

Análisis de alternativas para la producción de etanol a partir de jugos de los filtros y jugos secundarios

My-Lai Ibáñez-Fuentes^{1*}, Gustavo Saura-Laria¹, Indira Pérez-Bermúdez¹, Osney Pérez-Ones², Lourdes Zumalacárregui-de-Cárdenas²

1. Instituto Cubano de Investigaciones de los Derivados de la Caña de Azúcar (Icidca).
Via Banca 804 y Carretera Central. San Miguel del Padrón, La Habana, Cuba.
* mylai.ibanez@azcuba.icidca.cu
2. Grupo de Análisis de Procesos, Facultad de Ingeniería Química, Universidad Tecnológica de La Habana “José Antonio Echeverría” (CUJAE).
Calle 114 No. 11901 e/ Ciclovía y Rotonda, Marianao, La Habana, Cuba

RESUMEN

Se analizaron y compararon cinco alternativas para la producción de etanol a partir de jugos de los filtros y jugos diluidos. Estas alternativas se diferencian entre ellas, fundamentalmente, en cuanto a la materia prima utilizada para la producción de etanol. Para realizar los balances de masa y energía, así como para el análisis de las inversiones propuestas, se utilizó la herramienta de simulación “DAFLEX”, diseñada específicamente para la industria azucarera. Los resultados obtenidos muestran que con el desvío del jugo de los filtros y secundarios se puede trabajar más días con la materia prima propia y entregar mayor cantidad de electricidad a la red nacional. Todas las alternativas son factibles desde el punto de vista económico ya que para cada una el VAN es positivo, la TIR es superior a la tasa de actualización y el PRI se encuentra por debajo de los 4 años.

Palabras clave: etanol, materias primas, evaluación económica.

ABSTRACT

In the following work, five alternatives for the production of ethanol from filter juices and diluted juices were analyzed and compared. These alternatives differ between them, fundamentally, in terms of the raw material used for the production of ethanol. To carry out the mass and energy balances, as well as for the analysis of the proposed investments, the simulation tool “DAFLEX”, designed specifically for the sugar industry, was used. The results obtained show that with the deviation of filters and secondary juices the distillery can work more days with its raw material and deliver more electricity to the national network. All the alternatives are feasible from the economic point of view since the NPV is positive, the IRR is higher than the update rate and the PRI is below 4 years.

Key words: ethanol, raw material, economical assessment.

INTRODUCCIÓN

En la producción de alcohol etílico están involucradas varias materias primas entre las que se destacan: las mieles finales de caña de azúcar, jugos de caña, compuestos amiláceos y materiales lignocelulósicos (1). El alcohol etílico exhibe ventajas muy favorables tales como: alto grado de octanaje, alto calor de vaporización y lo más importante, la reducción en la emisión de los gases de efecto invernadero (2).

La agroindustria azucarera a partir de la caña de

azúcar, es una de las fuentes de más impacto en la contaminación del manto freático en los países subtropicales que operan esta industria. También ha sido una de las industrias que mayor cantidad de empleos ha generado anualmente en la franja subtropical del planeta, en tanto que la caña es uno de los cultivos comerciales más extendidos y a la vez, uno de los que con mayor eficiencia utiliza la energía solar para su conversión en biomasa (3).

Otro factor importante a tener en cuenta en la industria alcoholera son los grandes volúmenes de vinazas o mostos generados por las tecnologías con-

vencionales en la destilación de etanol que resultan perjudiciales al medio ambiente (4).

En la producción de etanol, las aguas residuales están compuestas por las aguas de enfriamiento de los condensadores y de la fermentación, así como por los residuos líquidos de las torres de destilación. Entre las aguas residuales producidas por los complejos productores de azúcar y etanol destacan como las más contaminantes, las llamadas vinazas, debido a su elevado contenido de sustancias orgánicas, sean estas biodegradables o no.

Se han propuesto diferentes soluciones para el tratamiento y disposición de este residual como son el fertirriego y su variante de enmienda orgánica, la producción de biogás, producción de levadura Torula, desalinización, concentración, incineración y recirculación al proceso de producción de etanol (5).

