



Title: Producción de etanol carburante: material lignocelulósico una nueva alternativa. (Report)

Pub: *Ingeniería de Recursos Naturales*

Detail: Carlos Ariel Cardona Alzate, Óscar Julián Sánchez Toro, María Isabel Montoya Rodríguez and Julián Andrés Quintero Suárez. 3. (Jan 2005): p47(9). (4791 words)

Abstract:

En este trabajo se hace una amplia revisión sobre las condiciones de los cultivos de la caña de azúcar y el maíz en Colombia como potenciales materias primas para la producción de etanol carburante. Dicha revisión incluye las variedades más usadas, las condiciones agroecológicas del cultivo, los costos de producción y los posibles usos de los residuos agroindustriales de su cosecha, entre los cuales se destaca su aprovechamiento como material lignocelulósico para su transformación a etanol. Finalmente se analizan las tecnologías existentes para la producción de etanol a partir de este tipo de materia prima y se selecciona de forma cualitativa el mejor esquema de proceso, teniendo en cuenta tanto criterios económicos como ambientales.

PALABRAS CLAVES

Etanol carburante, maíz, caña de azúcar y biomasa lignocelulósica

The present work is an overview on farming conditions for sugarcane and corn in Colombia, as potential raw materials for the production of ethanol as fuel. This review includes the most used varieties, the agroenvironmental conditions of crops, production costs and possible uses of agro-industrial waste, among which we can highlight the use as ligno-cellulosic material to be transformed into ethanol. Finally, we analyze current technologies used for the production of ethanol with this kind of raw material and we provide the best process scheme based on a qualitative approach and taking into account both economic and environmental criteria.

KEYWORDS

Ethanol fuel, corn, sugar cane and ligno-cellulosic biomass.

[ILUSTRACIÓN OMITIR]

Texto Completo: COPYRIGHT 2005 Universidad del Valle

1. INTRODUCCION

El etanol es un combustible de alto desempeño en los motores de combustión interna. Su obtención y utilización a gran escala implica una reducción de la dependencia de combustibles fósiles para los países que lo producen, así como una disminución en los niveles de contaminación por emisiones de CO_2 y otras sustancias, especialmente en las zonas urbanas. A nivel mundial, el empleo de este combustible renovable puede disminuir o aliviar el efecto invernadero que influye directamente sobre el clima global.

El empleo de bioetanol puro como combustible primario para los motores de combustión interna se ha planteado y desarrollado especialmente en Brasil; sin embargo, su mayor uso como combustible se presenta en mezclas con gasolina en calidad de oxigenante, lo cual además permite reemplazar el uso de plomo como antidetonante. En Colombia la Ley 693 de 2001 estipula el uso de alcohol como oxigenante de la gasolina para el año 2005 en centros urbanos de más de 500000 habitantes, lo que fundamenta la formación de una

industria alcoquímica.

Los procesos para la obtención de alcohol por fermentación dependen de la naturaleza de la materia prima. Los materiales con alto contenido de azúcares requieren, por lo general, poco o ningún tratamiento preliminar aparte de la dilución. En contraste, las materias primas amiláceas y lignocelulósicas deben ser hidrolizadas a azúcares fermentables antes de que actúen sobre ellas las levaduras. Por ejemplo, mientras el jugo de caña se extrae mediante técnicas de molienda y lavado, la preparación de los cereales para su fermentación implica operaciones como la molienda y la conversión del almidón en glucosa mediante licuefacción y sacarificación. La biomasa lignocelulósica (por ejemplo, madera, residuos forestales y agrícolas, papel de desecho, residuos sólidos urbanos, etc.) requiere una transformación más drástica que involucra complejos procedimientos de pretratamiento e hidrólisis, que aumentan significativamente los costos de procesamiento.

JPEGF

Las variaciones en la composición de la materia prima y en sus métodos de transformación da lugar a múltiples variantes en la configuración del esquema tecnológico de obtención de bioetanol. De lo anterior se infiere la importancia de la síntesis y el diseño de procesos que permitan la reducción de los costos de producción del alcohol, así como la disminución del impacto ambiental que causa su obtención industrial. El objetivo de este trabajo es evaluar las materias primas y las tecnologías existentes para la producción de etanol a partir de caña de azúcar, maíz y biomasa lignocelulósica con el fin de seleccionar la más conveniente de acuerdo con indicadores tecnológicos y ambientales.

