

Factibilidad de obtención de bioetanol a partir de diferentes materias primas.

**Yadira Barceló Martín, Meilyn González Cortés, Yaillet Albernas Carvajal, Erenio González Suárez, Leyanis Mesa Garriga.
Centro de Análisis de Procesos. Facultad de Química Farmacia.
Universidad Central de Las Villas.**

Resumen

Se realiza una evaluación integral que abarca 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, las cuales fueron: proceso convencional de obtención de etanol a partir de miel final de caña, alternativa que utiliza como materia prima una mezcla de miel final, jugo de los filtros y jugo secundario y variante tecnológica que permite la obtención de etanol a partir de miel final, jugo de los filtros y bagazo. Se hizo un diseño y selección del equipamiento requerido en cada alternativa. Se caracterizaron los residuales generados y se valoró de forma general el impacto ambiental de cada variante.

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 respectivamente para cada variante.

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

Abstract

In this research paper you can find a complete evaluation of the technologies to produce ethanol via fermentation taking into account the technical, economical and environmental elements.

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 process to obtain ethanol from sugar cane honey, process to obtain ethanol from a mix of sugar cane honey, juice obtain from the filters and secondary juice and technological way to obtain ethanol from sugar cane honey, juice obtain from the filters and bagasse.

We made a design and selection of the equipment in each alternative. We also characterize the residues and evaluate the environmental impact of each alternative.

The last step was an economical evaluation where we found the final cost of investment and production and we also obtain the rentability of each process.

Key words: raw material, 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 (8), por ejemplo, en países como Brasil se emplea grandemente como combustible automotor. (5), (6).

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 separados 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 proceso de producción de bioetanol.

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, (1), (3) 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 y a través del cual se haya podido demostrar que de esta forma se logra la factibilidad en la tecnología. Para ello se propusieron como objetivo de este trabajo las siguientes tareas:

1. Estado del arte sobre tecnologías convencionales y novedosas de producción de bioetanol a partir de diferentes materias primas.
2. Análisis de las barreras de las tecnologías seleccionadas para su implementación en Cuba.
3. Definición de las alternativas con posibilidades de implementación.
4. Desglose detallado de las alternativas (Diagrama de bloques, Descripción de las alternativas, Dimensionamiento de los equipos, Balance de materiales y energía y Estimación de los costos de cada etapa. Desglose de los costos que se incluyen en cada etapa)
5. Análisis del impacto ambiental que genera cada alternativa (Residuales que se generan, Características de los mismos e Impacto que provoca cada alternativa)
6. Evaluación económica.
7. Análisis de los resultados.

Desarrollo

Se realizó un análisis preliminar para la selección de las variantes con mayores posibilidades de implementación en nuestro país, dadas específicamente por las fortalezas y oportunidades de las materias primas que utilizan, obteniéndose como resultado que las variantes tecnológicas a evaluar técnica, económica y ambientalmente 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

Como se explicó, 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 solo se diferencia del de la variante 1 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.

Para el pretratamiento del bagazo se propone emplear el método 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, (4).

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, (7). 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.

2. 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 de materias primas requeridas en cada alternativa. En la tabla se muestran los resultados obtenidos.

Tabla 1: Cantidades de materias primas por variantes



Se determinaron además los restantes materiales requeridos en cada variante y basado en los resultados obtenidos se procedió al dimensionamiento del equipamiento.

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, (2).

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



Se determinó 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. Valor de los indicadores de factibilidad

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 quipos 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 que presenta el mayor. Este elevado costo de producción en esta tercera alternativa se debe principalmente al elevado costo de los materiales utilizados en la etapa de pretratamiento de bagazo, además se encuentra influenciado por su elevado costo total de inversión debido al incremento del número 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 esta potencialmente 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 8176150.961 \$.

De forma general las figuras 3.8 y 3.9 indican que 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 \$/Litro). 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 la TIR.

Por tanto del análisis económico se selecciona la variante 2 como la mejor alternativa.

De acuerdo con los análisis técnico, ambiental y económico realizados anteriormente la variante 2 en las condiciones evaluadas constituye la variante más factible a implantar en nuestro país.

No obstante no se pueden desaprovechar las potencialidades que ofrece la variante 3, que en las condiciones evaluadas no resulta factible, pero que la materia prima bagazo constituye un material excelente en este sentido, ya que resulta ventajosa como se dijo anteriormente desde el punto de vista

de la disponibilidad y su 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 que presentan las mayores fortalezas y oportunidades en nuestro país para evaluar técnica, económica y ambiental las siguientes variantes:

· 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. En la variante que utiliza un hidrolizado de bagazo como parte de sus materias primas, 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 misma.

4. La variante 2 que prevé la obtención de alcohol a partir de miel final y jugos de caña presenta los menores índices de contaminación.

5. Económicamente la variante 2 presenta los indicadores más favorables.

6. 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.

Bibliografía

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- Iturria, P. Tesis de maestría. “Estudio medioambiental de la etapa de fermentación alcohólica utilizando diferentes sustratos y sus combinaciones”, 2001.
 - 4- Ley , N., Contribución a los métodos de asimilar tecnologías aplicado a un caso de producción de biocombustibles. Tesis de doctorado. 2006.
 - 5- 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.
 - 6- Mora, N. E., A. Cavado, Et Al. Índices de Calidad del Alcohol Etílico Anhidro Combustible. Volume, DOI: 2006.
 - 7- Sun Y, Cheng J. Hydrolysis of lignocellulosic materials for ethanol production: a review. Bioresource Technol. 83: 1-11. 2002
- Tomas, J. Etanol. 2006.