En Cuba, las mieles de caña y especialmente las finales han sido la materia prima principal para la producción de etanol. Las mieles finales rinden aproximadamente el 2,5 - 3 % de la caña molida y se acerca al 25 % de la sacarosa producida. Las mieles finales son un producto muy variable y pueden cambiar su composición y cantidad de lote a lote, dentro de la fábrica. La composición de las mieles finales no es uniforme, y está influenciada por diferentes factores. Entre los más importantes se encuentran: tipo de suelo, aplicación de fertilizantes, métodos de cosecha y las especificidades propias del proceso particular aplicado en cada fábrica (6).

Actualmente el uso de los jugos en la producción de etanol constituye una práctica actual de los grandes productores del alcohol, entre los que se destaca Brasil (7). La mezcla de jugo de los filtros y secundarios con miel, es un sustrato de muy buenas características para la producción de etanol, aunque es válido destacar que para que se pueda asimilar en la destilería se necesita realizar previamente un proceso de preparación, clarificación y enfriamiento para que alcance las condiciones óptimas para su empleo en la fermentación alcohólica (8).

El empleo de estos jugos para producir etanol parece ser una alternativa alentadora debido a que los mismos poseen un menor contenido de azúcar y arrastran impurezas y si se derivan a la producción de etanol esto ayudaría a una eficiente operación del ingenio azucarero (9).

El grupo empresarial Azcuba se encuentra inmerso en el Programa de rehabilitación y modernización de la industria alcoholera. Este programa persigue el empleo de jugos en la producción de etanol, así como lograr el incremento de la eficiencia de fermentación y el rendimiento alcohólico en las destilerías de Cuba. Las destilerías cubanas se caracterizan por tener bajas eficiencias de fermentación (75 % - 78 %) y grado alcohólico (4,5 % - 5,5 % (v/v)) en fermentación (10), si se comparan con los

valores que se reportan internacionalmente, que son superiores a 90 % y 8 % (v/v), respectivamente (4).

En este trabajo se analizaron cinco alternativas para producir etanol a partir de jugos de los filtros y jugos diluidos, con el objetivo de obtener mejoras económicas y productivas.

MATERIALES Y MÉTODOS

Alternativas propuestas

El estudio se realizó en la Empresa Azucarera "Héctor Molina". Con este propósito se evaluaron las alternativas más ventajosas para la producción de etanol, teniendo en cuenta modificaciones en la base tecnológica de la fábrica, así como el empleo del jugo de los filtros y jugos secundarios como materias primas.

- Alternativa 1. Empleo de miel B como materia prima con una capacidad de 500 hL/d e implementación de un sistema de enfriamiento en el área de fermentación.
- Alternativa 2. Empleo de miel B como materia prima y aumento de capacidad a 700 hL/d.
- Alternativa 3. Empleo de miel B como materia prima y aumento de capacidad a 700 hL/d e implementación de un sistema de enfriamiento en el área de fermentación.
- Alternativa 4. Empleo de jugos de los filtros y miel B como materia prima y aumento de capacidad a 700 hL/d e implementación de un sistema de enfriamiento en el área de fermentación.
- Alternativa 5. Empleo de jugos de los filtros y jugos secundarios como materia prima y aumento de capacidad a 700 hL/d e implementación de un sistema de enfriamiento en el área de fermentación.

Premisas generales consideradas en el balance de masa y energía

En la tabla 1 se muestran las premisas generales consideradas para efectuar los balances de masa y energía en el central azucarero y en la producción de derivados.

Para calcular los parámetros de operación de la destilería en las alternativas propuestas se tuvieron en cuenta los siguientes indicadores:

- Eficiencia en fermentación (%).
- Eficiencia en destilación (%).
- Grado alcohólico.
- Índice de consumo de la miel (kg/hL).
- Azúcares reductores totales (%).
- Índice de consumo de los nutrientes (kg/hL).

Premisas generales consideradas en el análisis económico

- La moneda utilizada es el peso cubano (CUP).

Tabla 1. Premisas para el balance de masa y energía en el central azucarero

Datos de entrada	Cantidad
Molienda (t/d)	4 800
Díaz de zafra	150
Fibra en caña (%)	15,0
Agua imbibición % caña	30,0
Humedad del bagazo (%)	48,45
Pol bagazo (%)	1,8
Pureza jugo residual (%)	80,0
Bx bagazo (%)	2,14
Coef. de extracción en los molinos (%)	0,95
Bx de la caña (%)	16,0
Pol en caña (%)	14,0
Cachaza % en caña	3,5
Bagacillo % en caña	1,0
Agua lavado % en caña	4,37
Jugo de los filtros % jugo mezclado	16,0

- La tasa de cambio empleada es de 1 Euro = 1,2 USD (indicada por el Banco Central de Cuba del 06/02/2018) y 1 USD = 10 CUP (11).
- La tasa de actualización asumida para el análisis es de 12 % según tasa de interés para inversiones en el Banco Central de Cuba.
- Se analizan 15 años de producción que incluyen dos años de construcción y puesta en marcha.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Se muestran los resultados obtenidos de la simulación de las alternativas propuestas y se realiza una comparación entre las mismas.

