

FACTIBILIDAD DE OBTENCIÓN DE BIOETANOL A PARTIR DE DIFERENTES MATERIAS PRIMAS

Mailyn González Cortés, Y. Barceló Martín, Y. Albornas Carvajal y Erenio González Suárez,
Centro de Análisis de Procesos. Facultad de Química Farmacia. Universidad Central de Las Villas

Recibido:

Aceptado:

Se realiza una evaluación de los aspectos técnicos, económicos y ambientales de las tecnologías de producción de etanol por vía fermentativa, utilizando diferentes materias primas. Se realizó un análisis de la literatura que permitió preliminarmente la selección de las variantes a evaluar, considerando las que presentaron mayores fortalezas y oportunidades a nuestras condiciones: etanol a partir de miel final de caña, alternativa que utiliza mezcla de miel final, jugo de los filtros y jugo secundario y etanol a partir de miel final, jugo de los filtros y bagazo. Se hizo el diseño y selección del equipamiento requerido en cada alternativa. Por último se realizó una evaluación económica, donde se determinaron los costos totales de inversión y de producción, así como se obtuvieron los indicadores de rentabilidad VAN, TIR y PRD para cada variante.

Palabras clave: materias primas, variantes tecnológicas, producción de etanol, análisis técnico, económico y ambiental

FEASIBILITY TO OBTAIN BIOETHANOL FROM DIFFERENT RAW MATERIALS

In this paper was carried out a complete evaluation of technologies to produce ethanol via fermentation taking into account the technical, economical and environmental aspects. To begin this, we made a deep analysis of the materials we have referring this topic, so that we could previously select all the possibilities we can evaluate. After this we consider the strongest one and the ones with more opportunities. These are the following: ethanol from sugar cane molasses, ethanol from a mix of sugar cane molasses, juice from filters and secondary juice and ethanol from sugar cane molasses, juice from filters and bagasse. A design and selection of the equipment was carried out in each. The last step was and economical evaluation where the final cost of investment and production was found. On this way was evaluated the feasibility of each process.

Key words: raw matter, technologies, ethanol production, technical, economical and environmental analysis

INTRODUCCIÓN

En los últimos años la producción de etanol a partir de diferentes materias primas ha cobrado un gran auge, lo que ha estado en estrecha relación con las múltiples aplicaciones de este producto, el mismo es utilizado como materia prima en varias producciones, o directamente como combustible, alcanzando este último uso un gran auge en todo el mundo (Tomás, 2006), por ejemplo, en países como Brasil se emplea grandemente como combustible automotor. (Migoya, 2000), (Mora, 2006).

Lo anterior, justifica las investigaciones que sobre este tema en el ámbito internacional se han desarrollado en los últimos años y en el caso de nuestro país apunta a que para lograr una economía más favorable en la producción de bioetanol no se puede analizar la tecnología de forma aislada sino que es necesario realizar un estudio de integración en la Industria Azucarera, esto se refiere específicamente a las producciones de azúcar crudo y etanol, con el objetivo de lograr que los procesos por separado se desarrollen de la forma más eficiente posible y con un menor costo teniendo siempre presente que la integración de los mismos tribute a la factibilidad del complejo productivo.

En este trabajo, el estudio se centra en el análisis de alternativas para la obtención de bioetanol considerando diferentes materias primas, ya que mundialmente durante las últimas cuatro décadas la obtención de etanol ha presentado diferentes tendencias en cuanto al uso de la materia prima. En la literatura, (Torrecilla, 2003) se ha referido que los factores más importantes para decidir el empleo de una materia prima en específico son: disponibilidad confiable y continua en cantidad y calidad, aspectos tecnológicos y económicos del proceso e impacto ambiental que genera el proceso. Es importante hacer notar que las tecnologías desarrolladas han tenido en cuenta estos aspectos indistintamente, pero se carece de un estudio integral que haya considerado en el desarrollo de la misma todos los aspectos que se han señalado, a través de los cuales se favorece la factibilidad en la tecnología.

