

ESTUDIO TÉCNICO-ECONÓMICO DE LA PRODUCCIÓN DE L-LISINA COMO OPORTUNIDAD DE NEGOCIO EN LA INDUSTRIA AZUCARERA

TECHNO-ECONOMIC STUDY FOR L-LYSINE PRODUCTION AS THE BUSINESS OPPORTUNITIES IN SUGAR INDUSTRY

Glenia Rabassa Olazábal^{1}, Amaury Pérez Sánchez¹, Lourdes Crespo Zafra¹
y Amaury Pérez Martínez^{1,2}*

¹ Facultad de Ciencias Aplicadas a la Industria, Universidad de Camagüey, Carretera Circunvalación Norte km 5 ½, Camagüey, Cuba

² Departamento de Ciencias de la Tierra, Universidad Estatal Amazónica de Ecuador

Recibido: Agosto 10, 2015; Revisado: Agosto 27, 2015; Aceptado: Septiembre 4, 2015

RESUMEN

En el siguiente trabajo se realiza una evaluación técnico-económica para llevar a cabo la producción de la L-lisina hidroclicada cristalina (L-lisina HCl), empleando herramientas modernas de evaluación e investigación de procesos, tales como el simulador SuperPro Designer® versión 9.0 (9) y el paquete Microsoft Excel. Se evalúa el empleo de miel final como materia prima principal, se plantean todas las etapas para el proceso de producción, así como se definen las normas y precios unitarios actualizados, capacidades y costos del equipamiento a emplear.

Del estudio realizado se concluye que es factible la producción de L- Lisina como oportunidad de negocio a la agroindustria azucarera al reportar indicadores dinámicos positivos como un VAN de \$703 000, una TIR de 18,30 %, y un tiempo de amortización 4,84 años, y la partida que más influye en los costos es la adquisición de materias primas con un 50,28 % de los costos de operación totales.

Palabras clave: L-lisina; simulación; evaluación técnico-económica; miel final.

Copyright © 2015. Este es un artículo de acceso abierto, lo que permite su uso ilimitado, distribución y reproducción en cualquier medio, siempre que la obra original sea debidamente citada.

* Autor para la correspondencia: Glenia Rabassa, Email: glenia.rabassa@reduc.edu.cu

ABSTRACT

In the present work, we made a techno-economic evaluation in order to produce L-lysine through modern tools of evaluation and processes investigation such as the SuperPro Designer® simulator, version 9.0 (9) and Microsoft Excel. We evaluate the employment of final honey as main raw material. All the stages for the process of production are set and we define the unitary and updated rules and prices, the capacity and the equipment cost. From the conducted study, we conclude that is feasible the production of L-lysine as a business opportunity for the sugar industry because it produce positive and dynamic indicators such as a NPV of \$703 000, an IRR of 18.30 %, and a recovery time of 4.84 years. What influences the most the costs is the acquisition of raw material with a 50.28 % of total operation costs.

Key words: L-lysine, simulation, techno-economic evaluation, final molasses.

1. INTRODUCCIÓN

El valor biológico o nutritivo de una proteína está determinado, en gran medida, por el contenido y la proporción que presente de los llamados aminoácidos esenciales. La L-lisina (ácido L- –E diaminocaprónico) es uno de los aminoácidos esenciales más importantes que existen para la nutrición humana y animal. Pertenece al grupo de los ácidos alifáticos diaminomonocarboxílicos. Es de color blanco o amarillento, según el grado de pureza obtenido durante el proceso de recobrado. Presenta un olor característico, es insoluble en alcohol y éter, y soluble en agua (Rodríguez y Vázquez, 2000).

La L-lisina es el primer aminoácido que se obtiene de forma industrial. El proceso de producción se realizaba antiguamente mediante la hidrólisis de la caseína. A continuación surge otro proceso de producción industrial donde este aminoácido se extraía del gluten de trigo y soja desgrasado, para ser purificado luego utilizando resinas de intercambio iónico (Rodríguez y Vázquez, 2000), Bernal (1974). Sin embargo, el proceso en cuestión presentaba pobres rendimientos y, desde luego, el costo del producto final era muy elevado. También se obtiene L-lisina mediante síntesis química, aunque este proceso tiene como limitación fundamental la formación de mezclas racémicas.