Caso base. Esquema actual de producción de la destilería “Héctor Molina”

Para el análisis del caso base se consideraron los parámetros de operación actuales de la fábrica. Los resultados obtenidos se muestran en la tabla 2

La destilería “Héctor Molina” tiene una capacidad de producción de etanol de 500 hL/d. Como materia prima emplean miel B proveniente del central anexo que utiliza un esquema de producción de 2 masas cocidas. Como se muestra en la tabla 2, el central produce 272 t/d de miel B y para cubrir la necesidad de la producción de etanol se necesitan 168 t/d, lo que permite almacenar el resto para trabajar en tiempo de no zafra. Este almacenamiento da una cobertura de operación a la destilería de 243 días totales al año.

Durante el período de zafra la destilería recibe del central azucarero el vapor necesario para el pro-

Tabla 2. Resultados técnicos obtenidos en el caso base

Central azucarero	
Azúcar producida (t/d)	379,3
Miel B producida (t/d)	272,11
Electricidad producida en zafra (MWh)	6,29
Electricidad entregada a la destilería (MWh)	0,25
Electricidad vendida a la red nacional (MWh)	2,58
Destilería	
Capacidad de producción (hL/d)	500
Miel B necesaria (t/d)	168
Miel B a almacenar (t/d)	104
Riqueza alcohólica (%)	5
Eficiencia en destilería (%)	74,2
Eficiencia en fermentación (%)	76,9
Días de trabajo de destilería	243
Volumen de vinaza generado (m ³ /d)	801
DQO de la vinaza (kg/m ³)	47,66
Crema de levadura (t/d)	83,0
Cantidad de dióxido de carbono (CO ₂), (t/d)	40

ceso de destilación y la electricidad para satisfacer su demanda eléctrica. La cantidad de vapor a entregar es de 160 t/d y 0,25 MWh de electricidad. De las 4 800 t/d de caña que muele el central se obtienen 467 t/d de bagazo sobrante generándose 6,29 MWh en tiempo de zafra, consumiéndose 3,71 MWh en la industria (central y destilería). Esto significa que la fábrica tiene garantizada la electricidad necesaria para la producción de etanol y la electricidad vendida a la red nacional es de 2,58 MWh.

Cuando se analiza la eficiencia de fermentación se observa que la misma presenta valores bajos. Estos resultados coinciden con los obtenidos por Estévez y colaboradores (9), los que plantean que las destilerías cubanas se caracterizan por tener bajas eficiencias (75 - 78 %).

En el caso específico de “Héctor Molina” estas bajas eficiencias están asociadas fundamentalmente a que carecen de un sistema de enfriamiento en la etapa fermentativa (12), aspecto que deberá tomarse en cuenta en el análisis del proceso inversionista de la fábrica.

En cuanto al grado alcohólico, a pesar de que se encuentra en el intervalo en que trabajan las destilerías cubanas, entre 4,5 y 5 % v/v. Estévez *et al.* (9) han demostrado que la implementación de un sistema de enfriamiento en la fermentación ayuda a aumentar los valores de este parámetro a 6 % v/v.

Durante este proceso se generan 801 m³/d de vinazas las cuales tienen una elevada carga orgánica ya que la demanda química de oxígeno es de 47,66 kg/m³ (13). Este residual tan contaminante y otros que se derivan de este proceso como el agua de lavado de los fermentadores, agua de enfriamiento de los condensadores, agua de limpieza de los equipos, etc. se descargan a una zanja que conduce al mar. Desde el punto de vista medio ambiental esto tiene un impacto negativo pues afecta directamente al ecosistema. Por esta razón se requiere buscar una alternativa de tratamiento que permita reducir el nivel contaminante de este residual.

Además, la fábrica produce 83 t/d de crema de levadura *Saccharomyces cerevisiae* que se utiliza como alimento animal y se obtienen 40 t/d de CO₂ que no se recuperan porque los fermentadores están abiertos.

