



Colección Académica de
Ciencias Estratégicas

ISSN - e: 2382-3283
Vol 2, No.1
2015

TECNOLOGÍAS DE PRODUCCIÓN DE UNA PLANTA DE OBTENCIÓN DE ETANOL A PARTIR DE RESIDUOS DE COSECHA (HOJAS Y COGOLLOS) DE LA CAÑA DE AZÚCAR

PAG 67

Resumen

La producción de etanol en Colombia, se obtiene de subproductos del proceso de azúcar en los ingenios azucareros. Razón por la cual es más económico para los ingenios producir este combustible por los rendimientos que ocasiona el tener unos equipos con una planta ya instalada.

Este documento incluye información de selección de la tecnología adecuada para producir 121.000 litros/día de etanol anhidro, a partir de 1000 toneladas de hojas y cogollos con un rendimiento del 78.5% y subproductos como lignina y proteína en base seca y el dimensionamiento para una planta de 285000 litros de producción como capacidad mínima con una TIR de 34% Y VPN de U\$D 33.279.123.

Palabras clave: hojas y cogollos de caña, tecnologías, prefactibilidad económica, etanol anhidro, TIR, VPN.

Abstract

Currently ethanol production in Colombia is obtained from byproducts of the process of sugar in sugar mills. Because is cheaper produce fuel with high yields with equipment installed.

In the Cauca from lignocellulosic residuals sugar cane crop residues that are for study to identify the most appropriate in the production of fuel ethanol from waste, mainly consisting of leaves and buds of sugarcane. This document includes information on selecting the right technology to produce 121,000 liters / day of anhydrous ethanol, from 1000 tons of leaves and buds with a yield of 78.5% and by as lignin and protein on a dry basis and capacity for a plant 285,000 liters of production and low capacity with an IRR of 34% and NPV of U \$ D 33,279,123.

Keywords: cane leaves and buds, economic feasibility, anhydrous ethanol technology, IRR, NPV.

Yenny del Carmen Velásquez Riascos*

Magister en Ingeniería Química
Correo electrónico: yenny.velasquez@
correounivalle.edu.co

Jorge Enrique López*

Doctor en Ingeniería Química
Correo electrónico: jorge.lopez@
correounivalle.edu.co

*Grupo Interinstitucional de
Investigación en Biocombustibles
Instituciones; Universidad del Valle;
Universidad Autónoma de Occidente;
Cali; Colombia.



SECCIONAL PALMIRA



Introducción

En Colombia se producen desechos lignocelulósicos de caña equivalentes a 23.1 ton/Ha, que constituyen el 25% del peso de ésta, incluyendo hojas verdes (13.3%), hojas secas (64.2%), cogollos (7.5%) y caña remanente (15%). Estos residuos considerados como biomasa, se dejan sobre el suelo como material de abono y en su mayoría se queman incrementando la contaminación ambiental.

Esta biomasa, que dependiendo de la variedad, posee un estimado promedio en peso de 42% de celulosa, 26% de hemicelulosa y 22% de lignina en base seca (Gómez, 2010), apta para obtener azúcares fermentables, genera una alternativa para obtener etanol deshidratado como combustible. Así, al usar alcohol carburante, se puede disminuir el consumo de combustibles fósiles e impactos ambientales, reduciendo en un 74% la emisión de gases de efecto invernadero. Además, en Colombia ya se usa alcohol en la gasolina para los motores de combustión (Prasad et al, 2007), esta inclusión se rige por la regulación del Ministerio de Minas y Energía para la distribución de mezcla (E8) en el territorio nacional que ayuda a mantener una producción anual de 387.85 millones de litros de etanol anhidro y una demanda de 5.93 millones de litros (Informe Asocaña, 2013).