2. MATERIAS PRIMAS CONVENCIONALES

2.1 Caña de Azucar

La caña es una planta correspondiente al género *Saccharum* de la familia de las gramíneas, propia de los climas tropicales y subtropicales. Es una especie originaria de Nueva Guinea, de allí pasó a Borneo, Sumatra y a la India. Las variedades de caña comercialmente más conocidas en Colombia son: POJ 2878, POJ 2714, PR 61632, MAYAGÜEZ 74275 y MEX 641487.

En el país la producción de caña de azúcar se concentra en el valle geográfico del río Cauca (Caldas, Cauca, Valle del Cauca y Risaralda) dadas sus condiciones agroecológicas. En esta región existen 430000 Ha cultivables de caña de azúcar, de las cuales cerca de un 48% (206000 Ha) se encuentran sembradas de caña (Cenicaña, 2004) a la fecha. Entre las condiciones agroecológicas ideales para la producción de caña se encuentran (ICA, 2002; Naranjo, 1993): Ubicación del cultivo entre 500 y 1500 metros sobre el nivel del mar con una temperatura promedio de 25 [degrees]C, disponibilidad luminosa de 5 a 8 horas diarias y precipitación anual de 1500 a 1750 mm, vientos cálidos y secos con humedad relativa entre 75 y 80% y suelos franco arcillosos con buen drenaje y pH entre 5.5 y 7.5.

El contenido de azúcar en la caña, así como su composición, varía mucho de un país a otro y dentro de un mismo país según la variedad y la técnica de cultivo. En las tablas 1 y 2 se presentan la composición promedio de la caña de azúcar y del jugo de caña.

El rendimiento promedio de caña de azúcar por hectárea cultivada para los ingenios azucareros colombianos en el año 2003 fue de 123 toneladas (Cenicaña, 2003), rendimiento superior al que se reporta para diferentes países y para el promedio mundial (65.29 ton/Ha) (FAO, 2003). Sin embargo el rendimiento promedio de caña en Colombia es de 84.1 ton/Ha (FAO, 2003), cifra inferior a la de los ingenios, ya que se incluye tanto la caña tecnificada como la tradicional de menor rendimiento. En Colombia, el corte de la caña se realiza en promedio cada 13 meses durante cuatro cosechas.

En cuanto al rendimiento de etanol a partir de jugo de caña se reporta un valor de 75 L de alcohol por

tonelada de caña (Naranjo, 1993), para calidades de jugo que presenten una cantidad de azúcares reductores superior a 17% y más de 19[grados]brix.

2.1.1 Costo de producción agroindustrial de la caña de azúcar

En Colombia la producción de caña ocurre principalmente bajo tres modalidades: siembras directas de los ingenios en tierras propias o arrendadas, siembras en participación entre el dueño de la tierra y el ingenio, y contrato de proveeduría. Cerca del 50% de la caña cultivada en el país corresponde al modelo de proveeduría y el resto a siembras de los ingenios en las diferentes modalidades.

En el trabajo realizado por el Observatorio Agrocadenas Colombia "Costos de producción de la caña de azúcar en Colombia" (Quintero y Acevedo, 2004), se reporta para el 2003 un costo promedio de producción de \$53937 por tonelada en la totalidad de cultivos en participación y \$53224 para la caña comprada a proveedores. La información de costo por tonelada de caña propia de los ingenios fluctúa entre \$37300 y \$42919.

De acuerdo con el análisis realizado por el Servicio de Análisis Económico y Estadístico de CENICAÑA sobre el proceso de estandarización de costos de producción de azúcar para el año 2003 (Cenicaña, 2003), los costos de campo ascienden a \$ 2'420600 /hectárea de caña por año y los de cosecha a \$16803 /tonelada de caña.

2.1.2 Material lignocelulósico generado en la cosecha de la caña

Durante la cosecha de la caña se generan residuos sólidos (23.1 ton/Ha) como las hojas verdes (13.3%), las hojas secas (64.2%), el cogollo (7.5%) y la caña remanente (15%), los cuales representan el 25% del peso de la caña limpia.

Durante la cosecha el 50% de estos residuos son dejados en el campo, un 25% se separa en los centros de limpieza en seco y aproximadamente el 25% restante se procesa junto con la caña denominándose materias extrañas (Valdés, 2003).

En la tabla 3 se pueden observar las características principales de estos residuos.

