# Extracción de cera a partir de cachaza con etanol 96 ºGL a escala de laboratorio

## Wax extraction from filter Cake with Ethanol 96 ºGL at Laboratory Scale

 MSc. Inés María San Anastacio-RebollarIines.sananastacio@reduc.edu.cu, Ing. Danilo Ricardo-GarcíaII, Ing. Rubén Carlos Hernández-GonzálezIII, Ing. Luis Eduardo Guerra-RodríguezIV, Dra. Gretel Villanueva-RamosV

IDepartamento de Química, Universidad “Ignacio Agramonte Loynaz”, Camagüey, Cuba IIUnidad Estatal Básica “Antonio Guiteras”, Camagüey; IIIDelegación MININT, Camagüey; IVDepartamento Industrial, Universidad “Ignacio Agramonte Loynaz”, Camagüey, Cuba; VDepartamento Ingeniería Química, Universidad Central de las Villas, “Martha Abreu”, Cuba

Resumen

En este artículo se propone una metodología para la producción de cera a partir de la cachaza de caña de azúcar, en la que no se emplean sustancias agresivas al medio ambiente. La cera se extrae de la cachaza, un residuo de la industria azucarera, utilizando como solvente etanol (con una pureza de 96 ºGL). La extracción de cera se llevó a cabo mediante un proceso de lixiviación empleando una relación cachaza/etanol de 0,05 kg/L. los parámetros de operación definidos fueron: temperatura de 70 ºC, presión atmosférica, velocidad de agitación de 700 rpm y tiempo de extracción de 2,5 horas. Bajo estas condiciones se obtuvo 86,17 % de extracción. La cera obtenida presentó las características necesarias para competir en el mercado de las ceras vegetales. Para evaluar la viabilidad del diseño de una planta demostrativa de producción de cera, se realizó una simulación del proceso completo con el software de simulación profesional “Super Pro Design”. Para esta simulación fueron utilizados resultados obtenidos en el laboratorio.

**Palabras clave**: *cera, extracción, cachaza.*

\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_

Abstract

This article proposes a methodology for the production of wax starting from the sugar cane phlegm, in which aggressive substances to the environment are not used. The wax is extracted from the phlegm, a residue of the sugar industry, by using ethanol (with a purity of 96 ºGL) as a solvent. A methodology to achieve the extraction of wax from the filter cake was determined. A filter cake:ethanol ratio, where for every 0,05 kg of filter cake: 1L of ethanol was used. The operation parameters of extraction of temperature of 70 ºC, atmospheric pressure, speed of agitation 700 rpm and extraction time 2,5 hour were defined. Under the above mentioned conditions 86,17 % of extraction was achieved. The obtained wax presented the necessary characteristics to compete in the market of vegetable wax. In order to evaluate the design viability of a demonstrative plant for wax production, a simulation of the complete process with the professional simulation software (Super Pro Design) was performed. Laboratory obtained results were used for this simulation.

**Keywords***: wax, extraction, filter cake.*

Introducción

El azúcar, desde hace varios años, viene enfrentando una situación muy crítica como producto de comercialización internacional, por lo que ha sido interés de los países productores de caña de azúcar, el desarrollo de una estrategia para incrementar la competitividad de la industria azucarera, lo que ha incluido como una acción fundamental la diversificación de la misma, mediante el uso integral de la caña de azúcar como materia prima para un elevado número de derivados y subproductos.

Los principales residuos de la industria azucarera son el bagazo, las vinazas y la cachaza. El bagazo y las vinazas encuentran aplicaciones en otras industrias o procesos, sin embargo, la cachaza, se emplea fundamentalmente como aditivo en alimento animal y fertilizante en la agricultura. Dicho uso, se ve limitado por la capacidad de los suelos para aceptarla, lo que provoca serios problemas de contaminación. Por tales motivos, es necesario encontrar una solución a gran escala para la revalorización de este desecho.

