

POSIBILIDADES DEL BIODIÉSEL DE PALMA

y sus mezclas con diésel en Colombia

POSSIBILITIES OF PALM OIL BIODIESEL

and Mixtures with ACPM in Colombia

AUTORES



Mónica Cuéllar Sánchez

Directora Programa de Usos
Alternativos - Cenipalma
mcuellar@cenipalma.org

Jaime Augusto Torres

Líder de proyectos Area de
combustibles - ECOPETROL -
Instituto Colombiano del Petróleo

Palabras CLAVE

Biodiésel, aceite de palma,
mezclas con diésel,
características del biodiésel de
palma.

Biodiesel, palm oil, mixture
with diesel, palm biodiesel
characteristics.

RESUMEN



Los combustibles fósiles han sido la principal fuente energética mundial por más de cien años gracias a su abundancia y la versatilidad de su uso. Estos combustibles han contribuido de forma significativa en los últimos años a generar los altos niveles de emisiones de gases efecto invernadero y la formación de lluvia ácida, y hoy en día es una de las principales causas de contaminación de las grandes ciudades. Sin embargo, las reservas a nivel mundial de esta fuente de energía están llegando a su punto máximo, previéndose un descenso gradual en las reservas. Esto unido al hecho de que la oferta y la demanda de este energético están muy equilibradas y que se ha convertido en un recurso geopolíticamente estratégico ha generado un fuerte incremento en los precios de este energético y los combustibles obtenidos a partir de él. Es así como en los últimos años a nivel mundial se ha impulsado la búsqueda de fuentes alternativas de combustibles, una de las posibilidades es el uso de la biomasa como materia prima para la producción de biocombustibles, los cuales son renovables, biodegradables y además disminuyen las emisiones de gases tóxicos y de efecto invernadero. Una de las materias primas más utilizadas como combustibles alternativos, es el biodiésel (metil éster) derivado de aceites vegetales y grasas animales, los cuales pueden ser utilizados como combustibles diésel. La experiencia internacional indica que en la actualidad se está utilizando el biodiésel de colza principalmente en Europa, pero también se conocen experiencias con aceite de girasol, aceite de soja y aceite de palma. Colombia no es ajena a esta tendencia mundial, es así como en los últimos años en el país se ha impulsado el uso de biocombustibles derivados de fuentes vegetales y/o animales, los cuales contribuirán a mantener la autosuficiencia energética, disminuir la contaminación en los centros urbanos y generar empleo en el sector agrícola del país. El Instituto Colombiano de Petróleo y Cenipalma realizó un proyecto de investigación con el fin de establecer las características del biodiésel de palma y las mezclas con combustible diésel al 2%, 5%, 10%, 20% y 30%, así como determinar el efecto de estos combustibles en el motor a tres presiones atmosféricas y en vehículos. Los resultados obtenidos de este estudio permiten concluir que:

- El biodiésel de palma y las mezclas de combustible diésel cumplen con las especificaciones de calidad establecidas a nivel nacional e internacional.
- El biodiésel de palma en mezcla con el diésel mejora las propiedades de número de cetano, lubricidad y por efecto de dilución disminuye la concentración de azufre y aromáticos del combustible diésel.
- En pruebas cortas en vehículos, se encontró que el biodiésel de palma y las mezclas con combustible diésel, NO afecta significativamente el desempeño de los motores y vehículos.
- El biodiésel de palma tiene un efecto positivo al medio ambiente, ya que reduce las emisiones de Material Particulado y Dióxido de carbono. En el caso de los óxidos de nitrógeno no se evidencian incremento de este tipo de compuestos

