup>(8,11)</sup> y se desarrollaron dos alternativas, una manteniendo el método de separación de glucosa actual, cristalización-centrifugación y otra sustituyéndolo por la separación cromatográfica. Por consiguiente, las alternativas a estudiar serán:

- **Alternativa 1** (Hidrólisis enzimática + cristalización-centrifugación).

En la figura 1 se presenta el diagrama de flujo del proceso propuesto.



**Fig. 1**-Diagrama de flujo del proceso tecnológico de la alternativa 1

Para la simulación del proceso de obtención de glucosa se empleó el programa *SuperPro Designer v10.0*. Para la operación se seleccionó el modo discontinuo y el tiempo de operación de 330 días al año. Posteriormente se pasó a la selección de los componentes del sistema. Se crearon tres componentes hipotéticos por no existir en la base de datos del simulador; algunas de sus propiedades se reportan en la tabla 1.

**Tabla1**-Propiedades de los componentes hipotéticos

Componentes	Propiedades	Valores
Fructosa	Masa molar (g/mol)	180,15
	Punto de fusión (°C)	103
	Densidad (kg/m <sup>3</sup> )	1 587
Dextrosa	Masa molar (g/mol)	180,15
	Punto de fusión (°C)	146
	Densidad (kg/m <sup>3</sup> )	1 540
Invertasa	Masa molar (g/mol)	147,6
	Densidad (kg/m <sup>3</sup> )	1 050

Los restantes componentes del sistema se encuentran en la base de datos del simulador: sacarosa, glucosa, agua, oxígeno, nitrógeno y ácido clorhídrico.

Para la simulación de los equipos en los que ocurren reacciones químicas, se seleccionó el módulo tanque de mezclado. Al módulo de preparación se alimentan cuatro corrientes: sacarosa, agua, enzima invertasa y ácido clorhídrico para la disolución, todas a 25 °C y 101,3 kPa. La reacción tiene un 95 % de conversión para la inversión enzimática.<sup>(11)</sup> El flujo de cada corriente se reporta en la tabla 2.

**Tabla 2-**Flujo de las corrientes de entrada al tanque de mezclado

Corrientes	Flujo (kg/lote)
Sacarosa	6 000
Agua	746
Acido clorhídrico	1,3
Invertasa	1,3

Para la etapa de cristalización se seleccionó el módulo de reactor estequiométrico pues mediante la reacción química de glucosa cristalina (representando el pie de semilla) se obtiene dextrosa (siendo este el producto de interés), para así llevar a cabo el proceso de cristalización y obtener por cada molécula de glucosa una molécula de dextrosa. Se empleó el módulo de filtrado, almacenamiento y centrifugación para la simulación de cada una de las operaciones correspondientes.

Reacción en el reactor estequiométrico:

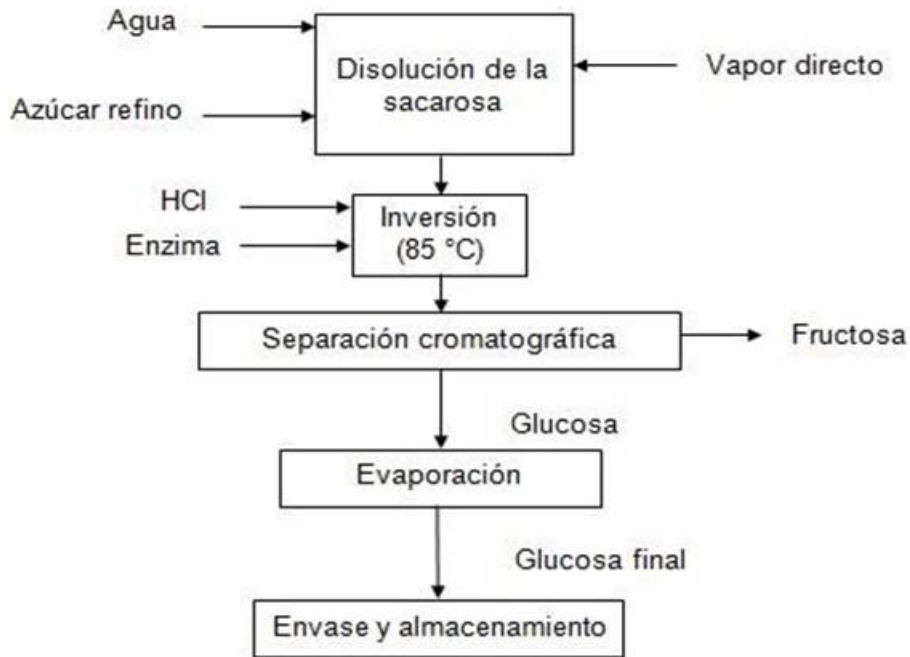


Como información se introduce la extensión de la reacción en el reactor, expresada como porcentaje de conversión (23 % para la primera etapa de cristalización y 27 % para la segunda etapa de cristalización).

