



Editorial de la
Universidad Tecnológica Nacional

**La Universidad Tecnológica Nacional - U.T.N. -
en el Nordeste Argentino – N.E.A.**
Investigación y Desarrollo en la Facultad Regional Resistencia

Compiladoras:

**Carola Sosa
Nidia Dalfaro**



MEDIO AMBIENTE

***Biodiesel de Aceite de Semilla de Algodón. Propiedades y Formación
de Precipitados a Bajas Temperaturas. Performance en Motores
Diesel.***

Autores: Morales, Polich, Sequeira, Chamorro y Herrero



Editorial de la Universidad Tecnológica Nacional – edUTecNe

<http://www.edutecne.utn.edu.ar>

edutecne@utn.edu.ar

© [Copyright] La Editorial de la U.T.N. recuerda que las obras publicadas en su sitio web son de libre acceso para fines académicos y como un medio de difundir el conocimiento generado por autores universitarios, pero que los mismos y edUTecNe se reservan el derecho de autoría a todos los fines que correspondan.

BIODIESEL DE ACEITE DE SEMILLA DE ALGODÓN. PROPIEDADES Y FORMACIÓN DE PRECIPITADOS A BAJAS TEMPERATURAS. PERFORMANCE EN MOTORES DIESEL.

*Morales, W.G.*¹, Polich, N. L¹, Sequeira, A. F¹, Chamorro, E. R.¹, Herrero, E.²*

⁽¹⁾Grupo de Investigación en Química Orgánica Biológica (QUIMOBIO) Facultad Regional Resistencia (FRRe), Universidad Tecnológica Nacional (UTN), French, 414, 3500, Resistencia, Chaco, Argentina. wmorales@fre.utn.edu.ar

⁽²⁾Centro de Investigación y Tecnología Química (CITeQ) Facultad Regional Córdoba (FRC), Universidad Tecnológica Nacional (UTN), Cruz Roja Argentina esq. Maestro López, 5016, Córdoba Capital, Argentina.

Resumen

En el presente trabajo sobre biodiesel de aceite de semilla de algodón se determinaron parámetros físico-químicos relevantes. Ellos son: punto de niebla, densidad y viscosidad (a 40 y 25°C). Luego, se evaluó la performance de biodiesel de semilla de algodón con diferentes mezclas, con diesel de origen fósil, en banco de motor diesel.

Se comprobó que, aunque las propiedades físico-químicas del biodiesel de aceite de algodón se ajustan a los parámetros establecidos por la norma UNE-EN 14214 para combustibles, el punto de niebla resulta alto, y que a bajas temperaturas se forman cristales que afectan a los filtros y conducciones en el motor.

El biodiesel de aceite de girasol y soja presenta un punto de niebla menor, por lo que las mezclas de éste biodiesel con el de aceite de algodón, mejoran la estabilidad en dichas condiciones sin la pérdida de eficiencia en el motor.

En las pruebas en motor, se probaron biodiesel puro y cortes de diesel con 5, 10 y 20 % de biodiesel de aceite de algodón. El biodiesel puro mostró mayor potencia y torque (a partir de las 3500 RPM) que el diesel mineral puro debido a que presenta mayor velocidad de llama. Sin embargo, las mezclas mostraron desempeño decreciente.

Puesto que la Ley de Biocombustibles prevé el uso del biodiesel al 10%, la potencia y el torque de dicha mezcla podría elevarse, modificando el grado de avance del motor, compensando la velocidad de llama menor, lo cual representa una modificación mecánica menor.

Palabras clave: biodiesel, aceite semilla de algodón, punto de niebla, banco de motores

INTRODUCCIÓN

En los últimos años es bien conocido el interés en la producción de Biodiesel, es decir, en el combustible diesel obtenido en base a grasas y aceites vegetales. Esto se debe a la creciente demanda del combustible diesel y la crisis energética a raíz de su escasez. A ello se suma el hecho de que las propiedades físico químicas del biodiesel (viscosidad, densidad, contenido calórico y su performance en motores) son comparables con el diesel de origen fósil (Lee y col, 1995).