En Colombia al igual que en otros países se practica la quema de la caña antes de la cosecha, perdiéndose casi totalmente el potencial de los desechos. Esta situación sumada a problemas de tipo medioambientales, ha hecho reconsiderar las políticas actuales orientándolas hacia la no quema y hacia la recolección y aprovechamiento de estos residuos agrícolas, que pueden incorporarse al proceso ya sea mediante la generación de energía o como una materia prima adicional para la producción de etanol. Otros usos consisten en la cobertura del suelo, la producción de tableros aglomerados, alimento animal y la obtención de pulpa y papel (Valdés, 2003).

2.2 Maíz

El maíz es un cereal correspondiente al género *Zea* de la familia Gramineae. Las variedades cultivadas en Colombia son producto de la continua introgresión genética (cruzamiento) entre las variedades "criollas" y las variedades y/o híbridos mejorados, entre las que se encuentran disponibles comercialmente las variedades ICA V106, ICA V109, ICA V155, ICA V156, ICA V157, ICI 550, G5423, Pioneer 3018, Pioneer 30F94, HR 661: SV670, C343, Corpoica H-108 y Corpoica altillanura H-111 (Corpoica, 2004).

En Colombia el maíz se cultiva en todo el territorio, pero sólo un 17% de la producción total se hace de manera tecnificada, mientras que el restante 83% lo cultivan pequeños agricultores en forma tradicional, generando empleo para unas 190 mil familias (Corpoica, 2004). Para el 2003 en el país se sembró un área de 565000 Ha generando una producción de 1'195000 toneladas (FAO, 2003), siendo la Costa Atlántica la

región con mayor producción.

JPEGF

Dentro de las condiciones agroecológicas ideales para la producción de maíz se encuentra que la época de siembra debe coincidir con la iniciación de las lluvias, el suelo debe ser permeable con buena disponibilidad de nutrientes, buena capacidad de retención de agua y pH entre 5.5 y 7.0, una temperatura ambiente promedio de 25 [degrees]C, alta luminosidad y precipitación anual superior a 450 mm.

La composición promedio del grano de maíz y la distribución de sus componentes en las cuatro partes de su estructura se muestran en la tabla 4. La mayoría del almidón y la proteína se encuentran en el endospermo, mientras que el germen contiene la mayor cantidad de lípidos y azúcares solubles. Más del 50% de la fibra (hemicelulosa, celulosa y lignina) están presentes en el pericarpio y fracciones de germen.

JPEGF

En Colombia el rendimiento de la producción de maíz en el 2003 fue de 2.1 ton/Ha y el promedio en la última década fue de 1.8 ton/Ha (FAO, 2003). El rendimiento de los maíces criollos es de tan sólo 700-1000 Kg/Ha, mientras para el maíz amarillo tecnificado se reporta un rendimiento promedio de 5 ton/Ha (Observatorio Agrocadenas, 2002). Este bajo rendimiento en el país explica el hecho de que se importe el 75% del maíz requerido para la industria avícola y porcícola. A escala mundial Estados Unidos es el país con el mayor rendimiento (8.9 ton/Ha), además de ser el principal productor y exportador del planeta (FAO, 2003).

En cuanto a los rendimientos a etanol, los procesos modernos de molienda en húmedo y molienda en seco poseen eficiencias superiores al 95% en la recuperación de etanol a partir de almidón con rendimientos entre 419.4-460.6 L/ton de maíz para moliendas en seco y de 403.1 L/ton de maíz para molienda en húmedo (Madson y Monceaux, 2001).

JPEGF

En el trabajo realizado por el Observatorio Agrocadenas Colombia "Costos de Producción de Maíz Amarillo Tecnificado en Colombia" (Observatorio Agrocadenas, 2002) se evaluaron los costos de producción de este cereal para el año 2003 con las tecnologías predominantes en las zonas de mayores expectativas de crecimiento del cultivo en Colombia (Córdoba, Meta, Tolima y Llanos Orientales). En la tabla 5 se presentan los resultados de dicho estudio junto con los datos suministrados por las secretarías de Planeación y Agricultura de las gobernaciones de los departamentos de Caldas y Risaralda.

