

Artículo Original

**EVALUACIÓN DE LA EXTRACCIÓN DE JUGO DE LOS FILTROS
PARA PRODUCIR LEVADURA TORULA EN UNA
FÁBRICA DE AZÚCAR**

**EVALUATION OF JUICE EXTRACTION FROM FILTERS TO PRODUCE
TORULA YEAST IN A SUGAR FACTORY**

Erick Ariel León Chirino ¹ <https://orcid.org/0000-0001-7891-9971>
Meliza M. Ruano Bormey ^{2*} <https://orcid.org/0000-0003-1848-5512>
Yaillet Albornas Carvajal ³ <https://orcid.org/0000-0003-4363-4401>
Erenio González Suárez ³ <https://orcid.org/0000-0001-5741-8959>

¹ Empresa Industrial de Instalaciones Fijas (EIFF) "Traviessa". Carretera Central km 295 Banda Esperanza, Santa Clara, Villa Clara, Cuba.

² Empresa Agroindustrial Azucarera (EAA) Francisco Gómez Toro. Consejo Popular Panchito Gómez Toro, Quemado de Güines, Villa Clara, Cuba.

³ Departamento de Ingeniería Química, Facultad de Química y Farmacia. Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas, Carretera a Camajuani, km 5 ½, Santa Clara, Villa Clara, Cuba.

Recibido: Febrero 12, 2022; Revisado: Febrero 18, 2022; Aceptado: Marzo 24, 2022

RESUMEN

Introducción:

Se ha decidido evaluar las posibilidades de obtener productos derivados de la caña de azúcar en instalaciones industriales del territorio de Villa Clara obteniendo además un beneficio en el balance energético de la fábrica de azúcar.

Objetivo:

Evaluar el por ciento del jugo de los filtros que se puede extraer óptimamente para mejorar el balance energético de una fábrica de azúcar villaclareña, teniendo como destino una planta de producción de levadura Torula anexa a la misma.

Materiales y Métodos:

Se estudió el efecto de la extracción de una fracción de jugo de los filtros, en el balance energético de la instalación, para ello se emplearon los balances de masa y energía. Se utilizaron los métodos de diseño de instalaciones de la industria química.



Este es un artículo de acceso abierto bajo una Licencia *Creative Commons* Atribución-No Comercial 4.0 Internacional, lo que permite copiar, distribuir, exhibir y representar la obra y hacer obras derivadas para fines no comerciales.

* Autor para la correspondencia: Meliza Ruano, Email: mrborney@nauta.cu



Resultados y Discusión:

Se obtuvo que el porcentaje óptimo de extracción de jugo de los filtros es de un 20 %, logrando una ganancia de 1824435,40 \$/año necesitando comprar 9427 t/año de miel faltante. El costo de la inversión para el 20 % de extracción es de \$7797596,34, es rentable la inversión teniendo un costo total de producción de 4371490,21 \$/año con ganancias de 2636509,79 \$/año, el VAN es de \$12900494,64, la TIR 40 % y el PRD 3,1 años.

Conclusiones:

La extracción del jugo de los filtros del proceso de producción de azúcar permite un beneficio energético al proceso tecnológico que puede ser utilizada en nuevas producciones, lo que se incrementa en la medida que aumenta el por ciento de extracción.

Palabras claves: diseño; jugo de los filtros; levadura Torula.

ABSTRACT

Introduction:

It has been decided to evaluate the possibilities of obtaining products derived from sugar cane in industrial facilities in the territory of Villa Clara also obtaining a benefit in the energy balance of the sugar factory.

Objective:

To evaluate the percent of filter juice that can be optimally extracted to improve the energy balance of a Villa Clara sugar factory, having as destination a Torula yeast production plant annexed to it.

Materials and Methods:

The effect of the extraction of a fraction of juice from the filters on the energy balance of the plant was studied using mass and energy balances. The design methods of chemical industry facilities were used.

