

# Evaluación de los aceites vegetales como combustible diesel

Evaluation of vegetable oils as diesel fuel

TADASHI MURAYAMA<sup>1</sup>

## RESUMEN

Durante los últimos años, las preocupaciones en torno al medio ambiente han suscitado mejoras en los escapes de emisiones de gas producidos por los motores de combustión interna, y, en particular, por los motores diesel. Se han hecho mejoras no sólo en el motor sino también en los combustibles. Este artículo se concentra en los combustibles limpios renovables biológicamente derivados. Además, proporciona una perspectiva sobre la importancia del uso de algunos aceites vegetales como combustibles, las investigaciones actuales, a nivel mundial, sobre la posibilidad de utilizar aceite vegetales usados y sus ésteres, y la utilización de aceites vegetales que no pueden someterse a la transesterificación, así como el potencial que ofrecen los motores al utilizar estos combustibles. Finalmente concluye que la utilización del combustible *renovalbe* contribuirá a reducir el efecto de invernadero y será una forma de resolver los problemas ambientales.

Palabras claves: Aceites vegetales, Combustibles, Medio ambiente, Ecología.

## SUMMARY

In recent years, environmental concerns have brought about improvements in terms of the gas emissions caused by internal combustion engines and particularly by diesel engines. Improvements have been made not only on the engine itself but also on the fuel. This article focuses on clean biologically derived renewable fuels. Furthermore, it gives an outlook on several aspects, such as the importance of using some vegetable oils as fuels; current research at a global level; and the possibility of using used vegetable oils and their esters; the use of vegetable oils that cannot be transesterified; and the potential of the engines when these fuels are used. Finally, the article concludes that the use of renewable fuels will contribute to the reduction of the greenhouse effect and will help solve some environmental problems.

\*, Tomado de: Inform (Estados Unidos) v.5 no. 10. p.1138-1145. 1994.

1. Profesor. Escuela de Ingeniería. Hokkaido University. Sapporo 060, Japón.

La primera utilización del aceite vegetal en motores de combustión interna se remonta a 1900, cuando Rudolf Diesel (1858-1913) realizó experimentos con aceite de maní, y Nagao et al. (1948) lograron hacer funcionar un motor con aceite de pino. Desde entonces, es mucha la investigación adicional que se ha realizado.

Las dos conmociones causadas por los precios del petróleo (1973, 1979) despertaron el interés mundial en el desarrollo de fuentes de energía para sustituir el uso de petróleo en los motores de combustión interna, calderas y otras cámaras de combustión. Son de conocimiento general los esfuerzos realizados en relación con los recursos renovables, como el uso del etanol en Brasil (Hamata 1981) y del aceite de girasol en África del Sur (Hawkins et al. 1981) que se implementaron hace algunos años.

Más recientemente se ha evaluado en Europa el uso del aceite de colza como combustible automotor (Novamont s.f.). Este artículo proporcionará una perspectiva sobre la importancia del uso de algunos aceites vegetales como combustible, las investigaciones actuales a nivel mundial sobre la posibilidad de utilizar aceites vegetales usados y sus ésteres y la utilización de aceites vegetales que no pueden someterse a la

Tabla 1. Producción de aceite de plantas oleaginosas típicas.

|            |       |
|------------|-------|
| Soya       | 374   |
| Cártamo    | 653   |
| Girasol    | 801   |
| Maní       | 887   |
| Colza      | 999   |
| Higuerilla | 1.188 |
| Babassv    | 1.541 |
| Coco       | 2.260 |
| Palma      | 7.061 |

transesterificación así, como el potencial que ofrecen los motores al utilizar estos combustibles.

### BIOCOMBUSTIBLES, PRODUCCION DE ACEITE VEGETAL

Actualmente, la producción mundial anual de aceite vegetal es de cerca de 77 millones de toneladas, con 14,3 millones de toneladas de aceite de soya, 10 millones de toneladas de aceite de palma y 7,7 millones de toneladas de aceite de colza y de girasol. La Tabla 1 muestra los volúmenes totales anuales y el rendimiento en kilogramos por hectárea (kg/ha) (Elsbett-Konstrukiton 1993). Como lo indica la tabla, el aceite de palma es el de mayor productividad.

