



ISSN 1029-3450



Estudio de una metodología para la obtención de biodiesel a partir de grasa vacuna

Study of a methodology to obtain biodiesel from cow fat

Mónica Álvez

Centro: Laboratorio de Orgánica

Facultad de Ciencias / Facultad de Química

Universidad de la República, Iguá 4225, CP 11400, Montevideo

Uruguay

Mercedes

Centro: Laboratorio

Facultad de Ciencias / Facultad de

Universidad de la República, Iguá 4225, CP 11400,

Uruguay

González

Orgánica

Química

Montevideo

Email: megonzal@fq.edu.uy

Hugo

Centro: Laboratorio

Facultad de Ciencias / Facultad de

Universidad de la República, Iguá 4225, CP 11400,

Uruguay

Ceretto

Orgánica

Química

Montevideo

Email: hcercet@fq.edu.uy

Javier

Centro: Laboratorio

Facultad de Ciencias / Facultad de

Universidad de la República, Iguá 4225, CP 11400,

Uruguay

Rodríguez

Orgánica

Química

Montevideo

Email: javierr@fcien.edu.uy

RESUMEN

La utilización de grasas vacunas de baja calidad (acidez mayor a 1%), fue considerada para la obtención de biodiesel (mezcla de ésteres metílicos de ácidos grasos) para uso vehicular.



ISSN 1029-3450



Así, cuatro muestras diferentes de grasas bovinas se caracterizaron en base a su acidez y su composición en triglicéridos. Para cada una de ellas se evaluó el rendimiento y las características del proceso de producción del biodiesel estudiando, entre otras, las siguientes variables: concentración de base y metanol, temperatura y tiempo de reacción.

Los productos obtenidos se caracterizaron cualitativamente para su uso vehicular.

Palabras clave: biodiesel, grasa vaca, metanol

ABSTRACT

The use of low quality cow fats (acidity upper than 1%) was considered for biodiesel (mixture of fat acids methyl esters) production.

Accordingly, four different cow fats were characterized in terms of its acidity and triglycerides composition. For each sample was evaluated the biodiesel production's yield and the process characteristics studying, between others, the base and methanol concentrations, the reaction temperature and time.

The obtained products were characterized qualitatively for vehicular use.

Key words: biodiesel, fat, cow, methanol

INTRODUCCIÓN

El acuciante problema energético que sufre el planeta en la actualidad ha llevado a la búsqueda de fuentes alternativas al uso del petróleo (Haas, et al, 2001). En este sentido, en los últimos años ha crecido el uso y la aplicación alternativa del biodiesel. El biodiesel puede ser definido (Hu et al; 2004) como un biocombustibles sintético, producido a partir de lípidos naturales por reacción de esterificación o transesterificación, que consiste en una mezcla de ésteres metílicos de ácidos grasos, o sea ácidos carboxílicos de cadenas hidrocarbonadas de más de doce átomos de carbono. Este tipo de estructura química posee un excelente índice de octano y lubricidad. El biodiesel además carece de compuestos de azufre por lo que no los elimina como gases de combustión, convirtiéndose en una excelente alternativa de los combustibles fósiles (Holanda, 2004). Industrialmente, estos ésteres metílicos son



ISSN 1029-3450



sintetizados por reacciones de transesterificación, entre los triglicéridos (ésteres de ácidos grasos y glicerol) y metanol.

DESARROLLO

La reacción de transesterificación de triglicéridos por metanol descrita a mediados de 1940 (Bradshaw, 1942; Bailey, 1945) implica, esencialmente, un proceso en medio básico (**Fig. 1**).

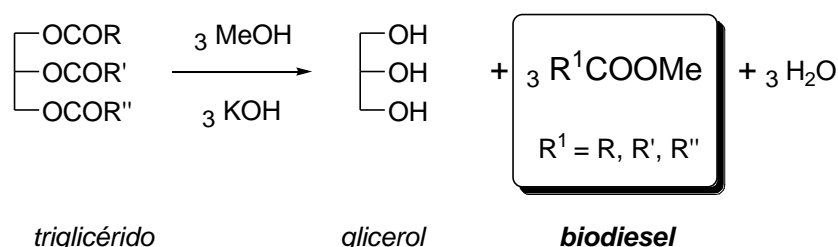


Figura 1. Esquema de la reacción de producción de biodiesel.

Alguna de las técnicas de producción de biodiesel indican: “Fundir la grasa, seca y casi neutra, por calentamiento a 80 °C. Dejar alcanzar la temperatura ambiente e incorporar un volumen de solución de potasa metanólica (de 0,3 a 0,7 % en relación peso de potasa / volumen de metanol) equivalente a 1,6 veces la cantidad teórica. La solución metanólica se puede incorporar en etapas y de esta forma mejorar el rendimiento. Agitar a temperatura ambiente, observando la formación de dos capas. Al cabo de una a dos horas, decantar la fase inferior, constituida en un 90 % de glicerol, metanol y restos del biodiesel. La fase superior, compuesta en un 95 % de biodiesel, se lava repetidas veces con agua hasta pH neutro”.

