

## ALCOHOL CARBURANTE: actualidad tecnológica

AQUILES OCAMPO\*

### RESUMEN

Se presentan en este estudio algunos aspectos técnicos, económicos y ambientales que deberán tenerse en cuenta en el diseño de las nuevas plantas que se construyan en Colombia para producir el alcohol requerido para cumplir con la nueva normatividad establecida por el Gobierno Nacional. Por un lado, se prevé que durante los próximos años nuestra vía de obtención más segura será a partir de la caña de azúcar, pero, por otro, se muestra el surgimiento de nuevas alternativas que pueden competirle. Hasta el momento, los costos de producción de alcohol anhidro son mayores que los de la gasolina corriente. Al final, se plantean los problemas ambientales que deben ser manejados en las plantas de producción de etanol.

PALABRAS CLAVE: alcohol carburante; gasohol; etanol; levadura; vinaza.

### ABSTRACT

This study shows technical, economical, and environmental aspects which have to be handled in the design of the new plants to be built in Colombia in order to produce the alcohol required to fit the new rules established by the national government. It is seen that in the next few years, the safer way of obtaining it is from sugar cane, but on the other hand, we can see the uprising of new alternatives which could compete with it latter. Up to now, the cost of producing dry ethanol is higher than obtaining gasoline. Finally, environmental problems which have to be handled in ethanol production plants are described.

KEY WORDS: fuel alcohol; gasohol; ethanol; yeast; vinasse.

---

\* Ingeniero Químico. PhD. Director de Investigaciones, Escuela de Ingeniería de Antioquia. Grupo de Investigación Gabis –Gestión del Ambiente para el Bienestar Social–, EIA. [investigar@eia.edu.co](mailto:investigar@eia.edu.co)

Artículo recibido 21-XII-2002. Aprobado con revisión 26-XII-2003.  
Discusión abierta hasta julio 2004.

## INTRODUCCIÓN

El uso de alcoholes, tanto puros como sus mezclas para combustible, no es una idea reciente. En 1906 Henry Ford produjo un automóvil que podía trabajar con alcohol o con gasolina. En el Brasil se conocen estudios desde 1920; y en 1985 ese país producía cerca de 4,8 millones de TM/año de alcohol, la mayoría dedicada a mezclas carburantes (Energy Information Administration, 2003).

Durante los últimos dos años el Gobierno de Colombia ha expedido una serie de documentos relacionados con el alcohol carburante. La Ley 693 del 2001 estipuló que, a partir de septiembre del año 2005, las ciudades con más de 500.000 habitantes deben tener mezcladas sus gasolinas con un 10% de alcohol (etanol). El 14 de abril de 2003, la resolución conjunta entre Minminas y Minambiente N° 447 determinó los requisitos de calidad del alcohol. Posteriormente, por medio de la Resolución 180687 del 17 de junio de 2003, se establecieron los requisitos técnicos y de seguridad en relación con la producción, acopio, distribución y puntos de mezcla de los alcoholes carburantes. Finalmente, mediante la Resolución 180836 del 25 de julio de 2003, el Ministerio de Minas y Energía definió el precio del galón para el alcohol carburante en puerta de refinería que es equivalente aproximadamente a US\$1,20 por galón.

La necesidad de profundizar en el tema es cada vez más urgente. La tendencia mundial es a desarrollar metodologías que permitan la obtención de alcohol a precios más competitivos y aun a la búsqueda de nuevos componentes oxigenados que puedan sustituir el alcohol a precios más ventajosos.

El alcohol etílico o etanol usado como carburante tiene sus defensores y sus detractores. Para unos es muy importante por la reducción de la dependencia del petróleo y por su papel fundamental en la disminución de la contaminación ambiental, y para otros es inaceptable por el fomento a usar una fuente energética ineficiente, costosa y que genera más contaminación de la que evita (Hodge, 2002).