Por su composición química y bajo precio, la cachaza resulta muy atractiva como materia prima en la industria de procesos, por lo que constituye uno de los subproductos con mayores perspectivas para su aprovechamiento industrial. De ella se puede extraer cera, la que contiene 35,5 % de materia saponificable (ácidos grasos) y 60 % de materia insaponificable, productos de sumo interés industrial, debido a la amplia gama de aplicaciones de sus componentes /1/.

La cera cruda de caña de azúcar es de color oscuro y textura cerosa. Está compuesta por 45 % de cera, 35 % de materia grasa y 20 % de resina. La cera refinada contiene 55 % de ésteres; 8 % de ácidos libres; 10 % de alcoholes libres; 25 % de aldehídos y cetonas y 2 % hidrocarburos /2, 3/. La cera obtenida de la caña de azúcar puede definirse también como una combinación química de varios metabolitos que se han identificado por medio de la cromatografía gaseosa /4/ y cromatografía de HPLC /5/.

El objetivo de este artículo es proponer una metodología para la producción de cera a partir de la cachaza de caña de azúcar, en la que no se emplean sustancias agresivas al medio ambiente

Fundamentación teórica

Desde principios del siglo XX, el proceso de extracción de cera a partir de la cachaza comenzó a llamar la atención. En 1916, la firma inglesa Rose Dows y Thomson, propuso el proceso de Merz, que consiste en la extracción sucesiva de la fracción aceitosa y de la cera dura presentes en la cachaza. Para extraer la fracción grasa se utiliza n-heptano entre 15–20 ºC. Posteriormente el solvente se calienta a 105 ºC para extraer la fracción de cera dura. La ventaja de este proceso es que se usa el mismo solvente en la extracción de ambas fracciones y su desventaja es el secado de la cachaza /6/.

Posteriormente, en 1940 Swenson patentó un proceso para la extracción de la cera cruda contenida en la cachaza húmeda utilizando una columna de platos perforados. En la misma, una serie de brazos unidos a un eje central producen agitación en el interior de la columna. Una corriente de n-heptano a 100-110 ºC entra por la parte inferior, fluye hacia arriba y sale por la parte superior de la columna en forma de solución de cera en n-heptano. Luego pasa a un sistema de recuperación. La desventaja del método se encuentra en el esquema de contacto, debido a que el agua obstaculiza la extracción /7, 8/.

Años más tarde, en 1995, Wohlfahrt L y col. presentaron un procedimiento para la obtención y refinación industrial de cera a partir de la cachaza seca. Ellos realizaron la extracción en un extractor de percolación, utilizando solventes hidrocarburos alifáticos saturados como n-hexano y n-heptano. El proceso se realiza a una temperatura menor que la temperatura de ebullición del solvente, manteniendo una relación másica de 1:5 (cachaza: solvente). Las fracciones de cera se precipitan mediante el enfriamiento escalonado del extracto y el solvente con residuos se recircula al proceso /9/.

Más recientemente, Díaz y col. determinaron las principales variables de operación para la obtención industrial de cera utilizando n-heptano como solvente /10/. De todos estos parámetros, como el proceso es una extracción líquido-líquido, la temperatura resultó el más importante y su valor debe ser lo más cercano posible a la temperatura de ebullición del solvente, ya que a la misma, la velocidad de equilibrio es mayor y existe una mayor extracción /11/.

Posteriormente, otros autores evaluaron la extracción de cera de la cutícula de la caña para la producción de cera dirigida especialmente al sector farmacéutico. Analizaron la utilización de tres clases de solventes orgánicos: éter de petróleo, tricloroetileno y tolueno, alcanzando una eficiencia en la extracción de 4,71 %, 4,18 % y 3,73 % respectivamente. Caracterizaron la cera extraída técnicamente por los índices físico-químicos y por cromatografía gaseosa, mostrando que la cera de mayor dureza era la obtenida con tolueno que es el solvente de punto de ebullición superior /12/.