La experiencia descrita en otras referencias bibliográficas (Cardone, et al., 2002; Hu et al.; 2004; Sarma et al., 2005) indica que no es necesario utilizar cantidades equimolares de base (hidróxido potásico en este caso) ya que la misma actuaría como catalizador y de esa forma se minimizarían los productos de saponificación (hidrólisis del éster para dar la sal del ácido y el glicerol). En la reacción de disolución del hidróxido potásico (KOH) en metanol (MeOH) se genera agua la que permite que el glicerol al final de la transesterificación quede en forma neutra generándose KOH como subproducto, catalizador, de reacción. La utilización de hidróxido potásico es sugerido, a pesar de su mayor



ISSN 1029-3450



costo, en base a su recuperación en la neutralización con ácido sulfúrico donde se genera sulfato potásico que podría ser usado como fertilizante. Al mismo tiempo la cantidad de base debe ser adecuada para permitir que el equilibrio se desplace hacia productos y para que al finalizar la reacción se formen dos fases nítidas. Por otro lado, un mayor exceso de metanol permite obtener mejores rendimientos, pero promovería la generación de una única fase al finalizar el proceso, ya que el metanol excedente disolvería al biodiesel y al glicerol generados.

El Uruguay, además de ser un país productor de trigo, maíz y cebada, posee una importante actividad ganadera, vacuna y ovina principalmente. Las industrias ganaderas tienen como principal producto la carne para su uso alimenticio, sin embargo un sinnúmero de otras industrias relacionadas utilizan los subproductos, por ejemplo, el cuero, los huesos y la grasa. En este sentido, la grasa vacuna, compuesta en un alto porcentaje por triglicéridos, podría ser una excelente fuente de biodiesel (Ma, et al., 1998).

En este contexto, el presente trabajo presenta los principales resultados en la búsqueda de una metodología para la obtención de biodiesel a partir de grasa vacuna de baja calidad, uno de los principales deshechos de los frigoríficos de nuestro país (Ferreira).

MATERIALES Y MÉTODOS

Materiales:

Grasa vacuna: Se utilizaron cuatro muestras diferentes, **A-D**, de productos finales del procesamiento de la obtención de grasa a partir de recortes de frigoríficos o curtiembres (AGUAL S.A., Montevideo, Uruguay). Cada grasa, **A-D**, fue clasificada según el porcentaje de acidez (en base de ácido oleico) y el pH de una solución acuosa equilibrada durante 15 minutos, a 25 °C, con la grasa en estudio.

Reactivos: para los procedimientos sintéticos, cromatográficos y espectroscópicos se utilizaron reactivos de origen comercial sin purificación posterior.

Métodos:

Preparación de biodiesel: los procedimientos estudiados se realizaron a escala de laboratorio (10,0 g de grasa vacuna por corrida). Los ensayos que



ISSN 1029-3450



implicaron calentamiento fueron realizados en un matraz de reacción con condensador de agua circulante y fueron realizados en condiciones no anhidras. En todos los casos se utilizó agitación magnética. Las técnicas de separación de biodiesel fueron llevadas a cabo en embudo de decantación.

Seguimiento del proceso: los avances de las reacciones, en las diferentes corridas, fueron analizados por cromatografía en capa fina (TLC), utilizando como fase estacionaria alúmina (placas de óxido de aluminio con indicador fluorescente sobre soporte de poliéster, SIGMA-ALDRICH) y como fase móvil una mezcla de hexano:acetato de etilo (calidad espectroscópica) en relación 9:1. Los cromatogramas se revelan por los siguientes métodos, sucesivamente: 1) exposición a la luz ultravioleta (254 nm); 2) exposición a vapores de yodo; 3) asperjado con una mezcla de etanol: ácido sulfúrico: anisaldehído (95:4:1, v/v/v) y posterior quemado. r_f GRASA = 0,7; r_f BIODIESEL = 0,8; r_f GLICEROL = 0,1.

Caracterización espectroscópica: la grasa B, y las capas superior e inferior del proceso de preparación de biodiesel, en las diferentes corridas, fueron caracterizadas por resonancia magnética nuclear de protón (^1H -RMN) y carbono 13 (^{13}C -RMN). Los espectros de ^1H -RMN y de ^{13}C -RMN se realizaron en un equipo Bruker DPX 400 (400 MHz y 100 MHz, respectivamente), utilizando CDCl_3 (calidad espectroscópica, SIGMA-ALDRICH) como disolvente y tetrametilsilano (TMS, SIGMA-ALDRICH) como estándar interno. Los espectros fueron adquiridos a 303 K. La completa caracterización se realiza con la combinación de experimentos NOE, HSQC y HMBC.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Caracterización de las grasas

Las grasas utilizadas en este estudio son grasas bovinas, obtenidas del procesamiento de desechos de frigoríficos o curtiembres. Como parámetro de clasificación se consideró el porcentaje de acidez de la muestra, el que indica la degradación química o biológica de la misma.