DESARROLLO

Diversos autores como (Blanco, 1982), (Correa, 1997), (de la Cruz, 2002), han coincidido en

clasificar las materias primas para obtener alcohol por vía fermentativa en tres clases:

- Materias Azucaradas (Sustancias sacarinas)
- Materias Amiláceas (Sustancias feculentas)
- Materias Celulósicas

Dentro de las Materias Azucaradas (Sustancias sacarinas) se encuentran los mostos y jugos de diversas frutas, remolacha, azúcar de remolacha y mieles finales de remolacha, jugo de caña de azúcar, azúcar de caña, mieles invertidas de caña y mieles finales de caña. Estas materias primas tienen la ventaja que fermentan directamente.

Según (Ibarz, 2006) la producción de bioetanol es liderada mundialmente por Brasil y Estados Unidos, países que lo obtienen principalmente a base de caña de azúcar y maíz, respectivamente.

La caña de azúcar es el cultivo azucarado más utilizado para la producción de etanol en los países de clima cálido, mientras que en Europa se utiliza la remolacha, específicamente en nuestro país tradicionalmente se ha utilizado para este fin la miel final procedente del proceso azucarero.

La utilización en gran escala de las mieles finales subproductos del proceso azucarero, está limitada por la cantidad generada de este producto y la demanda siempre creciente del mismo para otras aplicaciones como son la alimentación animal, y la obtención de productos de interés bioquímico e industrial. También los altos valores de las mieles finales en el mercado mundial, ha sido un factor importante a considerar dentro del costo de producción del alcohol.

Otros autores se han referido a los inconvenientes de la producción de alcohol a partir de la miel B, los que han planteado que esto sigue siendo una sola solución estratégica donde más que los costos, determinan toda la problemática del trasiego de mieles y la ausencia de materia prima disponible en la industria nacional. (Doray y Delgado, 2000). Dentro del proceso azucarero se han buscado otras fuentes de material azucarado para su empleo en la producción de etanol, es importante señalar en este aspecto el jugo de la caña, el cual constituye otra de las alternativas más usadas en la producción de etanol. Su composición varía de acuerdo con varios

factores como son: variedad tipo de cultivo, época del año y otros. El contenido de sacarosa es muy variable, en Cuba es de un 11-16 % en peso (**Valdés, 2004**).

Su utilización como sustrato de acuerdo a su procedencia requiere algunos criterios y formas de prepararlos algunos autores proponen su mezcla con azúcares o mieles para buscar un enriquecimiento del material o en su defecto una concentración por evaporación para lograr un contenido más alto de azúcares. Otros plantean la producción de alcohol sobre la base del jugo de caña tal como sale de los molinos, concentrando una cierta cantidad para su utilización en período de no zafra. (**González y otros, 1986**).

Por su parte, los jugos para uso inmediato sin concentración, sustituye totalmente el empleo de agua en los disolutores diluyendo melazas, concentrados siempre habrá que suplementarlos de micronutrientes esenciales con melazas también; conservados a alto % Brix hasta 90 días, la elevación final de la concentración para el almacenamiento como antes se indicó, se ejecuta mezclándolos aún en condiciones microbiológicas pesimistas con miel final seleccionada.

También se ha referido el uso de jugo crudo y clarificado, estudios realizados muestran que la presencia de materias extrañas en el jugo crudo afectan negativamente el proceso productivo, prefiriéndose los jugos clarificados independientemente de su efecto deteriorativo sobre los azúcares. Además de los sustratos antes mencionados existen otros que pueden ser utilizados como por ejemplo algunas corrientes intermedias del proceso azucarero, en este caso se refiere la utilización del jugo de los filtros. Varios autores (**Torres, 2005**), (**Correa, 1997**), (**De la Cruz, 2000**) consideran el uso del jugo de los filtros como sustrato fermentativo. Martín K. (**Klibansky, 1985**), evaluó el jugo de los filtros en la obtención de alcohol, concluyendo que aunque el consumo de jugo por hectolitro de alcohol referido a las mieles se incrementa debido a la disminución de azúcar presente en el mismo, su utilización reporta grandes ventajas desde el punto de vista tecnológico y como sustituto de una parte de la miel final que pudiera destinarse a otros usos.

Las vinazas de destilería también han sido utilizadas en el proceso de fermentación alcohólica. Esto ofrece la posibilidad de aprovechar eficientemente los nutrientes y los azúcares residuales no fermentados. Mediante la recirculación de vinazas aquellos componentes fermentables o presentes originalmente en vinazas provenientes de ineficiencia en la etapa de fermentación, tienen una mayor oportunidad para un ataque secundario de las levaduras con un aumento correspondiente en la producción de etanol (**Doray, 2000**).