Recientemente se ha empleado como solvente fluido supercrítico de dióxido de carbono y n-hexano a 70 ºC y un flujo de 50 g/min a diferentes presiones (250, 300, 350 y 400 bar). Los autores comprobaron que la cera extraída por este método presenta una mayor estabilidad a la oxidación que la extraída por medio de Soxhlet. /13, 14/. García, en el 2011, en un proceso para obtener biodiesel, propone la extracción de cera por lixiviación de la cachaza con etanol 96 °GL durante cuatro horas, reportando 94,92 % de extracción, determinado por diferencia de peso /15/. El tiempo de extracción representa el principal inconveniente de esta propuesta. Sin embargo, a pesar de que se han desarrollado nuevas técnicas para la extracción de cera, aun se continúan empleando a nivel industrial, solventes que causan graves daños al ambiente.

Métodos utilizados y condiciones experimentales

**Características de la cachaza**

Se trabajó con cachaza procedente de la UEB Antonio Guiteras, de la provincia de Las Tunas, Cuba. Se determinó su humedad y el contenido de cera en la misma. La humedad se determinó mediante secado en una estufa hasta peso constante. Por su parte, el contenido de cera se obtuvo por el método Soxhlet.

Para la cuantificación del contenido de cera primeramente se realizó el espectro ultravioleta (UV) de una disolución de cera en etanol. Luego se confeccionó la curva de calibración utilizando como patrón cera cruda producida en la UEB Antonio Guiteras. Se preparó una solución patrón de cera en etanol de concentración 8,75x10-2 g/mL A partir de esta solución se prepararon soluciones de concentraciones 1,25x10-3, 2,5x10-3, 3,75x10-3, 5x10-3, 6,25x10-3 y 7,5x10-3 g/mL y se leyó su absorbancia a 205 nm.

Etapa de extracción

Diseño de experimentos

Se realizó un diseño de experimentos factorial de cribado 22 para analizar la influencia de la temperatura y el tiempo en la extracción. Una vez establecidas las variables independientes se procede a seleccionar el intervalo de estudio de cada una. Con relación al tiempo de extracción, García propuso la lixiviación de la cachaza durante cuatro horas con etanol 96 ºGL /15/, por ello, se asigna este valor al nivel superior. Como nivel inferior, para una primera aproximación, se toman dos horas, evaluando la reducción a la mitad del tiempo de extracción. En cuanto a la temperatura, se selecciona 70 oC como nivel máximo, para evitar la extracción de las fracciones más pesadas y 65 oC como valor mínimo, de forma tal que la temperatura de operación no se aleje de la de ebullición del solvente, ya que a esta existe una mayor velocidad de equilibrio y de extracción. Como variable respuesta se seleccionó el porcentaje de extracción.

En la tabla 1 se muestran las corridas experimentales definidas mediante el diseño. Se realizaron cinco réplicas de cada corrida establecida en el diseño de experimentos. En cada una se mezclaron cachaza y etanol 96 ºGL en una proporción de 0,05 kg de cachaza por litro de etanol, a presión atmosférica y agitando a 700 rpm, a la temperatura y durante el tiempo correspondiente en cada caso. Los resultados experimentales fueron procesados mediante el programa estadístico Statgraphics Centurion.

Tabla 1

Diseño de experimentos

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Número de corrida | t (h) | T (°C) |
| 1 | 4 | 65 |
| 2 | 2 | 70 |
| 3 | 2 | 65 |
| 4 | 4 | 70 |

Cinética de la operación de extracción

Para el estudio de la cinética de la extracción, se determinó el contenido de cera en el extracto cada 30 min. Los resultados fueron analizados mediante el software Statgraphics Centurion.

Etapa de extracción

La cachaza y el etanol 96 ºGL fueron mezclados en una proporción de 0,05 kg de cachaza por litro de etanol en un recipiente cilíndrico de dos litros de capacidad, con un volumen efectivo de 1 425 mL, a una temperatura de 70 ºC, a presión atmosférica, agitando a 700 rpm durante 2,5 h. Concluida la extracción, se separó la cachaza mediante filtración al vacío y a través de una malla de orificios de 75 µm de diámetro. Se determinó la cantidad de etanol en la cachaza agotada por secado hasta peso constante. Se evaporó el solvente del extracto para obtener la cera.