Análisis de las alternativas estudiadas

Alternativa 1. Empleo de miel B como materia prima con una capacidad de 500 hL/d e implementación de un sistema de enfriamiento en el área de fermentación

En la tabla 3 aparecen los resultados del balance cuando se incluye un sistema de enfriamiento en el área de fermentación manteniendo los mismos parámetros de operación utilizados en el caso base.

En el año 2005 en la destilería “Heriberto Duquesne” se evaluó el empleo de un sistema de enfriamiento en la etapa fermentativa, demostrándose que el mismo permite el aumento de los parámetros de eficiencia en la fermentación. Los resultados obtenidos en el balance coinciden con los referidos en

este estudio, donde la eficiencia de fermentación aumentó a valores cercanos a 6 % v/v.

En el caso de estudio la eficiencia de fermentación aumenta de 76,9 a 85 %. Este comportamiento, también coincide con el reportado en el informe mencionado anteriormente (9) y se debe a que cuando se utilizan intercambiadores de placa a contracorriente con flujos de vino y agua se logra enfriar el mosto a temperaturas plenamente compatibles con la fermentación entre los 30 y 32 °C. Esto contribuye a aumentar el grado alcohólico, lo que conlleva a que se emplee de manera más eficiente la materia prima en el proceso, utilizándose 16 t/d de miel B menos que en el caso base. Esta disminución garantiza un período de trabajo de 7 días más lo que equivale a producir 3 500 hL/d adicionales.

En cuanto a la producción de derivados que tiene el proceso de producción de etanol, la fábrica producirá 83 t/d de crema de levadura *Saccharomyces cerevisiae*. En cuanto al volumen de vinazas, al aumentar la eficiencia en la fermentación el índice de generación disminuye de 16 L vinazas / L de etanol a 14, por lo tanto, se generan 700 m³/d, 100 m³/d menos que en el caso base.

Alternativa 2. Empleo de miel B como materia prima y aumento de capacidad a 700 hL/d

En la tabla 4 se muestran los resultados técnicos obtenidos del aumento en la capacidad de la destilería.

Cuando se analizan los resultados técnicos de esta alternativa y se comparan con los obtenidos en el caso base se observan diferencias desde el punto de vista tecnológico. Como se muestra en la tabla 4

Tabla 3. Resultados técnicos obtenidos en la alternativa 1

Central azucarero	
Azúcar producida (t/d)	379,30
Miel B producida (t/d)	272,11
Electricidad producida en zafra (MWh)	6,29
Electricidad entregada a la destilería (MWh)	0,25
Electricidad vendida a la red nacional (MWh)	2,58
Destilería	
Capacidad de producción (hL/d)	500
Miel B necesaria (t/d)	152
Miel B a almacenar (t/d)	120,11
Riqueza alcohólica (%)	6
Eficiencia en destilería (%)	80,75
Eficiencia en fermentación (%)	85,0
Días de trabajo de destilería	269
Cantidad de crema de levadura (t/d)	83,0
Volumen de vinaza generado (m ³ /d)	700

Tabla 4. Resultados técnicos obtenidos en la alternativa 2

Central azucarero	
Azúcar producida (t/d)	379,3
Miel B producida (t/d)	272,11
Electricidad producida en zafra (MWh)	6,53
Electricidad entregada a la destilería (MWh)	0,35
Electricidad vendida a la red nacional (MWh)	2,72
Destilería	
Capacidad de producción (hL/d)	700
Miel B necesaria (t/d)	235
Miel B a almacenar (t/d)	37,11
Riqueza alcohólica (%)	5
Eficiencia en destilería (%)	74,2
Eficiencia en fermentación (%)	76,9
Días de trabajo de destilería	174
Cantidad de crema de levadura (t/d)	116
Volumen de vinaza generado (m ³ /d)	1 120

Tabla 5. Resultados técnicos obtenidos en la alternativa 3

Central azucarero	
Azúcar producida (t/d)	379,3
Miel B producida (t/d)	272,11
Electricidad producida en zafra (MWh)	6,53
Electricidad entregada a la destilería (MWh)	0,35
Electricidad vendida a la red nacional (MWh)	2,72
Destilería	
Capacidad de producción (hL/d)	700
Miel B necesaria (t/d)	213
Miel B a almacenar (t/d)	59,51
Riqueza alcohólica (%)	6
Eficiencia en destilería (%)	80,75
Eficiencia en fermentación (%)	85
Días de trabajo de destilería	192
Cantidad de crema de levadura (t/d)	116
Volumen de vinaza generado (m ³ /d)	980

la cantidad de miel necesaria para satisfacer la producción de 700 hL/d es de 235 t/d, por lo que la cantidad de miel a almacenar durante la zafra es menor. Con la miel producida por el ingenio se garantiza la operación de la destilería durante 174 días por lo que para trabajar la misma cantidad de días que en el caso base (243) se debe realizar la compra de 16 215 t de miel B.