Results and Discussion:

It was obtained that the optimal percent of juice extraction from the filters is 20 %, achieving a profit of 1824435.40 \$/year needing to buy 9427 t/year of missing molasses. The investment cost for 20 % extraction is \$7797596.34 is profitable the investment having a total production cost of 4371490.21 \$/year with profit of 2636509.79 \$/year, NPV is \$12900494.64, IRR 40 % and 3.1 years of payback period.

Conclusions:

The extraction of the juice from the filters of the sugar production process allows an energetic benefit to the technological process that can be used in new productions, which increases as the extraction percent increases.

Keywords: design; filter juice; Torula yeast.

1. INTRODUCCIÓN

Una impronta de la época es que la tecnología incide cada vez más en las posibilidades empresariales, pero el desarrollo tecnológico de la industria Química, está vinculado también a la incertidumbre, por lo que se requiere pasar de la perspectiva tecnológica

tradicional, que no posibilitó el desarrollo, a una prospectiva tecnológica. La misma tendrá que descansar necesariamente en un análisis multilateral y pormenorizado de los factores y cambios tecnológicos de la empresa. Para ello debería cumplirse una previsión global, cualitativa y múltiple que cumpla el requisito de ser instrumento para la acción (León, 2021).

La caña de azúcar es una importante fuente alternativa de energía y debido a las grandes posibilidades de la producción de derivados de la industria azucarera (Ruano y col., 2022). Junto con la recuperación de la industria de crudos y refinados, es inminente la necesidad de acelerar, aún en las limitadas condiciones actuales, el desarrollo diversificado de esta industria y en el concepto de biorrefinería (de Armas y col., 2021). Esto sin duda es una tarea que tiene que ser abordada por especialistas de diferentes disciplinas que trabajen de forma armónica hacia un objetivo común.

El propósito esencial, es crear una determinada capacidad anticipatoria de la acción de las empresas; de la preparación de concepciones y propuestas a tomar, de la evaluación del presente y que persigue establecer los nexos y conexiones de este con los posibles cambios futuros. Esta función gerencial, que debe ser considerada como componente de un sistema anticipatorio más amplio de gestión estratégica, tiene, ante todo, la misión fundamental de tratar de anticipar el conocimiento acerca de las condiciones cambiantes del mundo exterior de la organización y de ella misma, así como contribuir al aprendizaje de la mejor manera de vivir en él.

En este contexto, se ha decidido evaluar las posibilidades de obtener productos derivados de la caña de azúcar en instalaciones industriales del territorio de Villa Clara obteniendo además un beneficio en el balance energético de la fábrica de azúcar.

Una corriente oportuna para estas alternativas es el jugo de los filtros (JF) debido a su baja retención tiene aproximadamente un 5% de sólidos insolubles, lo que obliga a recircularlos en cantidades de 10 a 20% con el jugo mezclado en el proceso de fabricación del azúcar (Águila y col., 2022). Variando esta recirculación, de acuerdo a la cantidad de materias extrañas que contenga la caña, este se considera conflictivo en el proceso de fabricación de azúcar crudo, ya que contiene polisacáridos como el almidón y la dextrana, que afectan el propio proceso de clarificación y de operaciones posteriores, a causa del aumento de viscosidad del jugo clarificado, meladura, masa cocida y la calidad del azúcar crudo (Mansur y Cuellar, 1990) y cuya extracción contribuye a la sostenibilidad de la industria de la caña de azúcar (Cortés y col., 2021).

Por ello el presente trabajo tiene como objetivo evaluar el por ciento del jugo de los filtros que se puede extraer óptimamente para mejorar el balance energético de una fábrica de azúcar villaclareña, teniendo como destino una planta de producción de levadura *Torula* anexa a la misma.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

Ante la necesidad actual de hacer rentables las producciones cubanas, entre ellas la de levadura *Torula*, es imprescindible ir a la búsqueda de sustratos que aporten azúcares más baratos que la miel final de caña, cuyos precios se mantienen relativamente altos en el mercado mundial.