A finales de la década del '50 del pasado siglo la firma Chas Pfizer Co. patentó e instaló por primera vez una planta de producción de L-lisina utilizando la ruta fermentativa.

Actualmente existen dos rutas fundamentales mediante las cuales se obtiene L-lisina a escala industrial por vía fermentativa, Bernal (1974) (Blanco y Herryman, 1999):

1. Proceso del ácido diaminopimérico: Es un proceso ya obsoleto que ocurre en dos etapas. Generalmente se obtienen menores rendimientos en comparación con el segundo proceso.
2. Proceso de Kinoshita: Mediante este método se obtiene la L-lisina de forma directa, es decir, utilizando un solo paso de fermentación. En este proceso se emplean microorganismos auxótrofos tales como *Micrococcus glutamicus*, *Brevibacterium flavum* o *Corynebacterium glutamicus*, modificados genéticamente. Es el proceso más utilizado hoy en día, y para obtener altos rendimientos del aminoácido el

medio de fermentación deberá tener cantidades importantes de biotina y tiamina. Es por ello que una de las materias primas más utilizadas en este proceso es la miel final de caña, aunque también se deberá agregar harina de soya o extracto de licor de maíz.

En la producción de L-lisina por vía fermentativa existen dos formas fundamentales de presentación del producto de acuerdo con el grado de pureza final que se necesite. El denominado bioconcentrado, con una pureza del 15 – 25 %, y la L-lisina hidroclicida cristalina (L-lisina HCl), con una pureza del 98%.

Entre los usos que presenta este producto se pueden mencionar el enriquecimiento de cereales para la nutrición humana, como materia prima para la industria farmacéutica y en la formulación de piensos para el ganado no rumiante. Tiene como función biológica fundamental la participación en la creación y construcción de las células presentes en los tejidos, lo cual es muy importante para aquellos organismos en crecimiento. La ausencia de L-lisina traerá consigo el agotamiento del sistema muscular, obstrucción del sistema sexual y otros fenómenos patológicos, Bernal (1974).

En Cuba no existen plantas para la producción de este aminoácido por tanto se provecha las ventajas de la simulación que se viene utilizando extensivamente en los últimos años de forma exitosa, para comprender a profundidad los procesos, así como las implicaciones físicas y económicas de las modificaciones experimentales.

El presente trabajo tiene como objetivo evaluar la producción de L-lisina HCl tanto desde el punto de vista técnico como económico, utilizando el simulador de procesos químicos SuperPro Designer® a partir de miel final de caña como materia prima fundamental.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1 Propiedades del producto final

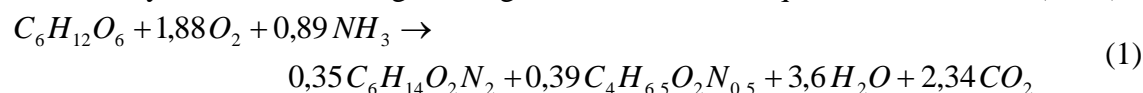
El producto final L-Lisina HCl presenta las siguientes características:

Tabla 1. Características del producto final L-Lisina HCl

<i>Propiedad</i>	<i>Valor</i>
Rotación específica [$\alpha \]_b^{20}$	+18 ± 21,5°
pH (solución 10%)	5,0 – 6,0
Amonio (NH ₄)	0,02 % Máx.
Metales pesados (Como Pb)	30 µg Máx.
Arsénico (Como AS ₂ O ₃)	2 µg Máx.
Cenizas	1,0 % Máx.
Pérdidas por secado	1,5 % Máx.
Contenido de <i>L-lisina</i> HCl	98 %

2.2. Reacción de formación de L-Lisina

La reacción de formación de L-Lisina ocurre durante la etapa de fermentación industrial, y se lleva a cabo según la siguiente ecuación estequiométrica, Bernal (1974):



Esta reacción presenta un rendimiento del orden de 85–90 % con respecto a la glucosa suministrada.