SUMMARY

Fossil fuels have been the main energy source worldwide for over hundred years due to their abundance and versatility for their use. These fuels have significantly contributed in the near past with high levels of emissions of greenhouse-effect gases and to the formation of acid rain, thus being one of the main causes of contamination in large cities. However, the world-wide petroleum reserves are arriving at their maximum point, and in the last years have not been new findings. This along with the fact that the supply and the demand of petroleum are close to balance and that, in addition, this fuel has become a geopolitically strategic resource, high increase in prices of petroleum the fuels obtained from it has occurred. Due to the above, in last few years the search for alternative fuel sources has been stimulated worldwide. One of the possibilities is the use of biomass as raw material for the production of biofuels which are renewable, biodegradable and represent a reduction in emissions of toxic and greenhouse-effect gases. One of the raw materials used the most as alternative fuels is biodiesel (methyl ester) obtained from vegetable oils and animal fats, which can be used as diesel fuels. The international experience indicates that rapeseed biodiesel is being used mainly in Europe, but experiences are also known with sunflower oil, soybean oil and palm oil. Colombia is not the exception to this tendency and in the past few years the use of biofuels derived from plant or animal sources has been promoted, expecting that they would contribute to the energetic self sufficiency of the country as well as to decreasing contamination in the urban communities and to the generation of labor demand in the rural sector. The Instituto Colombiano del Petróleo and Cenipalma carried out a research project with the objective of determining the characteristics of palm biodiesel made in Colombia and its mixtures with diesel fuel at 2%, 5%, 10%, 20% and 30% concentrations. The effects of those fuels on vehicles and on engines operated at three atmospheric pressures. The results of this study allow the following conclusions:

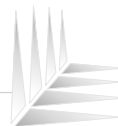
- Palm biodiesel and its mixtures with diesel fuel fulfill the quality specifications established nationally and internationally.
- Palm biodiesel mixed with diesel fuel improves the properties of cetane number, lubrication and due to the dilution effect decreases the contaminating effect of diesel fuel associated with sulphur and aromatic compounds.
- It has been found through short trials with vehicles that palm biodiesel and its mixtures with diesel fuel do not significantly affect the behavior of engines and vehicles.
- Palm biodiesel has a positive environmental effect because it reduces the emissions of particulate matter and carbon dioxide. Increases in nitrogen oxides were not observed.



INTRODUCCIÓN

Desde hace varios años, el biodiésel se ha venido utilizando en varias regiones del mundo puro o en mezcla con el combustible diésel. Es así como en Europa se utiliza el biodiésel desde hace más de 10 años, y en el caso específico del biodiésel de palma,

Malasia ha realizado pruebas extensivas con biodiésel puro y en mezclas al 50% con el combustible diésel las cuales superan los 10 millones de kilómetros recorridos. Los resultados encontrados por el MPOB demuestran que el biodiésel de palma puede ser utilizado como combustible para motores. Sin embargo, es importante tener en cuenta la diferencia en



topografía entre Malasia y Colombia, es decir el biodiésel de palma no ha sido probado en condiciones de alta montaña. Con el inicio del programa de biocombustibles en Colombia, en el año 2004, fue necesario conocer el comportamiento del biodiésel de palma en las condiciones de operación propias del país.

Para la evaluación de un nuevo combustible se incluye tres etapas: i) la caracterización físico-química como combustible, es decir verificar si el producto cumple con los requisitos de calidad establecidos; ii) las pruebas de desempeño del motor en dos niveles: uno es en un banco de potencia y el otro es un chasis dinamométrico, en el cual se utilizan vehículos; iii) las pruebas de larga duración, bajo condiciones normales de operación, que permiten confirmar los resultados que se han obtenido en la segunda etapa. Los fabricantes de motores diésel sugieren que una prueba de larga duración para verificar el comportamiento de este tipo de motores con un nuevo combustible, debe recorrer como mínimo 100 mil kilómetros.

Para desarrollar este proyecto se firmó un convenio de cooperación técnica entre el Instituto Colombiano del Petróleo y Cenipalma e incluye dos fases: la primera es la evaluación de las mezclas de biodiésel de palma con combustible diésel, o sea la etapa de análisis en laboratorio y la segunda fase incluye las pruebas de larga duración con las mezclas de metil ester de palma.