Cada grasa, ingresó a nuestro laboratorio con una clasificación adjudicada por la empresa (AGUAL S.A., Montevideo, Uruguay) expresada como porcentaje de acidez en base a ácido oleico. En nuestro laboratorio, se determinó el pH que brinda una solución acuosa equilibrada con las mismas como forma de confirmar el cambio fisicoquímico que las grasas pudiesen haber sufrido en el proceso de traslado y almacenamiento. Así, resultaron cuatro grupos diferentes de grasas de origen vacuno, clasificadas como **A-D (Tabla 1)**.



ISSN 1029-3450



Tabla 1.- Clasificación de las grasas vacunas utilizadas en el estudio

| Denominación interna | % acidez ^a | pH ^b | espectroscopia |
|----------------------|-----------------------|-----------------|---|
| A | 1,0 | 6-7 | - |
| B | 2,0 | 6 | ¹ H-RMN, COSY, ¹³ C-RMN |
| C | 2,5 | 4-5 | - |
| D | 3,5 | 3-4 | - |

^a Expresada en base a ácido oleico. ^b De la solución acuosa equilibrada por las grasas.

Además, se caracterizó por RMN la grasa más utilizada para los ensayos iniciales (grasa **B**). Esto permitió obtener características primarias de los ácidos grasos constituyentes del triglicérido y así poder calcular el peso molecular (PM) promedio de los sistemas en estudio (**Fig. 2**). De la caracterización espectroscópica, desplazamientos químicos, integración y acoplamiento de las señales, se pudo concluir que: 1) la grasa **B** se trataba de una mezcla equimolecular de dos triglicéridos diferentes, resultado de la esterificación de glicerol con los ácidos grasos palmítico ($-R = -(CH_2)_{14}CH_3$, **Fig. 1**) y oleico ($-R' = -(CH_2)_7CH=CH(CH_2)_7CH_3$, **Fig. 1**); 2) la proporción de ácido palmítico:ácido oleico es 1:1. Esta información permitió determinar que el PM promedio de la grasa es 846 g mol^{-1} , considerando grasa neutra. A partir del dato de PM promedio de una de las grasas se estableció la cantidad teórica de metanol necesaria para una completa transesterificación.



ISSN 1029-3450

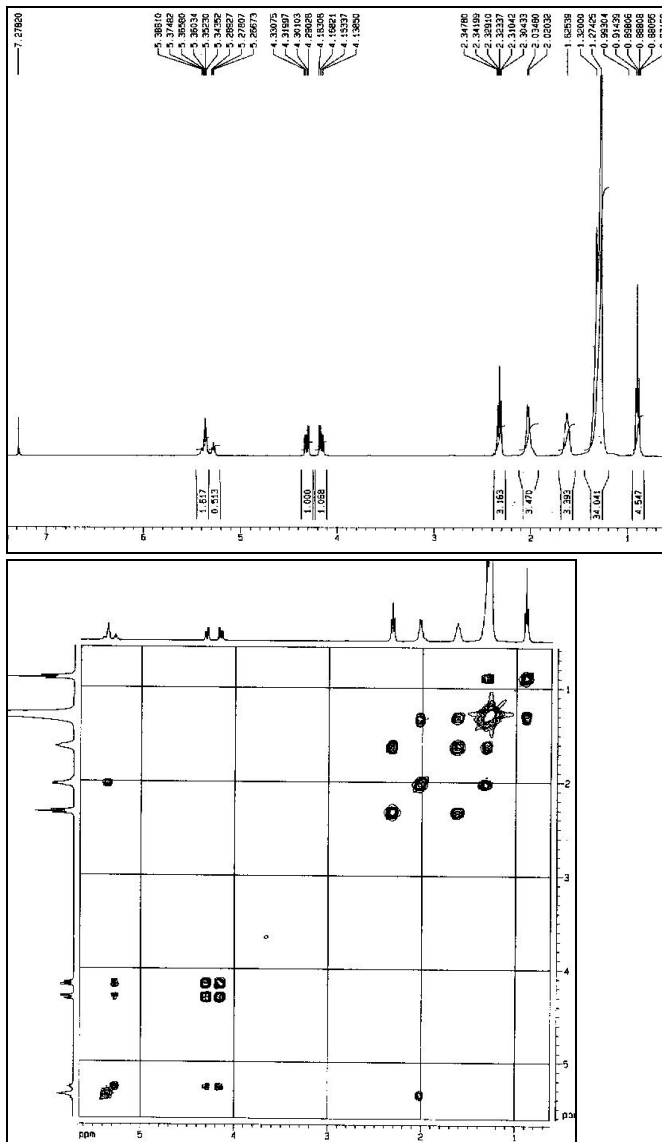


Figura 2. Izquierda: espectro de ^1H -RMN de la grasa **B**. Derecha: experimento COSY de la grasa **B**.

