

Propuesta de incorporación de una línea de manitol en la UEB “Ignacio Agramonte”

Proposal to include a mannitol line in the UEB “Ignacio Agramonte”

Ing. Abel Hidalgo-Benítez^{1*} <https://orcid.org/0000-0003-2940-1695>

Dra. Lourdes Zumalacárregui-de Cárdenas¹ <https://orcid.org/0000-0001-6921-737X>

Dr. Osney Pérez-Ones¹ <https://orcid.org/0000-0002-0366-0317>

Ing. Guillermo A. González-Pedroso² <https://orcid.org/0000-0002-7154-2304>

¹Grupo de Análisis de Procesos, Facultad de Ingeniería Química, Universidad Tecnológica de La Habana “José Antonio Echeverría” (CUJAE), La Habana, Cuba

²Departamento de Tecnología Azucarera, Dirección de Tecnología y Energía, Instituto Cubano de Investigaciones de los Derivados de la Caña de Azúcar (Icidca), La Habana, Cuba

*Autor para la correspondencia. correo electrónico: abelhb93@gmail.com

RESUMEN

En este trabajo se evaluó la posibilidad de la incorporación de una línea de manitol en la Unidad Empresarial de Base (UEB) “Ignacio Agramonte”, utilizando como materia prima la fructuosa, mediante hidrogenación catalítica, teniendo en cuenta la gran disponibilidad de este producto en nuestro país en decremento de la glucosa, la cual presenta problemas de reserva en la actualidad. Con ello, se obtienen beneficios económicos por la venta de mayor cantidad de sorbitol y la incorporación del manitol al mercado nacional. Las principales ventajas de esta propuesta se asocian a la reducción de las pérdidas económicas por paradas en la producción por falta de glucosa, así como a la disminución de la importación de sorbitol o manitol. Se realizó la evaluación económica del sistema propuesto a partir del método de Hand resultando un costo de inversión de 81 000 CUC. Se calcularon además otros indicadores como el valor actual neto que resultó positivo, el plazo de recuperación del capital de 2,46 años, un plazo de recuperación del capital al

descontado de 3,42 años, una tasa interna de rendimiento de 29 % y un retorno sobre la inversión de 40,6 %, de donde se demuestra la factibilidad económica de la propuesta.

Palabras clave: fructuosa; hidrogenación catalítica; sorbitol; manitol.

ABSTRACT

In this work, a study is carried out to propose the inclusion of a mannitol line in the "Ignacio Agramonte" Base Business Unit (UEB), using fructose as raw material, considering the great availability of fructose in our country in comparison to glucose, which currently presents reserve problems. With this, economic benefits are obtained from the sale of a greater quantity of sorbitol and the inclusion of mannitol to the national market. The main advantage of this proposal is that the economic losses due to production stoppages (lack of glucose) and import of sorbitol or mannitol are partially eliminated. The economic evaluation of the proposed system was carried out based on Hand's method, resulting in an investment cost of 81 000 CUC. Other indicators were also calculated such as the net present value that was positive, the capital recovery period of 2,46 years, a discounted capital recovery period of 3,42 years, an internal rate of return of 29 % and a return on investment of 40,6 %.

Keywords: fructose; catalytic hydrogenation; sorbitol, mannitol.

Recibido: 19/11/2019

Aceptado: 20/03/2020

Introducción

En estos momentos, la industria química dirige su desarrollo e investigaciones hacia la búsqueda de productos que puedan resultar atractivos desde el punto de vista de su uso, calidad y mercado. De igual forma, se buscan esquemas tecnológicos de producción que sean factibles técnica y económicamente causando el menor daño posible al medioambiente. Es por esta razón que se busca el desarrollo de los

productos naturales, tanto en la industria alimentaria como farmacéutica.⁽¹⁾ La posibilidad de que la humanidad tenga acceso a alimentos mejores y más abundantes, a una agricultura más eficiente y mejores fármacos de bajo costo, entre otros, es una necesidad cada día más apremiante. Para lograr estas aspiraciones es imprescindible la puesta a punto de tecnologías sencillas y de menor costo, donde se puedan llevar a cabo transformaciones químicas complejas en condiciones medioambientales amigables.⁽²⁾