La fábrica demanda 0,35 MWh, cantidad que se suministra por el ingenio y la cantidad de electricidad entregada a la red nacional es de 2,72 MWh.

En esta alternativa la eficiencia de fermentación y el grado alcohólico no sufren variaciones.

En cuanto a la producción de derivados que tiene el proceso de producción de etanol, la fábrica producirá 116 t/d de crema de levadura *Saccharomyces cerevisiae*, es decir 33^ot/d adicionales con respecto al caso base, que se utilizan en la alimentación animal. El volumen de vinazas generado es 1 120 m³/d superior a las alternativas anteriores debido al aumento de la capacidad de producción de la destilería.

Alternativa 3. Empleo de miel B como materia prima y aumento de capacidad a 700 hL/d e implementación de un sistema de enfriamiento en el área de fermentación

En la tabla 5 se muestran los resultados técnicos obtenidos del aumento en la capacidad de la destilería.

Como se muestra en la tabla 5, la cantidad de miel necesaria en la destilería es de 213 t/d, por lo

Tabla 6. Resultados técnicos obtenidos en la alternativa 4

Central azucarero	
Azúcar producida (t/d)	358,58
Miel B producida (t/d)	192,55
Electricidad producida en zafra (MWh)	5,18
Electricidad entregada a la destilería (MWh)	0,35
Electricidad vendida a la red nacional (MWh)	1,48
Destilería	
Capacidad de producción (hL/d)	700
Miel B necesaria (t/d)	30
Miel B a almacenar (t/d)	162,55
Riqueza alcohólica (%)	712
Eficiencia en destilería (%)	6
Eficiencia en fermentación (%)	80
Días de trabajo de destilería	85
Cantidad de crema de levadura (t/d)	251
Volumen de vinaza generado (m ³ /d)	358,58

que la cantidad de miel a almacenar durante la zafra es mayor permitiendo que aumenten los días de trabajo de la destilería a 192, 18 días más que en la alternativa 2. No obstante para lograr la operación de la destilería durante la misma cantidad de días que en el caso base (243) aún es necesario comprar miel a otros ingenios (3 834 t).

La fábrica demanda 0,35 MWh, cantidad que se suministra por el ingenio y la cantidad de electricidad entregada a la red nacional es de 2,72 MWh.

En cuanto a la producción de derivados que tiene el proceso de producción de etanol, la fábrica producirá la misma cantidad de crema de levadura *Saccharomyces cerevisiae* que en la alternativa 2. El volumen de vinazas generado es 980 m³/d.

Alternativa 4. Empleo de jugos de los filtros y miel B como materia prima y aumento de capacidad a 700 hL/d e implementación de un sistema de enfriamiento en el área de fermentación

En la tabla 6 se muestran los resultados técnicos obtenidos de la alternativa 4.

La producción de azúcar en un central azucarero depende del esquema de cocción utilizado y del desvío de las corrientes intermedias del proceso para la producción de otros derivados. En esta alternativa se mantiene el esquema de dos masas cocidas como en el caso base y en la alternativa 1 pero en este caso se emplea además en la fermentación, el jugo de los filtros.

El desvío de esta corriente azucarada provoca la disminución en la producción de azúcar en un 5,4 %

aunque es válido destacar que el azúcar que se produce en esta variante tiene una mejor calidad y se puede vender a mejores precios en el mercado.

La producción de miel B también se ve afectada al desviar el jugo de los filtros porque disminuye la cantidad de jugo clarificado a enviar a los evaporadores. En este caso de 272 t/d que se producían en la alternativa 1, se obtienen 192,55 t/d de miel B para la destilería.

Como la cantidad de jugo clarificado disminuye existe una disminución en la electricidad generada, ya que el vapor de baja necesario en casa de caldera es menor. La electricidad en esta alternativa sería un 21 % inferior a la de la alternativa 1, no obstante, aún es suficiente para satisfacer las necesidades de la industria y se venden a la red nacional 1,48 MWh.