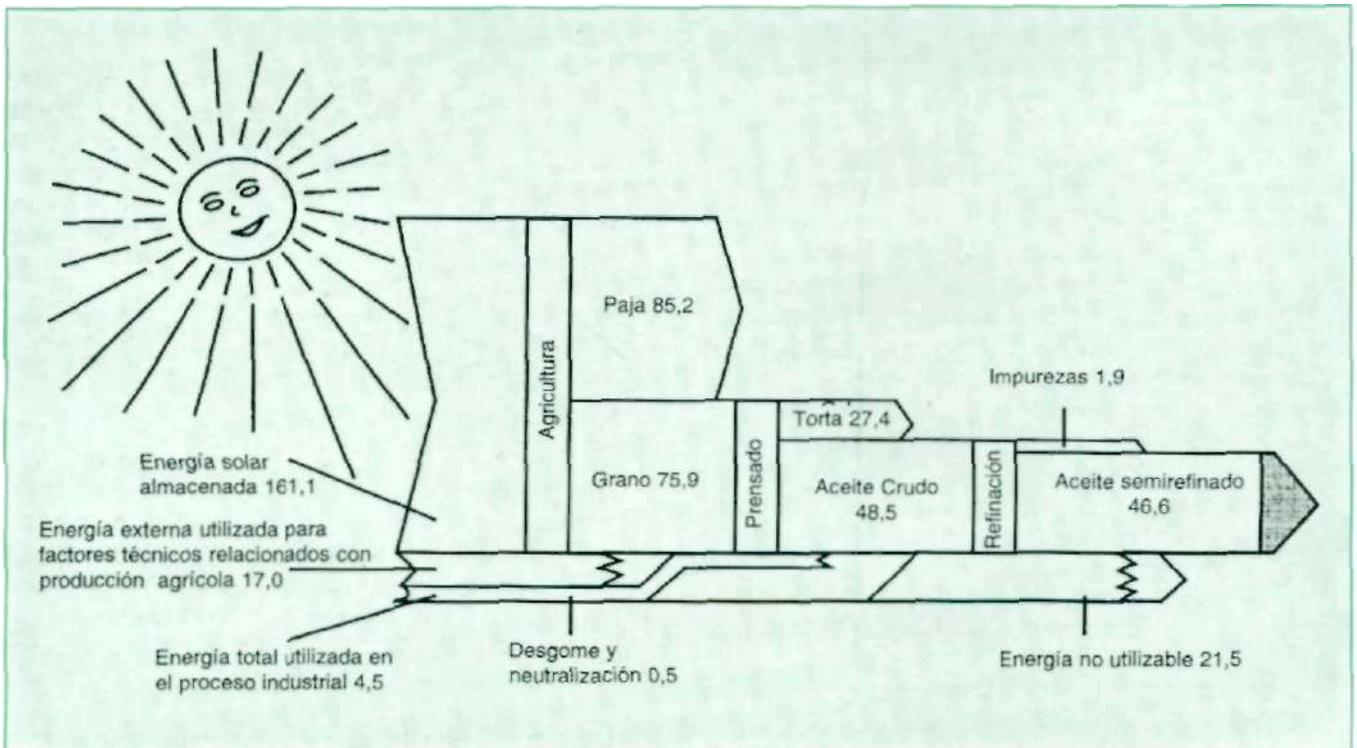


Figura 1. Gráfica del flujo de energía para la producción de aceite vegetal [unidades en GJ/ha (gigajulios por hectárea)] (Fuente: Elsbett-Konstruktion 1993).

Al evaluar las fuentes de energía derivadas de la biomasa es posible considerar las emisiones de CO<sub>2</sub> como cero, cuando se considera a la totalidad de la producción y el ciclo de consumo. Sin embargo, con el aceite de palma se presenta un aumento inicial en CO<sub>2</sub> debido a la tala de los bosques tropicales para obtener superficies para los cultivos. Para compensar este aumento inicial con reducciones en las emisiones de CO<sub>2</sub> mediante el uso de ésteres de aceite vegetal como combustible diesel, el período de tiempo necesario para el aceite de palma es de cerca de 56 años y aproximadamente 47 cuando se utiliza aceite proveniente sólo de las semillas de palma. Estos son períodos largos de tiempo pero indican que sí se puede lograr un equilibrio global en los volúmenes liberados de CO<sub>2</sub> (NEDO 1994).

La Figura 1 ilustra los insumos y la producción de energía con la producción de aceite vegetal. Aquí, el 46,6% de insumos de energía-energía solar y la energía necesaria para hacer funcionar la maquinaria agrícola-son utilizados para producir los aceites vegetales, 21,7 veces el consumo de energía fósil, indicando claramente que los combustibles fabricados biológicamente toman prestado el poder de la naturaleza para fabricar la energía (Elsbett-Konstruktio 1993).

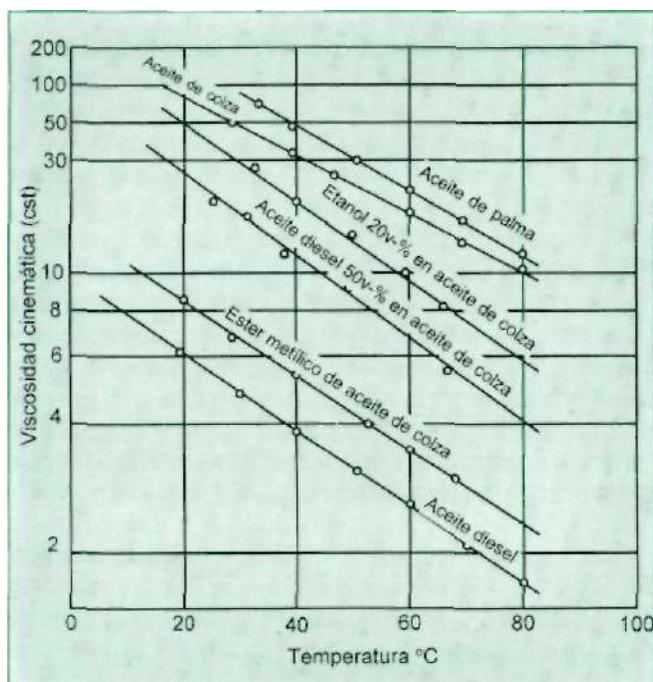


Figura 2. Relación entre la viscosidad cinemática y la temperatura del combustible para diferentes combustibles (Fuente: Murayama et al. s.f.).

## FABRICACION DE ESTERES BIOLÓGICAMENTE DERIVADOS

En términos generales, cuando se utilizan aceites vegetales como combustible para motores diesel se presenta una disminución en humo y partículas. La eficiencia térmica también es ligeramente mejor que cuando se utiliza aceite diesel, pero con bajas cargas y a bajas revoluciones durante la marcha en vacío, las deficientes características de aspersión de los combustibles de aceite vegetal, debido a su alta viscosidad, conducen al depósito de carbono y a la pega de los anillos. Cuando se utilicen aceites vegetales como combustible para calderas, existe también la necesidad de aplicar métodos para reducir la viscosidad a los niveles del combustible diesel (Ryan et al. 1984).

Al utilizar aceites vegetales en la operación de motores diesel de aspiración natural y común, es necesario reducir la viscosidad de la siguiente manera: a) transesterificación, b) mezcla, o c) calentamiento del combustible. Sin embargo, como se detallará posteriormente, es posible utilizar aceites vegetales como combustible diesel en motores cuyos diseños lo acepten, como es el caso de los motores alemanes Elco. No obstante, incluso con estos motores, es necesario calentar el aceite de palma a 60-70°C para garantizar las características adecuadas de flujo.

La Figura 2 es una gráfica de cómo la temperatura cambia la viscosidad de los aceites diesel, de colza y de palma. Ella muestra que la viscosidad de los aceites vegetales es alta, 11 a 13 veces los valores del aceite diesel, lo que indica que sería difícil obtener buenas características de aspersión con el equipo de inyección utilizado comúnmente. El calentamiento de casi 100°C produce una viscosidad cercana a la del aceite diesel, lo que muestra la posibilidad de reducir la viscosidad mediante mezcla y transesterificación (Murayama et al. s.f.).

Aún será necesario realizar mejoras u otras adiciones a las calderas o motores que se encuentren actualmente en funcionamiento cuando se considere la utilización de combustibles de biomasa. Esto puede tomar la forma de transesterificación del aceite vegetal, utilizándolo en esa forma, solo o en mezcla con aceite diesel. En la actualidad, la mayoría de los experimentos realizados en todo el mundo con combustibles de biomasa incluyen ésteres metílicos.