2.2.1 Material lignocelulósico generado en la cosecha de maíz

El cultivo de maíz genera una gran cantidad de biomasa aérea (vegetación), de la cual el 50% es cosechada en forma de grano, correspondiendo el resto a diversas estructuras de la planta, tales como, caña, hojas, panoja y otras. Estos residuos pueden ser procesados para obtener fibra altamente digerible para alimentación animal, carbohidratos para la producción de etanol o alimentos y proteínas para consumo humano (DDS Technologies, 2002).

3. EVALUACIÓN DE LAS TECNOLOGÍAS PARA LA TRANSFORMACIÓN DE BIOMASA

LIGNOCELULÓSICA

Como se mencionó en un trabajo anterior (Cardona, Montoya y Quintero, 2004), las etapas básicas de la conversión de biomasa a bioetanol comprenden: Producción de biomasa, Pretratamiento de la biomasa, Fermentación, Separación y Tratamiento de efluentes.

La selección y evaluación de las tecnologías para cada una de las etapas, conlleva la evaluación cualitativa de cada tecnología con base en criterios económicos y ambientales, dando calificaciones a cada criterio.

De la ponderación de estas calificaciones se obtiene un indicador integral para cada tecnología. Finalmente, de los resultados de las ponderaciones se forma la línea de proceso más adecuada para cada materia prima.

Los criterios establecidos para la evaluación cualitativa se exponen a continuación.

3.1 Criterios económicos

- * Madurez de la Tecnología (MT)

- * Costos de Capital (CC)

- * Consumo Energético (CE)

- * Eficiencia (E)

- * Deterioro de Equipos (DE)

JPEGF

- * Influencia de la Variabilidad de la Composición en la Alimentación (VC)

- * Facilidad de Automatización y Control (AC).

Se propuso una calificación cualitativa para cada criterio con valores de 1, 2 ó 3, donde "1" corresponde a la mejor calificación, 2 a una calificación media y 3 a la peor, de acuerdo con la definición de cada criterio.

3.2 Criterios ambientales

Se basan en las reglas heurísticas para el diseño de procesos más amigables ambientalmente (Lankey y Anastas, 2002; Rossiter, Spriggs y Klee, 1993).

- * Uso y recuperación de sustancias diferentes a la materia prima principal (RS) *

- * Generación de coproductos y residuos aprovechables (GC) **.

- * Generación de corrientes diluidas (CD)

- * Posibilidad de recirculación (PR)

- * Impactos Ambientales Directos (IA)

- * Especificidad hacia el Producto Deseado (EP)

Para las categorías ambientales, la evaluación se hizo mediante la asignación de "1" a las tecnologías de menor impacto ambiental y "3" a las de mayor impacto, con excepción de la primera (*) y la segunda (**) para las que sólo existen dos posibilidades: en la primera (*) "3" para una respuesta afirmativa (Sí) y "1" para una respuesta negativa (No) y en la segunda (**) "3" para una respuesta negativa (No) y "1" para una respuesta positiva (Sí).

JPEGF

Los resultados de esta evaluación cualitativa se muestran en tablas 6, a 10, donde se presenta el total ponderado para cada una de las tecnologías que integran todos los criterios concernientes a cada una de las etapas básicas del proceso de producción de etanol.

La asignación de pesos a cada uno de los criterios para la ponderación se hizo en forma similar a como lo expone (Canter, 1998) para la evaluación de impacto ambiental, donde el evaluador asigna los pesos a cada criterio de acuerdo con su importancia relativa. Los valores usados en este trabajo son resultado de un consenso entre los autores, teniendo en cuenta que los criterios económicos deben contribuir con un 80% de la ponderación y los ambientales con un 20% (en concordancia con lo que se estipula a nivel mundial para este tipo de análisis: Chen, Wen, Waters y Shonnard, 2002).

La selección del esquema de proceso más adecuado para cada materia prima se realizó trazando líneas de unión (como se puede ver en la Figura 1), partiendo de una materia prima y pasando por cada una de las etapas, para formar diferentes esquemas de proceso.

La evaluación de la línea formada se hizo sumando los indicadores de cada tecnología, siendo la línea de menor puntaje la más adecuada.

4.RESULTADOS

4.1 Pretratamiento

De acuerdo con la Tabla 6, la explosión a vapor (vp: 1.47) se muestra como la tecnología más llamativa para el acondicionamiento del material lignocelulósico, sobretodo por su amigabilidad ambiental; sin embargo, se restringe un poco ya que aún no está completamente desarrollada.