Esta presentación muestra el resultado de una revisión bibliográfica sobre aspectos técnicos, económicos y ambientales que permiten al lector disponer de más elementos de juicio para tomar su propia posición con respecto a la construcción de nuevas plantas de alcoholes dedicados a mezclas alcohol-gasolina, también conocidas como gasohol.

## 1. ASPECTOS TÉCNICOS

La vía de obtención de alcohol a partir de la biomasa continuará por mucho tiempo por ser en nuestro medio la alternativa más viable, dada nuestra ubicación que permite aprovechar la energía solar durante todo el año. Hasta el momento se ha considerado que la materia prima más apropiada para Colombia es la caña de azúcar, ya que se dispone de una tecnología adecuada para obtener alcohol tanto para licores como para uso industrial. Sin embargo, el alcohol para uso como aditivo a la gasolina presenta condiciones especiales de proceso para que sea adecuado en mezclas con gasolina y para que permita su producción a un precio competitivo. De otra manera, el etanol entraría en competencia con otros aditivos oxigenados necesarios para disminuir las emisiones provenientes de los vehículos automotores.

En la Universidad de Antioquia (Chamorro, 1985) y en la Universidad Industrial de Santander (Guzmán, 1979) se realizaron estudios de caracterización fisicoquímica de las mezclas combustibles y la evaluación de su comportamiento en motores sometidos a diferentes condiciones ambientales. Estos estudios demostraron que es posible utilizar mezclas hasta de 20% de alcohol anhidro y que se obtiene una superioridad del gasohol sobre las gasolinas corrientes en aspectos como eficiencia, consumo y potencia máxima.

En la Universidad de Antioquia se han realizado algunos estudios preliminares sobre deshidratación de etanol, en fase líquida (Ocampo, 1993) y en fase vapor, utilizando tamices moleculares preparados



a partir de sales solubles obtenidas de materiales producidos localmente y de arcilla (Saldarriaga, 1995).

Araújo y Torres (1986) muestran que el etanol anhidro, usado en mezclas hasta 20%, no exige ninguna modificación sustancial a los motores de gasolina, aunque sí mejora el octanaje y la eficiencia de la gasolina. Se justifica, entonces, estudiar diferentes rutas para su producción en el país a precios que puedan ser competitivos con otras fuentes de componentes oxigenados tales como el metil terbutil éter (MTBE) o el etil terbutil éter (ETBE).

El costo de los procesos utilizados para producir alcohol carburante, los que utilizan hidrólisis de almidones y celulosas así como los de fermentación directa del azúcar de la caña, no son por el momento competitivos con los precios de la gasolina. Por esta razón se deberá dar más énfasis a los estudios que optimicen los procesos fermentativos y de deshidratación. Para el efecto existen estudios de nuevas especies de levadura (Ernández, 1990; Lyons, 1984 y Whitney, 1995); unos que han obtenido resultados interesantes con levaduras inmovilizadas (Jones, 1984; Nan, 1989 y Sang, 1985) y otros que proponen variaciones interesantes en los procesos de sacarificación y fermentación (Sreenath, 2001).

Los nuevos descubrimientos que se han realizado pueden convertirse en una amenaza para la obtención del etanol a partir de la caña de azúcar. Una información reciente (Ladisch, 2002) revela un nuevo proceso para incrementar la producción de alcohol usando una levadura genéticamente modificada, desarrollada por la genetista molecular Nancy Ho, que tiene la propiedad de fermentar tanto la glucosa como la xilosa, aumentando hasta en un 30% el etanol obtenido a partir de materiales celulósicos. Chieffalo y Lighsey (2001) obtuvieron una patente para producir etanol a partir de residuos sólidos municipales y Gray (1999) publicó un trabajo sobre la producción del mismo compuesto a partir de residuos sólidos y de biosólidos provenientes de plantas de tratamiento de aguas.