2.3. Producción empleando miel final como materia prima.

El proceso en sí fue desarrollado inicialmente en Japón, aunque hoy en día se aplica en otros países tales como México, Brasil, Francia, Bulgaria, Rusia y Estados Unidos. Como materia prima principal se utiliza la miel final, ya que contiene de forma natural la vitamina *biotina* y otros compuestos nutritivos necesarios para que se sintetice la L-lisina (Blanco y Herryman, 1999). El proceso en cuestión comienza a escala de laboratorio, donde las cepas de producción transitan por diversas etapas de propagación celular, comenzando por el banco de cepas y terminando en los frascos de propagación, antes de entrar a la fase de fermentación industrial, Bernal (1974). Esta fase consta de tres etapas, como se puede apreciar en la figura 1, las cuales son:

1. Propagación en el cultivador: El cultivo celular contenido en los frascos de propagación es traspasado al Cultivador, en el cual los microorganismos son cultivados bajo condiciones aerobias y agitación. Esta etapa demora entre 18 – 26 horas.
2. Propagación en el pre-fermentador: El contenido del cultivador es inoculado en el pre-fermentador, en el cual existe un medio líquido apropiado desde el punto de vista nutritivo para que ocurra la multiplicación de las células también bajo condiciones aerobias y con agitación. Dura alrededor de 20 horas.
3. Fermentación industrial: Se utiliza un medio de cultivo compuesto mayormente por miel final, harina de soya, y ciertas sales. En esta fase ocurre la producción de la L-lisina mediante la transformación enzimática intracelular de los carbohidratos y nitrógeno amoniacal contenido en el medio líquido. A continuación, la L-lisina formada atravesará las paredes celulares y se acumulará en el caldo de fermentación. Tiene un tiempo de duración cercano a las 72 horas. De esta manera, el proceso de fermentación industrial puede subdividirse en dos etapas:
 - ✓ Fase de crecimiento: el microorganismo productor se multiplica y crece, obteniéndose una cantidad de biomasa lo suficientemente elevada que permita asegurar una alta eficiencia en la producción del aminoácido.
 - ✓ Fase de biosíntesis: Los carbohidratos y el nitrógeno contenidos en la miel final son transformados por el microorganismo para formar la L-lisina. Esta constituye sin duda alguna la fase más compleja de todo el proceso de producción, ya que deberá exigirse un estricto control de todas las variables importantes relacionadas con la fermentación, tales como pH (7,0), temperatura (28–30 °C), aireación, agitación, etc., para así lograr una adecuada concentración final del aminoácido. La concentración final de L-lisina en el caldo de fermentación oscilará entre 75–80 g/L.

Terminada la fase de fermentación industrial, el caldo es centrifugado utilizando centrífugas de disco continuas, con el fin de separar la biomasa del sobrenadante rico en aminoácido. Este sobrenadante es acidificado hasta alcanzar un pH cercano a 7 utilizando ácido sulfúrico concentrado (98 %). Esto favorecerá el proceso de separación

del aminoácido en la siguiente fase (intercambio iónico). El sobrenadante acidificado es enviado hacia una columna de intercambio iónico, la cual contiene una resina catiónica fuerte donde la L-lisina es adsorbida por dicha resina sólida, mientras que el resto del líquido atravesará la misma.