Ensayos de producción

Para encontrar un proceso óptimo de producción de biodiesel se estudiaron las siguientes seis variables del procedimiento:

- 1) Concentración de hidróxido potásico
- 2) Temperatura
- 3) Cantidad de metanol
- 4) Acidez de la grasa utilizada
- 5) Tiempo de reacción
- 6) Lavados del biodiesel



ISSN 1029-3450



A continuación se presentan los resultados para cada una de las variables estudiadas.

Variable 1: Concentración de hidróxido potásico

Se estudió el efecto de la concentración del hidróxido potásico manteniendo los restantes parámetros constantes, a saber temperatura de reflujo, 4,4 mL de metanol/10,0 g de grasa y tiempos de reacción de 6 horas. La cantidad de base se expresó como concentración de potasa metanólica y la misma se varió entre 0,3 % y 5,0 % (**Fig. 3**).

Claramente, para las condiciones ensayadas en este estudio se evidenció la relevancia de la calidad inicial de la grasa vacuna en el rendimiento de biodiesel. Como se observa en la **Fig. 3** existe una clara dependencia entre la acidez de las grasas y el porcentaje de biodiesel obtenido a cada concentración de potasa metanólica estudiada. Así, las grasas **C** y **D**, las de mayor acidez, 2,5 y 3,5 % de acidez respectivamente, produjeron en todos los casos los menores rendimientos de biodiesel. Mientras que las grasas **A** y **B**, de acidez 1,0 y 2,0 % respectivamente, muestran un perfil similar de rendimientos a cada concentración de potasa metanólica estudiada.

Por otro lado, la variable estudiada (concentración de base) muestra un valor de máxima producción de biodiesel para una concentración de potasa metanólica que se corresponde con un 3,0 %. Esta información confirma los antecedentes (Cardone, et al, 2002; Hu et al; 2004; Sarma et al, 2005) que indican que una mayor concentración de base compite en el proceso de transesterificación promoviendo una reacción de saponificación.

Los intentos realizados para neutralizar el ácido graso libre en las muestras **C** y **D**, por un aumento de la concentración de potasa metanólica utilizada, produjo una gran cantidad de jabón (saponificación) que dificultó el aislamiento del biodiesel generado.



ISSN 1029-3450

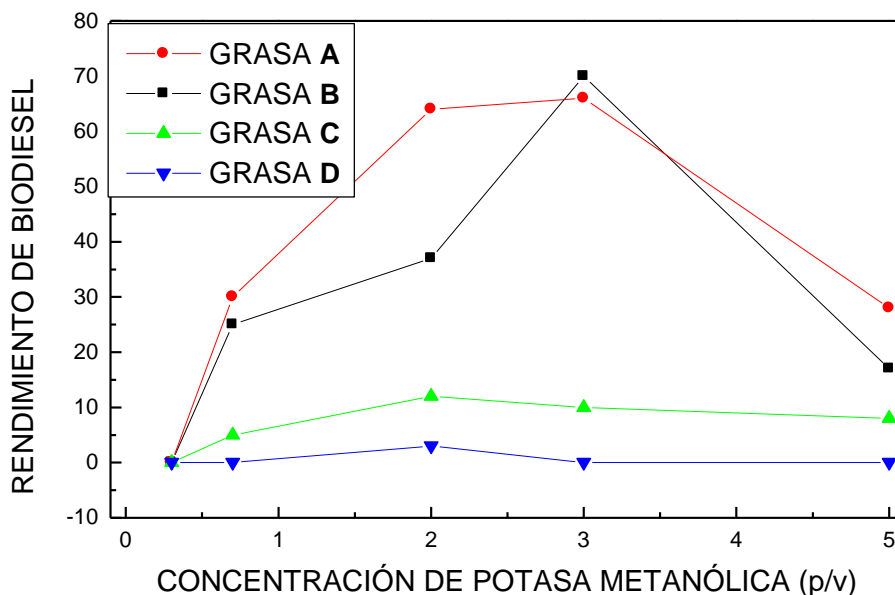


Figura 3. Rendimientos obtenidos en la producción de biodiesel en función del porcentaje de potasa metanólica utilizada y según el tipo de grasa vacuna empleada. Los rendimientos corresponden a productos aislados.

En el corrida con la grasa vacuna **B** y una concentración de potasa metanólica de 3,0 % (p/v) se analizaron las dos capas generados al final de la reacción por RMN (**Fig. 4**). La capa superior (**Fig. 4a**) estaba formada por, aproximadamente un 100 %, de biodiesel. Este biodiesel consistió en cantidades equimoleculares de palmitato de metilo y oleato de metilo. La capa inferior de la separación por decantación (**Fig. 4b**) resultó ser una mezcla de glicerol (~39 %), biodiesel (~48 %) y metanol (~13 %).