Son varios los trabajos (**Correa, 1997**), (**Iturria, 2001**) que se han publicado sobre la fermentación alcohólica con recirculación de vinazas existiendo además fábricas de alcohol con esta tecnología como la Biostil de la firma Alfa-Laval. (**Laval Cia, 1982**)

En el caso de las materias Amiláceas (sustancias feculantes), materias primas que constan de hidratos de carbono complejos, como el almidón, por ejemplo los granos, cereales como maíz, avena y cebada, tubérculos como papa, boniato, etc, estas materias no fermentan directamente como en el caso de las azucaradas, sino que requieren un tratamiento previo que puede ser químico, por medio de procesos ácidos (ácido sulfúrico y clorhídrico) o enzimático (Enzimas Amilolíticas), con el fin de ser llevado a formas más simples que sí pueden ser fermentables (ejemplo glucosa y maltosa). Este proceso se conoce con el nombre de sacarificación (**Doray, 2000**).

Tradicionalmente las materias amiláceas se han dedicado a la producción alimentaria y su utilización en otras aplicaciones se ha visto limitada fundamentalmente por el hecho de que su precio ha estado regido por el mercado alimentario que por lo general, es excesivamente alto para el sector energético, existiendo el riesgo de fluctuaciones de precios que afectan a la rentabilidad de los proyectos.

Otra de las materias primas utilizadas en la obtención de alcohol son los materiales celulósicos. La celulosa es un componente de las fibras vegetales, por ejemplo los residuos de la industria del papel, ya sea obtenido de la madera o del bagazo. Presentan una estructura compleja formada mayoritariamente por celulosa, hemicelulosa y lignina, que hace que el

proceso de obtención de los azúcares para su transformación en etanol sea más difícil que en el caso del almidón, (Ballesteros, 2003). La idea de producir etanol a partir de los residuos lignocelulósicos data de las décadas de 1940 y 1950, (Blanco, 1982). La alternativa de emplear los residuos lignocelulósicos en la producción de alcohol, constituye una posibilidad altamente prometedora por su amplia disponibilidad en el mundo, y por tanto se considera una materia prima de bajo costo que ofrece, en el futuro, un potencial mayor para la producción de bioetanol. No obstante se ha referido que el uso efectivo de los materiales lignocelulósicos como fuente de carbohidratos está limitado por los siguientes factores: la barrera de la lignina: la utilización microbiana o enzimática de estos sustratos requiere previamente la ruptura de la barrera de lignina. Esto significa realizar algún tipo de pretratamiento, físico, químico o biológico. También dificulta el ataque biológico, la cristalinidad y el área superficial de la celulosa; otra limitante es el costo de las enzimas hidrolíticas: como se ha explicado anteriormente, para disponer del carbono presente en la celulosa y hemicelulosa, se requiere, después del pretratamiento, hidrolizar estos compuestos a glucosa y pentosas. El alto costo de producción de las celulosas y hemicelulosas, además de su baja actividad y otras desventajas fisiológicas (son inducibles y reprimidos catabólicamente) hacen que esta etapa incida económicamente en la economía de los procesos de hidrólisis. Algunos estudios revelan que el costo de las celulosas puede representar hasta un 60% del costo total de producción de azúcares fermentables a partir de recursos celulósicos.

Es por lo anterior que se acota lo siguiente:

1. La producción de etanol a partir de materias primas amiláceas no se considera una alternativa factible en nuestro Cuba, ya que además de ser utilizadas para el consumo humano y tener altos precios no se producen en cantidades suficientes para cubrir las necesidades.
2. Las materias primas azucaradas y las celulósicas son las alternativas con mayores posibilidades a valorar para la producción de etanol en nuestro país dado sus notables ventajas, ya que las primeras son fácilmente fermentables y las segundas presentan una alta disponibilidad y un bajo costo.

3. Los procesos que utilizan como materia prima la combinación de miel final y jugos de caña representan una variante atractiva ya que además de ser un proceso donde sus materias primas fermentan directamente, se logra una integración Central-Destilería que permite un mejor aprovechamiento de toda las corrientes involucradas.
4. Las tecnologías que utilizan como materia prima residuos lignocelulósicos desde el punto de vista económico se ven limitadas ya que requieren de un pretratamiento previo para lograr la ruptura de la barrera de lignina y una posterior hidrólisis, etapas que encarecen el proceso.