Se debe tener en cuenta que:

“Colombia ha generado en los últimos 4 años más de US\$500 millones de dólares provenientes de la producción de etanol en varias regiones y 120.000

empleos rurales. El país puede tomar ventaja en este tema ya que se han iniciado estudios para su concepción a partir de materias primas como la caña de azúcar, la remolacha azucarera, la yuca y el bagazo de caña”. (Boletín 81 Fedebiocombustibles, 2013).

Actualmente en Bolívar y Córdoba (costa norte colombiana) se lidera un proyecto de construcción de plantas de abastecimiento para el mercado internacional que producirían 300.000 litros diarios a partir del cultivo de 17.000 hectáreas de caña de azúcar. (Informe anual de Asocaña, 2013).

Para producir etanol carburante, se requiere de tecnología que involucre análisis de criterios económicos y ambientales, entre los que se encuentran consumo energético, eficiencia, depreciación, automatización, costos de operación y de capital, control ambiental y alternativas de cogeneración de vapor y electricidad.

Basados en las anteriores consideraciones, el grupo de investigación en biocombustibles y biorefinerías de la escuela de Ingeniería Química de la Universidad del Valle (Grubioc), junto con el laboratorio de Biotecnología de la Universidad Autónoma de Occidente, viene ajustando el diseño de una planta de obtención de etanol a partir de las hojas y cogollos que son dejados en el suelo al realizar la cosecha de la caña de azúcar, por esta razón el presente trabajo tuvo como objetivo identificar la prefactibilidad de montar la planta para la producción de etanol como producto principal y de otras sustancias que puedan ser aprovechables



(lignina y proteína) a partir de estos residuos lignocelulósicos.

Metodología

Para estimar la tecnología adecuada en la planta de obtención de etanol como producto principal a partir de los residuos lignocelulósicos, se realizaron experimentos a nivel de laboratorio por el grupo Grubioc y se seleccionó la mejor tecnología basada en el rendimiento global de mayor producción y capacidad mínima de la planta basada en un análisis económico. Se tomaron como productos secundarios la lignina y la proteína.

En el aspecto teórico, se utilizaron fuentes bibliográfica disponibles en las bases de datos de la Universidad del Valle, tales como Science Direct, EBSCO y Web of Science (Lsi Products), también se consultaron proyectos de grado y artículos disponibles en internet relacionados con estudios de tecnologías; las fuentes secundarias se obtuvieron en reuniones de seminario del grupo y personas que laboran en empresas con objetivos encaminados a la producción de alcohol carburante, utilizando el siguiente procedimiento:

Las necesidades requeridas para el diseño del proceso propuesto y aprobado por el grupo Grubioc, se dirigió a la ubicación de la planta en el Valle del Cauca, esto debido al porcentaje de área cultivada y suministro de equipos e insumos dadas las 5 destilerías presentes en la región (Asocaña, 2013).

Para este estudio se hizo uso del simulador comercial Aspen Plus versión 10.8.1. Las condiciones de los

equipos se dimensionaron conforme el balance de materia realizada a cada etapa de operación usando las reglas heurísticas de Seader et al (2014) y la información suministrada por Grubioc.

Los componentes simulados fueron el agua, etanol, hidróxidos, lignina y dióxido de carbono; hemicelulosa y celulosa se incluyeron como glucosa; cenizas, extraíbles lipofílicos, se balancearon como sólido inerte, usando como componente principal el carbono; los hidrosolubles se incluyeron como agua.

Para los parámetros se usó la base de datos de Aspen, que contiene literatura bibliográfica acorde con Seader et al (2004), Walas (1988), Geankoplis, (1998), Pruksathorn et al (2009), balat (2010) y Woods (2007), entre otros. Se trabajó con el modelo termodinámicos Non Random Two liquids (NRTL) debido a que la base de datos del simulador está diseñada para emplearla (Wooley et al, 1996). El nivel de detalle de este trabajo no requiere modelos cinéticos complejos que representen el comportamiento de hidrólisis enzimática y fermentación. En vez de eso, solo es necesario conocer los rendimientos o conversiones obtenidos por el los integrantes del grupo en sus investigaciones.