4.2. Hidrólisis

La mejor opción es la hidrólisis enzimática con celulasas (vp: 1.62), que aunque posee una baja eficiencia y un bajo nivel de desarrollo, son muy superiores a las demás en su amigabilidad ambiental y su especificidad hacia el producto deseado.

4.3 Fermentación

De acuerdo con la tabla 8, los procesos simultáneos de sacarificación y fermentación (SSF y SSCF) representan la mejor alternativa ya que se omite una etapa separada de sacarificación.

4.4 Separación y deshidratación

Dado que la mayoría de las tecnologías de separación cuentan con una etapa de destilación para la concentración del etanol previa a su deshidratación, la evaluación se realizó con énfasis en la forma de deshidratación, encontrándose una mejor calificación para la deshidratación con tamices moleculares (vp: 1,22) debido a su nivel de desarrollo, bajo consumo energético y amigabilidad ambiental.

4.5 Tratamiento de efluentes líquidos

Para el tratamiento de las aguas de proceso se prefieren sistemas de bajo costo aunque no sean de alta eficiencia, como los biotecnológicos.

Se evaluaron las lagunas, los filtros de goteo, los reactores UASB y los lodos activados, de los cuales la mejor opción evaluada es el reactor UASB (vp: 1,58). Caso contrario sucede para el tratamiento de los fondos de la primera columna de destilación, donde es más importante una alta eficiencia; esto que hace necesario utilizar la concentración e incineración (vp: 1.56) para el tratamiento de este tipo de efluentes.

4.6 Esquema seleccionado

En la figura 1 se presenta un esquema modular de las tecnologías evaluadas para la biomasa lignocelulósica y el proceso seleccionado.

5. CONCLUSIONES

En Colombia, los costos de producción de caña y maíz son elevados, pero en este último caso la competencia con el sector de alimentos y la poca tecnificación de este cultivo lo convierten en un recurso poco apto para su transformación a etanol; de ahí la necesidad de mejorar el costo de producción de dicho cereal y el reciente interés en el uso de biomasa lignocelulósica ya sea como materia prima principal o secundaria, en el caso del aprovechamiento de los residuos agroindustriales.

De las tablas de evaluación de tecnologías se puede concluir que las tecnologías con mayores eficiencias son las menos desarrolladas y las más costosas, pero las más prometedoras hacia un futuro cuando se superen estas limitantes. La integración de la hidrólisis enzimática con la fermentación de hexosas y cofermentación de pentosas en una sola unidad (SSCF), representa la mejor opción ya que reduce el número de reactores, el requerimiento energético, el tiempo de reacción y evita la inhibición de las celulasas por los azúcares liberados.

Los resultados obtenidos corresponden a la primera fase de la síntesis de procesos para la producción biotecnológica de alcohol carburante. La metodología obtenida demostró ser una herramienta valiosa al momento de abordar el análisis de múltiples tecnologías y su integración en un proceso que, además de responder a criterios tecno-económicos, tenga en cuenta indicadores ambientales desde el momento de su diseño.

6. AGRADECIMIENTOS

Los autores expresan sus agradecimientos al Instituto Colombiano para el Desarrollo de la Ciencia y la Tecnología "Francisco José de Caldas", Colciencias y a la Dirección de Investigaciones de la Universidad Nacional sede Manizales, por la financiación de este trabajo.

* Recibido : Agosto 2005

* Aceptado: Septiembre 2005

7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Canter L. 1998 Manual de Evaluación de Impacto Ambiental. MacGraw Hill.

Cardona, C.A., Montoya, M.I., Quintero, J., 2004. Selección de tecnologías apropiadas para la producción de etanol carburante. Revista EIDENAR edición 2

Cenicaña, Centro Nacional de Investigación de la Caña de Azúcar. Disponible en: www.cenicana.org/programas/variedades/index.php. Visitada el 2-09-04.

Cenicaña. 2003 Servicio de Análisis Económico y Estadístico. Informe anual.

Chen H., Wen Y., Waters M.D., Shonnard D.R. 2002 Design Guidance for Chemical Processes Using Environmental and Economic Assessments. Ind. Eng. Chem. Res. Vol. 41, No. 18,.

Corpoica Ecoregión Caribe. Disponible en: corpoica.org.co. Visitada el 01-09-04. DDS Technologies USA, 2002. Disponible en: www.ddstechusa.com/spanish/corn.htm

Food and agricultural organization of the United Nations, Faostat database. Disponible en: <http://www.fao.org>. Visitada el 8-09-04.