De este análisis se concluyó que las variantes con mayores posibilidades de implementación, dadas específicamente por las fortalezas y oportunidades de las materias primas que utilizan son:

Variante 1: Proceso convencional de producción de etanol a partir de miel final.

Variante 2: Proceso de producción de etanol a partir de miel final, jugo de los filtros y jugo secundario.

Variante 3: Proceso de producción de etanol a partir de miel final, jugo de los filtros y bagazo.

Análisis técnico

La primera variante requiere solamente de miel final; la segunda consistió en obtener alcohol a partir de miel final, jugos de los filtros y jugo secundario en las siguientes proporciones: 33 % de ART de miel, 33 % de ART de jugo de los filtros y 33 % de ART de jugo mezclado y la tercera tomando con referencia la alternativa 2 valora la posibilidad de sustituir el empleo de los jugos secundarios en la fermentación alcohólica por un hidrolizado de bagazo, corriente que presenta un contenido de azúcares fermentables y es obtenida de la hidrólisis enzimática del bagazo, utilizándose para ello el bagazo sobrante de la generación de vapor en el proceso azucarero. Esta consideración se realiza con el objetivo de no desviar la corriente de jugos secundarios del proceso azucarero, y no afectar la productividad de azúcar, permitiendo además aprovechar el bagazo que se obtiene como residuo sólido del proceso azucarero, constituyendo así este empleo de residuos sólidos una ventaja desde el punto de vista ambiental. En esta alternativa se mantiene un aporte de la corriente de jugo de los

filtros del 33% y se propone un aporte de ART por parte del hidrolizado de bagazo del 37 % y un aporte de la miel final del 30 % para obtener al igual que en las alternativas anteriores una concentración de ART en la batición de 120 g/L.

En el caso de la segunda variante el proceso tecnológico no difiere mucho del proceso convencional de producción de alcohol a partir de la miel final, ilustrándose como cambio más significativo la preparación de la materia prima.

Esta etapa consiste en brindarle al jugo de los filtros el tratamiento necesario para ser utilizado posteriormente en la fermentación. Para ello se somete a una etapa de sedimentación y seguidamente un enfriamiento.

Para la variante 3 el proceso tecnológico se diferencia en la etapa de preparación de la materia prima. El tratamiento necesario para el jugo de los filtros se realizará de forma similar al descrito en la alternativa 2 y para el pretratamiento del bagazo se propone emplear un tratamiento organosolv seguido de una hidrólisis enzimática, tecnología que responde a las características y peculiaridades de Cuba como país en vías de desarrollo, para lo cual se descartaron equipos con gran rigor en las condiciones de operación de alta presión y temperatura y complejidad de sus diseños que resuelven las etapas críticas de este proceso: el pretratamiento y la hidrólisis. (Ley, 2006)

Pretratamiento del Bagazo

Se aplica el método Organosolv empleando etanol como solvente, el bagazo se mezcla en una relación 5:1 (líquido/sólido) con una solución de agua y etanol que además contiene ácido sulfúrico, puesto que en pruebas experimentales se ha demostrado que el ácido sulfúrico es más selectivo a la hemicelulosa que el hidróxido de sodio, siendo la hemicelulosa la que influye más negativamente en el proceso de hidrólisis dado a que ejerce un efecto estérico de las enzimas hacia la celulosa. Los componentes anteriormente descritos se mezclan hasta alcanzar una buena impregnación (durante 10 minutos) en la misma y seguidamente, se le inyecta vapor a 175 ÚC, manteniendo una presión de 7 kgf/cm² durante 60 minutos, logrando deslignificar el bagazo bajo estas condiciones. Posteriormente es llevado al filtro a presión, como parte de garantizar las condiciones de humedad en la siguiente etapa.

Hidrólisis de la celulosa

Se lleva a cabo una hidrólisis enzimática, donde se obtiene un hidrolizado que debe alcanzar una concentración de 70 g/L de ART.

Se tomó como base una destilería con una capacidad de 1000 HL/día y se determinaron las cantidades de materias primas requeridas en cada alternativa. En la tabla se muestran los resultados obtenidos.