En cuanto a la deshidratación, se perfilan las siguientes posibilidades: a) los resultados obtenidos por Bul, 1995, Fisher, 1984, Georgia, 1993, Tedder, 1985 y Universidad de Arkansas, 1992, que realizan la remoción continua del alcohol en los procesos de fermentación, b) otros, como Crawshaw, 1990, Georgia, 1990 y Teo, 1990, usan métodos de adsorción del agua para deshidratar el alcohol obtenido, y c) un uso intensivo de la energía solar.

El proceso de deshidratación moderno se basa en las propiedades selectivas de adsorción de agua que tiene la zeolita 3A, según estudios realizados por Sarg y Ausikaites, 1983, y resultados personales obtenidos en adsorción de mezclas etanol y agua (Ocampo y colaboradores, 1993). El proceso consiste en colocar el lecho adsorbente entre la columna de deshidratación y el condensador, usando dos lechos paralelos de adsorbente para que uno elimine agua mientras el otro está en proceso de regeneración.

Los resultados del trabajo de Bul, Veryklos y Mutharasan (1985) muestran que la silicalita es selectiva al etanol en mezclas de etanol, agua y glucosa. Esta tecnología haría posible la extracción continua de una solución concentrada de etanol, si el sistema de fermentación se une por medio de una bomba a un reactor de lecho fijo (adsorbedor) empacado con silicalita, y la solución fermentante se hace circular continuamente por el reactor. Se debe disponer de dos adsorbedores en paralelo de tal manera que uno de ellos está adsorbiendo mientras en el otro se recupera el etanol adsorbido en el ciclo anterior.

Los compuestos oxigenados mejoran las propiedades de la gasolina de la misma manera que lo hace el etanol. La competencia mayor se presenta con el MTBE, que es un compuesto orgánico sintético obtenido de la reacción de metanol con isobutileno. Según Speelman (2002), la mayor controversia surge de su toxicidad, su poder contaminante y su dificultad de remediación. Tiene efectos potenciales por inhalación y efectos crónicos por

contaminación de aguas. El MTBE es potencialmente cancerígeno, aunque no existen estudios que demuestren su responsabilidad directa, aunque sí se reconoce que causa olores desagradables en las aguas contaminadas.

## 2. ASPECTOS ECONÓMICOS

Existen reportes relacionados con la experiencia investigativa en Colombia sobre alcohol como carburante. Dos estudios realizados en Ecopetrol (1984 y 1986) plantean que para una mezcla de 20% por volumen de alcohol en gasolina en el año 1990 se requería la producción de 3,4 Ml/día de alcohol, y que esto demandaría 450.000 ha de caña cultivada si se alcanzara un rendimiento de 60 ton/ha de caña y una producción de 70 litros de alcohol/ton caña. También se señalaba en dichos estudios que el precio final del alcohol dependía en un 70 a 80% del costo de la materia prima. El programa allí planteado para suplir esa necesidad proponía incorporar a la economía 450.000 ha y generar 100.000 empleos directos en la actividad agrícola.

Según un informe interno suministrado por la Corporación para el Desarrollo Industrial de la Biotecnología (Corpodib), el consumo de gasolina en el año 2001 fue de alrededor de 158.000 barriles por día, los cuales deberían haber contenido un mínimo de 2% por peso de oxígeno. También estimaban que, para ese año, el precio máximo permisible para el etanol era de US\$1,60/galón para ser competitivo con el precio del MTBE, que era de US\$1,15/galón, precio equivalente por tener éste menor contenido de oxígeno que el etanol.

Un estudio suministrado por el Ingenio Vegachí, realizado con la asesoría de Fedepanela, concluye que el etanol se puede producir a US\$0,58/kg, o lo que es equivalente a US\$1,74/galón.