A partir de fructuosa se puede obtener sorbitol y manitol mediante hidrogenación catalítica. La tecnología de producción es conocida y consiste en disolver fructuosa en agua al 50 %, desmineralizar la solución e hidrogenarla en un reactor catalítico donde se convierte en sorbitol y manitol. La solución de sorbitol o manitol se decolora y desmineraliza adicionalmente, y se concentra según las especificaciones establecidas para cada producto comercial. La fabricación de manitol es importante para la economía ya sea para uso como edulcorante o para la industria farmacéutica,⁽³⁾ siendo este último su mayor uso en Cuba.

La demanda del mercado mundial de manitol fue de 16 600 toneladas en 2015 y se espera que llegue a 36 000 toneladas en 2024, incrementando a una tasa de crecimiento anual compuesto de 9 % de 2016 a 2024. El manitol utilizado como aditivo alimentario fue el segmento líder de aplicaciones en 2015, representando el 37 % del volumen total del mercado, debido a la creciente concientización sobre la salud, siendo Asia el mercado regional predominante, ocupando más del 60 % de dicho mercado.⁽⁴⁾

El uso de simuladores en la actualidad ha alcanzado un desarrollo tal que se hace prácticamente imposible un estudio, diseño o evaluación de un proceso, ya sea industrial o no, sin el uso de los simuladores. Existen compañías reconocidas mundialmente que se dedican a la confección de simuladores específicos para un tipo de mercado. Entre estos simuladores se destaca SuperPro Designer. Cada modelo de simulación se obtiene para predecir el comportamiento de una o varias operaciones unitarias.⁽⁵⁾

La Unidad Empresarial de Base (UEB) “Ignacio Agramonte” que produce sorbitol por hidrogenación catalítica utilizando glucosa como materia prima tiene capacidad para producir 10 000 t al año, lo cual no es posible por la poca disponibilidad de glucosa. El central azucarero Argentina uno de los principales proveedores de glucosa de la UEB “Ignacio Agramonte” cuenta con una planta de glucosa que abastece a la planta de sorbitol. Dicha planta, además de glucosa produce fructosa en una relación 1:5, por lo que la planta cada seis toneladas de azúcar refino produce una tonelada de glucosa y cinco de fructosa.⁽¹⁾ Por consiguiente, existe gran disponibilidad de fructosa, que en la actualidad se utiliza para fabricar siropes saborizados. Si se utilizara fructosa como materia prima para la producción de sorbitol, se evitarían las paradas de la fábrica por falta de la materia prima glucosa. Por tanto, existe la posibilidad de producir una parte del año utilizando glucosa y otra fructosa.

El propósito de este estudio es evaluar técnico-económicamente, la propuesta de incorporación de una línea de manitol en la Unidad Empresarial de Base (UEB) “Ignacio Agramonte” utilizando el programa SuperPro Designer v10.0.

Materiales y métodos

Descripción de la tecnología de obtención de sorbitol a partir de glucosa

La glucosa sólida se disuelve en tanques mezcladores con agitación. Esta operación se realiza con agua condensada, azucarada y desmineralizada, además de vapor saturado de 303 kPa; estos servicios se garantizan en el proceso. Existen condiciones en la planta para la recepción de la materia prima tanto líquida como sólida. En esta unidad se disuelve la glucosa hasta resultar una disolución a 50° Brix quedando lista para pasar por bombeo a un tanque en la siguiente unidad. En este recorrido hacia la segunda unidad se dosifican 250 g de tierra infusoria por cada m³ de solución de glucosa que llega a este tanque con el objetivo de mejorar la porosidad de la pre-capa del filtro en el proceso de filtración. En este proceso se eliminan las impurezas insolubles originadas en el proceso de fabricación.⁽⁶⁾