Un ejemplo de esto está en Europa, donde existen planes para utilizar 220.000 toneladas de aceite vegetal

Tabla 2. Tecnologías disponibles para la producción de biodiesel (Fuente: COMPRIMO s.f.).

| Compañía                                     | Condiciones de reacción |                  |                   |                   |
|--|-------------------------|------------------|-------------------|-------------------|
|  | Presión (atm)           | Temperatura (°C) | Catalizador       | Modo de Operación |
| Transesterificación                          | 1                       | Ambiente         | KOH               | Lote              |
| Comprimo/Vogel and Noot                      | 1                       | Ambiente         | KOH               | Lote              |
| Universidad de Idaho                         | 1                       | > Ambiente       | Orgánico          | Lote              |
| Novamont/Technimont                          | 1                       | 60-70            | NaOH              | Continuo          |
| Conneman/Feld and Hahn                       | 1                       | 60-70            | Alcalino          | Continuo          |
| Lurgi  | 1                       | 50-130           | Alcalino/ácido    | Lote              |
| IFP/sofiproteal                              | 1                       | 95               | ?                 | Continuo          |
| Gratech                                      | 3.5                     | 200              | No alcalino       | Continuo          |
| Desmet                                       | 50                      |                  |                   |                   |
| Otros: Oleofina,<br>Procter & Gamble, ME KFT |                         |                  |                   |                   |
| Hydrogenación                                |                         |                  |                   |                   |
| Cammit/Arbokem                               | 40-100                  | 360-380          | Cobalto/molibdeno | Continuo          |

(especialmente aceite de colza), todo en forma de ésteres metílicos. Los principales consumidores europeos de aceite vegetal como combustible son: Italia (125.000t), Francia (50.000 t) y Alemania (5.000t). En Italia todo el uso es para el funcionamiento de aire acondicionado, mientras que en Francia del 5 al 30% se utiliza en motores diesel (Coprino s.f.).

Los 1,5 millones de hectáreas que actualmente se usan en Francia para el cultivo de alimentos, saldrán de la producción en el futuro cercano, siempre y cuando se implementen las políticas de la Unión Europea. Se presentará la necesidad urgente de establecer mercados para el exceso de producción de las granjas en estas áreas. Aquí, un millón de hectáreas que produzcan aceite vegetal, cuando se conviertan en ésteres metílicos, podrían suplir el 5% de las necesidades de gasolina y combustible diesel del país. En la actualidad, ELF, TOTAL y otras compañías petroleras venden combustible diesel mezclado con 5% de ésteres metílicos a través de su subsidiaria SS y, en cerca de 30 ciudades grandes se utilizan mezclas entre 5-100% de aceite diesel, de manera experimental, en buses y camiones. Se espera que la demanda de combustibles de biomasa se triplique

Tabla 3. Comparación de las características combustibles del biodiesel y del aceite diesel (Fuente -COMPRIMO s.f.).

|                                    | Biodiesel | Diesel Mineral |
|------------------------------------|-----------|----------------|
| Densidad (a 20°C)(kf/1)            | 0,876     | 0,821          |
| Viscosidad (a 20°C)(mm/s)          | 7,19      | 4,01           |
| Clasificación de cetano (-)        | 54        | 52             |
| Energía neta de combustión (MJ/kg) | 37,02     | 43,47          |
| CFPP (°C)                          | -8        | -15            |
| Contenido de Azufre (m%)           | <0,02     | 0,26           |
| Punto de Iluminación (°C)          | 100       | 60             |

en Francia en 1995, aumentando con mayor rapidez que en otros países debido a la intervención activa del gobierno como una parte de las políticas agrícolas francesas (Hawkins et al. s.f.; Comprimo s.f.).

En Italia, desde fines de 1991, 19 ciudades italianas han utilizado motores Iveco en 72 buses, en una prueba de campo que cubre 520.000 km de operación, registrando una producción de energía y costos de combustible similares a los del aceite diesel, y grandes reducciones en emisiones de gas (Hawkins et al. s.f.).

En los Estados Unidos, bajo los auspicios de la United Soybean Board, existen planes para esterificar el aceite de soya y utilizarlo como el combustible "Soy-diesel", en mezcla con aceite diesel en una relación de 20:80 o 30:70. En la actualidad, Procter & Gamble Co. producen el diesel a base de soya e Interchem Environmental Co., de Overland Park en Kansas, lo comercializa. De 1992 a 1993, 400 ciudades norteamericanas operaron 1.200 buses (algunos camiones con remolque y camionetas) en pruebas de operación que cubrían un total de más de 3 millones de millas de esta manera. Así como en Europa con el aceite de colza, se presentaron reducciones en la producción de humo, hidrocarburos no quemados y materia en partículas, y fueron pocas las dificultades con la dilución de los aceites lubricantes (Reed et al. 1991).

La Figura 3. tomada de IFP (1993), muestra la reacción del aceite vegetal al éster metílico y la Tabla 2, tomada de Comprimo Co. (s.f.), presenta detalles de las plantas de transesterificación que producen ésteres con una pureza del 93 al 99%. El proceso es relativamente sencillo; la presión de reacción en casi todas las pruebas es la presión ambiental y las temperaturas de reacción

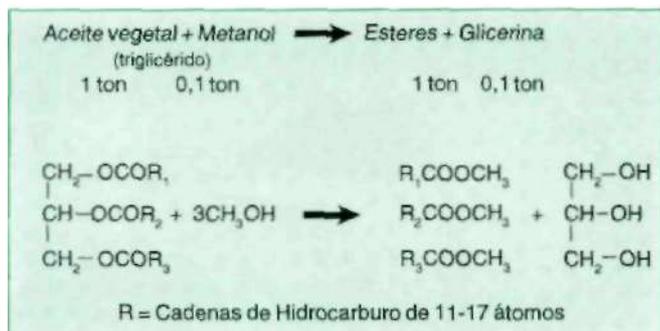


Figura 3. Esterificación IFP utilizando reacciones esterifip (Fuente: IFP 1993).

varían entre la temperatura ambiente y los 200°C. El tiempo de reacción es de unas pocas horas, y se han desarrollado plantas de operación tanto continuas como de lotes.

La Tabla 3 da los detalles del aceite de colza esterificado (biodiesel) y del aceite diesel común para automóviles (Aceite Diesel Mineral) (Comprimo Co. s.f.). Como lo indican las cifras, el biodiesel es un combustible atractivo, la viscosidad es algo mayor, el valor de calentamiento es 15% menor, el valor correspondiente al cetano es muy similar y el punto de señal luminosa es mayor, pero el biodiesel no emite azufre, compuestos poliaromáticos u otros compuestos nocivos de los escapes, tales como hidrocarburos carcinógenos. El bajo valor de calentamiento se debe principalmente al contenido de 10-11% de oxígeno y se piensa que este oxígeno contribuye a las bajas emisiones de humo.