Con el uso de biodiesel obtenido a partir de aceite de soja y mezclas de éste con diesel de origen fósil es notable la reducción de las emisiones gaseosas (exceptuando los óxidos de nitrógeno).

El biodiesel tiene la ventaja adicional de ser obtenido a partir de recursos renovables (Lin Lin y col, 2009).

Sin embargo, una desventaja del biodiesel es su rendimiento a bajas temperaturas.

Los ésteres metílicos de los aceites vegetales tienen considerablemente más altas

temperaturas de cristalización que el combustible diesel, por lo que estos esteres metílicos, especialmente esteres de ácidos grasos saturados, cristalizan y se separan del combustible diesel en temporada invernal, debido a las bajas temperaturas.

Estos cristales pueden tapar los conductos de combustible y filtros, causando problemas en el bombeo de combustible y en el funcionamiento del motor (Tang y col, 2008).

Se han encontrado trabajos (Lee y col, 1995) en los que se usaron alcoholes de cadena ramificada (isopropílico o 2-butílico) para reducir la temperatura de cristalización del biodiesel, en la etapa de transesterificación. Otros autores reportan el uso de inhibidores de crecimiento de cristales, disponibles comercialmente como aditivos para combustibles diesel. Sin embargo, estos aditivos no han logrado reducir la temperatura del punto niebla del biodiesel de manera considerable (Lee y col, 1995).

En particular, el biodiesel obtenido a partir de aceite de algodón tiene tendencia a cristalizarse a temperaturas más altas que el biodiesel obtenido a partir de otros aceites, dado que contiene un porcentaje importante en triglicéridos de ácidos grasos saturados (27.2 % entre ácido palmítico (16:0), mirístico (14:0) y esterárico y araquídico (20:0)) (Morales y col, 2009).

El presente trabajo tiene por objetivo mejorar el punto niebla del biodiesel obtenido a partir de aceite de semilla de algodón, para lo cual se evalúa el punto niebla de aceite de algodón mezclado con diferentes proporciones de biodiesel obtenido a partir de aceite soja y girasol. Por último, se evaluó el rendimiento de dichas mezclas en motores.

MATERIALES Y METODOS

Las muestras de aceite de algodón se obtuvieron de Cooperativas ubicadas en la Zona Oeste del Chaco, Argentina. Los aceites de soja y girasol, como así también el metanol, hidróxido de sodio y estándares de metil ésteres de ácidos grasos, fueron adquiridos de fuentes comerciales.

En primer término, los aceites crudos de algodón, soja y girasol, fueron pretratados (desgomado, secado y esterificado) (Morales y col, 2008). Luego, se obtuvo biodiesel de los distintos aceites mediante una transesterificación con catálisis homogénea básica (Morales y col, 2009; Sequeira y col, 2007).

Caracterización

Para caracterizar los diferentes tipos de biodiesel se realizaron determinaciones de densidad, viscosidad y punto niebla.

La determinación de la densidad del biodiesel se realizó siguiendo las normas IRAM 445-01. Se utilizaron picnómetros de 10 ml, los cuales fueron pesados con la muestra, en una balanza analítica de precisión ($\pm 0,0001$). Los ensayos se realizaron por triplicado y se expresa el promedio de las tres determinaciones.

La viscosidad del biodiesel se obtuvo siguiendo las normas ASTM D445-01. Las muestras fueron acondicionadas a 40°C con un baño térmico, según indica la norma.

También se realizaron mediciones a temperatura ambiente (25°C). Se utilizó un viscosímetro digital Brookfield, serie NDJ. El rotor utilizado es el número cero. La lectura se realiza en mPa.s.