Gulati M., Kohlmann K., Ladish M.R., Hespell R., Bothast R.J. (1996) Assessment of Ethanol Production Options for Corn Products. *Bioresource Technology*. 58 253-264.

JPEGF

ICA. Informe sobre la cadena industrial de la caña panelera. Grupo Interinstitucional de trabajo, Manizales 8 de Julio de 2002.

Ingenio Ripaila, 2002. Disponible en: www.riopaila.com.co/operacion.asp

Lankey R., Anastas P.T. 2002 Life-Cycle Approaches for Assessing Green Chemistry Technologies. *Industrial Engineering Chemical Research*, Vol. 41, No. 18,

Madson P.W., Monceaux D.A. 2001 Fuel Ethanol Production. Katzen International, Inc., Cincinnati, Ohio, USA.

Naranjo N. 1993 Proyecto de factibilidad agro económica para la producción de caña con destino a la Industria Licorera de Caldas. Gobernación de Caldas, Manizales.

Observatorio Agrocadenas Colombia. Área, producción y rendimientos, Colombia. Maíz Tecnificado. Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, 2002. Disponible en: <http://www.agrocadenas.gov.co/home.htm>.

Palacio H. 1956 Fabricación de Alcohol. Salvat Editores S. A. Barcelona, 532 pág.

Quintero L.E., Acevedo X. Costos de producción de caña de azúcar en Colombia. Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, Observatorio Agrocadenas Colombia. Mayo de 2004. Disponible en: <http://www.agrocadenas.gov.co>

Rossiter A.D., Spriggs H.D., KLEE H. Apply Process Integration to Waste Minimization. *Chemical Engineering Progress*, January 1993, pp 30.

JPEGF

Valdés A. 2003 Los Residuos Agrícolas de la Cosecha Cañera (RAC). Centro Gerencia Programas y Proyectos Priorizados. Ministerio Ciencia Tecnología y Medio Ambiente, Cuba.

AUTORES

María Isabel Montoya Rodríguez. Ingeniera Química. Perteneciente al grupo de investigación en Procesos Químicos Catalíticos y Biotecnológicos de la Universidad Nacional de Colombia sede Manizales, Colombia. mimontoyar@unal.edu.co

Julián Andrés Quintero Suárez. Ingeniero química. Perteneciente al grupo de investigación en Procesos Químicos Catalíticos y Biotecnológicos de la Universidad Nacional de Colombia sede Manizales, Colombia. jaquinteros@unal.edu.co

Óscar Julián Sánchez Toro. Ingeniero Químico de la Academia Estatal de Ingeniería Química Fina de Moscú. M.Sc. en Biotecnología de la citada academia, 1996. Proesor asociado en la Universidad de Caldas. Actualmente es estudiante del Doctorado en Ingeniería de la Universidad Nacional de Colombia sede Manizales. Dirección Departamento de Ingeniería, Universidad de Caldas, Manizales, Colombia.

osanchez@ucaldas.edu.co.

Carlos Ariel Cardona Alzate. Ph.D. en Ingeniería Química de la citada academia, 2001. Ingeniero Químico de la Academia Estatal de Ingeniería Química Fina de Moscú. M.Sc. en Ingeniería Química de Síntesis Orgánica de la citada academia, 1995. Director Grupo de investigación en Procesos Químicos Catalíticos y Biotecnológicos.

Profesor asistente en la Universidad Nacional de Colombia sede Manizales. Manizales, Colombia.
ccardonaal@unal.edu.co.

Carlos Ariel Cardona Alzate, Ph.D.

Profesor Departamento de Ingeniería Química,

Universidad Nacional de Colombia

sede Manizales, Colombia

Óscar Julián Sánchez Toro, M.Sc.