El jugo de los filtros es un sustrato potencial con un contenido de azúcares reductores (ART) alrededor de 100 g/L y su extracción del proceso de azúcar representa ventajas

para el central azucarero. Si bien se han realizado algunas pruebas, incluso industrialmente, utilizando a nivel de laboratorio estos sustratos mezclados cada uno de ellos con miel final y también mezclados entre sí, es necesario aún definir cuáles son las mezclas óptimas para obtener cada rendimiento así como los costos en que se incurre por el aporte de estos productos en la formación del medio (Santos y col., 2003).

En Cuba actualmente hay plantas de levadura *Torula* que trabajan con miel final y vinazas de destilerías, pero a pesar de que se han hecho pruebas a nivel de laboratorio con mezclas de miel final y jugo de los filtros, no existe ninguna planta actualmente que trabaje de esta forma, por lo que, de llevarse a cabo este proyecto, sería la primera de su tipo en el país. Además de beneficiar la economía, se obtendrían mejoras en el proceso de producción de azúcar crudo disminuyendo su consumo de vapor.

Por ello conociendo que los resultados de los diferentes modelos obtenidos sobre el comportamiento de los sistemas tecnológicos muestran la factibilidad de la extracción del jugo de los filtros, pues se aumenta considerablemente la calidad del azúcar. Teniendo el azúcar con 60 por ciento de extracción, los valores de los parámetros de calidad más significativos en comparación con la norma (Ruano, 2021), se decidió realizar la valoración de su impacto en el balance energético de la instalación industrial. Se emplearon balances de masa y energía como métodos fundamentales para el desarrollo del trabajo, así como los métodos de diseño de instalaciones de la industria química.

La experiencia en Cuba en el desarrollo de la producción de levadura *Cándida utilis* (levadura *Torula*) es amplia y ha sido impulsada con asesoría técnica del Instituto Cubano de Investigaciones de los Derivados de la Caña de Azúcar (ICIDCA).

La industria cubana contaba inicialmente con dos tecnologías de producción (tecnología austríaca y tecnología francesa), ambas a partir de mieles finales de caña como sustrato fundamental para la propagación del microorganismo, con las mismas unidades básicas de proceso. Las plantas de ambas tecnologías están diseñadas para la misma capacidad de producción (40 t/día) y cuentan con índices de insumo de materias primas y calidad prácticamente iguales.

En principio, todos los residuos ricos en carbono son factibles de ser empleados en la producción de levadura *Torula*. La agroindustria de la caña de azúcar y sus derivados cuenta con las mieles finales, subproductos del proceso de producción de azúcar, las vinazas de destilería y algunas corrientes del proceso azucarero y, entre ellas, el jugo de los filtros de cachaza clarificado. El proceso tecnológico para la producción de levadura *Torula* ha sido reflejado en un diagrama de bloques que se presenta en la Figura 1, (Gálvez y col., 2000).