- **Alternativa 2** (Hidrólisis enzimática + separación cromatográfica)



En la figura 2 se presenta el diagrama de flujo para la alternativa 2



**Fig. 2-**Diagrama de flujo del proceso tecnológico de la alternativa 2

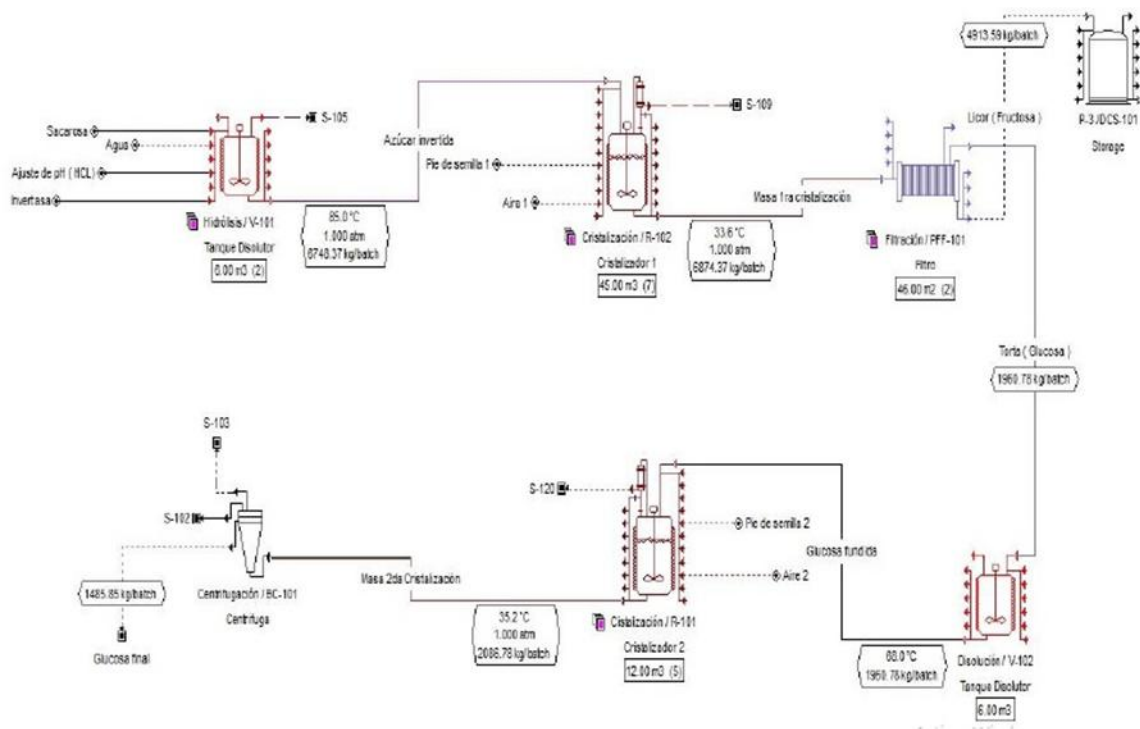
Para la simulación de la separación cromatográfica se seleccionó el módulo de cromatografía y para la evaporación el módulo evaporador. Para la simulación de la operación de separación cromatográfica se alimentan tres corrientes al módulo, agua, hidróxido de sodio y una solución de cloruro de sodio a 0,5 mol/L. Todas las corrientes adicionadas se alimentan a 25 °C y 101,3 kPa. Los flujos de las corrientes de entrada se presentan en la tabla 3.

**Tabla 3-**Flujo de las corrientes de entrada al separador cromatográfico

Corrientes	Agua de lavado	Na Cl (0,5 mol/L)	NaOH
Flujo (L/note)	1 267	1 298	1 299

## Resultados y discusión

Una vez simulada la alternativa de mejora 1, (figura 3), se realizó la comparación entre el caso base de estudio <sup>(4)</sup> y la alternativa 1.