Tabla 1: Cantidades de materias primas por variantes

	Cantidad		
	Variante #1	Variante # 2	Variante # 3
Masa del MF (kg / h)	19406	6462	5822
Volumen del JF (L / h)	-	27093	26849
Volumen del JS (L / h)	-	39995	-
Volumen de agua (L/h)	70782	12559	-
Volumen de Hidrolizado de bagazo (L / h)	-	-	53327

Análisis ambiental

Como resultado del análisis ambiental en cuanto a generación de residuales se refiere para las tres variantes seleccionadas se debe señalar que a medida que disminuye el consumo de miel final en el sustrato

empleado como materia prima los índices de contaminación del mosto final generado en la etapa de destilación son menores, lo que implica la factibilidad desde el punto de vista ambiental de la sustitución parcial de la miel final por los jugos de caña.

Análisis económico

Se realizó un análisis de factibilidad económica donde se determinaron el costo total de inversión y el costo total de producción para cada variante. Los resultados se muestran a continuación (Tabla 2)

Se determinaron, además, los indicadores dinámicos VAN, TIR y PRD, lo que permitió contar con una evaluación más precisa. La tabla siguiente muestra los resultados (Tabla 3)

Tabla 2. Costo total de inversión y el costo total de producción para cada variante

	Variante 1	Variante 2	Variante 3
Costo Total Inversión	12180468,51	13663796,61	38866990,71
Costo Total Producción	13826494,77	8176150,961	18567904,33

Tabla 3. Valor de los indicadores de factibilidad

Indicador	Variante 1	Variante 2	Variante 3
Valor Actual Neto (VAN) (\$)	\$8.268.620,30	\$34,878,475.48	-\$41,988,585.06
Tasa de Rendimiento Interna (TIR) (%)	27 %	55%	-
Plazo de Recuperación al descontado (PRD) (años)	6,6 años	3,4 años	-

ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

Analizando el aspecto técnico se puede inferir que la variante 1 presenta un proceso tecnológico que es bien conocido en Cuba, del cual se tiene una basta experiencia, y en el mismo se alcanza un buen rendimiento, presentando la gran ventaja que esta materia prima fermenta directamente. Sin embargo a esto se enfrenta la disponibilidad cada vez menor de la miel final, dada por las crecientes aplicaciones y demandas de esta materia prima en otras esferas. Por otra parte la variante 2 requiere de un control más riguroso, específicamente se debe prestar una especial atención al control del pH en la fermentación. Además aunque igual que en la variante anterior las materias primas logran una fermentación directa se requiere de un acondicionamiento del jugo de los filtros para llevarlo a la etapa de fermentación, lo que implica adicionar al proceso las operaciones en este pretratamiento, que incluyen la sedimentación del jugo de los filtros y su posterior enfriamiento, lo que evidentemente conlleva a incrementar el número de equipos con respecto a la variante 1.

Analizando la variante 3 es muy importante señalar que esta variante, con respecto a las anteriores, presenta la desventaja que el bagazo no fermenta directamente, requiriendo así de un proceso de pretratamiento previo a través del método organosolv, y posteriormente de una hidrólisis enzimática para poder liberar los azúcares presentes en el bagazo, lo que trae consigo incluir equipos adicionales, con requerimientos técnicos específicos que permitan llevar a cabo las operaciones mencionadas anteriormente. Además otro inconveniente de esta alternativa lo constituye los grandes volúmenes de agua que se consumen en el pretratamiento, lo que hace que el consumo total de agua en esta alternativa se incremente en 3,13 veces con respecto al consumo total de agua de la variante 1 que muestra el proceso convencional a partir de miel final. Se debe destacar que esta tecnología aún no es una tecnología madura en nuestro país, sin embargo en los últimos tiempos se han venido realizando múltiples estudios acerca de la posibilidad de viabilizar esta tecnología que considera el bagazo como una materia prima para la obtención de etanol, justificados por su amplia disponibilidad y bajo

costo, por lo que no obstante sus desventajas técnicas resulta prometedora y de ninguna manera descartable en los estudios que se hagan para intensificar la producción de etanol en nuestro país. Respecto al impacto ambiental se puede señalar, como resultado del análisis ambiental realizado, que la variante 1 posee el mayor potencial contaminante y se estima que la variante 3, en orden decreciente de contaminación, ocupe un lugar intermedio ya que a pesar que el pretratamiento organosolv se considera una tecnología limpia, ello implica la

generación adicional de residuales con respecto a las restantes variantes, además esta alternativa emplea un % de miel final en la fermentación menor que el empleado en la variante 2, pero que realmente no difiere mucho de ese valor.