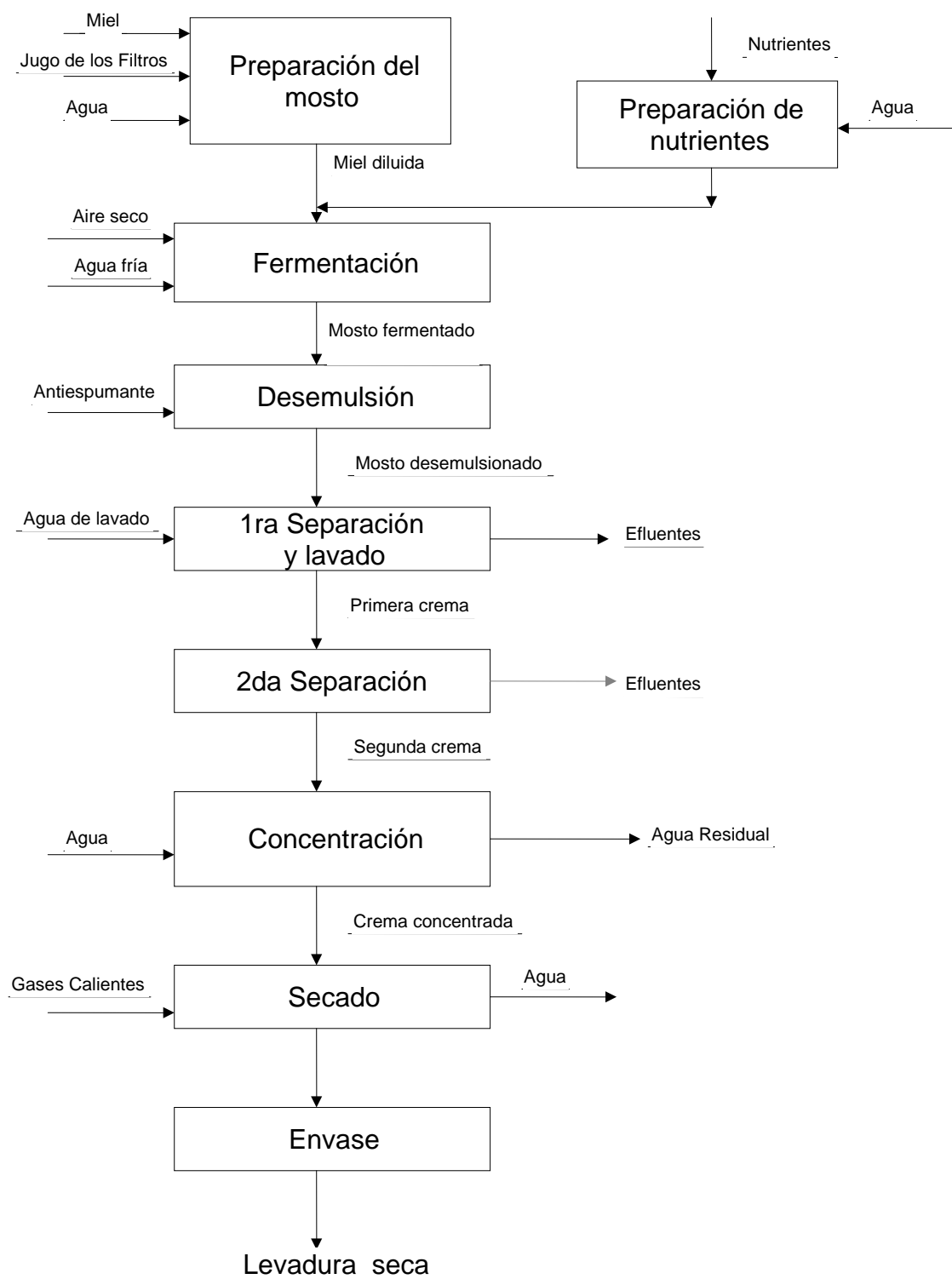


Figura 1. Diagrama de bloques del proceso de producción de levadura Torula

2.1. Análisis económico de la inversión propuesta

La estimación del costo total de inversión (CTI) se realizó utilizando los factores de proporción y las ecuaciones correspondientes a la tabla 17 de (Peters y Timmerhaus, 2003) adaptándola a las características de la inversión.

$$CTI = \text{Costo Fijo de Inversión (CFI)} + \text{Inversión de Trabajo (IT)}$$

$$CTI = CFI + IT \tag{1}$$

$$IT = 15 \% CTI \tag{2}$$

$$CFI = \text{Costos Directos} + \text{Costos Indirectos} + \text{Derecho de contrato} + \text{Contingencias} \quad (3)$$

Para la estimación del costo total de producción se utilizaron los factores de proporción y las ecuaciones correspondientes que se encuentran en la tabla 27 de Peters y Timmerhaus, (2003).