Características de la cera extraída

Se determinó el índice de acidez (IA), el índice de saponificación (IS) y el índice de yodo (II) acorde a las normas de A.S.T.M. reportadas para ceras vegetales /16/. También, se determinó la temperatura de fusión en una microplatina WRS-2A.

Simulación y diseño del proceso

Para evaluar el posible diseño de una planta demostrativa para el proceso propuesto, fue diseñado y simulado el proceso continuo completo de extracción de cera de la cachaza con etanol 96 ºGL. Para esta investigación se usó el software de simulación de procesos Super Pro Designer, ya que este software puede proporcionar información fiable sobre el proceso. Una vez fijada la capacidad de la planta, los procedimientos para la simulación del proceso requirieron la definición de las etapas y la determinación de los balances de materiales y energía. El cálculo de los parámetros e indicadores económicos se realizó siguiendo la metodología establecida por Peters /17/.

Debido a la presencia del etanol, componente muy polar, se usan los modelos de actividad termodinámicos NRTL y UNIQUAC para predecir los coeficientes de actividad de componentes en una fase líquida /18/. En este estudio se usó el modelo de NRTL.

Resultados y discusión

**Características de la cachaza**

La determinación de la humedad de la muestra de cachaza arrojó un valor promedio de fue de 7,82 %. Por otra parte, el espectro UV de la cera (Figura 1) mostró una banda de absorción entre 200 y 240 nm, con un máximo a 205 nm. Esta banda se debe a la presencia del grupo carbonilo sustituido por un heteroátomo o grupo con electrones libres, en este caso el oxígeno, que produce un marcado desplazamiento hipsocrómico nπ\*. La presencia de este máximo de absorción evidencia que es posible determinar cera a una longitud de onda de 205 nm por espectrofotometría UV. Se confeccionó la curva de calibración con un coeficiente de correlación de 0,993 1 y se determinó el contenido de cera en la cachaza que fue de 9,92 % b.s.



Fig. 1 Espectro UV de una solución de cera cruda en etanol.

Etapa de extracción

**Diseño de experimento**

En la tabla 2 se muestra el porcentaje de cera extraída en cada uno de los experimentos realizados. La figura 2 representa el diagrama de Pareto que refleja la influencia de las variables y su interacción sobre el porcentaje de extracción.

Tabla 2

Resultados experimentales de la extracción

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Corrida | X1 | X2 | Rendimiento (%) |
| 1 | 4 | 65 | 5,66 | 5,51 | 5,75 | 5,73 | 5,58 |
| 2 | 2 | 70 | 7,66 | 7,41 | 7,55 | 7,71 | 7,49 |
| 3 | 2 | 65 | 5,16 | 4,83 | 5,48 | 5,1 | 5,18 |
| 4 | 4 | 70 | 6,16 | 6,36 | 6,39 | 6,24 | 6,31 |



Fig. 2 Diagrama de Pareto del diseño

experimental.

El diagrama muestra que, tanto las variables independientes (tiempo y temperatura) como su interacción, influyen significativamente sobre el rendimiento de la extracción en el intervalo estudiado. Sin embargo, solo la temperatura tiene influencia positiva. Como se observa también en la tabla, los mayores rendimientos de extracción se obtuvieron cuando la operación se llevó a cabo durante dos horas a 70 ºC. Esto indica que, de los niveles estudiados para cada variable, a 70 °C y dos horas se logra el mayor rendimiento en la operación.

Cinética de la operación de extracción

El diseño de experimentos anterior permitió asignar un valor a las variables (tiempo y temperatura), dentro del intervalo estudiado, para lograr el mayor porcentaje de extracción. Con vistas a ampliar el marco investigativo sobre la variable tiempo, se realizó el estudio cinético de la operación de extracción a 70 °C.

En la tabla 3 aparecen los resultados de extracción obtenidos a diferentes tiempos, los que se representan en la figura 3. El análisis estadístico de estos resultados mostró que no existen diferencias significativas, para un nivel de confianza de 95 %, entre las diferentes corridas experimentales realizadas.