Esta presentación está enfocada en los resultados obtenidos en el proyecto “Evaluación de mezclas de biodiésel de palma con el combustible diésel” el cual tuvo los siguientes objetivos:

- Caracterizar biodiésel de palma, aceite de palma (crudo, blanqueado y refinado) y mezclas de estos con diésel regular, diésel extra y diésel HDT.
- Evaluar las mezclas de biodiésel de palma, aceite crudo, blanqueado y refinado con diésel regular, diésel extra y diésel HDT en motores y vehículos.

La primera fase de este proyecto incluyó la caracterización del aceite de palma crudo, blanqueado y RDB como combustible diésel con el objetivo de evaluar si el aceite de palma podía ser utilizado en motores o si era necesaria la transesterificación. Los

resultados encontrados permitieron concluir que los aceites de palma evaluados (crudo, blanqueado y RDB) no cumplen con los requisitos de calidad establecidos en Colombia y en el mundo. De acuerdo a este resultado, la evaluación en los motores y vehículos se hizo con biodiésel de palma y las mezclas de diésel regular (contenido de azufre de 4000 ppm) y diésel extra (contenido de azufre de 1200 ppm) con biodiésel de palma al 2, 5, 10, 20 y 30%. Teniendo en cuenta que son consistentes los resultados encontrados para los tres grupos de mezclas, en este artículo sólo se presentarán los resultados encontrados para las mezclas de diésel extra con biodiésel de palma.

REQUERIMIENTOS DE CALIDAD PARA EL BIODIÉSEL

La determinación de cada uno de los parámetros establecidos en la NTC 5444 para los biocombustibles seleccionados en este estudio, se realizó en los laboratorios de analítica del Instituto Colombiano del Petróleo y en el Laboratorio de Caracterización de Aceites de Cenipalma. Sin embargo, teniendo en cuenta que este tema es nuevo en el país, hay algunos métodos que no estaban disponibles, como el punto de obturación en frío, la estabilidad a la oxidación, el contenido de glicerina libre y total, el contenido de mono, di y triglicéridos. Los parámetros que se evaluaron en el marco de este proyecto se describen en la Tabla 1.

Aceite de palma

El grupo de muestras de aceite de palma, no cumplieron con los límites establecidos en parámetros como destilación, color, viscosidad, punto de nube y fluidez. Su alta viscosidad y falta de destilación, hacen que los aceites sean descartados como componentes para mezcla con los combustibles diésel, por que pueden causar fallas en los sistemas de inyección de los vehículos, como acumulación de depósitos de coque en inyectores y cámaras de combustión. Esto se debería a la descomposición térmica del aceite y a la degradación de los aceites lubricantes por dilución con los aceites vegetales cuando el motor está arrancando en frío. En consecuencia, aumentarían los costos de mantenimiento de los motores y

Tabla 1. Parámetros establecidos para el biodiésel en Colombia

Propiedad	Método	Propiedad	Método
Gravedad API	ASTM D4052	Corrosión lámina Cu	ASTM D130
Contenido azufre	ASTM D4294	Residuo carbón conrandson	ASTM D4530
Contenido aromático	ASTM D5186	Cenizas sulfatadas	ASTM D874
Viscosidad 40°C	ASTM D445	BSW	ASTM D1796
Número cetano	ASTM D613	Contenido agua	ASTM D95
Destilación	ASTM D86	Número ácido	ASTM D664
Punto de chispa	ASTM D93	Poder calorífico	ASTM D240
Punto de fluidez	ASTM D97	Contenido fósforo	Plasma Masas
Punto de nube	ASTM D2500	Cont. Na/K/Ca/Mg	ASTM D5863
Estabilidad térmica	ASTM D6468	Índice de yodo	EN 14111
Estabilidad almacenamiento	ASTM D4625	Contenido éster	EN14103
Color ASTM	ASTM D1500	CFPP	ASTM D6371
Estabilidad oxidación	ASTM D2274	Glicerina libre/total	ASTM D6584
Mono-di y triglicérido	ASTM D6584	Contenido de metanol	EN 14110

vehículos, y habría fallas prematuras y deterioro acelerado del motor.