ISSN 1029-3450

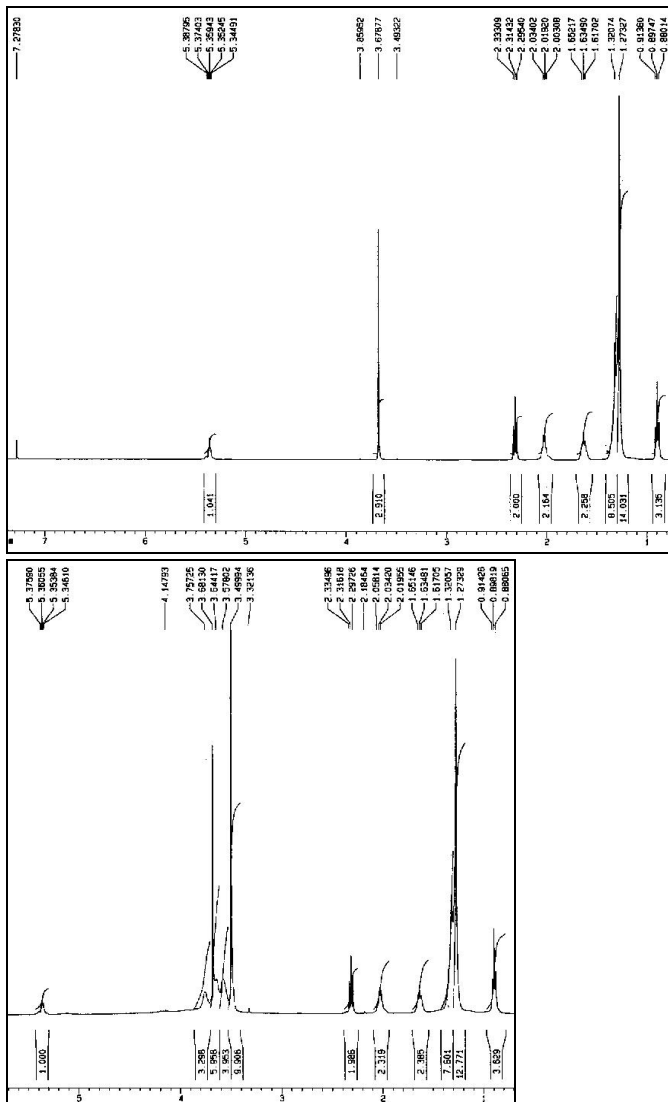


Figura 4. Izquierda: espectro de ¹H-RMN de la capa superior de la decantación del producto final de transesterificación con potasa metabólica (3,0 %, p/v) de la grasa vacuna **B**. La capa superior fue previamente lavada con solución acuosa saturada en NaCl (ver apartado “Variable 6: Lavados de biodiesel”). Se observa el espectro de una mezcla equimolecular de palmitato de metilo y oleato de metilo. Derecha: parte del espectro de ¹H-RMN de la capa inferior de la decantación post-transesterificación. Se observa la mezcla de glicerol, metanol y biodiesel.

Variable 2: Temperatura

Los diferentes estudios de esta variable fueron realizados sobre la grasa **B** (2,0 % de acidez), aquella que brindó los mejores resultados, expresados como



ISSN 1029-3450



rendimiento, en el estudio de la variable de concentración de hidróxido potásico.

En este estudio se mantuvieron las condiciones de volumen de metanol (4,4 mL de metanol/10,0 g de grasa, 3 veces lo necesario por estequiometría) y de tiempo (6 horas de reacción), empleando 3,0 % (p/v) de potasa metanólica.

Los resultados obtenidos se esquematizan en la **Fig. 5**. Se aprecia que el uso de temperatura de reflujo generó el mejor rendimiento para la generación de biodiesel a partir de la grasa utilizada. A temperatura ambiente no es apreciable la generación de biodiesel, incluso durante periodos de reacción más prolongados (hasta 12 horas).

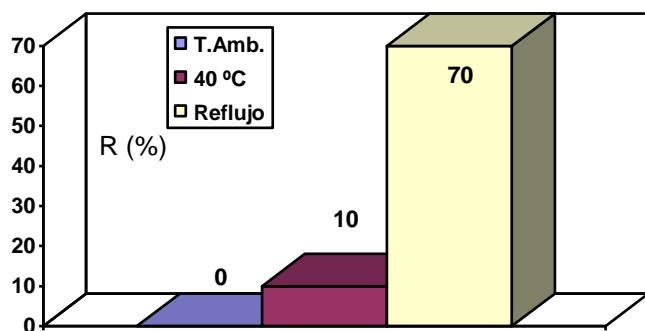


Figura 5. Rendimiento de producción de biodiesel en diferentes condiciones de temperatura.