Tabla 3

Variación de la concentración de extractables

en el tiempo durante la extracción

|  |  |
| --- | --- |
| Tiempo (h) | Concentración (mg/mL) |
| Réplica 1 | Réplica 2 | Réplica 3 | Réplica 4 | Réplica 5 |
| 0,5 | 2,43 | 2,43 | 2,45 | 2,44 | 2,46 |
| 1 | 2,68 | 2,80 | 2,68 | 2,68 | 2,69 |
| 1,5 | 2,78 | 2,80 | 2,80 | 2,79 | 2,81 |
| 2 | 3,30 | 3,21 | 3,35 | 3,31 | 3,32 |
| 2,5 | 3,49 | 3,48 | 3,50 | 3,50 | 3,50 |
| 3 | 3,54 | 3,59 | 3,54 | 3,53 | 3,53 |
| 3,5 | 3,53 | 3,53 | 3,52 | 3,52 | 3,52 |
| 4 | 3,52 | 3,53 | 3,53 | 3,53 | 3,55 |
| 4,5 | 3,53 | 3,52 | 3,53 | 3,52 | 3,53 |



Fig. 3 Variación de la concentración de extractables

en el tiempo.

Se apreció que la cantidad de cera extraída a partir de tres horas permaneció prácticamente constante, con un valor de 3,54 g para 85,4 % de extracción. Sin embargo, una prueba de múltiples rangos por medio del método Student-Newman - Keuls, con 99 % de confianza, mostró a partir de 2,5 h de extracción los valores comparados no presentan estadísticamente diferencias significativas. Por ello, se seleccionó 2,5 h como el tiempo de extracción.

Extracción en una etapa

El proceso de extracción se estudió en una etapa. En la tabla 4 se muestra el rendimiento de la extracción de cera para los diez experimentos realizados. El análisis estadístico según las pruebas de Chi-cuadrado y Shapiro-Wilk W., reveló que los resultados obtenidos siguieron una distribución normal para 95 % de confianza, ya que el valor de probabilidad fue de 0,96 y 0,99 respectivamente. La media del rendimiento de la extracción de cera fue 7,56 %, lo que representó 86,17 % de extracción. Este porcentaje es menor que el 94,92 % reportado por García /15/. Este autor determinó los extractables por diferencia de peso entre la cachaza inicial y la cachaza agotada, de tal forma, se cuantificaron todas aquellas sustancias extraídas por el solvente. Sin embargo, en el presente trabajo, se redujo el número de sustancias cuantificadas como extractables, teniendo en cuenta solo aquellas que contenían en su estructura el grupo carbonilo.

El rendimiento de extracción en una etapa de 86,17 % se logró bajo las condiciones siguientes: relación cachaza: etanol 96 ºGL de 0,05 kg/L, temperatura de 70 ºC, presión atmosférica, agitación de 700 rpm y tiempo de 2,5 h. Es preciso destacar que este tiempo representa prácticamente la mitad del propuesto por García (cuatro horas) /15/.

Tabla 4

Rendimiento de extracción

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Exp. | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| Rend. (%) | 7,42 | 7,35 | 7,68 | 7,60 | 7,55 | 7,49 | 7,58 | 7,78 | 7,55 | 7,64 |

Mediante la filtración al vacío y la malla de orificios de 75 µm de diámetro, métodos empleados para la separación de la cachaza agotada del extracto se obtuvo una pérdida de etanol en la cachaza agotada de 147 mL (13,74 %) y 172 mL (16,07 %) respectivamente. Por consiguiente, el empleo de la malla aumentó las pérdidas de etanol en la cachaza en 2,33 %, un valor relativamente pequeño si se compara con la simplicidad del proceso respecto a la filtración al vacío.