Para analizar el aspecto económico considerando los resultados del costo de materiales por etapa para cada alternativa obtenidos se procedió a graficar los mismos. Estos se muestran a continuación:

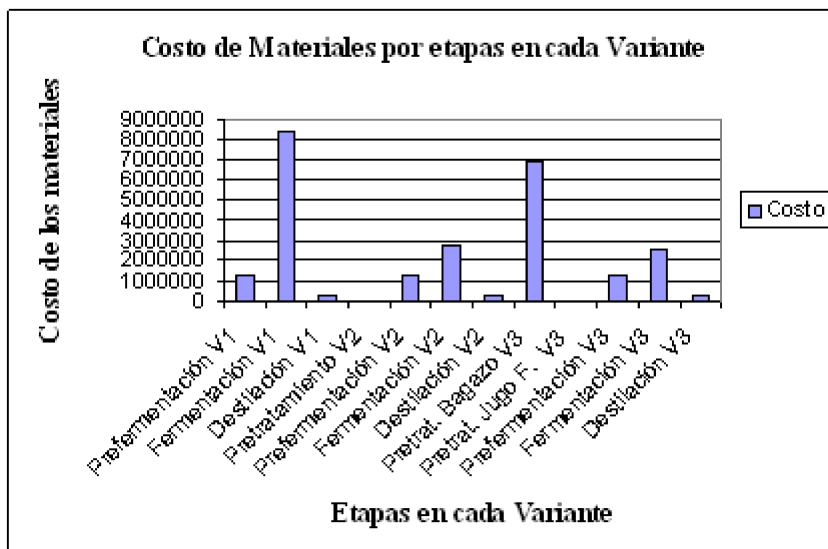


Figura 1. Costo de materiales por etapas en cada variante

La variante que presenta el mayor costo por concepto de materias primas y materiales requeridos es la # 3, donde como se muestra en la figura 1 las etapas más costosas de este proceso son la fermentación y el pretratamiento del bagazo, dado este último principalmente por el costo de las enzimas en la etapa de hidrólisis enzimática, el cual representa el 31,21 % del costo total de las materias primas y materiales requeridos en esta alternativa.

La tabla 2 muestra que las variantes 1 y 2 son las que presentan el menor costo de inversión, lo cual está dado por el hecho de que estas alternativas son las que requieren las menores cantidades de equipos para llevar a cabo el proceso tecnológico previsto, no ocurriendo así en la variante 3, para la cual el Costo Total de Inversión es de 38866990,71 \$, valor este que asciende a más del doble con respecto a las restantes alternativas, debido al costo del equipamiento adicional que es necesario instalar para efectuar las operaciones de pretratamiento del

bagazo.

Se debe destacar que del análisis anterior se deriva que la variante 1 es la que presenta el menor Costo Total de Inversión, siendo este de 12180468,51\$. Como se conoce el costo total de producción depende del costo de la materia prima, los requerimientos, el costo del equipamiento y a su vez del costo total de inversión. Al respecto se obtuvo que los mayores costos se presentan en las variantes 1 y 3, siendo esta última la de mayor valor. Esto se debe al elevado costo de los materiales utilizados en la etapa de pretratamiento de bagazo, además del elevado costo de inversión debido al incremento del número de equipos para llevar a cabo este pretratamiento. En el caso de la variante 1 que como se ha dicho valora el proceso tradicional de obtención de etanol a partir de miel final se debe señalar que su costo total de producción está influenciado por el alto precio que ha alcanzado esta materia prima en la actualidad.

Así se pudo comprobar que el menor costo total de producción lo presenta la variante 2 con un valor de \$ 8 176 150,961.

Las variantes 1 y 2 no difieren significativamente en cuanto al costo total de inversión obtenido para cada una, sin embargo con respecto al comportamiento del costo total de producción para estas variantes se pudo comprobar que existe una marcada diferencia entre ambas, siendo para el caso de la variante 2 mucho menor, lo que justifica que sea en esta segunda variante donde se logra alcanzar el menor costo unitario del producto (0,273 \$/L).

Con respecto a los indicadores dinámicos de rentabilidad determinados se pudo comprobar que la variante 2 es la que presenta el menor valor en cuanto al periodo de recuperación de la inversión, siendo el mismo de 1,39 años, así como los mayores valores del VAN y TIR.