Profesor Departamento de Ingeniería

Universidad de Caldas

Estudiante de Doctorado

Universidad Nacional sede Manizales

María Isabel Montoya Rodríguez

Ingeniera Química

Universidad Nacional de Colombia

sede Manizales, Colombia

Julián Andrés Quintero Suárez

JPEGF

Ingeniero Químico

Universidad Nacional de Colombia

sede Manizales, Colombia

Grupo de Investigación en Procesos Químicos Catalíticos y Biotecnológicos. Universidad Nacional de Colombia sede Manizales-Colombia ccardonaal@unal.edu.co

Tabla 1. Composición de la caña de azúcar

Componente	Porcentaje, %
------------	---------------

Agua	74.5
Fibra	10
Cuerpos Nitrogenados	0.4
Cenizas	0.5
Grasas y cera	0.2
Gomas	0.2
Acidos Combinados	0.12
Acidos libres	0.08
Azúcares	14
Sacarosa	12.5
Glucosa	0.9
Fructosa	0.6

Fuente: (Palacio, 1956)

Figura 1. Esquemas para la producción de etanol carburante a partir de biomasa lignocelulósica

Materia Prima

Biomasa
Lign ocelulósica

Acondicionamiento

Acido Diluido	(1.69)
Explosión a Vapor	(1.47)
Amonólisis	(2.00)

Hidrólisis

No Aplica	(0.00)
Acida Concentrada	(1.84)
Acida Diluido	(1.90)
Enzimática con Celulasas	(1.62)

Fermentación

Ácida Concentrada	(1.84)
Ácida Diluido	(1.90)
Enzimática con Celulasas	(1.62)

Separación

D. Vacío	(1.94)
Azeotrópica	(2.00)
Extractiva	(2.26)
Tamices Moleculares	(1.22)
D. Salina	(1.74)
Pervap	(1.62)
E. Fluido supercriticos	(1.94)

Tratamiento de efluentes

Lagunas	(1.96)
Filtros de goteo	(1.74)
UASB	(1.58)
Concentración e Incineración	(1.56)
Lodos Activados	(2.22)

Nota: Tabla derivada de gráfico de barra.

JPEGF

JPEGF

====

Tabla 2. Composición del jugo de caña de azúcar

Componente	Porcentaje, %
Agua	81-85
Sólidos solubles	15-19
Sales	0.23-0.67
Proteínas	0.08-0.11
Gomas-Almidones	0.05-0.11
Azúcares	
Sacarosa	12.5-16.72
Glucosa	0.3-0.76
Fructosa	0.3-0.76

Fuente: (Ingenio Riopaila, 2002)

Tabla 3. Características de los residuos de la cosecha de la caña

Parámetro	Cogollo	Hojas verdes	Hojas secas	Promedio
Carbono	42.11	43.41	41.76	42.20
Hidrógeno	6.25	6.38	6.26	6.29
Humedad (%)	76.79	66.21	8.85	46.11
Calor de combustión (kcal/kg)	4319	4401	4339	4340
Cenizas (%)	--	--		6-10

Fuente: (Valdés, 2003)

Tabla 4. Composición del grano de maíz y de sus componentes (porcentaje del peso en base seca)

Parte	Aknidón	Azúcares Solubles	Hemicelulosa + celulosa + lignna *	Lípidos
Grano de maíz entero	71.7	2.6	8.1 *	4.3
Capa terminal	0.1	0.7	0.1	0.7
Pericarpio	0.5	1.0	51.0	1.1
Endospermo	98	28.2	27.0	14.5
Germen	1.4	70.2	16.0	83.7
Total	100	100.1	94.1	100

Parte	Proteína	Cenizas	Balance	Porcentaje del total en peso
Grano de maíz entero	10.3	1.4	1.6	100
Capa terminal	0.5	0.9	--	0.9
Pericarpio	2.0	2.9	--	5.3
Endospermo	74.8	16.5	--	81.9
Germen	22.4	79.7	--	11.9
Total	100	100	--	100

* (5.5%+2.4%+0.2%) FUENTE (GULATIETAL., 1996)

Tabla 5. Costos de producción de maíz en diferentes regiones (en pesos)

Parámetro	Córdoba		Llanos Orientales (Altillanura)	
	Mecanizada	Manual	Pie demonte	Sabana mejorada
Costos Ha (\$/Ha)	1'943375	1 '647457	1'938088	1'870103
Rendimiento (ton/Ha)	5.5	5.0	5.0	5.5
Costos ton (\$/ton)	353341	329491	387618	340019
Parámetro	Tolirna Valle de San Juan		Caldas *	PJsaralda *
		Rouira		
Costos Ha (\$/Ha)	1 '894308	2'074517	1779846	1 '115795
Rendimiento (ton/Ha)	4.5	5.5	5.7	3.7
Costos ton (\$/ton)	420957	377185	312253	301566

* Datos obtenidos de las secretarías de planeación y agricultura de las gobernaciones de Risaralda y Caldas para maíz tecnificado