Características de la cera extraída

La cera obtenida fue de color verde. Su temperatura de fusión estuvo en el intervalo entre 81,3-87,1 ºC. El valor del IA, IS e II de la misma fue de 31,42 %, 90,3 % y 24,44 % respectivamente. Estos tres parámetros se utilizan para establecer la calidad de la cera /19/. El IA refleja su grado de contaminación, mientras mayor sea más contaminada está. El II mide la cantidad de ácidos grasos insaturados presentes, indicando la facilidad para oxidarse y el poder secante de la cera, por lo que mientras menor sea, mayor calidad tiene esta. Por su parte, se requiere que el IS sea elevado, este representa el número de grupos ácidos y ésteres. Su diferencia con el IA constituye una medida de la cantidad de ésteres (cera) presente. Es un parámetro particularmente importante para los usuarios .de ceras oxidadas.

El valor de estos índices de calidad se encuentra en el intervalo reportado para las ceras comerciales de origen vegetal /19/. Ello permite plantear que la cera obtenida puede competir en el mercado de las ceras vegetales.

Simulación y diseño del proceso

La capacidad de la planta fue tomada según lo reportado por García /15/ de 2 t/d (250 kg/h) de cachaza; las condiciones de extracción de cera fueron: relación cachaza: etanol 96 ºGL de 0,05 kg/L, temperatura de 70 ºC, presión atmosférica, agitación de 700 rpm y tiempo de extracción de 2,5 h. Bajo estas condiciones se obtuvo un 86,17 % de rendimiento de extracción de cera, en una etapa.

En el diagrama de flujo de la figura 4 se propone la utilización de dos extractores, debido a que esta es la etapa más lenta del proceso (2,5 h); de esta forma, el trabajo de los extractores de forma desfasada, permite realizar tres producciones en una jornada de ocho horas. Estos extractores se utilizan a la vez como separadores mecánicos, colocando una malla en el fondo, con el objetivo de lograr la separación sólido-líquido, contribuyendo de esta forma al uso de un menor número de equipos.



Fig. 4 Diagrama de flujo para la producción de

cera a partir de cachaza.

Nomenclatura del diagrama de flujo

1. Tanque de almacenamiento etanol
2. Tanque de extracción
3. Condensador
4. Tanque almacenamiento extracto
5. Evaporador
6. Condensador

E- etanol 96 ºGL

C- cachaza

Ca- cachaza agotada

Ex- extracto

Er- etanol recuperado

Ce- cera

De este proceso se genera solo una corriente residual, la cachaza agotada, de la cual se propone recuperar el etanol por evaporación, para reutilizarlo en el proceso. Luego esta cachaza residual puede ser empleada como abono agrícola /15/.

Mediante un análisis económico se comparó el proceso de extracción llevado a cabo a los tiempos de dos, 2,5 y tres horas. Los valores de los indicadores económicos dinámicos aparecen en la tabla 5. Ellos muestran que la extracción durante dos horas es menos factible económicamente que a 2,5 y tres horas, siendo su PRI 4,96 veces mayor y su VAN y TIR 19,79 y diez veces menor respectivamente que en la extracción a 2,5 y tres horas. Además, se observa que los valores de los indicadores económicos de la extracción durante tres horas son similares a los obtenidos a 2,5 h, no reportando por tanto un mayor beneficio económico, por lo cual no cumple objetivo realizarla. Estos resultados coinciden con el obtenido en la prueba de múltiples rangos mediante el método Student- Newman- Keuls con un 99 % de confianza presentada anteriormente y corrobora la selección de 2,5 h como tiempo de extracción.

Tabla 5

Indicadores económicos para la extracción a diferentes tiempos

|  |  |
| --- | --- |
| Indicador | Tiempo (horas) |
| 2 | 2,5 | 3 |
| PRI (años) | 7,05 | 1,42 | 1,42 |
| VAN (USD) | 75 913,41 | 1 502 147,4 | 1 501 545,8 |
| TRI (%) | 7 | 70 | 70 |

Conclusiones

1. Se propone una metodología para obtener cera a partir de cachaza en la que no se utilizan solventes agresivos al medio ambiente. En la misma, la cera se obtuvo bajo las condiciones siguientes: relación cachaza: etanol 96 ºGL de 0,05 kg/L, temperatura de 70 ºC, presión atmosférica, agitación de 700 rpm y tiempo de extracción de 2,5 h. En estas condiciones el rendimiento de la extracción fue de 86,17 %.
2. La metodología propuesta para producir cera, a partir de cachaza de caña de azúcar, demostró ser económicamente factible y medioambientalmente compatible.