## RENDIMIENTO DEL MOTOR

Existen numerosos informes sobre experimentos del comportamiento de motores con ésteres metílicos de aceites vegetales. Los resultados disponibles incluyen experimentos con operación en modalidad transiente o transitoria inducida por un dinamómetro y el comportamiento con motores de un solo cilindro (Pryde 1983; Oil Word 1992). Los tipos de motores que se han sometido a prueba incluyen motoes con inyección directa, motores con cámara de precombustión y motores de dos tiempos. Las condiciones de operación que se han investigado incluyen casos donde los aceites diesel y vegetal se comparan durante los tiempos óptimos de inyección para cada combustible, pero la mayoría de los informes han utilizado motores adecuados para uso de combustible diesel (o pesado) y han comparado la operación de estos combustibles con el comportamiento cuando se operan con ésteres de aceite vegetal.

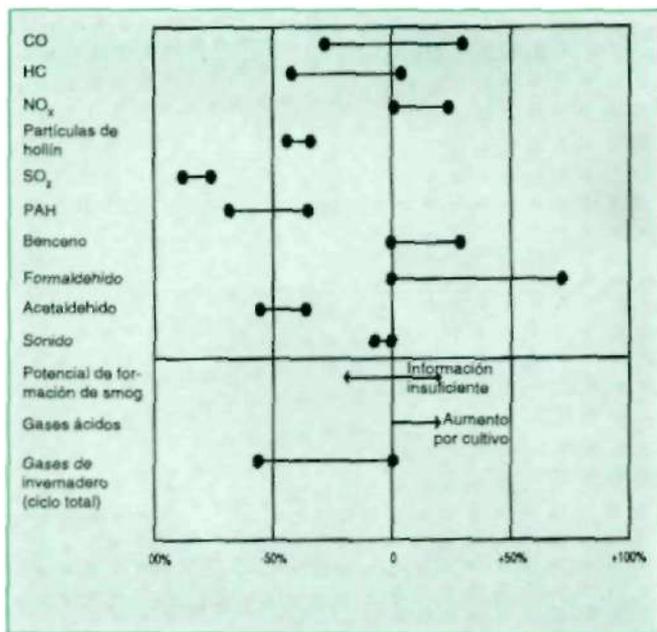


Figura 4. Cambios proporcionales en las emisiones, en g/km (Fuente: COMPRIMO s.f.).

Como resultado, la simple comparación entre comportamientos no es necesariamente significativa, pero, en términos generales, la comparación entre las emisiones de escapes del combustible diesel y del biodiesel aparece en la Figura 4 (Comprimo Co. s.f.). Los parámetros que mejoran con el biodiesel incluyen el humo, PAH (hidrocarburos poliaromáticos), hidrocarburos no quemados, bióxido de sulfuro (SO<sub>2</sub>), acetaldehído y, en muchos casos, el ruido disminuye con el biodiesel. Existen informes tanto de aumentos como de disminución en CO. La mayoría informa sobre aumentos en NO<sub>x</sub>. El formaldehído se convierte en un problema, en particular durante la ignición en frío y durante la marcha en vacío. La Figura también ilustra un aumento en benceno, probablemente formado por compuestos no saturados generados durante la descomposición térmica que es, obviamente, indeseada. El efecto causado sobre el ambiente global es un leve aumento en la lluvia ácida, debido a los cultivos involucrados, pero, en general, posiblemente resultará en una disminución en CO<sub>2</sub>. Con mucha frecuencia el consumo de calor disminuye.

En Italia, la mayoría de los combustibles biológicamente derivados se utilizan para el calentamiento o refrigeración de espacios, y la Figura 5 (Novamont Co. s.f.) presenta un ejemplo de emisiones en dicho caso. Aquí, el CO, el NO<sub>x</sub> y la PM (materia en partículas) están todos por debajo del aceite diesel, especialmente la PM que está reducida prácticamente a cero. El costo de calentamiento por caloría aumenta levemente, mientras

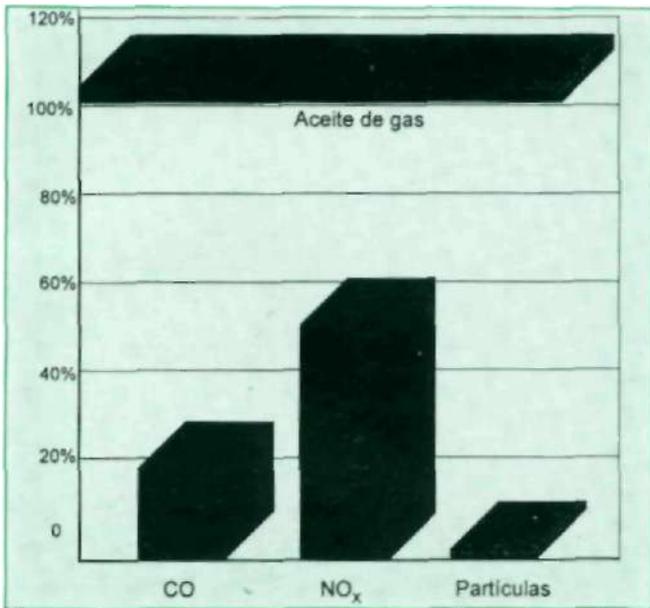


Figura 5. Emisiones producidas por sistemas de calentamiento con aceite vegetal y aceite de gas (Fuente: Novamont s.f.).

que la ausencia de compuestos poliaromáticos en las emisiones resulta en la reducción de agentes cancerígenos, y la ausencia de azufre reduce la corrosión y por lo tanto prolonga la vida útil del catalizador de oxidación.

## COSTO DE LOS BIOCOMBUSTIBLES

La Figura 6 indica los cambios en el precio para los principales aceites vegetales y grasas (Oil World 1992). Los precios fluctúan considerablemente y, en promedio, el orden de los precios disminuye desde el aceite de soya, pasando por el aceite de colza, a los aceites de palma.