La filtración se realiza en un filtro de placas verticales, utilizando pre-capas de tierra infusoria. El caudal de filtración se controla a 2 m³/h pasando la solución de glucosa por filtros de seguridad con el objetivo de garantizar que todas las impurezas insolubles queden en este sistema antes de abandonar la unidad de filtración.⁽⁶⁾

La solución de glucosa luego de salir de los filtros de seguridad pasa a la unidad de desmineralización. El jarabe de glucosa filtrado pasa por un intercambiador de calor para enfriarlo con el objetivo de garantizar una temperatura no mayor de 35 °C, con lo que se garantiza la efectividad de la resina y la protección del recubrimiento de ebonita que poseen las columnas desmineralizadoras en su interior. La desmineralización se realiza a un caudal de 2 m³/h en columnas de lechos de resinas de intercambio iónico (aniónicas y catiónicas). El jarabe de glucosa que sale de la unidad de desmineralización tiene las características siguientes: 50 °Brix y conductividad menor de 10 μS/cm. La regeneración de las resinas de intercambio iónico se realiza con soluciones de ácido clorhídrico al 5 % y de hidróxido de potasio al 6 %. Los residuos de este proceso se envían al foso de residuales de la planta. La glucosa desmineralizada que sale de las columnas pasa a través de los filtros de seguridad con el objetivo de eliminar posibles restos de resina del proceso antes de la entrada a la unidad de hidrogenación. En esta unidad siempre estarán dos columnas operando y una estará en proceso de regeneración y espera.⁽⁶⁾

En la unidad de hidrogenación ocurre el proceso de transformación de la glucosa en sorbitol al ponerse en contacto con hidrógeno a 130 °C y 5,3 MPa, en presencia de catalizador Níquel-Raney, aleación metálica constituida básicamente de níquel y aluminio, cuyo uso industrial se justifica por su bajo costo y buena actividad catalítica.⁽⁷⁾ En esta unidad hay un intercambiador de calor para extraer la energía cedida por la reacción por ser una reacción exotérmica. Además de tener prevista la separación del catalizador de níquel de la solución de sorbitol por decantación en el tanque decantador y la eliminación de las partículas finas de éste por filtración en un filtro de acero inoxidable de placas verticales que trabaja con pre-capas utilizando tierra infusoria. El sorbitol formado en esta unidad alcanza 50 °Brix y se envía a la unidad de desmineralización del sorbitol.⁽⁶⁾

El sorbitol enviado a la unidad de desmineralización pasa por un intercambiador de calor donde se enfría hasta una temperatura menor de 45°C, logrando con esto un mejor intercambio iónico y la conservación del recubrimiento del interior de las columnas. La batería de intercambio iónico está formada por tres columnas. La primera con resinas catiónicas, la segunda con resina aniónicas y la tercera es un lecho mixto de resinas aniónicas y catiónicas. Con este sistema se logra desmineralizar el sorbitol saliendo hacia el área de tratamiento con carbón activado con las características siguientes: conductividad: < 10 μ S/cm; 5<pH<7; color< 4 unidades ICUMSA, concentración: 50°Brix .⁽⁴⁾ Se produce la regeneración con ácido clorhídrico e hidróxido de potasio de las resinas utilizadas, para restablecer sus características originales. Los efluentes se envían al foso de residuales.

En esta unidad, tanto en el proceso de endulzar las columnas para la arrancada de la unidad como en el proceso de desendulzado de preparación para la regeneración, se obtienen aguas azucaradas de sorbitol que se mezclan y se utilizan en el proceso.