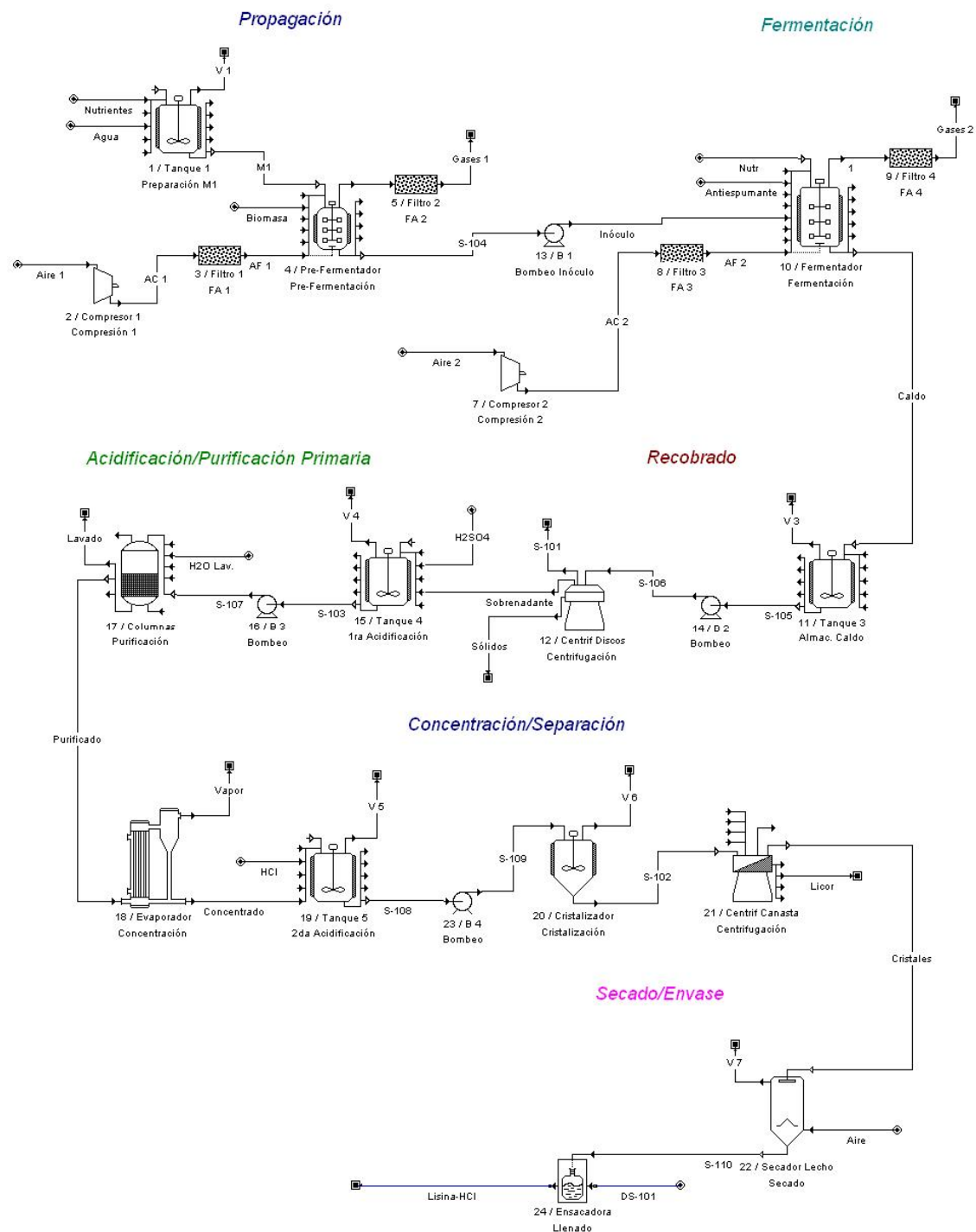


Figura 1. Proceso de producción de L-lisina HCl empleando miel final como materia prima