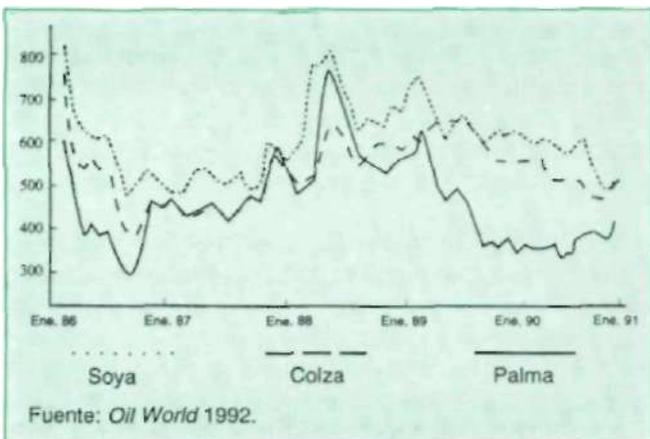


Figura 6. Tendencia de los precios para los bioaceites típicos.

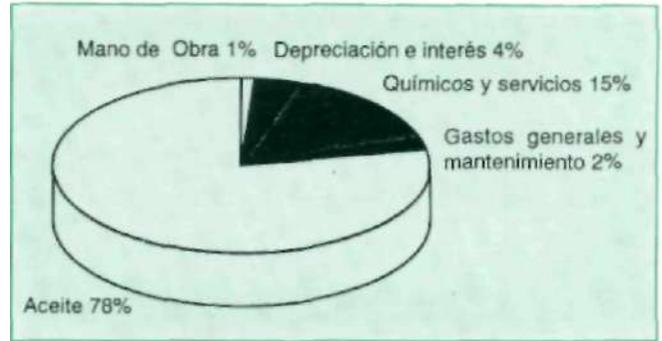


Figura 7. Costos de producción de Biodiesel (Fuente COMPRIMO s.f.).

La Figura 7 presenta una discriminación del costo para los aceites esterificados con un costo total de US \$525 por tonelada (46 centavos por litro). Estas cifras no consideran el coproducto glicerina y, dependiendo del valor agregado de ésta, el precio del éster puede cambiar en gran medida. La figura indica que el 78% del costo es para el aceite vegetal crudo, más alto que para el aceite diesel. Con base en el contenido calorífico por hectárea para el aceite de palma, el combustible de mayor rendimiento, esto es 2,7 veces (Rotterdam, diciembre 1992), indicando que sin incentivos los combustibles basados en ésteres no podrán competir con el aceite diesel. Comprimo Co. (s.f.) estimó que al eliminar el impuesto actual de 85% al aceite diesel, ambos precios serían comparables, como aparece en la Figura 8. En la actualidad, Francia ya sancionó leyes para ajustar la tributación, y la Comunidad Europea está considerando la introducción de regulaciones independientes para combustibles que incluyan aceites vegetales.

## ACEITES CRUDOS COMO COMBUSTIBLES PARA MOTOR

(NEDO 1994; Vernatsu 1987)

Como se detalló antes, los combustibles derivados de aceites vegetales utilizados en motores o calderas, generalmente tienen la viscosidad reducida mediante la esterificación. Sin embargo, los aceites vegetales también se pueden utilizar sin tratamiento cuando el motor se diseña específicamente para este tipo de combustible. Ejemplo de esto son los motores Nippon K.K. del tipo multicomcombustible 6m 23F del Japón y el Elco de Alemania, diseñados para sobrecarga, calor, aislamiento y remolino (inyección de combustible a lo largo de la pared del cilindro para inducir un fuerte flujo rotativo) para mantener altas temperaturas en el espacio del cilindro donde se realiza la combustión. Esto permite la combustión de los

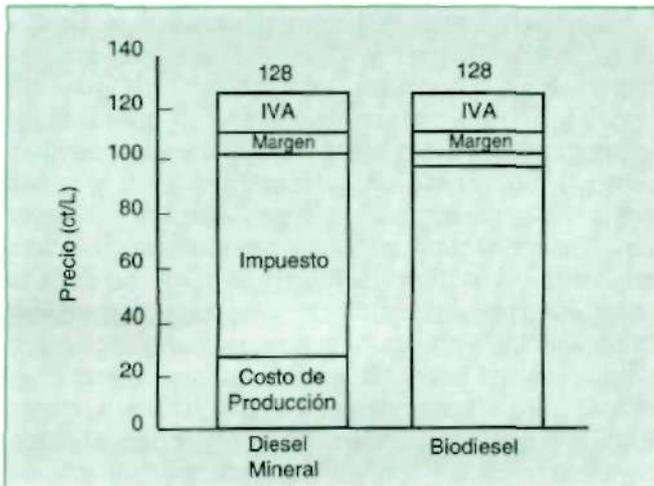


Figura 8. Competitivo a reducción de impuestos de 85% para biodiesel (Fuente: COMPRIMO s.f.).

depósitos de carbono durante la operación y el uso de los aceites vegetales no tratados se convierte en una opción. Para el aceite de palma, aún es necesario calentar el aceite a 60-70°C para garantizar las propiedades adecuadas de flujo antes de suministrarlo al motor.

La Figura 9, tomada de Elsbett-Konstruktion (s.f.), presenta la estructura del motor Elco. La cabeza del cilindro se refrigera con aceite y no existe un sistema de refrigeración para el cigüeñal; el pistón y el cilindro se mantienen refrigerados por aceite, que se suministra directamente desde el extremo grande del vástago conector. El equipo de inyección se instala cerca de la cabeza del cilindro, y esto mantiene el combustible a una temperatura relativamente alta. Elsbett Konstruktion Co. fabrica y vende motores de un solo cilindro de 663 cm<sup>3</sup> hasta motores de 12 cilindros de 20.100 cm<sup>3</sup>; los motores de 1, 2 y 12 cilindros se utilizan para co-generación o para equipo agrícola; existen motores de 3 cilindros de 1.458, 2.770 y 5.600 cm<sup>3</sup> (Hamata 1981) para automóviles; y motores de 6 cilindros de 5.670 y 11.200 cm<sup>3</sup> para camiones, y todos usan componentes comunes. Son más de 200 los vehículos que funcionan con estos motores, los cuales usan aceite diesel suministrado desde un tanque auxiliar durante la ignición y luego cambian automáticamente al combustible de aceite vegetal cuando ya está en funcionamiento. No se han presentado problemas de operación durante los 10 años que llevan en funcionamiento estos motores.