Por tanto del análisis económico se selecciona la variante que emplea miel final, jugo de los filtros y jugo secundario como la mejor alternativa. No obstante, no se pueden desaprovechar las potencialidades que ofrece la variante 3, que en las condiciones evaluadas no resulta factible, pero que representa ventajas en cuanto a la materia prima bagazo, la que resulta ventajosa en cuanto a disponibilidad y bajo costo, además de que su utilización contribuye a la eliminación de este residuo sólido en la industria azucarera.

CONCLUSIONES

1. Las variantes de producción de alcohol a partir de las materias primas que presentan mayores fortalezas y oportunidades en nuestro país son:
 - Variante 1: Proceso convencional de producción de etanol a partir de miel final.
 - Variante 2: Proceso de producción de etanol a partir de miel final, jugo de los filtros y jugo secundario.
 - Variante 3: Proceso de producción de etanol a partir de miel final, jugo de los filtros y bagazo.
2. La variante 3 que utiliza un hidrolizado de bagazo como parte de sus materias primas no se considera una alternativa factible, pues la etapa

del pretratamiento del bagazo encarece el proceso, lo que hace que la misma no sea rentable.

3. La alternativa 1 que considera la miel final como materia prima, tecnológicamente se considera factible, pero se encuentra limitada por la disponibilidad de la materia prima.
4. Económicamente la variante de producción de etanol a partir de miel final, jugo de los filtros y jugo secundario presenta los indicadores más favorables.
5. Se considera la variante 2 que valora el proceso de obtención de alcohol a partir de una mezcla de miel final, jugo de los filtros y jugo secundario como la más factible a implantar desde el punto de vista técnico y económico.

BIBLIOGRAFIA

1. Correa, Y.: Empleo del jugo de los filtros clarificados y las vinazas de destilerías en la fermentación alcohólica con la utilización de varios microorganismos. Tesis de Maestría. 1997. Facultad de Química-Farmacia, UCLV.
2. De la Cruz, R.: Aplicación del análisis complejo de procesos en el estudio de alternativas de integración de un complejo agroindustrial azucarero y una planta de alcohol. Tesis de doctorado. Facultad de Química-Farmacia, UCLV. 2002.
3. Doray, R.; Delgado, N.: Trabajo de Diploma. Estudio de la miel B como fuente de carbohidratos en la fermentación alcohólica. 2000.
4. Ibarz, J.: "La masificación de los biocombustibles. Conducir con alcohol es sano." La Nación. 2006.
5. Iturria, P.: Tesis de maestría. "Estudio medioambiental de la etapa de fermentación alcohólica utilizando diferentes sustratos y sus combinaciones", 2001.
6. Ley, N.: Contribución a los métodos de asimilar tecnologías aplicado a un caso de producción

- de biocombustibles. Tesis de doctorado. 2006.
7. Migoya, O.: Trabajo de Diploma. Estudio preliminar de factibilidad técnica y económica para la instalación de una minidestilería de alcohol D en el CAI Panchito Gómez Toro utilizando jugo de los filtros, 2000.
 8. Mora, N. E., A. Cavado y otros: Índices de Calidad del Alcohol Etílico Anhidro Combustible. Volume, DOI, 2006.
 9. Sun Y, Cheng J.; “Hydrolysis of lignocellulosic materials for ethanol production: a review”, *Bioresource Technol.* 83: 1-11, 2002
 10. Tomas, J.; Etanol, 2006.
 11. Torrecilla, A.: Análisis Técnico Económico para la Producción de Bioetanol a partir de Residuos Lignocelulósicos, Trabajo de Diploma, 2003
 12. Torres, D.: “Estudio de la etapa de fermentación alcohólica utilizando mezclas de diferentes sustratos”, Trabajo de diploma, 2005.
 13. Valdés, R., 2004. Posibilidades de la caña de azúcar. Consideración de la incertidumbre del desarrollo prospectivo, mediante el incremento de la producción de etanol de la industria de la caña de azúcar, pp. 8-19. Programa Iberoamericano de Ciencia y Tecnología para el Desarrollo, Santa Clara, 2004.
 14. Valladares, R.; “Diseño de una instalación integrada para la producción de bioetanol y biodiesel a partir de residuos de la industria de la caña de azúcar”, Trabajo de Diploma. 2006.