Posteriormente, la L-lisina adsorbida es separada de la resina empleando una solución amoniacal, aunque algunas tecnologías emplean NaOH. El eluato amoniacal que contiene la L-lisina se envía hacia un evaporador de triple efecto de película descendente y calentamiento por placas, el cual opera al vacío, hasta lograr una

concentración de 50–55 % a la salida. La corriente concentrada a la salida del evaporador es acidificada nuevamente empleando ácido clorhídrico al 35%, con el fin de obtener la forma salina de la lisina, es decir, el clorhidrato de L-lisina o sal hidroc্লórica (lisina-HCl) la cual es fácilmente cristalizabile. La Lisina-HCl obtenida es enviada hacia unos cristalizadores verticales provistos de agitación lenta y enfriamiento entre 15–25 °C, en los cuales se forman y crecen los cristales de Lisina-HCl. Terminado el proceso de cristalización, los cristales formados son separados del licor madre empleando centrifugas de canasta, mediante el cual se obtienen cristales húmedos que son enviados finalmente hacia un secador de lecho fluidizado. Por su parte, el licor madre es recirculado como alimentado en la etapa de evaporación. Durante el secado se elimina la humedad residual de estos cristales hasta alcanzar un valor mínimo de 1,5% (98 % de pureza). Por último, los cristales secos se envasan en sacos de papel de cuatro capas con una capa intermedia de polietileno (Rodríguez y Vázquez, 2000). Obsérvese el esquema de la simulación de la planta usando SuperPro Desing en la figura 1.

2.4. Normas de consumo

La siguiente tabla (Tabla 2) muestra el índice o normas de consumo de las principales materias primas empleadas para obtener L-Lisina HCl a partir de miel final de caña.

Tabla 2. Normas de consumo de producción

<i>Consumo</i>	<i>Valor</i>
Miel de caña (Tm/Tm)	8,80 – 9,50
Azúcar refino (Tm/Tm)	-
Harina de soya (Tm/Tm)	0,60 – 0,65
Urea (Tm/Tm)	-
HCl (35%) (Tm/Tm)	0,77 – 0,85
H ₂ SO ₄ (98%) (Tm/Tm)	1,80 – 2,10
Agua amoniacal (25%) (Tm/Tm)	1,00 – 1,10
H ₃ PO ₄ (85%) (Tm/Tm)	-
Antiespumante (Tm/Tm)	0,02
Carbonato de calcio (kg/Tm)	-
Biotina (kg/Tm)	-
Tiamina (kg/Tm)	-

2.5. Equipamiento

La tabla 3 muestra todo el equipamiento principal empleado en el proceso de producción:

Tabla 3. Equipamiento principal a emplear

<i>Equipo</i>	<i>Función</i>
Cultivador	Propagación de células.
Pre-fermentador	Propagación de células.
Fermentador industrial	Propagación de células + Producción de <i>L-lisina</i> .
Tanque agitador 1	Preparación de medios de cultivo para el pre-fermentador.
Tanque agitador 2	Pre-tratamiento de la miel final.
Tanque agitador 3	Recepción del caldo de fermentación.

Centrífuga de discos	Separación de biomasa.
Tanque agitador 4	1ra acidificación empleando H ₂ SO ₄ .
Columnas de intercambio iónico	Separación de componentes/purificación de la <i>L-lisina</i> .
Evaporadores	Concentración de la <i>L-lisina</i> .
Tanque agitador 5	2da acidificación utilizando HCl.
Cristalizador	Formación de cristales de <i>L-lisina</i> HCl.
Centrífuga de canasta	Separación de los cristales de <i>L-lisina</i> HCl.
Secador de lecho fluido	Secado de los cristales de <i>L-lisina</i> HCl.
Enscadora	Envase de la <i>L-lisina</i> HCl.
Bombas centrífugas	Transporte de líquidos.
Compresor centrífugo	Suministro de aire comprimido para la fermentación y la automática del proceso.
Filtros	Filtración del aire de entrada y gases de salida de los fermentadores.