Todo el sorbitol desmineralizado se trata con carbón activado y se filtra. El sorbitol se envía a un tanque donde se pone en contacto con una mezcla de carbón activado y tierra infusoria en proporción 1:2. El caudal de entrada a este tanque es de 2,3 m³/h y se dosifica a razón de 500 g de la mezcla carbón activado- tierra / m³ de sorbitol que llega al tanque. La dosificación se realiza automáticamente. El sorbitol debe permanecer aproximadamente 45 min en contacto con la mezcla carbón activado- tierra antes de pasar a la filtración. La filtración se produce en un filtro de acero inoxidable de placas verticales a un caudal de filtración de 2,3 m³/h con pre-capa de tierra infusoria.⁽⁶⁾

El sorbitol desmineralizado tratado con carbón activado y filtrado se envía por gravedad a la unidad de concentración, compuesta por un evaporador de película descendente, un separador de arrastres, un condensador, una bomba de vacío y un sistema de bombeo que permite circular la solución por estos equipos y garantizar una concentración de 70,0 \pm 1 °Brix a la salida.⁽⁶⁾

En esta unidad, tanto los condensados de vapor como los extraídos de la solución de sorbitol, se aprovechan en el proceso. Los primeros se envían al tanque de agua de alimentación de la caldera de la planta. Los segundos se utilizan en el proceso de disolución de glucosa en la unidad.

Todo el sorbitol concentrado se envía a los tanques de la unidad de almacenamiento hasta su posterior envase y distribución, ya sea en toneles de peso neto 260 kg o a granel. ⁽⁶⁾

Descripción de la tecnología de obtención de sorbitol-manitol a partir de fructuosa

El proceso de obtención de sorbitol-manitol utilizando fructuosa como materia prima, es el mismo que para la glucosa, con la singularidad de la incorporación de la línea de manitol la cual se agrega luego del tratamiento con carbón activado. Esta línea consiste en un cristizador en el cual se cristaliza el manitol luego se centrifuga en una centrífuga de canasto para separar el manitol cristalizado del sorbitol líquido. Después el manitol pasa a un secador rotatorio y el sorbitol al evaporador.

Simulación del proceso

Para la simulación del proceso de obtención de sorbitol a partir de 29 t de glucosa por ciclo se empleó el programa SuperPro Designer v10.0. Para simular la planta se seleccionó que el modo de operación era discontinuo y el tiempo de operación de 90 días al año, ya que es el tiempo promedio en el que no se produce sorbitol por falta de glucosa durante año. Durante la selección de los componentes fue necesario crear algunos componentes hipotéticos que no existen en la base de datos del simulador. Los componentes creados y sus propiedades se reportan en la tabla 1.

Para la simulación de la disolución de la materia prima se utilizó un tanque de mezclado. En las unidades donde se realiza la operación unitaria de filtración se utilizaron filtros de placas. Para la simulación de los equipos en los que ocurren reacciones químicas e intercambio de iones se utilizaron un reactor y un intercambiador iónico. Para la etapa de evaporación se usó un evaporador.

Tabla 1- Propiedades de los componentes hipotéticos

Componente	Propiedades	Valores
Ácidos grasos	Masa molar (g/mol)	60
	Punto de ebullición (°C)	117,5
	Densidad (20 °C) (g/L)	1 094
Níquel-Raney (N-R)	Masa molar (g/mol)	58,7
	Punto de ebullición (°C)	2732
	Densidad (g/L)	8 900
Tierra infusoria	Masa molar (g/mol)	60,8
	Punto de ebullición (°C)	259
	Densidad (g/L)	2 300
Proteínas solubles	Masa molar (g/mol)	147,6
	Punto de ebullición (°C)	300
	Densidad (g/L)	1 472

Para la activación del módulo del reactor fue necesaria la entrada de dos corrientes. La primera es la glucosa desmineralizada y la segunda es el hidrógeno a alta presión. En la tabla 2 se brindan las propiedades de las corrientes. En el reactor se llevan a cabo dos reacciones, la hidrogenación catalítica de la glucosa y la otra es la descomposición de la glucosa. Estas reacciones se muestran en tabla 3. La primera reacción tiene un 95 % de conversión y la de descomposición 5 %.