Metil éster de palma (Biodiésel)

En este proyecto se realizó la caracterización de un metil éster de palma producido a partir de aceite crudo y otro a partir de aceite refinado. De forma teórica se sabía que los resultados de caracterización deberían ser iguales para el biodiésel de palma derivado del aceite crudo o refinado, ya que el proceso de refinación no afecta las características químicas del aceite. Los resultados encontrados permitieron veri-

ficar el supuesto teórico propuesto, es decir que las características del metil éster de palma cumplen los parámetros de calidad establecidos independiente del estado inicial de la materia prima (cruda o refinada). Tabla 2.

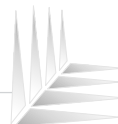
El único paráme-

tro que se ve afectado por la condición de la materia prima (aceite crudo o refinado) es el color, el cual está por fuera de especificaciones cuando se utiliza el aceite de palma crudo. Es importante aclarar que en caso contrario al diésel en el cual el color rojizo significa una degradación del combustible, el biodiésel derivado de aceite crudo de palma debe su color al alto contenido de β -carotenos (promotor de vitamina A).

En el caso del metil éster de palma, los resultados indican que cumple con las especificaciones de calidad establecidas en Colombia (Resolución 1289) e internacionalmente (EN 14214 y ASTM 6751), bien

Tabla 2. Caracterización del metil éster de palma (Biodiésel)

Propiedades	Método de análisis	Unidades	Especificaciones (Resolución 1289)	Metil éster 1 (Bcme)	Metil éster RBD
Gravedad Api	Astm D 4052	°Api	Reportar	30,1	30,8
Densidad (15°C)	Astm D 4052	G/MI	—	0,8753	0,8716
Viscosidad A 40° C	Astm D 445	Mm2/S	1,9 - 5,0	4,49	4,43
Número de cetano	Astm D 613	Cetanos	Min 47	67,6	67,6
Punto de chispa	Astm D 92/93	°C	Min 120	159	185
Punto de fluidez	Astm D 97	°C	3	12	12
Punto de nube	Astm D 2500	°C	Reportar	13	16
Estabilidad térmica	Astm D 6468	%Reflect	Min 70	99,2	N.D
	Astm D 1500	Antes/Desp	—	4,0 / 4,5	N.D
Estabilidad al almacenamiento (3 Semana /6 Semanas)	Astm D 4625	Mg/100 MI	Máx 1.5	0,47 / 0,34	N.D
	Astm D 1500	Inicial	—	4,5L	N.D
		3 Semanas		4,5L	
		6 Semanas		4,5L	
Color Astm	Astm D 1500	N/A *	—	6,0	0,9
Corrosión lámina de Cu	Astm D 130	N/A *	1	1a	1a
Residuo de carbón conrandson	Astm D 4530	% Peso	Máx 0,3	<0,1	N.D
Cenizas sulfatadas	Astm D 874	% Peso	Max 0,02	<0,005	<0,005
Contenido de agua	Astm D 95	Mg / Kg	Max 500	800	500
Número ácido	Astm D 664	Mg Koh/G	Max 0,8	<0.1	<0,10
Poder calorífico	Astm D 240	Mj/Kg	Reportar	39.866	40.025



sea éste producido a partir de aceite crudo o refinado de palma.

En Colombia, las especificaciones de calidad hoy están definidas en la resolución 1289/05 del Ministerio de Minas y del Ministerio del Medio Ambiente. Es así como el metil ester de palma cumple con la mayoría de los parámetros establecidos en esta resolución, excepto por el punto de fluidez, límite establecido de 3°C, ya que el valor encontrado para el biodiésel de palma es 12°C, tema que se tratará posteriormente.

Mezclas de diésel extra con biodiésel de palma al 2, 5, 10, 20 y 30%

Cuando se analiza las características de las mezclas de combustible diésel con biodiésel, es necesario tener en cuenta, que el combustible de referencia es el combustible diésel, es decir las especificaciones de calidad establecidas para este combustible (Resolución 1289).