Variable 3: Cantidad de metanol

En este estudio se utilizó las grasas de menor acidez, **A** y **B**, 1,0 y 2,0 % respectivamente, que presentaron los mejores rendimientos en la evaluación de potasa metanólica al 3,0 % y se eligió condiciones de reflujo y tiempo de reacción de 6 horas.

Las cantidades de metanol estudiadas fueron de 2,2 mL y 4,4 mL/10,0 g de grasa vacuna (**Fig. 6**). En términos estequiométricos se trabajó con una relación metanol/grasa de 1,5 y 3,0, respectivamente. La cantidad de metanol resultó una limitante importante en la producción de biodiesel, aumentando la producción del mismo en forma directa con la cantidad del mismo. Un exceso de metanol mayor a 3,0 veces la cantidad estequiométrica conduce a un detrimento en el rendimiento (datos no mostrados).



ISSN 1029-3450



Para la grasa **C** se estudió además un volumen intermedio de metanol, 3,3 mL/10,0 g de grasa vacuna (en **Fig. 6** representado con (*)), pero por un tiempo de reacción de 9 horas. En estas condiciones el rendimiento de biodiesel fue, de todas formas, menor que para 4,4 mL de metanol.

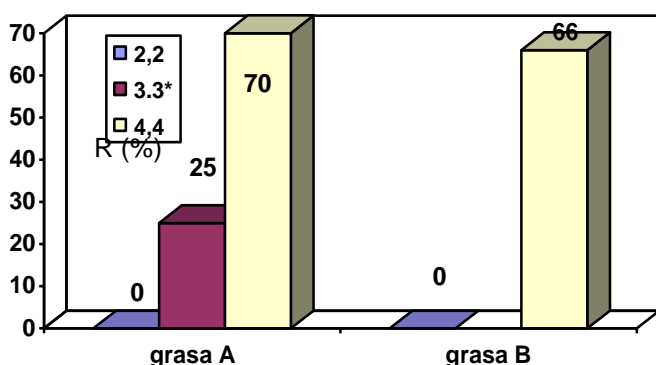


Figura 6. Rendimiento en la producción de biodiesel en función de la cantidad de metanol utilizado para dos tipos de grasas, **A** con acidez 1,0 % y **B** con acidez 2,0 %.

Variable 4: Acidez de la grasa utilizada

En base a los parámetros optimizados, mostrados en los apartados anteriores, se determinó el rendimiento de biodiesel según la acidez de cada tipo de grasa. Las condiciones empleadas fueron: temperatura de reflujo, 4,4 mL de metanol/10,0 g de grasa, 6 horas de reacción y 3% de potasa metanólica.

Para el caso de las grasas con alto porcentaje de acidez (2,5 y 3,5 %) se formó, en las condiciones básicas estudiadas, una gran cantidad del jabón asociada a la síntesis de biodiesel. Este jabón entorpece en forma importante la separación del biodiesel, en la etapa de decantación, hecho que disminuye drásticamente el rendimiento (**Fig. 7**).



ISSN 1029-3450

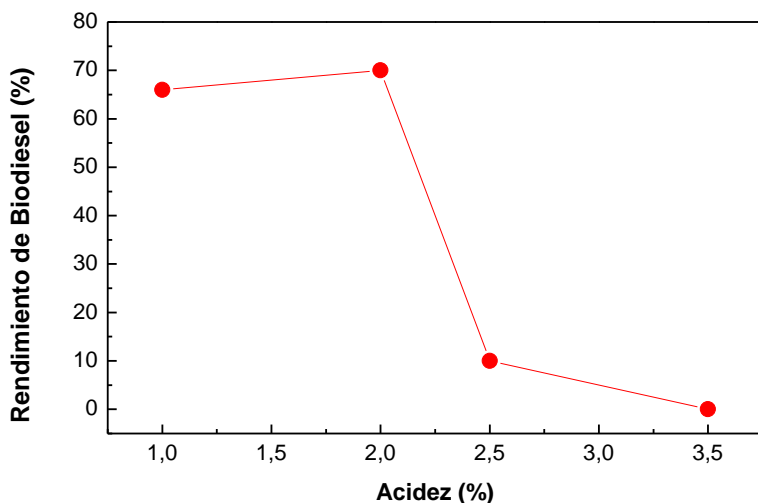


Figura 7. Rendimiento de la obtención de biodiesel vs la acidez de la grasa utilizada.

Variable 5: Tiempo de reacción

Las grasas **A** y **B** fueron estudiadas en el proceso de metanólisis durante distintos tiempos de reacción, manteniendo las demás variables según: temperatura de reflujo, potasa metanólica al 3,0 % y 4,4 mL de metanol.

Se apreció que a tiempos superiores a las 3 horas de reacción los rendimientos no crecen sustancialmente, siendo similares e independientemente del tipo de grasa de baja acidez utilizada (**Fig. 8**).