Bibliografía

1. ORTHOEFER, F. T., ‟Rice Bran Oil”. Bailey's Industrial Oil and Fat Products. John Wiley & Sons, Inc, 2005.
2. OnlineAvailable: http://www.fregri.unicamp.br/ctea/manuais
3. GANDRA, K. M., “Obtention and characterization of wax sugar cane and fractions”. M. Chem. Dissertation, State University of Campinas, Brazil, 2006.
4. STRANSKY, K., ZAREVUCKA, M.; VALTEROV, M.; WIMMER, Z. "Gas chromatographic retention data of wax esters". Journal of Chromatography A. núm. 1128, p. 208-219, 2006.
5. DUTRA, L. J., "Processo simplificado para a produção de concentrado de ácidos graxos de cadeia longa (D-003) a partir da cera de cana-de-açúcar (Saccharum officinarum L.)". Universidade estadual de campinas faculdade de engenharia de alimentos, Departamento de tecnologia de alimentos, Campinas, Brasil, 2010.
6. Merz V. U.S. Patent 2577587.
7. Swenson, O.J. U.S. Patent 2 508 002.
8. Swenson, O.J. U.S. Patent 2 554 073.
9. WOHLFAHRT, L.; SACHSE, J. "Método para la obtención de ceras de cachaza". Patente CU 22282 A3, Cuba, 1995.
10. DÍAZ, Loida; GUERRERO, Lázaro; HIDALGO, Antonio; Villanueva, Gretel; RODRIGUEZ, Elina. "Influencia de diferentes variables en la extracción de cera cruda". Centro Azúcar. núm. 3, p. 59-62, 2000.
11. DÍAZ, Loida; GUERRERO, Lázaro; Villanueva, Gretel. "Influencia de la temperatura del heptano en la extracción de las fracciones de la cera cruda". Centro Azúcar. núm. 4, p. 29-31, 2000.
12. GARCÍA, Alberto; GARCÍA, Miguel A.; RIBAS, Mauricio; BROWN, Adolfo. "Recuperación de cera de cutícula de caña de azúcar mediante separación mecánica y extracción con solventes". Grasas y aceites., vol 54, p. 169-174, 2003.
13. LÓPEZ-MESA, M.; CARRILLO, F.; GUTIÉRREZ, M. C.; CRESPI, M. "Alternative methods for the wool wax extraction from wool scouring wastes". Grasas y aceites, vol 58, p. 4, 2007.
14. ATHUKORALA, Y.; MAZZA, G. "Supercritical carbon dioxide and hexane extraction of wax from triticale straw: Content, composition and thermal properties". Industrial Crops and Products., vol 31, p. 550-556. 2010.
15. GARCÍA, Romel. ‟Asimilación de una tecnología para la obtención de biodiesel a partir de residuales en la industria azucarera”. Director: Erenio González Suarez. Universidad Central Martha Abreu de las Villas, Departamento de Ingeniería Química, 2011.
16. ROSS, F.B. Ross Waxes. 10 th Edition. Jersey City,1987, NJ 07304.
17. PETERS, M., TIMMERHAUS, K., Plant design and economics for chemical engineers. 4th ed. EE.UU., McGraw-hill International Editions. 1990.
18. ZHANG, Y.; KATES, M. ‟Biodiesel production from waste cooking oil”. Bioresource Technologic, 2003, p. 1-16.
19. BHOSALE, P. R.; CHONDE, G.; RAUT, P. D. ‟Studies on extraction of sugarcane wax from press mud of sugar factories from Kolhapurdistrict, Maharashtra”. Journal of Environmental Research and Development, vol 6, núm. 3A, p. 715-720, 2012.