Con respecto a los resultados encontrados de las mezclas de diésel con biodiésel de palma se puede concluir:

- La caracterización de las mezclas de combustible diésel (regular y extra) con metil éster de palma al

2, 5, 10, 20 y 30% permiten concluir que, al igual que el biodiésel de palma, las mezclas con combustible diésel cumplen las especificaciones de calidad establecidas en el país. Tabla 3.

- Es importante mencionar que el biodiésel de palma, cuando se encuentra mezclado con el combustible diésel, mejora algunas propiedades de este último, como el número de cetano, la viscosidad y la lubricidad.
- Las mezclas de combustible diésel con biodiésel de palma presentan un incremento en el número de cetano de forma proporcional al porcentaje de biodiésel en la mezcla. Este hecho es consistente en las mezclas con los cuatro combustibles fósiles utilizados en este estudio. Para la mezcla al 30% con diésel regular, el incremento es de 8 puntos y, en el caso del diésel extra, de 9.
- En cuanto a las propiedades de flujo en frío evaluadas (punto de fluidez y punto de nube), se encontró que éstas no se afectan significativamente cuando la mezcla contiene menos del 50% de biodiésel de palma, y cumplen con la especificación local para el combustible diésel (3°C).

Tabla 3. Resultados de la caracterización de las mezclas de combustible diésel con biodiésel de palma al 2, 5, 10, 20 y 30%

Propiedades	Unidades	Especificaciones (Resolución 1289)		Diesel Extra - Metil éster de Palma					
		Diésel Extra		B0	B2	B5	B10	B20	B30
		Ene-01	Jul-08						
Gravedad Api	°Api	Reportar	Reportar	35,3	35,3	35	34,9	34,3	33,8
Densidad	G/MI	-----	-----	0,8477	0,8477	0,8492	0,8501	0,8532	0,8556
Contenido de azufre	% Wt	0,12	0,05	0,123	0,115	0,11	0,104	0,09	0,077
Viscosidad a 40°C	Mm2/S	1,9-4,1	1,9-4,1	3,0502	3,0975	3,0633	3,1821	3,3462	3,4107
Índice de cetano	Cetanos	Mín 45	Mín 45	50,3	50,3	50,2	50,7	50,9	51,3
Número de cetano	Cetanos	Mín 45	Mín 45	52	52,3	53,4	55,3	57,8	61
Destilación	°C								
Pie	°C	Reportar	Reportar	173,1	169,9	172	170,7	174,8	184,1
50% Vol evaporado	°C	Reportar	Reportar	276,2	276,7	279,4	283,5	290,9	297,8
90% Vol evaporado	°C	282-338	282-338	331,1	331,2	332	333	334	332,5
Pfe	°C	Máx.360	Máx.360	355,9	354,6	354,2	352,2	351,3	346,8
Residuo	MI	-----	-----	1,2	1,2	1,1	1,1	1,1	1,1
Punto de chispa	°C	Mín 52	Mín 52	66	69	69	72	73	76
Punto de fluidez	°C	Máx. 3	Máx. 3	-6	-6	-6	-6	-6	-3
Punto de nube	°C	-----	-----	-2	0	-1	-2	0	2
Color Astm	N/A *	Máx. 2	Máx. 2	0	L 2.5	L 3.0	L 3.5	L 4.0	L 4.5
Corrosión lámina de Cu	N/A *	Máx. 2	Máx. 2	1a	1a	1a	1a	1a	1a
Residuo carbón conradson	% Peso	Máx. 0,2	Máx. 0,2	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1
Cenizas sulfatadas	% Peso	Máx. 0,01	Máx. 0,01	0	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005
Bsw	% Volumen	Máx. 0,05	Máx. 0,05	0	0	0	0	0	0
Contenido de agua	Mg / Kg	-----	-----		2359	0	588	1172	1169
Poder calorífico	Mj/Kg	-----	-----	45,764	44,482	46,322	45,016	44,432	44,317