$$CTP = \text{Costo de fabricación (CF)} + \text{Gastos Generales (GG)} \quad (4)$$

$$CTP = CF + GG$$

$$CF = \text{Costos Directos (CD)} + \text{Cargos Fijos (Cf)} + \text{Costos Indirectos (CI)} \quad (5)$$

$$CF = CD + Cf + CI$$

$$GG = \text{Distribución y venta (DV)} + \text{Administración (A)} + \text{Investigación y desarrollo (ID)} \quad (6)$$

$$\text{Depreciación} = \frac{CFI - VR}{Vd} \quad (7)$$

Donde:

VR: valor residual, se asume VR=0

Vd: vida útil igual a 15 años.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. Evaluación de la influencia de la extracción de jugo de los filtros en los consumos de vapor

Para medir cuantitativamente la influencia de la extracción de jugo de los filtros en la gestión energética del central, se emplearon balances de energía los cuales mostraron los resultados de la y figura 2 y tabla 1.

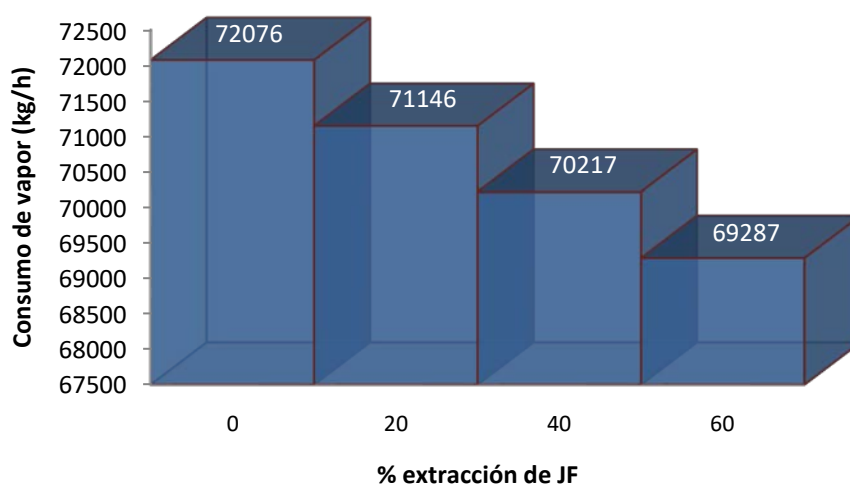


Figura 2. Impacto de la extracción del jugo de los filtros en el consumo de vapor

Tabla 1. Consumo de vapor en dependencia de la extracción de JF

<i>% extracción de JF</i>	<i>Consumo de vapor (kg/h)</i>	<i>% que representa respecto al total (sin extracción)</i>
0 (Sin extracción)	72076,23	-
20	71146,40	98,71
40	70216,56	97,42
60	69286,73	96,13

Los resultados muestran que la extracción del jugo posibilita la disminución del consumo de vapor en la industria, disminuyendo de 72076,23 kg/h hasta 71146,40 kg/h con 20 % de extracción de JF, 70216,56 kg/h con 40 % de extracción de JF y 69286,73 kg/h con 60 % de extracción de JF. Esto representa considerables reducciones del vapor consumido en el orden de 929,83 kg/h, 1859,67 kg/h y 2789,50 kg/h para 20, 40 y 60 % de extracción de JF respectivamente.

3.2 Análisis de la miel producida, requerida y la faltante para la inversión

En la tabla 2 se muestran los resultados obtenidos al realizar los cálculos de la miel producida, requerida y faltante para realizar una inversión en una planta de levadura *Torula* anexa al central azucarero objeto de estudio. Este análisis se hizo para diferentes capacidades de la planta y por cientos de extracción de JF.

Tabla 2. Análisis de la miel producida, requerida y la faltante para la inversión

<i>Aspecto</i>	<i>Valores</i>		
	40	60	90
Capacidad de la planta (t/d)			
% de extracción	20	40	60
Miel requerida para mezclar con JF en zafra (t)	10375,5	14592	21888
Miel requerida en tiempo de no zafra (t)	17651,5	26488	39732
Miel total requerida (t)	28027	41080	61620
Miel final producida (t)	18600	18150	17550
Miel que falta (t/año)	9427	22930	44070
Valor de la Miel que falta (\$)	565620	1375800	2644200

Con este análisis general y de la miel producida y la necesaria para la planta de levadura *Torula*, se puede observar que a medida que se incrementa el porcentaje de extracción de jugo de los filtros aumentan las ganancias generales. Esto se debe a que aumenta la capacidad de producción, siendo favorable para la economía, pero también aumenta considerablemente la cantidad de miel faltante, lo que dificulta grandemente su obtención.