Tabla 2- Corrientes de entrada al reactor catalítico

Corrientes	Flujo (kg/lote)	Temperatura(°C)	Presión(kPa)
Glucosa desmineralizada	52 904	30	101,325
Hidrógeno	170	130	5 300

Tabla 3- Reacciones que ocurren en el reactor catalítico

Nombre de la reacción	Estequiometría
Hidrogenación de la glucosa	$C_6H_{12}O_6 + H_2 = C_6H_{14}O_6$
Descomposición de la glucosa	$C_6H_{12}O_6 = 3 C_2H_4O_2$

Simulación de la propuesta tecnológica

Luego de realizar la simulación del proceso que se desarrolla en la planta actual y validado el modelo de simulación con datos reales de planta se pueden realizar modificaciones al modelo de simulación que respondan a cambios en el proceso. Una modificación sería la sustitución de la materia prima, con el cambio de la glucosa por fructosa. Este cambio posibilitaría la incorporación de una línea de producción de manitol a la actual fábrica de sorbitol, ya que al hidrogenar catalíticamente la fructosa se obtienen dos productos: sorbitol y manitol.

Para la realización de la propuesta de la línea de manitol se requiere que al esquema de simulación obtenido se adicionen un reactor estequiométrico para la cristalización del manitol líquido, una centrífuga de canasto para separar el manitol cristalizado del sorbitol líquido y un secador rotatorio para secar el manitol cristalizado. La validación de la línea de manitol se realizó con datos de un ejemplo tomado del manual de SuperPro Designer.⁽⁸⁾

Resultados y discusión

El esquema del proceso tecnológico para la obtención de sorbitol y manitol a partir de fructosa se presenta en la figura 1. Los resultados obtenidos en la simulación se muestran en la tabla 4.