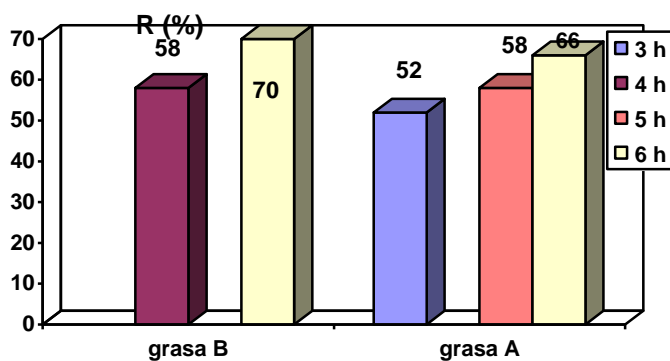


Figura 8. Rendimiento de obtención de biodiesel en función de las horas de procesamiento para las grasas tipo **A** y **B**.



ISSN 1029-3450



Variable 6: Lavados del biodiesel

En la etapa de decantación de las dos fases inmiscibles de reacción se ensayó lavar la fase superior con soluciones acuosas, como forma de retirar el exceso de base presente en la mezcla de ésteres metílicos (biodiesel). Por otro lado, en la generación del biodiesel se obtienen como subproductos glicerina y jabones, según la acidez de la grasa. Estos productos emulsionan la mezcla a decantar por lo que fue necesario lavar con soluciones acuosas saturadas en sales inorgánicas.

Así, se ensayó lavados con solución acuosa saturada en NaCl y solución acuosa saturada en Na₂SO₄. Ambas condiciones de lavado, produjeron idénticos rendimientos y calidades del biodiesel.

Obtención del biodiesel en medio ácido

Dado que los procesos de transesterificación también han sido descritos en medio ácido (Carey y Sundberg, 1983) y considerando que esta condición podría mejorar los rendimientos de obtención de biodiesel en las grasas con mayor porcentaje de acidez, se ensayó esta metodología para las grasas **C** (2,5 % de acidez) y la grasa **B** (2,0 % de acidez).

Así, se trabajó con H₂SO₄ (c) como catalizador de la transesterificación. El biodiesel que se obtuvo en estas condiciones presenta las mismas propiedades espectroscópicas y cromatográficas que el biodiesel obtenido en condiciones básicas (datos no mostrados), sin embargo para la grasa más ácida, **C**, el rendimiento obtenido es menor que en cualquiera de las condiciones básicas, aún a tiempos de procesamiento mayores (**Tabla 2**). Por otro lado, la transesterificación de la grasa **B** en medio ácido produjo un rendimiento moderado de biodiesel pero con un tiempo de reacción ampliamente superior al tiempo óptimo en condiciones básicas.

Tabla 2. Obtención de biodiesel en condiciones básicas y ácidas

| Grasa | Agente transesterificante | Tiempo, temperatura | R (%) |
|--------------|----------------------------------|----------------------------|--------------|
| C | MeOH (5,5 mL), KOH (3.0 %) | 13 h, reflujo | 10 |
| | MeOH (4,4 mL), KOH (5.0 %) | 8 h, reflujo | 8 |



ISSN 1029-3450



| | | | |
|----------|---|---------------|----|
| | MeOH (2,2 mL), H ₂ SO ₄ (c) (3 gotas) | 14 h, reflujo | 5 |
| B | MeOH (2,3 mL), H ₂ SO ₄ (c) (3 gotas) | 10 h, reflujo | 20 |

Orden inverso de agregado

Se ensayó incorporar la grasa fundida, en pequeñas porciones, a la potasa metanólica a ebullición. Sin embargo, este procedimiento resultó poco práctico ya que sobre un volumen de 4.4. mL de solución metanólica se debió ir incorporando una grasa fundida que debe ser mantenida a más de 40 °C. Por otro lado, para aplicar este procedimiento en un proceso de planta industrial se debe contar con un segundo recinto pre-calentado que contenga la grasa en forma fundida.

Mientras que cuando se incorporó la grasa en forma sólida, la agitación del matraz de reacción se tornó muy poco eficiente hasta el momento en que se funde la grasa.

En cuanto a los rendimientos de biodiesel en este estudio fueron del mismo orden que en los demás procesos estudiados.

Características cualitativas de la utilización de biodiesel de origen bovino en vehículos

El biodiesel obtenido bajo la metodología optimizada fue probado al 20 % con diesel de petróleo (B20) y puro, durante una semana, en un camión de carga (Mercedes 1612, Turbo Diesel, Intercooler, con motor de 210 HP y 6 cilindros).

Bajo estas consideraciones se apreciaron las siguientes observaciones cualitativas frente a su utilización continua:

- punto de cristalización relativamente elevado cercano a los 10°C, lo cual derivó en solidificación en tanque de combustible y en filtros de combustible o ambos, dificultando el arranque en frío.
- buen mezclado con el diesel de petróleo a temperaturas superiores a los 20 °C.
- no se percibieron pérdidas de rendimiento apreciables en el funcionamiento habitual del vehículo.