Lo más conveniente sería comprar el faltante de miel final para la producción de levadura todo el año, ya que la otra opción sería disminuir considerablemente la capacidad de producción y el por ciento de extracción de jugo de los filtros, lo que sería muy desfavorable para el balance energético de la planta. Se decidió que el por ciento óptimo de extracción de jugo de los filtros sería de un 20 por ciento que tiene 9427 t/año de miel faltante a comprar.

El análisis hecho demuestra que lo más conveniente sería comprar el faltante de miel final para la producción de levadura todo el año, pues la otra opción sería disminuir considerablemente la capacidad de producción y el por ciento de extracción de jugo de los filtros, lo que sería muy desfavorable para la planta. Por lo que el porcentaje óptimo de extracción de jugo de los filtros sería de un 20 % (León, 2021).

3.3. Diseño de la planta de producción levadura Torula

El planteamiento y solución de los balances de materiales en el proceso permiten determinar las corrientes que no son medidas o controladas. La cuantificación de estas corrientes es necesaria para confirmar si su comportamiento está en los parámetros normales o no de producción, o sea, permiten detectar anomalías en el proceso.

A partir de estos resultados fueron diseñados los equipos principales y seleccionados los accesorios para una instalación de 40 t/d (León, 2021).

Los costos estimados de los equipos para instalación de 40 t/d de levadura Torula se presentan en la Tabla 3 (León, 2021).

Tabla 3. Costos estimados de los equipos para una instalación de 40 t/d de levadura Torula

<i>Equipos</i>	<i>No de Equipos</i>	<i>Costo original (\$)</i>	<i>Costo actual (\$)</i>
Intercambiadores de calor	4	100000	103510,60
Tanques agitados	5	80000	133842,70
Tanques del proceso	8	96000	160611,24
Fermentadores	3	775500	801749,35
Sopladores	3	211792	219227,17
Centrífugas	8	187200	193536,40
Filtros autolimpiantes	4	75000	77632,95
Evaporadores película descendente	2	149200	154250,16
Condensador	1	5100	8532,47
Tornillo sinfín	1	7400	12380,45
Elevador de canjilones	2	5000	8365,17
Caldera	1	60000	62106,36
Atomizador	1	80000	82808,48
Bombas	22	22000	36806,74
Válvulas	30	1800	3011,46
Costo Total (\$)	95	1855992	2058371,71

En la Tabla 4 se presentan los costos estimados de la inversión:

Tabla 4. Estimación del Costo Total de Inversión.

<i>Estimación de los Costos Directos (CD)</i>		
<i>Componentes</i>	<i>%</i>	<i>Costo (\$)</i>
Costo del equipamiento (E)		2058371,71
Instalación	39% E	802764,97

Instrumentación	13% E	267588,32
Instalaciones eléctricas	10% E	205837,17
Tuberías	31% E	638095,23
Facilidades de servicio	55% E	1132104,44
CD		5104761,83
Estimación de los Costos Indirectos (CI)		
Componentes	%	Costo (\$)
Ingeniería y supervisión	32% E	658678,95
CI		658678,95
CD + CI		5763440,78
Otros Componentes	%	Costo(\$)
Derecho de contrato	5% (CD + CI)	288172,04
Contingencia	10% (CD + CI)	576344,08
Costo Fijo de Inversión (CFI)		6627956,89
Costo Total de Inversión (CTI)		7797596,34

Los costos de producción se muestran en la Tabla 5:

Tabla 5. Estimación del Costo Total de Producción

Estimación de los Costos Directos		
Componentes	%	Costo (\$)
Materia prima	-	1582392,57
Mano de obra	10 % CTP	437149,02
Supervisión	15 % Mano de obra	65572,35
Requerimientos	10 % CTP	437149,02
Mantenimiento y reparación	2 % CFI	132559,14
Suministro	0,5 % CFI	331397,84
CD = 2046349,55 + 0,215 CTP		
Estimación de Cargos Fijos		
Componentes	%	Costo (\$)
Depreciación		441863,79
Impuestos	1 % CFI	66279,57
Seguros	0,4 % CFI	265118,28
Cargos Fijos	-	773261,64
Estimación de los Costos Indirectos		
Costos indirectos	5% CTP	218574,51
CI = 0,05 CTP		
Gastos Generales		
Componentes	%	Costo (\$)
Administrativos	2 % CTP	87429,80
Distribución y ventas	2 % CTP	87429,80
Investigación y desarrollo	5 % CTP	218574,51
GG = 0,09 CTP		

Como CTP se calcula por la ecuación 4, sustituyendo las ecuaciones obtenidas en las tablas anteriores se tiene que:

$$\text{CTP} = 4371490,21 \text{ \$/año}$$

Los datos técnico productivos para el año de la nueva instalación se presentan en la Tabla 6.

Tabla 6. Información sobre la producción anual de Levadura Torula

<i>Producto</i>	<i>Precio (\\$/t)</i>	<i>Cantidad Anual (t/año)</i>	<i>Valor del Producto (t/año)</i>
Levadura Torula	480	14600	7008000
Precio de venta del producto final (\\$)			7008000
Ganancia (\\$)			2636509,79

Los indicadores dinámicos de rentabilidad se resumen en la Tabla 7 y en la Figura 3 se muestra el perfil del VAN donde se refleja el valor de PRD.

Tabla 7. Indicadores dinámicos de la rentabilidad

<i>Indicador</i>	<i>Valor</i>
VAN	\\$ 12900494,64
TIR	40 %
PRD	3,1 años

El comportamiento del perfil del VAN se muestra en el siguiente gráfico:

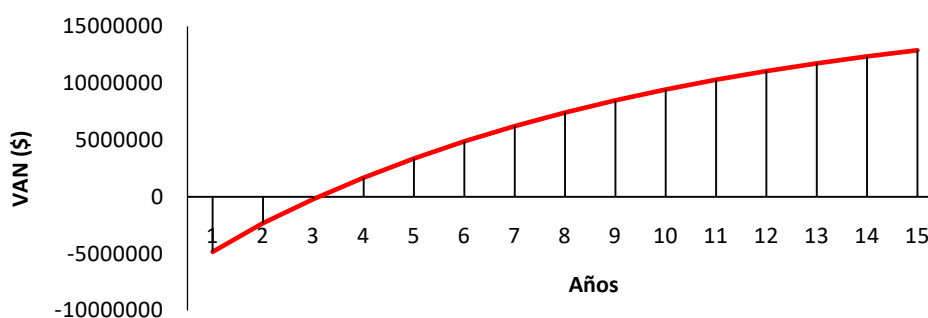


Figura 3. Perfil del VAN en el tiempo y valor del PRD

El proyecto planteado es factible porque al transcurrir 3,1 años ya se recupera la inversión, obteniéndose un valor del VAN de \\$ 12900494,64 y la TIR es factible por su valor de 40 %. Todo esto en conjunto demuestra que el proyecto de inversión es rentable.

4. CONCLUSIONES

1. La extracción del jugo de los filtros del proceso de producción de azúcar permite un beneficio energético al proceso tecnológico que puede ser utilizada en nuevas producciones, lo que se incrementa en la medida que aumenta el por

ciento de extracción.