En esta alternativa al incorporarse el jugo de los filtros en el proceso fermentativo, como es una corriente rica en azúcares solamente se adicionan 30 t/d de miel B como complemento nutricional para el crecimiento de la levadura en los procesos de propagación y pre fermentación. Esto permite almacenar durante el período de zafra 163 t/d, lo que equivaldría a 101 días adicionales de trabajo en la destilería, 18 días más que en la alternativa 1.

Cuando se analiza la eficiencia en la fermentación se observa que existe un aumento en la eficiencia de la fermentación y en la destilería en general. Independientemente que se mantenga el esquema de producción de la fábrica influye en estos resultados la implementación de un sistema de enfriamiento.

En cuanto a la producción de derivados que tiene el proceso de producción de etanol, la fábrica

producirá la misma cantidad de crema de levadura *Saccharomyces cerevisiae* que en la alternativa 2 y 3. El volumen de vinazas generado es 980 m³/d.

Alternativa 5. Empleo de jugos de los filtros y jugos secundarios como materia prima y aumento de capacidad a 700 hL/d e implementación de un sistema de enfriamiento en el área de fermentación.

En la tabla 7 se muestran los resultados técnicos obtenidos de la alternativa 5.

En esta alternativa la extracción de los jugos secundarios junto al jugo de los filtros favorece la producción de etanol porque permite almacenar toda la miel producida (178,14 t/d) para trabajar en tiempo de no zafra. Los días de trabajo totales de la destilería serían de 260. Debido al desvío de la corriente del jugo de los filtros y secundarios se producen 68,21 t/d de azúcar y 14,41 t/d de miel B menos con respecto a las obtenidas en la alternativa 4.

En el área de fermentación se mantienen sin variación la eficiencia de fermentación cuando se compara con las alternativas donde se implementó el sistema de enfriamiento.

Con respecto a la electricidad que se entrega al SEN y la que produce el central existe una disminución de 0,17 MWh y 0,14 MWh respectivamente con respecto a la alternativa 4.

Análisis de la inversión en la destilería

En el programa alcoholero para el año 2018 del Grupo Empresarial Azcuba (14) se realizará un proceso inversionista para la ampliación de capacidad de la destilería "Héctor Molina", teniendo en cuenta además, el incremento de la calidad y eficiencia en el sistema fermentativo. Para este aumento de capacidad se trasladará de la destilería "Melanio Hernández", un módulo adicional de destilación comprendido por dos columnas de destilación y equipos de trasiego de corrientes intermedias. Además, se importará el equipamiento necesario para el bombeo de la miel y los jugos, el enfriamiento y acondicionamiento del jugo, así como el enfriamiento en los fermentadores.

Al ser esta inversión compleja se hace necesario realizar una planificación por parte de la Empresa Azucarera para que la misma se ejecute de forma escalonada y no como un proceso inversionista en que las acciones se realicen simultáneamente. Además, hay que destacar que los valores de eficiencia y rendimiento que se pretenden obtener, solo serán alcanzados una vez que se realicen todas las modificaciones del proceso e inversiones necesarias.

Cuando se analizan los costos de inversión se puede observar en la tabla 8 que los mayores costos de inversión corresponden a las alternativas 4 y 5. Esto es debido a que en estas alternativas hay que

Tabla 7. Resultados técnicos obtenidos en la alternativa 5

Central azucarero	
Azúcar producida (t/d)	290,37
Miel B producida (t/d)	178,14
Electricidad producida en zafra (MWh)	5,01
Electricidad entregada a la destilería (MWh)	0,35
Electricidad vendida a la red nacional (MWh)	1,34
Destilería	
Capacidad de producción (hL/d)	700
Miel B necesaria (t/d)	0
Miel B a almacenar (t/d)	178,14
Jugos de los filtros (t/d)	656
Jugos secundarios (t/d)	368
Riqueza alcohólica (%)	6
Eficiencia en destilería (%)	80
Eficiencia en fermentación (%)	85
Días de trabajo de destilería	260