La simulación se realizó en orden consecutivo, cumpliendo con las condiciones y especificaciones requeridas, el esquema de producción incluye extracción de proteína, deslignificación, hidrólisis enzimática, fermentación, destilación y deshidratación. El área de tratamiento de residuos



no se incluyó en el simulador, ya que se cotizó como outsourcing. Posteriormente, se revisó que las unidades incluidas no registrarán problemas de convergencia, para incluir la unidad y corrientes siguientes.

Análisis de resultados

Se realizó la selección del proceso conforme la información brindada por el grupo Grubioc, especificada en la metodología y marco teórico de este documento. A partir de 1000 toneladas de hojas y cogollos se obtuvieron 121.000 litros/día de etanol anhidro un rendimiento de 78.57%, y como subproductos principales 202 ton/día en base seca de lignina con 94.5% y 6.4 ton/día de proteína con 40% de recuperación. Los flujos principales se describen en la gráfica 1. Ver gráfica 1.

Las tecnologías investigadas por Grubioc se refieren al acondicionamiento de la materia prima, extracción de proteína, pretratamiento lignocelulósico, hidrólisis enzimática, fermentación de hidrolizados, destilación de fermentados y deshidratación.

Acondicionamiento de la materia prima

A la materia prima se le retiran impurezas, proceso seguido de una reducción de tamaño que ha presentado rendimientos del 94.5% a nivel laboratorio en malla 10 (2 mm). Posteriormente, para evitar crecimiento de hongos y microorganismos se hace un secado. Chávez (2013), referenció el tamaño de partícula en cada malla asociado al coeficiente de distribución de la celulosa. Ver gráfica 2.

Extracción de proteínas

Las proteínas son moléculas abundantes en los organismos vivos constituyendo el 50% del peso seco de las células, que juegan un papel primordial para el consumo humano y animal debido a su valor nutricional. (Gnansounou, 2010).

La extracción de proteína en los residuos de cosecha de caña, se encuentra en fase de investigación, actualmente se referencian los estudios de hojas de maíz variedad HB-104 (proteína cruda de 3.87% en hojas y 0.91 en tallos), realizados en la Universidad Nacional sede Bogotá con rendimientos del 50%. En el proceso, se usan soluciones al 25% de calcio o sodio de 0.2 N, en relación de 4:1 p/v; en la titulación se usa ácido clorhídrico seguido del proceso de liofilización. Registrando un rendimiento de 40% tentativamente (quedó 1.60% de proteína extraída).