2.6. Suposiciones y fuentes de datos

Los costos asociados con el equipamiento, las materias primas, el precio de venta de la *L-lisina* hidroclicórica, etc. se toman basados en los precios que presentan estas partidas en el mercado internacional (ChemMarket, 2014), así como también a partir de ciertas referencias específicas tales como los catálogos de fabricantes y proveedores de equipos y compuestos químicos (AlfaLaval, 2012), (Applichem, 2014), Caledon (2014), Sidney (2013), (KDS, 2014), Sartorius (2014), y la base de datos interna del simulador (Intelligen, 2004). Otros costos de operación tales como los servicios auxiliares (agua de enfriamiento, electricidad o salario) se estiman de acuerdo al mercado y los precios en Cuba.

Se establece un tiempo de vida del proyecto de 20 años, con 15 meses para llevar a cabo la construcción y puesta en marcha de la planta. Se asume una depreciación constante del tiempo de vida del equipamiento empleado, y que la planta opera a un 85 % de su capacidad. Por otro lado, se asume una tasa de interés del 15 % para determinar el Valor Actual Neto (VAN), y un 25% de impuestos por concepto de ingresos. Por último, se establece un tiempo de 30 días al año para efectuar el mantenimiento de los equipos, accesorios y sistemas auxiliares de la planta, por lo que la misma trabaja 7 920 horas al año como máximo.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La Tabla 4 muestra los principales indicadores técnico-económicos que se obtienen mediante el simulador *SuperPro Designer*[®].

Tabla 4. Principales indicadores técnico-económicos

<i>Indicador</i>	<i>Valor</i>
Capital fijo directo	\$ 3233000
Capital de trabajo	\$ 297000
Costo de la puesta en marcha	\$ 162000
Inversión total	\$ 3692000

Total de sacos de 10 kg a obtener por año	9684 sacos/año
Cantidad total de L-lisina HCl a producir anual	96,84 ton
Costo de producción unitario/saco	\$ 539,543
Ganancias totales	\$ 5810000
Costo de operación anual	\$ 5225000
Ganancia bruta	\$ 585000
Impuestos (25%)	\$ 146000
Ganancia neta	\$ 762000
Margen de ganancia bruta	10,08 %
Retorno sobre la inversión	20,65 %
Tiempo de amortización	4,84 años
Valor actual neto (VAN)	\$ 703000
Tasa interna de retorno (TIR)	18,30 %

En la tabla 5 se muestran los valores de las principales partidas contenidas en el Capital Fijo Directo.

Tabla 5. Desglose de las principales partidas contenidas en el Capital Fijo Directo

<i>Partida</i>	<i>Valor</i>
Costos directos	
Costo de adquisición del equipamiento	\$ 539000
Instalación	\$ 205000
Tuberías de proceso	\$ 189000
Instrumentación	\$ 216000
Aislamiento	\$ 16000
Instalaciones eléctricas	\$ 54000
Edificaciones	\$ 242000
Mejora de terreno	\$ 81000
Instalaciones auxiliares	\$ 216000
Costo total directo (CTD)	\$ 1757000
Costos indirectos	
Ingeniería	\$ 439000
Construcción	\$ 615000
Tarifa del contratista	\$ 141000
Contingencias	\$ 281000
Costo Total Indirecto (CTI)	\$ 1476000
Capital fijo directo	
Capital Fijo Directo (CTD + CTI)	\$ 3233000

En la tabla 6 se puede ver un resumen de los costos de adquisición del equipamiento principal, mientras que en la tabla 7 se muestra un desglose de las principales partidas involucradas en los costos de operación.

Tabla 6. Costo de adquisición del equipamiento principal

<i>Equipo</i>	<i>Costo (USD \$)</i>
Tanque 1	\$1000
Pre-fermentador	\$85000
Compresor centrífugo	\$35000
4 filtros de aire	\$4000
Tanque 2	\$3000
Fermentador industrial	\$150000
Centrífuga de discos	\$36000
Tanque 3	\$5000
Bomba centrífuga 1	\$2000
Bomba centrífuga 2	\$1000
Tanque 4	\$4000
Bomba centrífuga 3	\$2000
Columnas de int. iónico	\$5000
Evaporador	\$55000
Tanque 5	\$4000
Cristalizador	\$15000
Centrífuga de canasta	\$8000
Secador	\$14000
Bomba centrífuga 4	\$2000
Ensacadora	\$2000
Otros equipos	\$108000
TOTAL	\$539000