Tales costos están muy altos comparados con el valor sugerido por el Ministerio de Minas y Energía. Será, por tanto, necesario explorar alternativas en los

procesos fermentativos y de deshidratación del alcohol. En el proceso fermentativo los factores limitantes son el tiempo y la concentración máxima alcanzable del etanol. En el proceso de deshidratación los factores que más contribuyen al costo del proceso son el consumo de energía, el costo de los equipos requeridos y el manejo de los solventes.

Hasta el presente los costos de producción que se han alcanzado para el alcohol son mayores que los de la gasolina. En el Brasil (The Economist, Londres, 10 nov. 2001) existen subsidios para que pueda venderse al 60% del costo de la gasolina, con la consecuente baja de las finanzas públicas. Algo similar sucede en los Estados Unidos donde el Gobierno ofrece incentivos agrícolas.

Un programa nacional de obtención de alcohol carburante ofrecerá beneficios a las zonas rurales permitiéndoles acceder a un mejor desarrollo social y tecnológico. Esto contribuirá a disminuir los graves problemas sociales que afronta el campo, causados por el desempleo y la carencia de seguridad social.

## 3. ASPECTOS AMBIENTALES

El objetivo final de obtener alcohol anhidro para usarse como alcohol carburante contribuirá a obtener un ambiente más limpio, debido a su efecto de disminuir los contaminantes arrojados a la atmósfera producidos por la combustión de la gasolina. Aunque existen otros aditivos oxigenados potenciales como el MTBE y ETBE que también ofrecen propiedades benéficas para el ambiente, estos compuestos no se producen en el país y deberían ser importados.

Los estudios realizados por la General Motors en 1973 y 1974 (Gromet, 1979) revelan que la adición de 10% de etanol a la gasolina reduce el nivel de óxidos de nitrógeno en un 22%, el de monóxido de carbono en un 50% y el de hidrocarburos en un 3%.

El etanol tiene la desventaja de que produce emisiones de aldehídos a la atmósfera, que causan



olores desagradables, aunque no nocivos para los seres vivos. Sin embargo, la emisión de aldehídos se disminuye por ajustes en la relación de compresión del motor.

Uno de los problemas asociados con la producción de alcohol es la disposición de las vinazas, material de residuo en la destilación del alcohol. Por ser un tema crítico en la producción de alcohol, se le dedica un poco más de discusión en el presente escrito.

### 3.1 Las vinazas

Una planta de 100.000 litros de alcohol por día exigiría disponer 1.000 m<sup>3</sup> de vinaza que contiene 70 toneladas de sólidos, de los cuales 52 son orgánicos y 18 inorgánicos. La oxidación de esta carga contaminante, una vez dispuesta en el agua, exige volúmenes grandes de oxígeno. La demanda biológica de oxígeno (DBO) de las vinazas es del orden de 25.000 mg/l si se parte de melazas y de 6.000 a 16.500 si se trabaja con mieles vírgenes. Los valores correspondientes para la demanda química de oxígeno (DQO) son 65.000 mg/l y de 15.000 a 33.000 mg/l.

La materia orgánica coloidal de la vinaza se descompone con relativa facilidad; por esta razón si la vinaza se descarga en corrientes de agua, el contenido de oxígeno disuelto disminuye radicalmente, ya que se consume en el proceso de oxidación de la materia orgánica.

Esta carga orgánica, que analizada desde el punto de vista anterior produce un efecto contaminante en el agua, puede llegar a convertirse en una ayuda para los suelos. Más aún, incrementando los contenidos de nitrógeno y fósforo puede obtenerse un producto de un real valor fertilizante.

La composición de la vinaza es variable y depende de la materia prima usada en el proceso y de las condiciones de operación. En promedio puede establecerse que la vinaza contiene 93% de agua. De los sólidos el 75% son orgánicos. De los constituyentes inorgánicos el 64% es potasio.

Estos hechos sugieren una forma distinta de ver el problema. La vinaza no debe ser tomada como un contaminante en sí misma, el error radica en disponer de ella en forma equivocada. Algo similar ocurre con el CO<sub>2</sub> en las destilerías, con la gallinaza en los criaderos de pollo y, como estos ejemplos, muchos más.