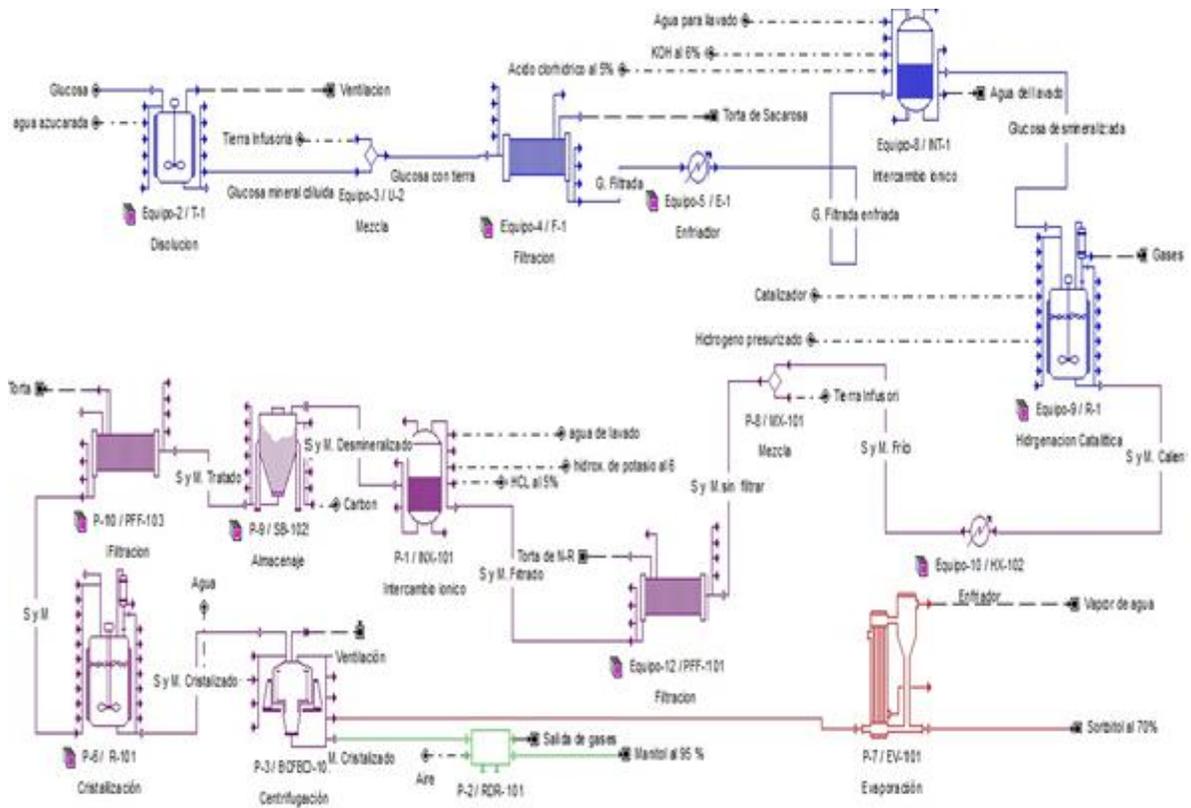


Fig.1- Esquema del proceso de obtención de sorbitol-manitol para la simulación

Tabla 4- Resultados obtenidos en las corrientes de materiales en la simulación

Corriente	Flujo másico (kg/lote)	Composición másica en %				
		Fructosa	Agua	Otros	Sorbitol	Manitol
Salida del tanque de dilución	53 061	54,65	45,23	0,12	-	-
Salida del reactor catalítico	53 254	-	45,04	2,73	39,18	13,05
Entrada al evaporador	41 869	-	53,48	-	46,52	-
Salida del evaporador	27 975	-	30,4	0,002	69,59	-
Entrada al secador	9 896	-	16,95	-	12,77	70,28
Salida del secador	7 317	-	2,85	-	2,15	95,00

En el ciclo simulado se producen a partir de 29 t de fructuosa 7,317 t de manitol cristalizado y 27,975 t de sorbitol al 70 %. Este ciclo tiene una duración de 197 h lo cual permitiría realizar 11 ciclos durante los 90 días de trabajo. Se aumenta el consumo eléctrico en 873 kW por ciclo, consumo total de los tres equipos nuevos utilizados. Este incremento representa un 4 % con respecto al consumo anterior. El manitol-sorbitol se obtiene en una proporción de 20 % manitol y 80 % sorbitol. Este valor está dentro del intervalo esperado que es 20-30 % de manitol y de 70 -80 % de sorbitol.⁽⁹⁾

Validación del modelo de simulación del proceso

El modelo se validó comparando los resultados obtenidos en la simulación realizada con SuperPro Designer v10.0 con los que se tienen de la planta de sorbitol instalada y del ejemplo de una planta de manitol del propio simulador en su versión v10.0. Los resultados se analizaron mediante el cálculo del error relativo entre ellos utilizando la ecuación 1. En la tabla 5 se presentan los resultados de la simulación.

$$Error\ relativo = \frac{Valor\ real - Valor\ calculado}{Valor\ real} \quad (1)$$

Tabla 5- Resultados obtenidos en las corrientes finales de manitol cristalizado y sorbitol

Parámetro	Sorbitol	Ejemplo v10.0	Error relativo (%)	Manitol	Ejemplo v10.0	Error relativo (%)
% de sorbitol o manitol	69,59	67,9	2,43	95,0	94,9	0,10
% de agua	30,40	29,0	4,60	2,85	2,8	1,75
Concentración (g/L)	879	857	2,5	1 330	1 338	0,6
Densidad (kg/m ³)	1 264	1 263	0,08	1 400	1 405	0,36

Como se puede apreciar el error de validación máximo es inferior al 5 %. La implementación de la fructosa como materia prima da la posibilidad de obtener manitol y sorbitol, ambos a un nivel de pureza que cumple con los parámetros establecidos. Además, se logra dar mayor explotación a la planta ya que actualmente se tienen muchas paradas por falta de materia prima (glucosa) y con esta nueva propuesta se puede disponer de una fuente de materia prima de mayor disponibilidad (fructosa).