Tabla 7. Partidas involucradas en el costo de operación

<i>Partida</i>	<i>Valor</i>	<i>(%)</i>
Materias primas	\$ 2627000	50,28 %
Dependiente de la mano de obra	\$ 286000	5,47%
Dependiente de la instalación	\$ 625000	11,96 %
Laboratorio/Control de la Calidad	\$ 125000	2,39 %
Gastables	\$ 25000	0,48 %
Transporte	\$ 85000	1,63 %
Misceláneas	\$ 210000	4,02 %
Utilidades y servicios	\$ 1242000	23,77 %
TOTAL	\$ 5225000	100%

Los resultados que se obtienen de los indicadores técnico-económicos para esta producción indican que son económicamente factibles, presenta una ganancia neta y bruta (\$ 762 000 y \$ 585 000 respectivamente), un tiempo de retorno de la inversión (4,84 años), así como también un Valor Actual Neto (\$ 703 000) y una Tasa Interna de Retorno (18,30 %),

Según se puede observar en la Tabla 7, los costos asociados con las materias primas abarcan el mayor por ciento del total de gastos de operación 50,28 %. Es decir, la

partida que mayor influencia tiene en los gastos de operación, para ambas variantes, es la del costo de adquisición de materias primas.

Por otro lado, el período de amortización de la inversión total inicial realizada será de 4,84 años.

CONCLUSIONES

1. La producción de L-Lisina empleando mieles finales de caña de azúcar se presenta como una oportunidad de negocio para la industria azucarera.
2. Producir L-Lisina es una propuesta económicamente viable, tiene un VAN de \$703 000 y una TIR de 18,30 %, mientras que el tiempo de amortización es de 4,84 años.
3. El proceso que mayor tiempo de duración tiene (proceso cuello de botella) es el de fermentación industrial, con 72 horas aproximadamente.
4. Se pueden obtener más de 95 toneladas de L-lisina HCl cristalina por año, se pueden realizar 100 lotes de producción al año.
5. La partida que más influye en los gastos de operación anuales para el proceso es la materia prima con un 50,28 %.

REFERENCIAS

- AlfaLaval., Alfa Laval Separators., Lund, Sweden: Alfa Laval, 2012, pp. 2-5.
- Applichem., General Catalog Price List 2014., (1st ed.). U.S.A: Applichem, 2014. pp. 42-50.
- Caledon, G., High Purity Products for Laboratory Chemistry 2013-2014., In C. L. Limited (Ed.), Ontario, Canada, Caledon, 2014, pp. 6-14.
- ChemMarket., Chemical Market Report 2012-2014, 2014.
- Bernal, G., L-lisina., ICIDCA, Vol. 8, No. 2, La Habana, 1974, pp. 5-12.
- Blanco, G., y Herryman, M., Panorámica de la situación actual de la producción de lisina., ICIDCA, Vol. 24, No. 3, 1999, pp. 1-24.
- Sidney, H. A., Flottweg - Separación Sólido/Líquido., Vilsbiburg, Alemania, Flottweg, 2013, pp. 3-10.
- Intelligen., SuperPro Designer® (Version 5.1)., Scotch Plains, NJ: Intelligen, Inc., 2004.
- KDS., Kubco Decanter Services., Houston, TX: Kubco KDS, 2014, pp. 2-12.
- Rodríguez, F. J., y Vázquez, M., L-Lisina., Manual de los Derivados de la Caña de Azúcar, 3^{ra} edición, Ciudad de la Habana, Instituto Cubano de Investigaciones de los Derivados de la Caña de Azúcar (ICIDCA), 2000, pp. 287-291.
- Sartorius, W., Bioprocess Catalogue - Products and Solutions for the Biopharmaceutical Industry., Edgewood, New York, Sartorius, 2014, pp. 54-86.