El punto niebla se determinó siguiendo las normas ASTM D2500-02. Como baño refrigerante se utilizó alcohol etílico a -20 °C. Para mantener esta temperatura dentro de un rango (-20 a -16 °C) se utilizó una solución de salmuera 30% p/p. La temperatura del baño se midió con un termómetro de mercurio de rango -20 a 300 °C de precisión ± 2 °C. Para medir el punto niebla se utilizó un termómetro digital de precisión $\pm 0,1$ °C y rango -50 a 200 °C dado que posee un tiempo de respuesta menor que el termómetro de mercurio, lo que hace más precisas las mediciones.

Para evaluar el punto niebla del biodiesel de las diferentes mezclas, se realizó un diseño de experimentos con mezclas binarias y ternarias de los biodiesel de algodón, girasol y soja.

En la Tabla N° 2 se muestran los porcentajes en volumen de las diferentes proporciones de

mezclas utilizadas.

Ensayo de motores de combustión interna en banco de prueba hidráulico del tipo Taylor

Se empleó para este ensayo un motor de ciclo Diesel de 4 tiempos, Modelo NISSAN LD 28 de 2,8 litros de cilindrada y 6 cilindros con inyección indirecta.

Los ensayos se realizaron utilizando un múltiple de escape unido a un escape de 2 pulgadas de diámetro y 1 metro de longitud, con alternador sin carga, sin filtro de aire y con el forzador de aire del laboratorio encendido.

El banco propiamente dicho, consta de dos turbinas enfrentadas, una de ellas está conectada al volante del motor (cigüeñal) y la otra es solidaria a la carcasa. Esta carcasa, mediante una palanca, transmite la fuerza de fricción producida por el rozamiento del fluido entre las dos turbinas a una balanza de la cual se toma el dato de la fuerza en Kgf. Luego, a partir de este dato y por cálculo, se puede determinar la potencia (CV).

Este tipo de banco permite variar la carga. Esto se logra con la apertura o cierre de la admisión de entrada del fluido hidráulico a los alabes del freno.

Se realizó ensayo de fuerza o torque, con muestras de biodiesel de aceite de semilla de algodón puro (B100) y con mezclas al 5, 10 y 20% de biodiesel de aceite de semilla de algodón con diesel de petróleo (B5, B10, B20).

Con el motor acelerado al máximo y mediante el freno hidráulico se varió la carga, por lo que la velocidad del motor también cambió.

El ensayo se realizó con aumento de la velocidad (la cual está controlada por el freno y no por el acelerador ya que éste se encuentra al máximo) y se toma el valor de fuerza cada 200 RPM o 300 RPM.

Las determinaciones se realizaron por triplicado. Se muestra el promedio de las tres determinaciones.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Densidad y Viscosidad Dinámica de biodiesel de algodón.

Los ensayos se realizaron por triplicado.

En la tabla N° 1 se indica el promedio de las tres determinaciones.

	Valor promedio	EN-14214	ASTM-D6751
Densidad [g/cm ³]	0.88	0.86-0.90	-
Viscosidad a 25 °C [mm ² /s]	4.49	-	-
Viscosidad a 40 °C [mm ² /s]	4.10	3.50-5.00	1.90-6.00

Tabla N° 1: Características del biodiesel obtenido y rango de las normas EN-14214 y ASTM-D6751

Puede observarse que los valores tanto de densidad como de viscosidad del biodiesel obtenidos son coherentes con los valores de las normas.

Punto Niebla

Los ensayos se realizaron por triplicado.

En la tabla N° 2 se puede observar el promedio de las tres determinaciones.

Muestra Nº	BD Algodón [% v/v]	BD Girasol [% v/v]	BD Soja [% v/v]	T _{PN} [°C]
1	20	-	80	1.6
2	40	-	60	1.3
3	60	-	40	5.2
4	80	-	20	3.5
5	100	-	-	5.9
6	20	80	-	1
7	40	60	-	2.1
8	60	40	-	2.7
9	80	20	-	5
10			100	2.4
11	20	20	60	4.4
12	20	40	40	0.4
13	20	60	20	3.2
14	40	20	40	3.2
15	40	40	20	3.6
16	60	20	20	3.9
17	-	20	80	2.3
18	-	40	60	1.7
19	-	60	40	0.5
20	-	80	20	0.3
21	-	100	-	1.5

Tabla Nº 2: Diseño de experimento, con las diferentes proporciones de biodiesel (BD) en estudio. Valores promedios de temperatura de punto niebla (T_{PN}) obtenido para cada mezcla.