Es necesario concebir la vinaza como un subproducto del proceso de producción de alcohol, que no debe ser desechado como tal, sino transformado en un producto terminado con utilidad económica y social.

A continuación se mencionan algunos de los tratamientos que se han propuesto para la eliminación de las vinazas.

#### 3.1.1 Reciclaje

Tiene como objetivo disminuir el volumen de efluentes. Se realiza una purificación preliminar por decantación o centrifugación y parte de la vinaza se usa como agua de dilución de melaza; así disminuyen el uso de nutrientes y el volumen de efluentes (Caicedo, 1998).

Es una solución parcial que debe ser tenida en cuenta. Modifica las condiciones de operación de la fermentación y debe ser programada cuidadosamente.

#### 3.1.2 Aplicación directa al suelo

La vinaza ha sido usada como agua de riego con efectos adicionales de acondicionamiento de suelos y fertilización (INESCO, 1979).

Tiene como ventajas:

- Mejora las propiedades fisicoquímicas del suelo.
- Incrementa el poder de retención del agua y de sales minerales.
- Aumenta el potasio y otros elementos fertilizantes en el suelo.
- Aumenta la microflora.

Desafortunadamente, la vinaza es un fertilizante desequilibrado con relación a la presencia de macronutrientes. Tiene un contenido elevado de potasio, mediano de nitrógeno y bajo de fósforo.

Una alta aplicación de vinaza al suelo genera un desequilibrio de elementos, por lo general una presencia excesiva de potasio. Se ha encontrado en muchos estudios en el Brasil que esto a su vez genera algunos problemas en el cultivo de la caña de azúcar: atraso de maduración, disminución de sacarosa aparente, aumento de cenizas.

El uso de vinaza como agua de riego tiene, por lo tanto, que ser controlado, con el fin de evitar aplicación excesiva principalmente de potasio.

### 3.1.3 Concentración para uso como fertilizante

En teoría es posible eliminar toda el agua por evaporación. Los altos precios de los combustibles hacen de esta opción la menos interesante, a menos de que se desarrolle un mercado para el producto final seco. De hecho la Fábrica de Licores del Valle instaló un evaporador de gota para secar la vinaza y está comercializando producto seco.

El uso de los gases de combustión para la concentración de la vinaza, dentro de esquemas de cogeneración eléctrica, pueden llegar a ser una buena alternativa.

### 3.1.4 Proteína celular

La vinaza puede ser usada como materia prima para la fabricación de levadura (INESCO, 1979). De hecho muchos países la usan para fabricar proteína que, por su parte, es utilizada en alimentación de pollos en crecimiento. El rendimiento de estos procesos es de cerca de 10 kg de levadura (50% proteína) por m<sup>3</sup> de vinaza.

### 3.1.5 Alimento animal

La vinaza, después de un proceso de concentración, se ha utilizado como complemento a la alimentación animal (Gallo, 1986; Sarria, 1992). Es una opción que no debe descartarse sin un estudio.

### 3.1.6 Tratamientos fisicoquímicos

La sedimentación ha sido poco satisfactoria, incluso con uso de coagulantes. La oxidación con agentes químicos es demasiado costosa y genera otros desechos.

Existen otros procesos estudiados tales como electrodiálisis, ósmosis inversa, etc., pero no están aún comercializados a costos razonables.

La separación de buena parte de la carga orgánica por floculación continúa siendo un reto tecnológico al cual se le dedica esfuerzo investigativo y, por ello, es necesario estar atentos a nuevos desarrollos.

### 3.1.7 Digestión anaerobia

Con la fermentación anaerobia es factible descomponer la materia orgánica presente en la vinaza y generar como subproducto un gas combustible con un contenido apreciable de metano, de 55% más o menos (Zamorano, 1991).