Tabla 6. Evaluación de las tecnologías para el acondicionamiento

Criterio	Acido Diluido	Amonólisis	Explosión a Vapor
MT	1	2	2
CC	2	2	2
CE	2	2	1
E	1	2	2
DE	3	2	1
AC	2	2	2
RS	3	3	1
GC	1	1	1
Total	1.69	2	1.47

MT 20%, CC 10%, CE 30%, E 14%, DE 3%, AC 3%, RS 10%, GC 10%

Tabla 7. Evaluación de las tecnologías para la hidrólisis

Criterio	Enzimático con Celulazas	Acida Concentrada	Acido Diluido
MT	2	1	1
CC	2	1	3
CE	1	3	2
E	3	1	1
DE	1	3	3
VC	2	1	1
AC	2	1	1
-R5	1	3	3
CD	1	1	3
EP	1	2	2
Total	1.62	1.84	1.9

Tabla 8. Evaluación de las tecnologías para la fermentación

Criterio	SSF	SSCF	Fer. Simple	Fermenta. de Pentosas	Fer.con Células Inmov
T	2	3	1	3	2
CC	1	1	1	1	3
CE	1	1	1	1	1
E	2	2	2	3	1
DE	1	1	1	1	3
VC	2	2	2	3	2
AC	2	2	2	2	1

GC	1	3	1	3	3
CD	2	2	2	3	2
PR	2	2	1	3	3
Total	1.3	1.5	1.86	1.22	2.14

Criterio	Fermentación Acoplada a Pervaporación	Fer. Acoplada a destilación con Membranas
----------	---	---

T	3	3
CC	3	3
CE	2	3
E	1	1
DE	3	3
VC	1	1
AC	1	1
GC	3	3
CD	1	1
PR	1	1
Total	1.82	2.1

MT 20%, CC 10%, CE 30%, E 14%, DE 2%, VC 2%, AC 2%, GC 8%, CD 4%, PR 8%

Tabla 9. Evaluación de las tecnologías para la separación y deshidratación

Criterio	Destilación Azeotrópica	Destilación Extractiva	Destilación a Vacío	Destilación con Sales
MT	1	1	1	2
CC	2	2	3	2
CE	2	3	3	1
E	2	2	2	1
DE	1	1	1	3
VC	3	1	1	1
AC	2	2	1	1
RS	3	3	1	3
Total	2	2.28	1.94	1.74

Criterio	Destilación y Pervap.	Tamices Moleculares	Extracción con Fluidos Supercríticos
----------	--------------------------	------------------------	--

MT	3	1	3
CC	3	3	3
CE	1	1	1
E	1	1	1
DE	2	2	3
VC	1	1	1
AC	1	1	1
RS	1	1	1
Total	1.62	1.22	1.94

MT 20%, CC 10%, CE 30%, E 14%, DE 2%, VC 2%, AC 2%, RS 20%

Tabla 10. Evaluación de las tecnologías para el tratamiento de efluentes líquidos

Criterio	Lagunas de Tratamiento	Filtros de Goteo	Reactor UASB	Lodos Activados
MT	1	1	1	1
CC	1	2	3	3
CE	2	1	1	3
	2	3	2	1
DE	2	1	1	3
VC	1	2	2	2
AC	3	2	1	1
GC	3	3	1	3
PR	3	1	3	3
IA	3	2	2	2
Total	1,96	1,74	1,58	2,22

Criterio Concentración e Incineración

MT	1
CC	3
CE	2
	1
DE	2
VC	1
AC	1
GC	1
PR	1
IA	2
Total	1,58

MT 14%, CC 10%, CE 30%, E 20%, DE 2%, VC 2%, AC 2%, GC 8%, PR 8%, IA 4%

JPEGF

Citación De la Fuente

Cardona Alzate, Carlos Ariel, et al. "Produccion de etanol carburante: material lignocelulosico una nueva alternativa." *Ingeniería de Recursos Naturales* 3 (2005): 47+. *Informe Académico*. Web. 22 Sept. 2010.

Document URL

<http://find.galegroup.com/gtx/infomark.do?&contentSet=IAC-Documents&type=retrieve&tabID=T002&prodId=IFME&docId=A227598787&source=gale&srcprod=IFME&userGroupName=univalle&version=1.0>

Número de Documento:A227598787

- [Contact Us](#)
- [Copyright](#)
- [Terms of use](#)
- [Privacy policy](#)