De la tabla Nº 2 puede observarse que el mejor punto niebla (T_{PN}: 0.3 °C) se logra con la mezcla de 80% v/v de biodiesel de aceite de girasol y 20% v/v de biodiesel de aceite de soja. Prácticamente en el mismo orden de valor (T_{PN}: 0.4 °C), se encuentra la mezcla 20% v/v de biodiesel de semilla de algodón, y 40 % v/v tanto de girasol como soja, lo cual representa una mejora apreciable respecto al punto niebla del biodiesel obtenido de aceite de semilla de algodón 100% que es de 5.9 °C.

La mezcla de 50% BDA + 50% BDG presenta un punto niebla de aproximadamente 2 °C. Esto iguala el punto niebla del biodiesel de soja puro y se ubica 10°C por debajo de la mínima promedio en la región.

Curvas características de motores

Una vez obtenidos los valores de los ensayos, se realizaron los cálculos correspondientes y se obtuvieron las siguientes curvas, las cuales sirven para comparar distintos estados del motor funcionando con distintos tipos de combustible.

Curvas de potencia

La potencia se obtiene mediante cálculo

$$N_e = \frac{M_t \omega}{75} = \frac{M_t 2\pi n}{60 \times 75} = \frac{M_t n}{716.2} \quad (1)$$

Donde $M_t = F \times l \rightarrow M_t = F \times 0,7162$, es el momento torsor, N_e es la potencia al freno y n la velocidad del motor en RPM.

A partir de los datos obtenidos del ensayo de potencia se procede a realizar el cálculo de las Curvas de momento torsor

RPM	Torque				P [CV]			
	B5	B10	B20	B100	B5	B10	B20	B100
1700	16,81	16,65	16,32	16,13	39,91	39,53	38,76	38,31
1900	16,88	16,65	16,42	16,23	44,79	44,18	43,57	43,07
2100	16,99	16,74	16,47	16,42	49,82	49,09	48,30	48,16
2300	17,04	16,74	16,47	16,49	54,74	53,76	52,90	52,98
2500	17,11	16,84	16,52	16,66	59,75	58,81	57,67	58,17
2700	17,18	16,93	16,68	16,64	64,80	63,86	62,91	62,73
2900	17,18	17,13	16,66	16,68	69,60	69,38	67,47	67,57
3100	16,90	16,79	16,43	16,40	73,16	72,70	71,16	70,99
3300	16,63	16,47	16,30	15,86	76,64	75,90	75,13	73,10
3500	16,45	16,27	16,09	15,57	80,41	79,54	78,63	76,13
3700	15,97	15,86	15,63	15,14	82,51	81,96	80,78	78,26
4000	15,27	15,11	14,80	14,61	85,33	84,40	82,67	81,60

Tabla N° 3: Torque y potencia de las mezclas de biodiesel de aceite semilla de algodón con diferentes proporciones de diesel de petróleo. B5: 5% de biodiesel + 95% diesel de petróleo.

En las gráficas aparecen en el eje horizontal las velocidades en RPM y en el eje vertical el torque.