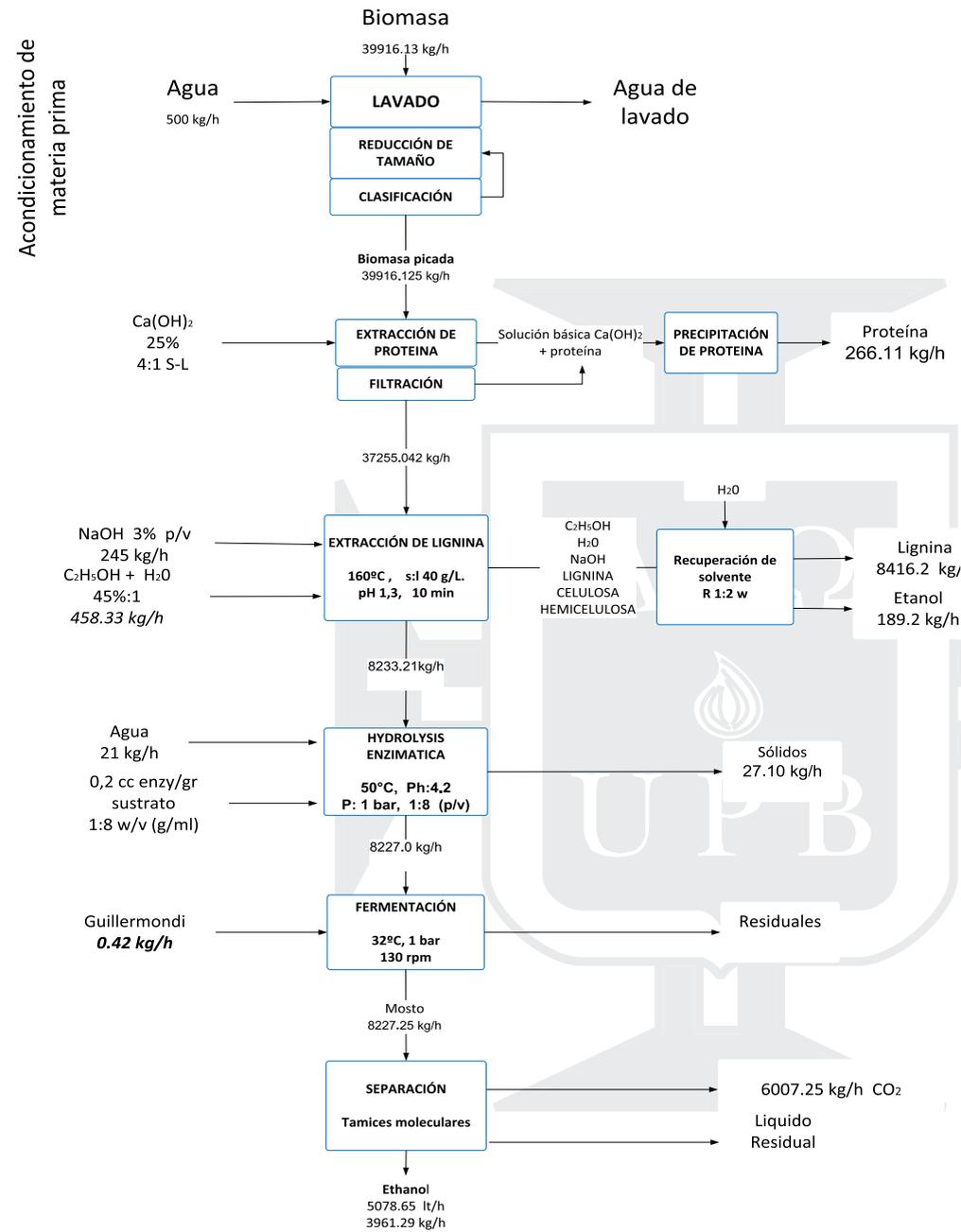
Deslignificación

La lignina se extrae ya que no contribuye a la generación de etanol, porque actúa como barrera físico-química en la acción de las enzimas usadas para la hidrólisis de la celulosa.

En la deslignificación se puede usar tecnologías que no afecten el rendimiento de azúcares fermentables y concentrarla a fin de usarla como combustible en la cogeneración de vapor y electricidad por el poder calorífico que contiene 21 MJ/Kg aproximadamente (Mutis, 2010). Grubioc estudia la explosión con vapor y proceso con organosolvente.