**Fig. 3-** Esquema de simulación del proceso tecnológico de la alternativa 1

Los resultados se recogen en la tabla 4.

**Tabla 4-** Comparación entre el caso base de estudio y la alternativa 1

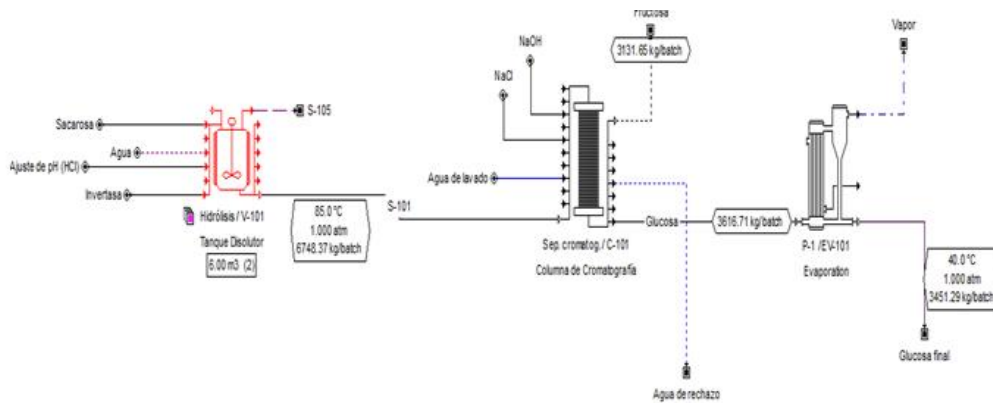
Parámetros	Caso Base	Alternativa 1
Flujo de torta glucosa (kg/lote)	1 837	1 961
Flujo de licor fructosa (kg/lote)	5 040	4 914
Glucosa final (kg/lote)	1 002	1 486
Pureza del sirope de fructosa (%)	53	58
% de inversión	85	95
Tiempo de inversión (h)	4	2
Consumo de vapor (kg/lote)	527	527
Consumo de agua (m <sup>3</sup> /lote)	0,75	0,75
Electricidad (kW-h/lote)	74,87	74,87

Se puede apreciar que con la alternativa 1 el incremento en el porcentaje de inversión provoca el aumento del flujo de torta de glucosa, de la glucosa final y de la pureza del sirope de fructosa. Otro aspecto favorable es que el tiempo de

inversión disminuye a 2 h. Con esta alternativa se aumenta el rendimiento de producción de glucosa en 1,48 veces.

Además, con la sustitución de la hidrólisis ácida por la enzimática, disminuye el nivel de corrosión del equipamiento industrial y se obtiene una pureza del sirope de fructosa superior.

No obstante, esta alternativa mantiene la desventaja de que el rendimiento del proceso de cristalización continúa siendo bajo y el tiempo del proceso es alto. Con el propósito de solucionar estos problemas se consideró modificar la operación de separación de glucosa invirtiendo en nuevos equipos. Esto dio lugar a la alternativa 2, cuya simulación se presenta en la figura 4.



**Fig. 4-** Esquema de simulación del proceso tecnológico de la alternativa 2

En la tabla 5 se presenta la comparación entre los resultados de ambas alternativas.

**Tabla 5-** Comparación entre las alternativas de mejoras 1 y 2

Parámetros	Alternativa 1	Alternativa 2
Flujo de torta glucosa (kg/lote)	1 961	3 617
Flujo de licor fructosa (kg/lote)	4 914	3 132
Glucosa final (kg/lote)	1 486	3 451
Pureza del sirope de fructosa (%)	58	72
Consumo de vapor (kg/lote)	527	781
Consumo de agua (m <sup>3</sup> /lote)	0,75	1,25
Electricidad (kW-h/lote)	74,87	544,63

Como se puede apreciar con el cambio del sistema de separación de glucosa, de cristalización–centrifugación a separación cromatográfica, aumentan el flujo de torta de glucosa y la glucosa final. Aunque el flujo de licor de fructosa disminuye, aumenta la pureza del sirope. Los consumos de agua y vapor aumentan debido al empleo de la columna cromatográfica y el evaporador respectivamente. La electricidad disminuye ya que disminuye la cantidad de equipos para el proceso y por tanto la cantidad de bombas necesarias. Con esta alternativa la duración de un lote de producción de glucosa disminuye a 2 días, teniendo una duración de 53 días en el caso base, lo que posibilita hacer 159 lotes más en el año. La producción de glucosa aumenta 2,3 veces con respecto a la alternativa 1, lo que evidencia el aumento del rendimiento de la producción.