2. La levadura *Torula* es una alternativa de nuevas producciones en cualquier fábrica de azúcar debido a las posibilidades tecnológicas mezclando el jugo de los filtros con miel final.
3. La proporción óptima de extracción del jugo de los filtros para producir levadura *torula* es de un 20 %, donde se obtiene una ganancia de 1824435,40 \$/año teniendo que comprar 9427 t/año de miel faltante.
4. La inversión propuesta tiene un CTI de \$7797596,34 un CTP de 4371490,21 \$/año y es factible al tener resultados económicos favorables, un VAN de \$ 12900494,64, un TIR de 40 % y recuperando la inversión en 3,1 años.

REFERENCIAS

- Águila, L.E., González, E., y Albernas, Y., Determinación de las capacidades óptimas de producción de xilitol extrayendo jugo de los filtros en un central azucarero., Centro Azúcar, Vol. 49, No. 2, 2022, pp. 85-99. http://centrozucar.uclv.edu.cu/index.php/centro_azucar/article/view/704
- Cortés, M.F., de Armas, A.C., Alomá, I., y Morales, M., Impacto de la extracción del jugo de los filtros en la sostenibilidad de un complejo azucarero industrial., Centro Azúcar, Vol. 48, No. 1, 2021, pp. 59-70. http://centrozucar.uclv.edu.cu/index.php/centro_azucar/article/view/642
- de Armas, A.C., González, E., Kafarov, V., Zumalacárregui, L., Oquendo, H., y Ramos, F., Procedimiento de evaluar alternativas para transformar instalaciones de la industria de la caña de azúcar en biorrefinerías., Universidad y Sociedad, Vol. 13, No. 5, 2021, pp. 565-573. <https://rus.ucf.edu.cu/index.php/rus/article/view/2267>
- Gálvez, L., Manual de los derivados de la caña de azúcar., Tercera edición, Imprenta MINAZ, La Habana, Cuba, 2000, pp. 2-10. <https://www.redalyc.org/pdf/2231/223129231002.pdf>
- León, E.A., Evaluación del porcentaje de extracción de los jugos de los filtros destinado a producir levadura *Torula* para mejorar el balance energético de un central., Tesis presentada en opción al título de Ingeniero Químico., Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villas, Cuba, 2021.
- Mansur, M., y Cuellar, A., Caracterización de jugo crudo y clarificado para la fermentación alcohólica., II Seminario Internacional sobre azúcar y derivados de la caña., Tomo I. Diversificación, 1990.
- Peters, M., & Timmerhaus, K., Plant design and economics for Chemical Engineers., McGraw-Hill International Editions, Fourth Edition, 2003, pp. 210 – 211.
- Ruano, M.M., Impacto económico de extraer jugo de los filtros para producir levadura *Torula* con vistas a incrementar el bagazo disponible., Tesis presentada en opción al título de Ingeniero Químico, Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villas, Cuba, 2021.
- Ruano, M.M., González, E., León, E., de la Cruz, L., y Albernas, Y., Efecto del pago de la caña en la calidad del azúcar y en la eficiencia inversionista de *Torula*., Centro Azúcar, Vol. 49, No.3, 2022, pp. 11-23. http://centrozucar.uclv.edu.cu/index.php/centro_azucar/article/view/710
- Santos, R., Domínguez, E.R., Pedraza, J., y González, E., Impacto de las mezclas de

sustratos azucarados en la agresividad de los residuales durante la producción de etanol y levadura *Torula.*, Centro Azúcar, Vol. 30, No. 2, 2003, pp. 62–65.

CONFLICTO DE INTERÉS

Los autores declaran que no existen conflictos de interés.

CONTRIBUCIONES DE LOS AUTORES

- Ing. Erick Ariel León Chirino. Realizó la toma de datos, los cálculos y análisis, así como colaboró con la escritura del artículo.
- Ing. Meliza M. Ruano Bormey. Realizó la toma de datos, los cálculos y análisis.
- Dra.C. Yaillet Albornas Carvajal. Participó en el análisis de los resultados, así como en la corrección del artículo.
- Dr.Sc. Erenio González Suárez. Dirigió la investigación, participó en el análisis de los resultados.