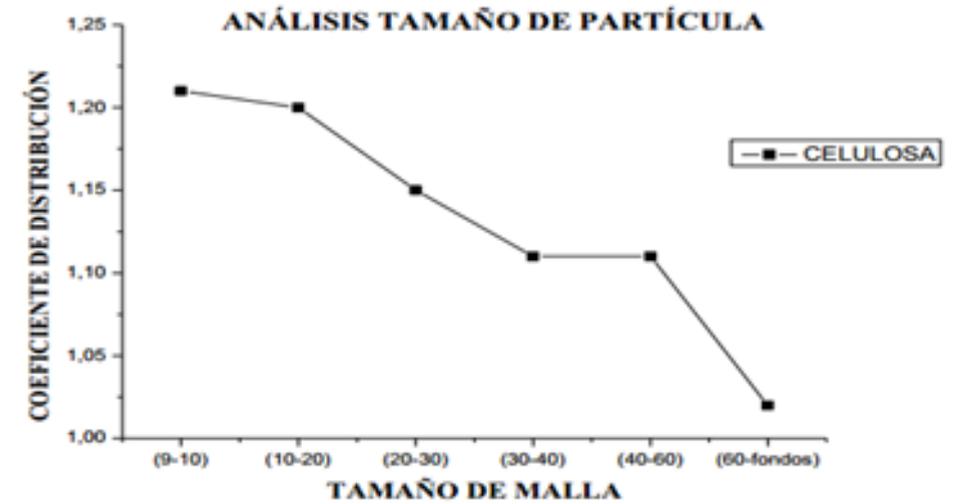


Gráfica 1. Diagrama de proceso de etanol a partir de residuos de cosecha de caña.



Fuente: Creación propia.

Gráfica 2. Análisis de tamaño de partícula.



Fuente: Grubioc y Chávez et al, (2013)



Deslignificación por método con órgano solvente

Zambrano, (2011), presentó rendimientos del 94.5% a nivel de laboratorio, usando etanol diluido al 40%(v/v) e hidróxido de sodio al 3%(p/v), temperatura (160°C), relación de líquido a sólido 10 ml/g y tiempo de contacto (80 min). Con las anteriores condiciones, fue posible producir 142 kg de etanol por 1 tonelada de materia seca de residuos de cosecha de caña

La temperatura y la concentración de hidróxido influyen potencialmente en la producción y la concentración de etanol, la relación líquido/sólido y el tiempo, son variables que tienen poco efecto en este proceso. (Zambrano, 2011).

El costo de esta tecnología se ve influenciado por el consumo energético que se requiere para elevar la temperatura, la depreciación del equipo ocasionada por el poder corrosivo al usar Hidróxido de sodio y presenta ventajas como la facilidad de automatización y recuperación de solventes.

Hidrólisis

Esta operación permite aumentar el área superficial accesible de la celulosa y mejorar la conversión de ésta en glucosa, a fin de convertir estos azúcares a etanol. El método seleccionado por Grubioc, es la hidrólisis enzimática con rendimientos hasta de un 78,61% de etanol. (Salcedo et al, 2011).

Los rendimientos se lograron mediante el análisis de variables como: actividades de las enzimas

y concentración (0,4 ml enzima/ g sustrato); el modelo cinético usado fue inhibición competitiva con una constante Km de 20.37 g/L y velocidad máxima de 39 g/L, relación E/S mayor a 0.5, concentración de sustrato: 10% w/v (g/ml), temperatura: 50 °C, velocidad de agitación (150 rpm), tiempo de reacción (72 horas), tipo de buffer y pH=4.8, antibiótico 1 ml (Salcedo, 2011). Tal como se presenta en la reacción 1.

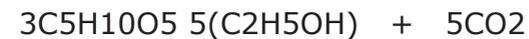


Reacción 1.

La hidrólisis enzimática presenta ventajas frente a la hidrólisis química, tales como la baja generación de corrosión, consumo de poca enzima, baja toxicidad en los hidrolizados, el costeo de equipos es bajo por realizarse a presión atmosférica y temperatura próxima a la ambiental, se pueden obtener rendimientos cercanos al 100%, no necesita utilizar agentes químicos, no produce compuestos inhibidores de la fermentación (Balat, 2008).

Fermentación

Consiste en proporcionar azúcares simples como sacarosa, glucosa o fructosa a la levadura usando condiciones apropiadas, de tal manera que se realice la producción de etanol a través de sus rutas metabólicas. La reacción 2 es para pentosas y la reacción 3 para hexosas (Cadavid, 2012).



Reacción 2.



Reacción 3.