Una vez comprobado que se alcanza el objetivo técnico se procedió a calcular la factibilidad económica.

Para la alternativa 1, que no conlleva inversión, se evaluó la relación beneficio/costo de su implementación. Los beneficios están dados por los ingresos totales que se obtienen con la venta de glucosa y fructosa. El costo de esta alternativa está dado por el consumo de agua, electricidad, vapor y las materias primas; azúcar refino y la enzima invertasa. En la tabla 6 se muestran los resultados.

**Tabla 6-** Consumo y costo por compra de los insumos empleados para la implementación de la alternativa 1

Insumos	Consumo	Costo (CUP/año)
Azúcar refino (t/año)	990,0	7 603 200
Invertasa (t/año)	0,22	926 640
Agua (m <sup>3</sup> /año)	123,8	347
Electricidad (kW-h/año)	12 353	38 667
Vapor (t/año)	87,0	365
<b>Costos totales (CUP/año)</b>		<b>8 569 218</b>

El costo de la implementación de la alternativa 1 es de 8 569 218 CUP/año, mientras que el beneficio está dado por la venta de la glucosa y fructosa

producida que corresponde a 11 018 205 CUP/año. La alternativa es económicamente factible ya que la relación beneficio/costo es mayor que 1. La alternativa 2 lleva inversión, de donde para realizar el análisis económico se calculó el costo de adquisición del equipamiento tecnológico (CAET). Para realizar el cálculo del costo de inversión se utilizó el método de Hand ya que se modifica una planta existente.<sup>(12)</sup> Los resultados se muestran en la tabla 7.

**Tabla 7-** Costo de adquisición del equipamiento

Equipo	Cantidad	CAET(CUP) <sup>(12)</sup>	Factor de Hand	Costo de inversión (CUP)
Columna cromatográfica	1	1 200 000	4,0	4 800 000
Evaporador	1	240 000	3,5	840 000
<b>Costo de inversión total (CUP)</b>				<b>5 640 000</b>

Los ingresos correspondientes a la venta de la glucosa cristalizada y del jarabe de fructosa, para un año de 330 días laborables, con jornadas de 8 h, así como los egresos correspondientes a la alternativa 2 se presentan en la tabla 8.

**Tabla 8-** Ingresos y egresos para la alternativa 2

	Valor unitario	Ingresos (CUP)	Egresos (CUP)
Glucosa cristalizada	10 966 CUP/t	6 244 205	
Jarabe de fructosa	10 273 CUP/t	5 308 881	
Azúcar refino	7 680 CUP/t		7 603 200
Invertasa	4 320 000 CUP/t		926 640
Agua	2,8 CUP/m <sup>3</sup>		578
Electricidad	3.13 CUP/kW-h		28 214
Vapor	4,2 CUP/t		541
<b>Total (CUP)</b>		<b>11 553 086</b>	<b>8 559 172</b>

Para conocer si la alternativa 2 es económicamente ventajosa, se calcularon los indicadores económicos que se presentan en la tabla 9. Se consideró una tasa impositiva de 35 %, una tasa de interés de 12 %, un horizonte de planeación de 5 años y un tiempo de vida útil del equipamiento de 10 años. Los indicadores calculados avalan la realización de la inversión.<sup>(13)</sup>

**Tabla 9** Indicadores económicos para la alternativa 2

Indicadores económicos	Valor
Valor actual neto (VAN, CUP)	2 305 892
Tasa interna de rendimiento (TIR, %)	30
Plazo de recuperación del capital (PRC, años)	2,4
Plazo de recuperación del capital al descontado (PRCD, años)	3,4
Retorno sobre la inversión (RSI, %)	41,1

## Conclusiones

Se propusieron dos alternativas de mejoras para incrementar el rendimiento de producción de glucosa a partir de la hidrólisis enzimática de la sacarosa, aumentando las producciones de glucosa a 1,5 y 3,5 t por lote respectivamente con las modificaciones realizadas. La producción anual se incrementa en 484 y 1 115 t de glucosa respectivamente. El análisis económico para ambas alternativas de mejoras arroja indicadores que apoyan el cambio de tecnología.