Los motores de multicomcombustible Nippon Kokan K.K. se fabricaban como generadores de energía eléctrica y movidos con diesel, para ser utilizados en Malasia e Indonesia donde se produce el aceite de palma. En este

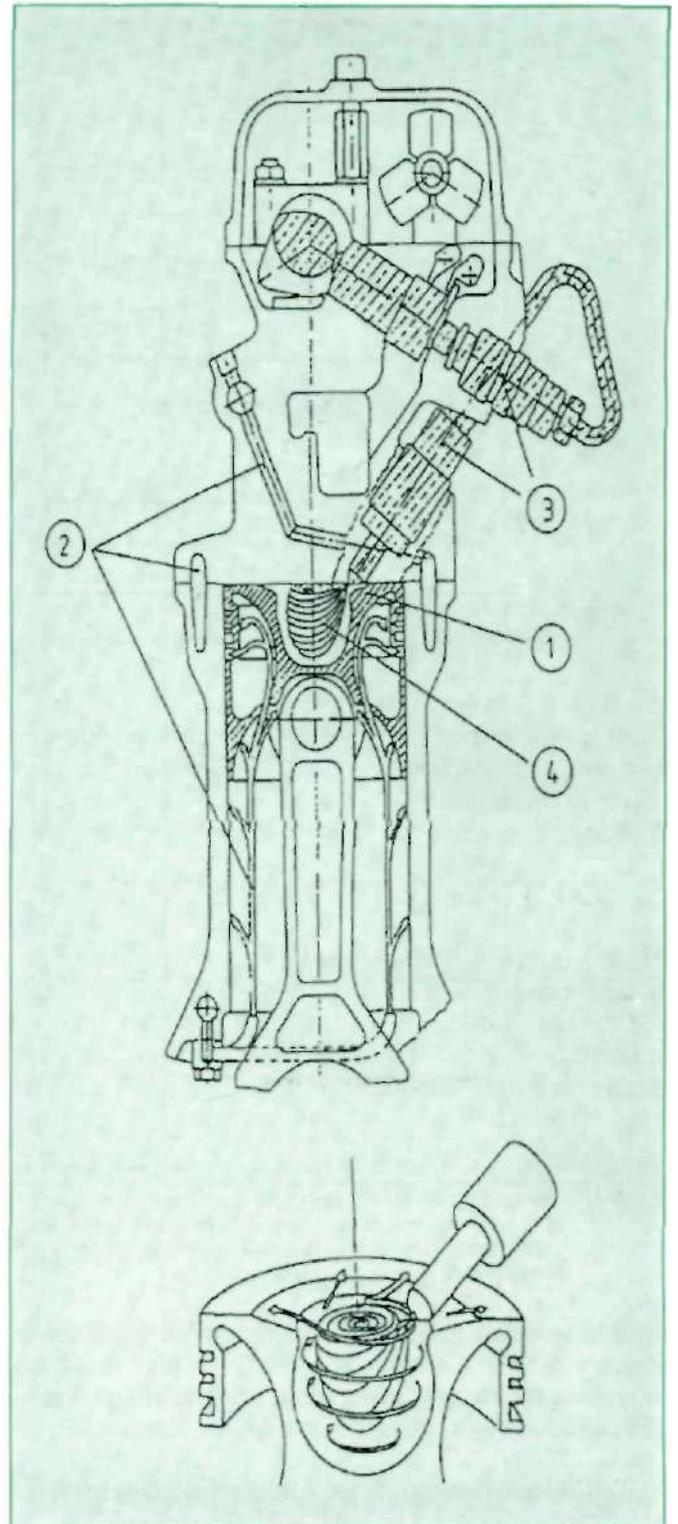


Figura 9. Construcción del motor Elco 1. pistón articulado; 2. sistema hidráulico de refrigeración (aceite); 3. sistema de inyección de combustible; 4. sistema duotérmico de combustión. (Fuente: Elsbett-Konstruckiton 1993).

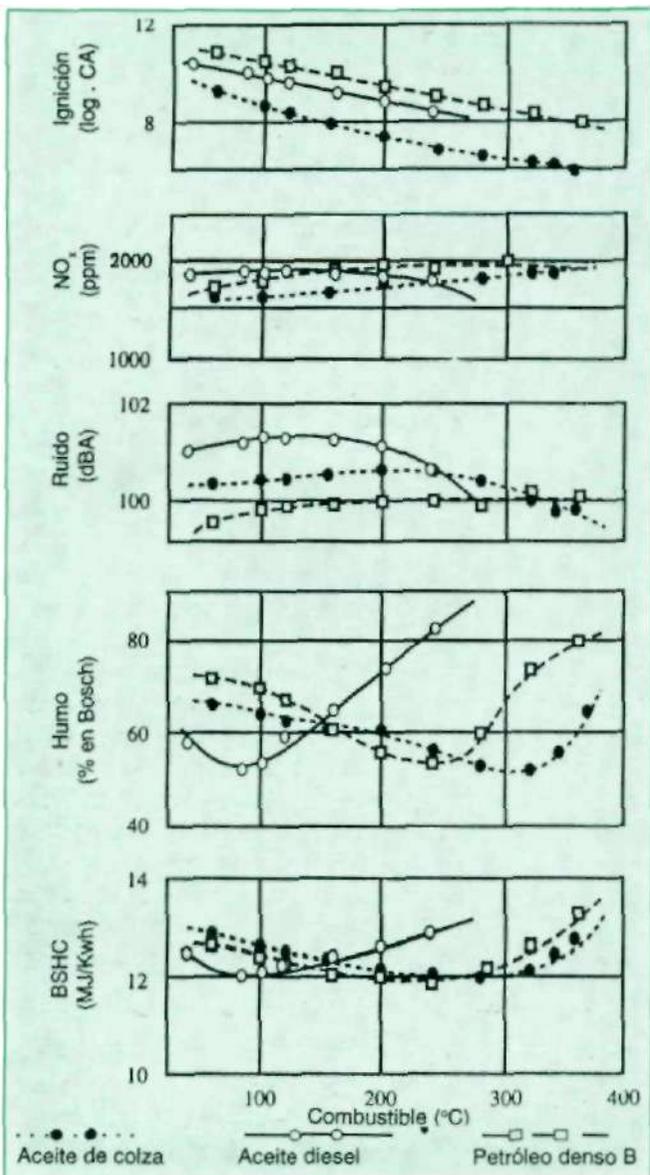


Figura 10. Efectos producidos por la temperatura del combustible en el rendimiento del motor (combustible diesel y aceite de colza; BMEP = 065 Mpa, petróleo denso B; BMEP = 0.6 MPa) (Fuente: Murayama et al. s.f.).

sentido también en el Palm Oil Research Institute de Malasia (PORIM) (Vermatsu 1987) se han realizado proyectos de investigación sobre alternativas al aceite combustible, como el aceite de palma y ésteres.