Tabla 8. Inversión para las diferentes alternativas estudiadas

	Alternativa 2 (\$)	Alternativa 3 (\$)	Alternativa 4 (\$)	Alternativa 5 (\$)
Preparación y acondicionamiento del terreno	632 069,85	632 069,85	640 781,85	640 781,85
Obras de Ing. civil, estructuras y edificios	1 053 449,75	1 053 449,75	1 067 969,75	1 067 969,75
Equipamiento tecnológico	10 534 497,46	10 534 497,46	10 679 697,46	10 679 697,46
Instalación de equipos	5 576 075,63	5 576 075,63	5 644 319,63	5 644 319,63
Servicios auxiliares	2 999 559,24	2 999 559,24	3 028 599,24	3 028 599,24
Ingeniería y supervisión	973 054,75	973 054,75	980 314,75	980 314,75
Gastos de construcción	1 946 109,49	1 946 109,49	1 960 629,49	1 960 629,49
Total costos de inversión fija	23 714 816,15	23 714 816,15	24 002 312,15	24 002 312,15
Contingencias	732 621,87	732 621,87	746 851,47	746 851,47
Ganancias del contratista	240 865,93	240 865,93	247 980,73	247 980,73
Costos totales de inversión	24 688 303,95	24 688 303,95	24 997 144,35	24 997 144,35

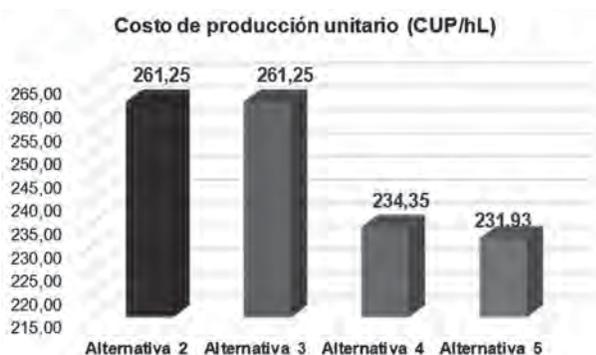


Figura 1. Costos unitarios de producción.

realizar la compra del equipamiento necesario no solo para el aumento de la capacidad en destilación y el trasiego de la miel sino además para el acondicionamiento y enfriamiento de los jugos.

Análisis de los costos de producción

Los costos unitarios obtenidos en el horizonte de planificación del proyecto se muestran en la figura 1.

Como puede observarse los costos de producción unitarios disminuyen cuando se emplean jugos en la producción de etanol (alternativas 4 y 5). Este resultado se debe fundamentalmente a que los jugos son un sustrato más rico en azúcares y permite almacenar miel B durante el período de zafra, permitiendo trabajar más días al año. El empleo de jugo en la fermentación permite reducir el costo de producción con respecto a la alternativa 2 en un 10,3 % para la alternativa 4 y 11,22 % para la alternativa 5.



Figura 2. Estructura de los costos totales. Alternativa 2.



Figura 3. Estructura de los costos totales. Alternativa 3.

En la estructura del costo de producción, los costos asociados a las materias primas son los de mayor influencia con valores que oscilan desde 72,27 % a 74,7 %. La miel y el jugo en dependencia de la alternativa, son los que más inciden. Este comporta-



Figura 4. Estructura de los costos totales. Alternativa 4.



Figura 5. Estructura de los costos totales. Alternativa 5.

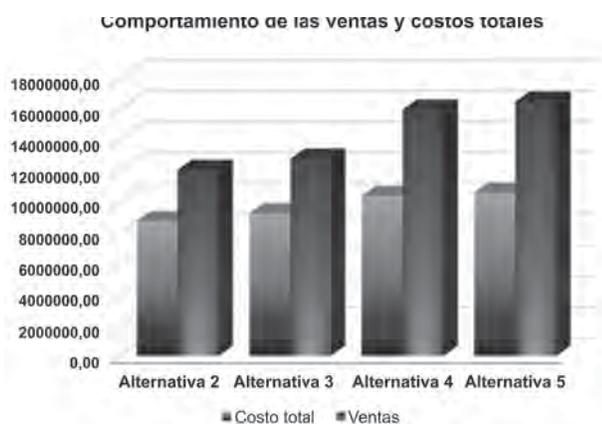


Figura 6. Comportamiento de las ventas y costos totales.

miento puede apreciarse para cada variante en las figuras 2 – 5.

Ingresos por ventas

En la figura 6 se muestra el comportamiento de las ventas y los costos totales.

Como puede apreciarse la comparación indica que las ventas son superiores a los costos en todo el período analizado.