A pesar de que es una tecnología bien conocida, tiene varios inconvenientes que dificultan su aplicación industrial. Así:

- Las bajas velocidades de crecimiento de las bacterias metanogénicas exigen tiempos de retención muy altos, que implican tamaños de equipo muy grandes.
- Es un proceso intermedio que genera desechos que deben ser dispuestos apropiadamente. A



pesar de lo anterior, se está investigando arduamente para reducir el tiempo de permanencia requerido para la digestión. Es de esperar que se desarrollen nuevas tecnologías en esta dirección.

### 3.1.8 Otros procesos

Se han estudiado otros tratamientos tales como estabilización en lagos, uso de filtros biológicos, tratamiento conjunto con aguas domésticas de la ciudad.

## BIBLIOGRAFÍA

1. ARAÚJO, A. y TORRES, C. Investigaciones realizadas en Colombia sobre la producción de alcohol carburante; Comité Nacional de Sucroindustria, Producción de Alcohol Carburante en Colombia, 1986.
2. BUL, S; VERYKLOS, X. and MUTHARASAN, R. In situ removal of ethanol from fermentation broths. *Ind. Eng. Chem. Proc. Des. Dev.*; (1985) 24,4 pp. 1209-1213.
3. BURFIELD, D.R. et al. Desiccant efficiency in solvent and reagent drying. *J. Chem. Technol. Biochem.*; (1984) 34<sup>a</sup>, 4, pp. 187-194.
4. CAICEDO L. A. et al. Efecto de la recirculación de vinazas en la fermentación alcohólica con células inmovilizadas, IV Congreso Internacional de Bioprocesos, Cuernavaca, México, 1998.
5. CHAMORRO, J. et al. Estudio del comportamiento de un motor al utilizar mezcla gasolina alcohol. Universidad de Antioquia, Facultad de Ingeniería, 1985.
6. CHIEFFALO, R. y LIGHSEY, G. Municipal solid waste processing facility and commercial ethanol production process. Patente US 6,267,309; 07, 31, 2001.
7. CRAWSHAW, IP and HILLS, J.H. Sorption of ethanol and water by starchy materials. *Ind. Eng. Chem. Res.*; (1990) 29, 2 pp. 307-309.
8. Energy Information Administration. Milestones in the history of alcohol. [www.eia.doe.gov](http://www.eia.doe.gov), 2003.
9. ERNANDEZ, J.R. et al. Isolation of new ethanol tolerant yeast for fuel ethanol. Production from sucrose. *Biotechnol. Lett.*; (1990) 12, 6, pp. 463-68.
10. FISHER, H. Integrated bio-alcohol plant. *DECHEMA, Monogr.* 9; (1984) 95, *Biotechnol.* 83 pp. 195-209.
11. GALLO B. J. D. et al. Evaluación preliminar de la vinaza, un desecho de destilería, como posible fuente de nutrientes en la alimentación de aves. *Acta Agronómica*; (1986) 36: 207-220, 1986.
12. Georgia Tech. Res. Continuous production of fuel grade ethanol. Patente US 5125902; 01, 06, 1993.
13. Georgia Tech. Res. Continuous process of fuel grade alcohol production. Patente US 5036005; 30, 07, 1991.
14. GRAY, K. MSW and biosolids become feedstock for ethanol. *BioCycle*; (1999), vol. 40, n 08, pp. 37-38.
15. GROMET, C. Combustibles: ¿Es el gasohol la solución? *Automóvil Internacional*; 1979, v. 46, n9, pp. 22-25.
16. GROSE, R.W. and Flonigen, E.M. Crystalline silica. Patente US 4,061,724; 06, 12, 1977.
17. GUZMÁN, G. Evaluación preliminar de mezclas gasolina-alcohol como combustible de máquinas de combustión interna. VII Congreso Interamericano de Ingeniería Química, Bogotá, agosto 5-12, 1979.
18. HODGE, C. Ethanol use in US gasoline should be banned, not expanded. *Oil & Gas Journal*; (2002), v. 100, n37, pp. 20-28.
19. INESCO. Estudio de factibilidad para la concentración de vinaza y producción de levadura seca. INESCO Ltda. Cali, Colombia y PROQUIP S.A. (Proyectos e Engenharia Industrial, Sao Paulo, Brasil), 1979.
20. JONES, K. W. Case studies of unique problems and events encountered during design construction and operation of three large commercial scale fuel ethanol plants. *Energy; Biomass; Wastes*; (1984) 8 Symp., pp. 1199-1221.
21. LADISCH, M. Making biofuels from corn residue. *Resource*; (2002), v. 9, n 8, pp 5-6.
22. LYONS, TP. Industrial uses of yeast in the production of fuel ethanol. *Dev. Ind. Microb.*; (1984) 25, pp. 231-43.
23. NAN, L. and MA, J. Research on sweet sorghum and its synthetic applications. *Biomass*; (1989) 20, 1-2, pp. 129-139.
24. NAVARRO, A. Ideas sobre la producción de alcohol en Colombia. Comité Nacional de Sucroindustria, Producción de Alcohol Carburante en Colombia, 1986.
25. OCAMPO, A. Gasohol: un combustible limpio para Colombia. *Revista Facultad de Ingeniería U. de A.*, (1998), vol. 10, n 2, pp. 32-38.
26. OCAMPO, A. et al. Uso de zeolitas en la separación de sistemas ternarios; Congreso de Ingeniería Química, agosto 1993.
27. SALDARRIAGA, C. et al. Síntesis de mallas moleculares *Química actualidad y futuro*; (1995) vol. 5, n 1, Universidad de Antioquia.