También es posible utilizar aceites vegetales mezclados directamente con aceite diesel. Con una mezcla de aproximadamente 25% de aceite diesel con aceite vegetal es posible lograr una eficiencia térmica mejorada y reducir las emisiones de humo, pero son pocos los informes que existen sobre este tipo de investigación.

Calentar el combustible para reducir la viscosidad y luego utilizar aceites vegetales directamente como combustibles, es también una opción. La Figura 10, tomada de Murayama et al. (s.f.), presenta el comportamiento del motor con aceite de colza, petróleo denso B, que posee una viscosidad similar y aceite diesel (todos calentados). La figura indica que a mayor temperatura del combustible, los dos muestran menores densidades específicas de humo y de consumo de calor y después de alcanzar el nivel óptimo, estos indicadores empeoran. La temperatura óptima del combustible para el aceite diesel es 90 C, para el petróleo denso B es 240 C, para el aceite de colza es 300 C, y el aumento sobre la temperatura ambiental es mayor para el aceite de colza que para el aceite diesel. Aquí hay que advertir que el calentamiento de combustible, en especial para fines de transporte, será algo difícil de lograr.

### USO DE ACEITES VEGETALES DESECHADOS, COMO COMBUSTIBLE

En la actualidad, naciones europeas como los Países Bajos, Alemania, Bélgica y Austria (combinados) desechan y reciclan, como alimento animal, 107.000 Xl año de aceite vegetal usado. En Francia, en donde freir en mucha grasa no se usa en culinaria, no desecha mucho de este tipo de aceite per cápita (Novamont Co. s.f.; Comprimo Co. s.f.).

Los restaurantes y las plantas de procesamiento de alimentos en los Estados Unidos desechan cerca de un millón de toneladas de aceites vegetales usados, y la mayoría se utilizan como alimento para animales, alimento para mascotas o como materia prima para ácidos grasos industriales (Reed et al. 1991).

En Japón, cerca de 200.000 toneladas de aceites vegetales se desechaban anualmente de las instalaciones públicas, y estas se reutilizan como alimento para animales. Sin embargo, debido al aumento en las importaciones de alimentos para animales, a bajo costo, provenientes de ultramar, cada vez es más difícil el reprocesamiento económico de este aceite (NED01994).

Esto ha llevado a que se formulen sugerencias para utilizar el aceite desechado como combustible para motores, ayudando así a reducir el costo del tratamiento del agua en el sistema de alcantarillado y, en general, a contribuir al reciclaje de recursos.

Para freir, los aceites comestibles generalmente se calientan a 160-180°C, y son varios los cambios que se

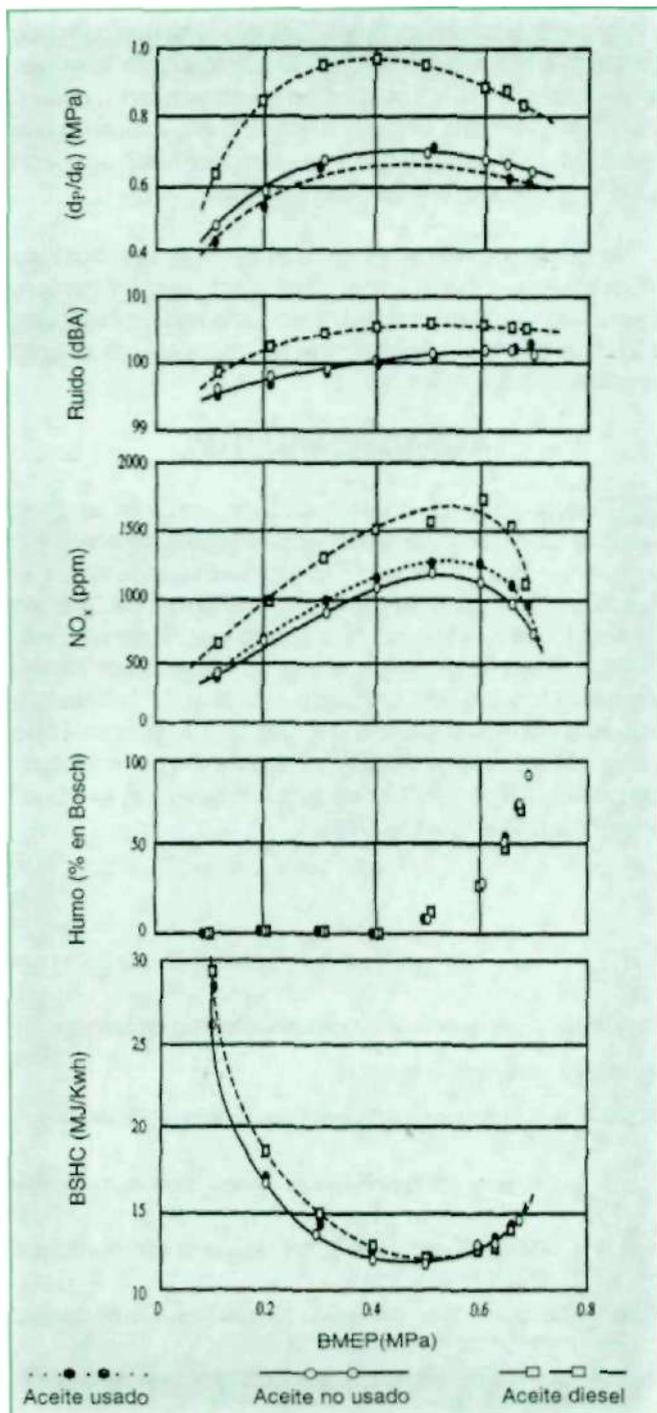


Figura 11. Rendimiento del motor con aceites vegetales usados y no usados y aceite diesel (Fuente: Murayama et al. s.f.).

presentan: a) el aceite se oxida y se forman compuestos polimerizados de bajo peso molecular; b) la hidrólisis libera ácidos grasos; y c) el aceite sufre una descomposición térmica, polimerización y se forman compuestos anillados. Como resultado de estos cambios

se presentan también alteraciones en las características de formación de burbujas, en la formación del humo, las características de coloración y estabilidad se deterioran en comparación con las características de oxidación; hay un leve aumento en la viscosidad y la densidad; y las características de atomización también sufren deterioro.