CONCLUSIONES

Las características ácidas de las grasas vacunas resultó determinante en el rendimiento de la síntesis de biodiesel en medio básico. Grasas con



ISSN 1029-3450



porcentajes de acidez $\leq 2,0$ (expresado en ácido oleico) brindaron muy buenos rendimientos de biodiesel en las mejores condiciones de trabajo. Las mejores condiciones de trabajo para este tipo de grasas vacunas fueron:

| Reactivo | GRASA ^a | | METANOL | | HIDRÓXIDO POTÁSICO | |
|-------------------|--------------------|-----------|---------|-----------|--------------------|-----------|
| Cantidades | 10,0 g | 0,011 mol | 4,4 mL | 0,108 mol | 0,13 g | 0,002 mol |

^a De acidez menor al 2%.

Tiempo de calentamiento: 6 horas

Temperatura: temperatura de ebullición de la mezcla

Sistema de condensación: refrigeración de agua para mantener la masa constante del sistema

Características del agua residual: aguas de lavado básicas (con resto de hidróxido potásico)

Residual de metanol y biodiesel en la glicerina: 13 % de metanol y 48 % de biodiesel

Según las normativas (Normas USA y Europeas) este tipo de biodiesel no sería conveniente para su utilización directa en vehículos de combustión. Sin embargo, es posible su mezclado con otros tipos de diesel o biodiesel (Pesquisa Fapesp) para mejorar sus características físicas, de forma de cumplir con los requerimientos normativos de uso vehicular. Por otro lado, no se recomendaría su utilización en climas fríos por su alto punto de solidificación.

BIBLIOGRAFÍA

- 1) Haas, J. M.; Scott, K. M.; McCormick, R. L. Engine performance of biodiesel fuel prepared from soybean soapstock: A high quality renewable fuel produced from a waste feedstock. *Energy Fuels*. 2001 15: p.1207-1212.
- 2) Hu, J.B.; Du, Z.X.; Tang, Z.; Min, E.Z. Study on the solvent power of a New Green Solvent: Biodiesel, *Ind. Eng. Chem. Res.* 2004. 43: p. 7928-7931.
- 3) Holanda, A. Biodiesel e Inclusao Social, *Coordenacao de Publicacoes: Brasilia, Brazil*, 2004. p 13.
- 4) Bradshaw, G.B.; Meuly, W.C. U.S. Pat. 2,271,619. 1942.
- 5) Bradshaw, G.B: Soap Sanit. *Chem.* 18: 23-24, 69-70, 1942.
- 6) Bailey, A.E. *Industrial Oil and Fat Products*, Interscience Pub. Inc., New York, 1945. p 677-679.



ISSN 1029-3450

Revista Avanzada Científica

CIGET - MATANZAS
IDICT
INFORMACIÓN Y GESTIÓN TECNOLÓGICA



- 7) Cardone, M.; Prati, M.V.; Rocco, V.; Seggiani, M.; Senatore, A.; Vitolo, S. Brassica carinata as an Alternative Oil Crop for the Production of Biodiesel in Italy: Engine Performance and Regulated and Unregulated Exhaust Emissions, Environ. Sci. Technol.2002. 36: p.4656-4662.
- 8) Sarma, A.K.; Konwer, D.; Bordoloi, P.K. A Comprehensive analysis of Fuel Properties of BioDiesel from Koroch Seed Oil, Energy Fuels 2005.19:p. 656-657.
- 9) Ma, F.; Clements, L. D.; Hanna, M. A. Biodiesel fuel from animal fat. Ancillary studies on transesterification of beef tallow. Ind. Eng. Chem. Res.1998. 37: p.3768-3771.
- 10)Ferreira Carcano, J.A. Una solución económica alternativa, una solución energética sustitutiva, la solución ecológica definitiva, en la industria frigorífica. VET-UY. Disponible en: http://www.vet-uy.com/articulos/artic_prod/030/prod030.htm.
- 11)Carey, F.A.; Sundberg, R.J. Advanced Organic Chemistry. Part B: Reactions and Synthesis., Plenum Press, New York, 1983. p 126.
- 12)Normas USA: - ASTM Designation: PS 121 – 99. Provisional Spec. for biodiesel. - ASTM Designation: D 6584 - 00. Determination of free and total glycerine.
- 13)Normas Europeas: - Normas Austríacas para el Biodiesel –EO Norm C1191 o como EN 14214. - Normas Alemanas para el Biodiesel - DIN V 51606. - European Standard ICS 75.160.20. - UNI 10946 y 47.
- 14)Pesquisa Fapesp, No 94, Proyecto: Bio Diesel Brasil. 2003, p. 66

Fecha de recepción: 03/09/2008

Fecha de aprobado: 14/09/2008