Indicadores financieros seleccionados para la evaluación

Para el análisis de la inversión se obtienen los indicadores de rentabilidad siguientes:

- Valor actualizado neto (VAN).
- Tasa interna de rendimiento del proyecto (TIR).
- Período de recuperación de la inversión (PRI).
- Tasa de rendimiento actualizada (RVAN).

Las mayores ganancias se obtienen con la alternativa 5 y la diferencia se debe fundamentalmente a que cuando se usa jugo de los filtros y jugos secundarios se almacena toda la miel para el tiempo de no zafra trabajando más cantidad de días al año.

Como puede apreciarse todas las alternativas son ventajosas desde el punto de vista económico ya que el VAN es positivo, la TIR es superior a la tasa de actualización y el PRI se encuentra por debajo de los 4 años.

De todas las alternativas, la 5 es la que presenta mejores resultados ya que tiene mayor valor de RVAN, por lo que se obtienen mayores ganancias por cada peso invertido. No obstante, no se descarta ninguna de las alternativas propuestas pues todas tienen buenos resultados en los indicadores económicos.

CONCLUSIONES

1. La extracción del jugo de los filtros del proceso azucarero permite mejorar la calidad del azúcar producido, garantizar materias primas para otras producciones (miel y bagazo), así como obtener esquemas operacionales más económicos.
2. La implantación del esquema de producción donde los jugos se emplean para la producción de

Tabla 9. Indicadores económicos

Alternativa	Ganancias netas (CUP)	VAN (\$/año)	TIR (%)	PRI (años)	RVAN (\$/\$)
2	8 978 864,36	9 181 992,79	40,27	3,80	0,37
3	9 518 815,27	10 817 802,23	42,97	3,64	0,44
4	12 741 657,47	20 356 349,20	58,66	3,00	0,81
5	13 617 249,76	23 009 001,94	63,20	2,87	0,92

etanol trae beneficios económicos debido a que disminuyen los costos de producción.

3. Desde el punto de vista económico la inversión a

realizar en la destilería es viable ya que el período de recuperación se encuentra por debajo de los 4 años y se obtienen indicadores económicos positivos.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Abril A. Etanol a partir de biomasa lignocelulósica. Monografía 2010.
 2. Lopes M, Paulillo C, Godoy A, Cherubin R. Ethanol production in Brazil: a bridge between science and industry. Brazilian Journal of Microbiology. 2016;47:64-76.
 3. Otero M, Almazán O. Las levaduras como base de una industria. Diferentes aplicaciones. 2012.
 4. Alonso D. Evaluación de alternativas de mejoras energéticas y ambientales en la destilería Jesús Rabí [Máster] 2015.
 5. Lorenzo Y, Eng F. Tratamiento industrial de vinazas de destilerías en reactores UASB. Revista Tecnología Química. 2015.
 6. Alves D. Respostas fisiológicas de duas linhagens de *Saccharomyces cerevisiae* frente ao potássio durante a fermentação alcoólica. [Doctorado]: Instituto de Biociências/UNESP, Riío Claro; 2000.
 7. Otero M, García R, Saura G. Producción de bioetanol a partir de mezclas de jugos-melazas de caña de azúcar. ICIDCA. 2009.
 8. Pérez I, Garrido N. Equipamiento básico para una instalación de enfriamiento del jugo de los filtros. CubAzúcar. 2001:26-8.
 9. Estévez R, Saura G, Martínez J. Informe de la evaluación de la extracción de jugo de los filtros y secundarios en el comportamiento de la fábrica de azúcar Heriberto Duquesne. ICIDCA. 2005.
 10. Saura G, Domenech F. Desarrollo del programa integrado de producción de alcohol en la industria azucarera. Instituto Cubano de Investigaciones de los Derivados de la Caña de Azúcar, Cuba, Alcohol. Dd; 2006.
 11. Grupo Derivados A. Indicaciones del Ministerio de Finanzas y Precios para el Grupo Empresarial AZCUBA. 2017.
 12. Díaz E. Destilería Héctor Molina. Datos técnicos de la destilería Héctor Molina ed 2017.
 13. Alonso D, Ramos S. Informe Técnico. Diagnóstico ambiental a empresa azucarera "Mayabeque" y a la UEB Derivados "Héctor Molina". 2017.
 14. González C. 2017. Comunicación personal.
-

Un centro moderno al servicio del medio ambiente



CENGMA

**Centro Nacional de Gestión
de Medio Ambiente
de la Industria Azucarera**