Sin embargo, al filtrar la materia que se encuentra suspendida y, en general, prestando atención a localidad del aceite, los aceites vegetales desechados o sus ésteres son bastante adecuados como combustibles para motores y, así, son muy atractivos en lo que concierne al mantenimiento ambiental de la ciudad y a las consideraciones de reciclaje de recursos.

La Figura 11 (Comprimo Co. s.f.) muestra el comportamiento del motor al utilizar aceites vegetales usados y no usados con aceite diesel y, las gráficas indican que en toda una gama de condiciones de operación, el consumo de calor específico del aceite usado es algo menor que el del aceite no usado. Los otros parámetros de comportamiento y las características de las emisiones producidas por los motores indican que los aceites usados y no usados rinden de manera similar. En comparación con el aceite diesel, el aceite comestible usado presenta un rendimiento un poco mejor con bajas cargas, y el rendimiento con cargas mayores es muy similar. Las emisiones de humo producidas por los combustibles son similares, mientras que el aceite comestible se quema con menos ruido y  $\text{NO}_x$ , indicando una ventaja de los aceites comestibles usados sobre el aceite diesel.

En la Facultad de Minas en Colorado y la EEA de los Estados Unidos se produjeron 300 galones del éster metílico (M-Diesel) de aceites desechados y usados en pruebas de comportamiento realizadas en el Distrito Regional de Transporte de Denver. Los resultados no mostraron ninguna diferencia en relación con la operación con aceite diesel cuando se utiliza M-Diesel al 100% o al 30% (Reed et al, 1991). No se ha realizado ninguna investigación sobre los aceites vegetales usados como fuente de energía en Europa.

Al realizar la transesterificación de aceites desechados se debe recordar que el aceite desechado contiene 4-10% de ácidos grasos libres y así es más difícil de esterificar que el aceite no usado. El procesamiento de los aceites usados deberá realizarse en dos pasos: en primer lugar, eliminar los ácidos grasos libres y, en segundo lugar, una esterificación específica. También se puede considerar el uso de ácidos catalizadores.

Este informe se ha referido a los combustibles renovables biológicamente derivados, su importancia, producción y consumo hoy, así como su comportamiento y costos. En general se puede concluir que con este tipo de combustible, es posible lograr una combustión limpia y eficiente, con combustibles esterificados o con mezclas con combustibles diesel; esto puede lograrse en calderas o en otros motores sin necesidad de recurrir a un rediseño u otros tipo de cambios.

Sin embargo si, por ejemplo, Japón mezclara ésteres de aceite de palma con aceite diesel, solamente el 5% del éster de palma en la mezcla representaría 1,23 millones de toneladas. La producción de aceite de palma en Malasia se estima que alcanzará, para fines de siglo, los 8,75 millones de toneladas, e Indonesia también planea grandes aumentos en la producción de aceite de palma; sin embargo, incluso con estos volúmenes, será muy difícil sustituir la energía que se consume actualmente. Surge una dificultad adicional cuando al mismo tiempo se considera la desnutrición e inanición generalizadas a nivel mundial.

Los combustibles renovables permanecerán como una forma de ayuda allí donde las políticas agrícolas hayan fallado, o como energía consumida localmente en países tropicales que sufren de falta de combustibles

## BIBLIOGRAFIA

- COPRIMO. (s.f.). Biodiesel Production. Technology and Economy. Comprimo Co. Ltd., The Netherlands, H.
- ELSBETT-KONSTRUKITON GMBH. 1993. Booklet. Hilpoltstein-Alemania.
- HAMATA, A. 1981. Japan Society Mechanical Engineers Transactions (Japón) v.84no.757p.102.
- HAWKINS, C.S.; FULS, J.; HUGO, F.J.C. (s.f.) Society of Automotive Engineers of Japan. (Technical Paper 831356).
- Institut Francais de Petrole. 1993. Carburants Diesel. IFP, París. (Booklet).
- MURAYAMA, T. 1994. Japan Society Mechanical Engineers International Journal Series, B. (Japón) v.37 no.1, p.1.
- \_\_\_\_\_; TAKAGI, N.; OH, Y.; MIYAMOTO, N.; ITOW, K.; CHIKAHISA, T. (s.f.) Society of Automotive Engineers of Japan. Transactions 841161.
- NAGAO, F.; OHGASHI, S.; KUWAE, M.; HISAMA, H. 1948. Japan Society Mechanical Engineers Transactions (Japón) v.51 no.354, p.92.

extranjeros, o para reciclar aceites desechados que de lo contrario sería difícil desechar. En estos casos, el mayor problema es el de los costos, que a su vez es un asunto tributario. Además, se debe encontrar algún tipo de uso para los grandes volúmenes de glicerina, que son subproductos de la transesterificación.

A pesar de esto, la utilización del combustible renovable contribuirá a reducir el efecto de invernadero y será una forma de resolver los problemas ambientales a escala mundial, de manera tal que será un asunto importante para el futuro.

## AGRADECIMIENTOS

El autor tuvo la oportunidad de conocer la gran cantidad de estudios sobre combustibles renovables, como miembro de los comités de los Estudios sobre el Potencial del Aceite de Palma como Fuente de Energía Renovable para Fines de Transporte y del Estudio sobre la Posibilidad de Sustituir el Aceite Mineral por Aceite Vegetal Desechado, asignado por NEDO al Instituto Japonés de Investigación Energética. La gran mayoría de los estudios aquí citados se obtuvieron por medio de los dos comités, y es por esto que deseamos expresar nuestro agradecimiento.

- NOVAMONT. Vegetable Oils Methyl Esters. Novamont Co., Ltd. Milán, Italia.
- OIL WORLD. 1992. Palm Oil Statistics.
- PRYDE, E. H. 1983. American Oil Chemists' Society. Journal (Estados Unidos) v.60, p.1557.
- \_\_\_\_\_. 1984. American Oil Chemists' Society. Journal (Estados Unidos) v.61, p.1609.
- REED, T.B.; GRABOSKI, M.S.; GAUR, S. 1991, Agricapital-New York (Estados Unidos) v.20, p.7.
- RYAN, T.W. III; DODGE, L.G.; CALLABAN, T.J. 1984. American Oil Chemists' Society. Journal (Estados Unidos) v.61, p.1610.
- THE NEW ENERGY DEVELOPMENT ORGANIZATION. 1994. Report No. P-9308. NEDO-IEE, Japan.
- UEMATSU, M., 1987. The Energy Seminar of Japan External Trade Organization, Jakarta. Proceedings.