Para la fermentación se usa el modelo Lerasalimsky (1967) y el Aiba (1968) et al con inhibición por producto, ya que se evidencian buenos parámetros cinéticos acordes con la información obtenida del grupo Grubioc. (Cadavid et al, 2011).

Selección de levadura

Los residuos de cosecha, además de hexosas, presentan diversas pentosas (xilosa), las cuáles deben ser asimiladas por la levadura. Su selección debe cumplir con factores como economía en el agua de proceso, tolerancia a la inhibición, altos rendimientos de producción de etanol y productividad específica de etanol con el fin de realizar una conversión completa de estos azúcares.

Con este objetivo de selección, el grupo revisó cepas usadas para producción de etanol a nivel industrial (*clavispora lusitaniae*, *cándida tropicalis*, *Wickerhamomyces Anomalous*, *Cándida Tripocalis* (AM143). Para los residuos de cosecha de las variedades de caña CC8477 y CC8592, la cepa *Cándida tropicalis* presentó un rendimiento superior a las cepas comerciales (39.06%). La levadura red obtuvo un rendimiento de 44.9% con recirculación de la biomasa en los tanques de fermentación, confirmando también su preferencia para uso industrial (Pérez, 2008).

Otros estudios de Grubioc, demuestran que la *Meyerozyma Guillermondi*, es una levadura

que incrementa los rendimientos de etanol, en comparación con las ya usadas a nivel comercial como la *Saccharomyces*, ya que ésta asimila las pentosas generando un rendimiento a etanol equivalente al 45% (Cadavid, 2010).

Destilación y deshidratación

La separación de etanol carburante se lleva a cabo por técnicas similares a las encontradas en la destilación convencional. A condiciones de operación se presenta una mezcla azeotrópica entre los dos componentes y se requieren condiciones que garanticen la remoción de la fracción de agua restante.

Una vez se obtiene el destilado al 95% - 96%, se usa tamices moleculares para la deshidratación (esferas o cilindros fabricados de potasio y aluminosilicatos) hasta una pureza del 99.5% de etanol. Estudios muestran que un tamiz tipo 3Å, permite el paso de la molécula de agua debido a que tiene menor diámetro que la del etanol (4.4 Å). Se trabaja con dos lechos (regeneración y deshidratación) por un ciclo de 900 segundos, capacidad del absorbente equivalente a 10% (Ojeda, 2010) (Dorronsoro et al, 2008).

Conclusiones

Como resultado se dio la alternativa de una planta de producción de 285.000 litros/día teniendo en cuenta las necesidades y costos de operación para la tecnologías diseñadas de producción con un rendimiento del 78.5% de producto principal.



En cuanto a lo ambiental se disminuye en un 74% el nivel de emisiones de dióxido de carbono a partir de estos residuos lignocelulósicos, todo esto se afirma teniendo en cuenta las tendencias mundiales, ocasiona una materia de interés para ajustar las operaciones y condiciones del proceso dentro del grupo Grubioc, con el fin de buscar y precisar los factores económicos en el objetivo de montaje de una planta a futuro.

La tecnología empleada actualmente por el grupo Grubioc fue determinada conforme el estudio de prefactibilidad para obtención de este combustible con un alto rendimiento usando el simulador comercial Aspen Plus Icarus 10.8.1. Nuevas modificaciones al proceso condicionan el nivel de rendimiento obtenido en este documento y será necesario realizar una determinación como punto de comparación al estudio de prefactibilidad.

Referencias Bibliográficas

Acosta, A. (2003). El gran desafío, Cali. Disponible en www.amylkaracosta.com/html/01-2003.htm.

Aden, M. Ruth, K. Ibsen, J. Hechura, K. Neeves, J. Sheehan, B. Wallace. (2002) Lignocellulosic Biomass to Ethanol Process Design and Economics Utilizing Co-Current Dilute acid Prehydrolysis and Enzymatic Hydrolysis for Corn Stover, National Renewable Energy Laboratory,

Amaya, A. (2006). Biomasa como fuente de energía. Disponible en: [Http://www.cenicana.org/pdf/carta_trimestral/ct_2006](http://www.cenicana.org/pdf/carta_trimestral/ct_2006).