Pero para la realización de esta modificación se necesita la compra de tres equipos, por lo que se requiere de un análisis económico para saber si será factible dicha inversión.

Análisis económico

Para realizar el análisis económico se calculó el costo de adquisición del equipamiento tecnológico (CAET). Para el análisis se tuvo en cuenta la siguiente tasa de cambio: 1 USD= 1 CUC = 1 CUP. Para realizar el cálculo del costo de inversión se utilizó el método de Hand ya que se modifica una planta existente.⁽¹⁰⁾ Los resultados se muestran en la tabla 6.

Tabla 6- Costo de adquisición del equipamiento tecnológico (CAET) y del costo de inversión total (CFI)

Equipo	Cantidad	Precio (CUC)	CAET (CUC)	Factor de Hand	CFI (CUC)
Reactor estequiométrico	1	10 000	10 000	1,8	18 000
Centrífuga de canasto	1	30 000	30 000	1,4	42 000
Secador rotatorio	1	15 000	15 000	1,4	21 000
				Total	81 000

El método de Hand arrojó que el costo de inversión total necesario para llevar a cabo la nueva propuesta es de 81 000 CUC.

En la tabla 7 se muestran los ingresos obtenidos por concepto de la venta de manitol y sorbitol a partir de fructosa, considerando un tiempo de producción de 90 días al año, ya que la otra parte del año operaría con glucosa obteniendo solo sorbitol. Las horas laborables ascienden a 2 160 al trabajarse 24 h diarias. Es posible realizar 11 ciclos al año (cada ciclo trataría 29 t de fructosa) ya que éstos son de 197 h.

Tabla 7- Ingresos obtenidos

Concepto	Producción (t/ciclo)	# de ciclos	Ingresos (CUC/año*)
Sorbitol	27,975	11	436 662
Manitol	7,317	11	160 974
		Total	597 636

*El término año se refiere a los 90 días anuales de producción

Los egresos asociados al proceso de producción de sorbitol y manitol con fructosa como materia prima se muestran en la tabla 8.

Tabla 8- Egresos asociados a la producción

Componentes	Consumo	Costo (CUC/año)
Fructosa (t)	319	211 130,15
Tierra infusoria (kg)	711,37	939,01
Ácido clorhídrico (kg)	1 566,29	281,93
Hidróxido de potasio (kg)	2 982,65	2 684,38
Nitrógeno (L)	4 912,6	1 031,65
Carbón activado (kg)	1 247,29	1 995,66
Resina aniónica (L)	17,864	100,04
Resina catiónica (L)	8,932	69,67
Níquel-Raney (kg)	526,35	45 792,45
Fuel oil (t)	30,624	28 633,44
Agua (m3)	3 301,65	34 073,03
Electricidad (kW-h)	244 992	186 193,92
Vapor (t)	319,957	1 343,82
Salario		37 163,50
	Total (CUC/año)	551 432,70

Para saber si la alternativa es favorable desde el punto de vista económico, se calcularon los indicadores económicos valor actual neto (VAN), plazo de recuperación del capital (PRC), plazo de recuperación del capital al descontado (PRCD), tasa interna de rendimiento (TIR) y retorno sobre la inversión (RSI). Estos resultados se muestran en la tabla 9, de los que se concluye que la propuesta es factible económicamente.