## Referencias bibliográficas

1. PARET A. *Propuesta tecnológica para la etapa de hidrólisis enzimática en la producción de glucosa a partir de azúcar refino* [Tesis de diploma en Ingeniería Química] Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas. Facultad de Química y Farmacia. 2019.
2. GÓMEZ C. Libro Blanco del Azúcar. EDIMSA - Editores Médicos, SA: Instituto de Estudios Documentales del Azúcar y la Remolacha-IEDEAR; 2013. p. 32-34. ISBN: 978-84-7714-391-8
3. GÓMEZ L, Orozco J, RAMÍREZ H, YII M, DÍAZ S, MICHELENA G, et al. Comparison of economic indicators of the sucrose acid inversion or by enzymatic hydrolysis. *Bioteconología Aplicada*. 2017,**34**(4), pp.4401-4404. ISSN 1027-2852

4. DÍAZ L, Zumalacárregui L, Pérez O, González G. Evaluación del proceso de producción de glucosa a partir de sacarosa en la UEB Argentina. *Tecnología Química*. 2020,**40**(3), pp. 611-626. ISSN 2224-6185
5. CORTÉS M, ALOMÁ I, Pérez O, Leyva J. La región óptima para la hidrólisis enzimática en la producción de glucosa. *Icidca sobre los derivados de la caña de azúcar*. 2019,**53**(2), 9 p. ISSN 0138-6204
6. BENÍTEZI; Pérez A, Barrios M, Rodríguez A, Pérez A. Simulación de una planta de producción de aceite de moringa empleando el simulador de procesos Superpro Designer. *Tecnología Química*. 2018, **38**(2), pp. 236-247. ISSN 2224-6185
7. INTELLIGENT.COM *Simulation Tool for the Design, Retrofit & Evaluation of Specialty Chemical, Biochemical, Pharmaceutical, Consumer Product, Food, Agricultural, Mineral Processing, Packaging and Water Purification, Wastewater Treatment and Air Pollution Control Processes*. SuperPro Designer.2015. Consulta: julio 22, 2021. Disponible en: <http://www.intelligent.com>.
8. RODRÍGUEZ R. *Propuesta tecnológica para la obtención de glucosa por hidrólisis enzimática a partir del azúcar refinado* [Tesis de diploma en Ingeniería Química]: Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas. Facultad de Química y Farmacia. 2016.
9. BARLAS Y. Formal aspects of model validity and validation in system dynamics. *System Dynamics Review*. 1996,**12**(3), pp.183-210.ISSN 1099-1727
10. DÍAZ L. *Evaluación del proceso de producción de glucosa a partir de sacarosa en la UEB Argentina*. [Tesis de diploma en Ingeniería Química]: Universidad Tecnológica de La Habana "José Antonio Echeverría". Facultad de Ingeniería Química. 2020.
11. RUÍZ I. *Propuesta de modificaciones a la producción de glucosa por vía enzimática en la UEB "Chiquitico Fabregat"* tesis de diploma en Ingeniería Química: Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas. Facultad de Química y Farmacia. 2018.
12. *Métodos de estimación basados en el coste de equipos*. Consulta: octubre 2021. Disponible en URL: <https://es.slideshare.net>.

13. ALIBABA.COM. Consulta: octubre 14, 2021 Disponible en URL: <https://m.spanish.alibaba.com>.

### **Conflicto de interés**

Los autores declaran que no hay conflictos de intereses

### **Contribución de los autores**

Lianne Fernández Pulido: realizó la corrida de los datos en el Software *SuperPro Designer* v10.0: colaboró con el análisis de los resultados y la escritura del artículo.

Lourdes Zumalacárregui de Cárdenas: concibió el trabajo. Realizó la corrida de los datos en el Software *SuperPro Designer* v10.0. Colaboró con el análisis de los resultados y la escritura del artículo.

Osney Pérez Ones: concibió el trabajo: realizó la corrida de los datos en el Software *SuperPro Designer* v10.0. Colaboró con el análisis de los resultados y la escritura del artículo.

Liesbel René Díaz Chavez: realizó la corrida de los datos en el Software *SuperPro Designer* v10.0. Colaboró con el análisis de los resultados y la escritura del artículo.