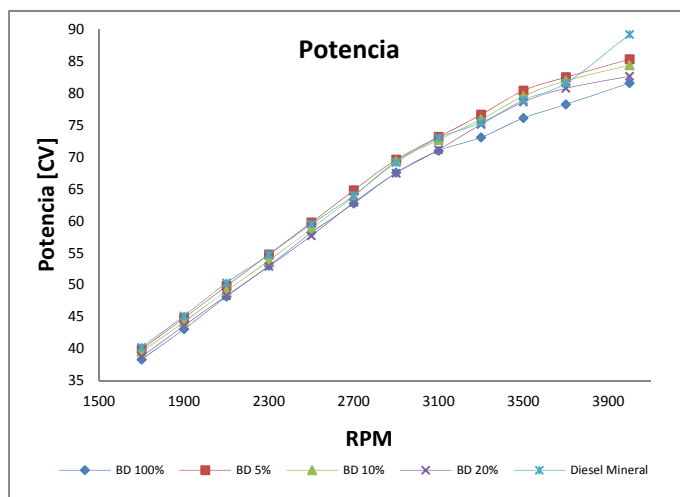


Gráfico N° 1: Potencia [CV] motor con BD Algodón 5, 10, 20 y 100% y diesel puro vs RPM

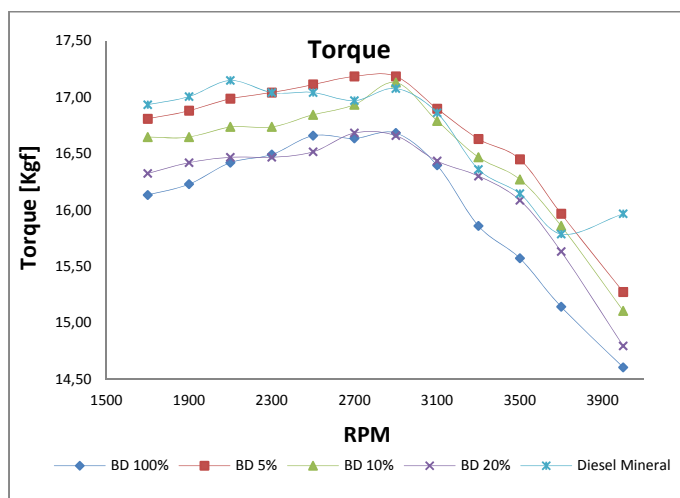


Gráfico N° 2: Torque [Kgm] de motor con BD Algodón 5, 10, 20 y 100% y diesel puro vs RPM

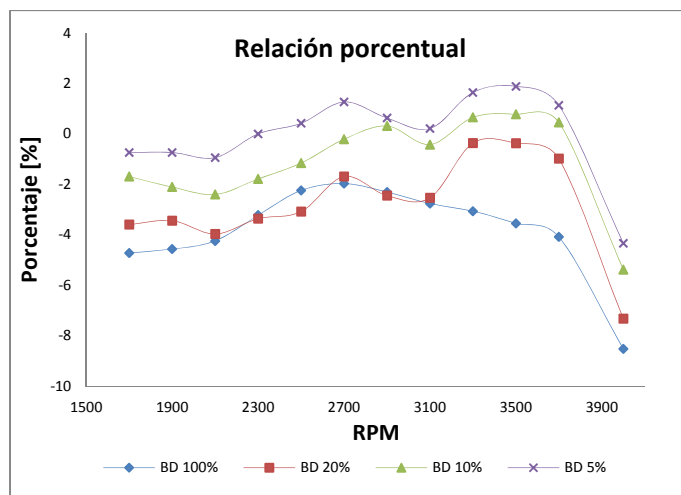


Grafico N° 3: Relación porcentual entre combustible diesel de petróleo puro (valor 0%) y diferentes cortes de diesel con biodiesel de aceite de semilla de algodón.

Se puede observar en el Gráfico N° 1 de potencia, que los valores no se alejan apreciablemente de los valores de un diesel de petróleo, mientras que en el Gráfico N° 2 de torque, las diferencias son mayores, disminuyendo a mayores concentraciones de biodiesel. Sin embargo, posee valores muy cercanos y mejores para mezclas al 5 y 10 %, lo cual es visible en el Gráfico N° 3.

CONCLUSIÓN

Se comprobó que las mezclas de biodiesel obtenido a partir de aceite de semilla de algodón con el biodiesel obtenido a partir de aceite de girasol mejoran el punto niebla con respecto al biodiesel puro de aceite de semilla de algodón. Esto conduce a un valor de punto niebla más apropiado para la región.