Asocaña. (2007). Informe anual de Asocaña 2006-2007. Capurro Cali. Mayo 12, de 2007. 56pp.

Asocaña. (2011). Informe anual de Asocaña 2010-2011. Capurro Cali, mayo 2011. 54pp.

Asocaña. (2013). Informe anual de Asocaña 2012-2013. Capurro Cali, Mayo 15 de 2013. 76pp.

Bacca, G. (2006). Evaluación de proyectos. McGraw Hill. 5ª Edición.

Balat, M; Balat, H. (2008). Progress in bioethanol processing. Progress in energy and combustion science, volume 24 2008, 551 - 573.

Cadavid, Kelly; Medina, R. (2012). Selección y ajuste de un modelo cinético de la fermentación alcohólica de hidrolizados de residuos deslignificados de caña de azúcar utilizando un microorganismo nativo. Tesis de pregrado. Universidad del Valle. Cali.

Cardona, C; Sanchez, O. (2004). Analysis of integrated flow sheets for biotechnological production of fuel ethanol. In: PRES 2004, 16 th. International Congress of Chemical and process Engineering, CHISA 2004, 22 - 26 August 2004 Prague, Czech Republic.

Casiota, P. (2007). Biocombustibles, Ethanol; monografías.

Cenicaña. (2011). Informe anual de 2007, 2011. Servicio de análisis económico y estadístico.

Chain, N; Chain, R. (1996). Preparación y evaluación de proyectos. 3ª Edición. Mc Graw Hill. 1996,



Colección Académica de
Ciencias Estratégicas

ISSN - e: 2382-3283
Vol 2, No.1
2015

Chávez, C; Velasco, G. (2013). Delignificación por explosión con vapor de los residuos de cosecha de la caña de azúcar en el proceso de obtención de etanol. Tesis de pregrado. Universidad del Valle. Colombia.

Chávez, M. (2005). Producción de Alcohol Carburante (Etanol) en Costa Rica: Consideraciones Sobre su Potencial Real de Uso.

Dal-mas, M; Giarola, S; Zamboni, A; Bezzo, F. (2011). Strategic design and investment capacity planning of the ethanol supply chain under price uncertainty" Biomass and Bioenergy. Volumen 35, Issue 5, Peg 2059-2071.

De la Cruz, M; López, J; Flórez, L; López, G. (2013). Memorias Del II Congreso Iberoamericano Sobre Biorrefinerías, CYTED, v.1, fasc.1, p.611 - 617.

Demirbas, F. (2009). Biorefineries for biofuel upgrading: A critical review. Applied Energy. 1-11pp.

Dorronsoro, L; Sarasty, J. (2008). Análisis técnico y económico de la producción de etanol a partir de yuca. Tesis de pregrado. Universidad del Valle. Colombia.

Douglas, J. (1998). Conceptual design of chemical process. McGrawHill.

Fedebio combustibles. (2013). Boletín N° 81.

Guzmán, A; René, O. (2008). Etanol lignocelulósico a partir de residuos agrícolas. Tesis de pregrado. Universidad Distrital: Bogotá.

O'Brien, D; Roth, L; Mcaloon, A. (2000). Ethanol production by continuous fermentation - preevaporation: a preliminary economic analysis. Journal of membrane sciences 166. 2000), 105-111pp.

Ocampo, A. (1998). Gasohol: un biocombustible limpio para Colombia. Revista Facultad de ingeniería, Universidad de Antioquia. Volumen 10 (17).

Uyazan, A. (2003). Simulación de la deshidratación de Etanol azeotrópico por destilación extractiva. Tesis de pregrado. Universidad Nacional de Colombia: Bogotá.