28. SANG, S. L. Energy in sugarcane and its bioconversion. FFTC Book series; (1985) 28, Altern. Sources Energ. Agr, pp. 257-269.
29. SARG, D.R. and AUSIKAITIS, J.P. Molecular sieve dehydration cycle for high water content streams. Chem. Eng. Prog.; (1983). 79 (4), pp. 60-65.
30. SARRIA P. et al. Reemplazo parcial del jugo de caña con vinaza y uso del grano de soya a cambio de torta en dietas de cerdos de engorde. Livestock Research for Rural Development; (1992) Vol. 4, n 1, pp. 80-88.
31. SREENATH H. et al. Ethanol production from alfalfa fiber fractions by saccharification and fermentation. Process Biochemistry, (2001). Vol. 36 pp. 1199-1204.
32. SPEELMAN, J.F. The MTBE controversy: Defending mass tort claims, Defense Counsel Journal; (2002) v. 69, n 1, pp. 35-49.
33. TEDDER, D.W. Ethanol recovery from low grade beers by solvent extraction. S. Biomass-Energy Res.; (1985) 3 Meet. Biomass Energ. Develop., p. 653.
34. TEO, W.K and TI, H.C. Liquid phase dehydration of ethanol solutions. Appl. Biochem. Biotechnol; (1990) 24 (25), pp. 521-532.
35. University of Arkansas at Little Rock. Extraction of ethanol from fermentation broth. Patente US 5110319; 05,05, 1992.
36. WEBER, T.W. and CHAKRAVORI, R.K. Pore and solid diffusion models for fixed-bed adsorbers. AICHE J.; (1974), 20(2), pp. 228-237.
37. WHITNEY, G.K; et al. Potential cost saving for fuel ethanol production by employing a novel hybrid yeast strain". Biotechnol. Lett; (1985), 7, 5, pp. 349-54.
38. ZAMORANO, A.H. et al. Tratamiento biológico de aguas residuales de la industria alcohólica a partir de melazas de caña de azúcar (Biological treatment of alcohol industry wastewater based on sugar cane molasses). Technical Report VIN-01-90 Pub. Faculty of Chemistry, UNAM. 100 p. Mexico City, Mexico, 1991.