Tabla 9- Indicadores económicos

Indicadores económicos	Valor
Tasa interna de rendimiento (TIR, %)	29
Plazo de recuperación del capital (PRC, años)	2,46
Plazo de recuperación del capital al descontado (PRCD, años)	3,42
Retorno sobre la inversión (RSI, %)	40,6

Conclusiones

Se evaluó la tecnología de producción de manitol y sorbitol utilizando como materia prima fructosa, obteniéndose como resultado que cada 29 t de ésta se producen 27,975 t de sorbitol al 70 % y 7,317 t de manitol al 95 %. Se validó el modelo cotejando los resultados obtenidos en la simulación realizada con SuperPro Designer v10.0 con datos adquiridos de un ejemplo de planta y del propio simulador, arrojando errores relativos menores del 5 %. El análisis económico de la propuesta tecnológica arrojó un costo de inversión de 81 000 CUC y tiene como indicadores económicos: un VAN positivo, una tasa interna de rendimiento de 29 %, un plazo de recuperación del capital de 2,46 años, y al descontado de 3,42 años y un retorno sobre la inversión de 40,6%, lo que la hace factible.

Referencias bibliográficas

1. CAROCHO, M., MORALES, P., FERREIRA, I. Aditivos Edulcorantes. En: *Aditivos alimentarios*. Inmaculada Mateos- Aparicio (coordinadora) Dextra Editorial SL, Madrid, 2017, pp.291-314. ISBN: 978-84-16898-18-3.
2. RODRÍGUEZ HERNÁNDEZ RA. *Propuesta tecnológica para la obtención de glucosa por hidrólisis enzimática a partir del azúcar refino*. Tesis de Grado. M. Cortés (dir.) Facultad de Química y Farmacia, Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas, Cuba, 2016.
3. OLIVEIRA, P., FERREIRA, V., DE SOUZA, M. Utilização do D-manitol em síntese orgânica. *Quim. Nova*, 2009, 32(2),pp. 441-452. ISSN 1678-7064.
4. BLECKWEDEL J. *Aspectos moleculares de producción de manitol por bacterias lácticas heterofementativas*. Tesis Doctoral. Universidad Nacional de Tucumán, San Miguel de Tucumán, Argentina, 2018.
5. BENÍTEZ, I., PÉREZ-MARTÍNEZ, A., BARRIOS, M., RODRÍGUEZ, A., PÉREZ- SÁNCHEZ, 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

6. AZCUBA. Descripción del proceso de producción de sorbitol. Documento técnico Central Ignacio Agramonte. 2016.
7. GONZAGA, J., BISPO, R.,DIAS, A.,DELGADO. Y.,PONTES, L. Aspectos económicos y tecnológicos de la producción de sorbitol por vía química. *Rev Cub Quim*, 2019, **31**(3), pp. 388-413. ISSN: 2224-5421
8. Designer® S. User Guide. INTELLIGEN Inc. EE.UU. 2019.
9. ORTIZ ME. *Producción de manitol por bacterias lácticas*. Tesis doctoral. Facultad de Bioquímica, Química y Farmacia, Universidad Nacional de Tucumán, Argentina, 2015.
10. TOVAR, M. Diseños de Plantas de Procesos Químicos. [en línea]. Estimación de los costos de inversión de plantas químicas. 2016. [consulta: 10 de marzo de 2020] .Disponible en: https://www.academia.edu/35663514/estimacion_de_los_costos_de_inversion_en_plantas_quimicas.

Conflicto de interés

No existen conflictos de intereses

Contribución de los autores

- Ing. Abel Hidalgo Benítez. Realizó el estudio, análisis y escritura del artículo. Realizó la corrida de los datos en el Software SuperPro Designer v10.0
- Dra. C. Lourdes Zumalacárregui de Cárdenas. 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.
- Dr. C. Osney Pérez Ones. 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.
- Ing. Guillermo A. González Pedroso. Realizó la corrida de los datos en el Software SuperPro Designer v10.0. Colaboró con el análisis de los resultados.