Por otro lado, los ensayos del biodiesel de aceite de algodón en el banco de motores demostraron que el desempeño relativo de muestras con 5 y 10% de biodiesel de aceite de algodón, es superior al diesel en un importante rango de velocidades.

Las muestras al 20 y 100% de biodiesel de aceite de algodón decaen en un valor cercano al 6% respecto de la performance del mismo motor alimentado con diesel puro.

Como consecuencia, el empleo de mezclas de biodiesel de aceite de algodón en un motor diesel resulta rentable energéticamente.

BIBLIOGRAFIA

- Demirbas, A, “Relationships derived from physical properties of vegetable oil and biodiesel fuels”. *Fuel*. Vol. 87, pág. 1743–1748. (2008)
- Haiying Tang, Steven O. Salley, K.Y. Simon Ng. “Fuel properties and precipitate formation at low temperatura in soy, cottonseed-, and poultry fat-based biodiesel blends”. *Fuel*. Vol. 87, pág. 3006–3017. (2008).
- Ji-Yeon Park, Deog-Keun Kim, Joon-Pyo Lee, Soon-Chul Park, Young-Joo Kim, Jin-Suk Lee. “Blending effects of biodiesels on oxidation stability and low temperature flow properties”. *Bioresource Technology*. Vol. 99, pág. 1196–120. (2008)
- Lee, I. Johnson, L. Hammond, E. “Use of Branched-Chain Esters to Reduce the Crystallization Temperature of Biodiesel”. *Journal of the American Oil Chemists' Society*. Vol. 72, pág.1155-1160, (1995).
- Lin Lin, Dong Ying. Sumpun Chaitep. Saritporn Vittayapadung, “Biodiesel production from crude rice bran oil and properties as fuel”. *Applied Energy*. Vol. 86,

- pág 681–688. (2009)
- Morales W., Dagnino P., Díaz A., Sequeira A. y Chamorro E. “Tratamiento de aceite crudo de algodón para transesterificación alcalina”. *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente*. Vol.12, 6 pag. 95. (2008).
 - Morales W. G., Dagnino P., Díaz A., Sequeira A., Chamorro E. y Herrero E. “Transesterificación de triglicéridos de algodón catalizada por álcalis”. *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente*. Vol. 13, 6 Pag. 95. (2009a).
 - Morales W. G., Dagnino P., Diaz A., Polich N., Sequeira A. y Chamorro E. “Proceso semicontínuo en la transesterificación de triglicéridos de semilla de algodón”. *CLICAP*. (2009b).
 - Pehan S., Svoljšak Jerman, M. Kegl, M. Kelg, B., “Biodiesel influence on tribology characteristics of a diesel engine”. *Fuel*, Vol. 88, pág. 970–979. (2009)
 - Purnanand Vishwanathrao, B., Nishikant V. Deshpande, Shashikant B. Thombre. “Improving the low temperature properties of biodiesel fuel”. *Renewable Energy*, Vol. 34. Pág. 794–800. (2009)
 - Rakopoulos, C.D. Rakopoulos, D.C. Hountalas, D.T. Giakoumis, E.G. Andritsaki, E.C. “Performance and emissions of bus engine using blends of diesel fuel with biodiesel of sunflower or cottonseed oils derived from Greek feedstock”. *Fuel*. Vol. 87. Pág. 147–157. (2008)
 - Sahoo, P.K. Das, L.M. “Combustion analysis of Jatropha, Karanja and Polanga based biodiesel as fuel in a diesel engine”. *Fuel*, Vol. 88. Pág. 994–999. (2009)
 - Sequeira, A.; Chamorro, E.; Morales, W.G.; Dagnino, P.; Cáceres, M.; Diaz, A. “Estudio experimental sobre la optimización de la conversión de aceites de algodón en biodiesel”. *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente*, Vol. 11, Pag. 43. (2007).
 - Xue J., Grift T. E. y Hansen A. C. “Effect of biodiesel on engine performances and emissions”. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. Vol. 15, pág. 1098-1116. (2011).