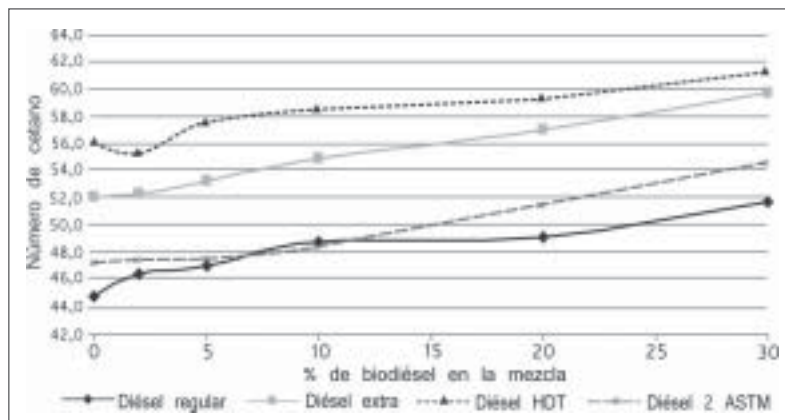


Figura 1. Comparación del número de cetano de las mezclas de combustibles diésel con biodiésel de palma.

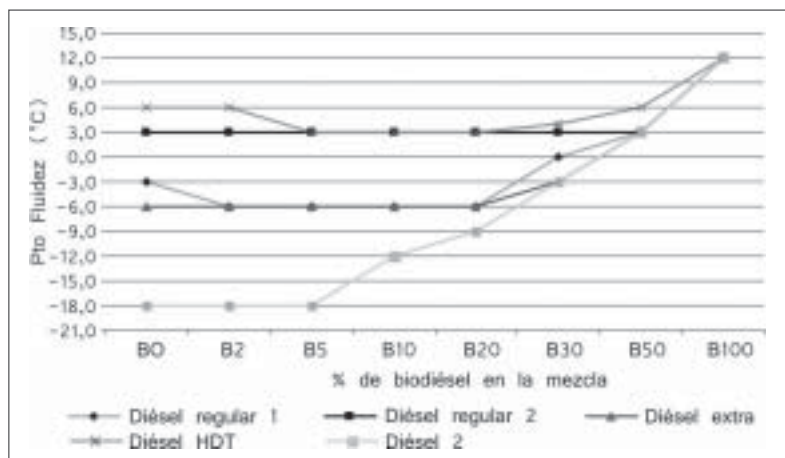


Figura 2. Comparación del punto de fluidez de las mezclas de combustibles diésel con biodiésel de palma.

Evaluación de las mezclas de diésel y biodiésel de palma en motores y vehículos.

Pruebas en el motor. Las pruebas se realizaron en el Banco de potencia del Laboratorio de Motores del ICP. Para esto se utilizó un motor diésel Cummins 160, turbo cargado de inyección directa.

Se evaluaron las mezclas de diésel extra con biodiésel de palma a 2, 5, 10, 20 y 30% y el biodiésel de palma puro, a tres presiones atmosféricas con el fin de simular el comportamiento del motor a diferentes alturas sobre el nivel del mar. Es así como una presión de 800 milibares corresponde aproximadamente 2400 m.s.n.m, altura cercana a Bogotá está alrededor de 2600 m.s.n.m, y 1000 milibares corresponde a 0 m.s.n.m.

Los resultados encontrados para las curvas características de torque y potencia del motor cuando se utilizan las mezclas de diésel extra con biodiésel de palma, presentan un comportamiento similar al del combustible diésel y este hecho es consistente en las tres presiones de trabajo evaluadas. Es importante mencionar que es más evidente el efecto de la presión que el contenido de biodiésel en el torque y la potencia del motor (Figura 3).

Para evaluar el consumo específico de combustible y cuantificar el nivel de emisiones del motor en esta prueba, se utilizó el ciclo de 13 pasos de estado estable, el cual fija condiciones de velocidad y torque en cada paso, en función de las condiciones de máxima potencia y máximo torque.

Los resultados encontrados al evaluar los diferentes combustibles y las mezclas diésel – biodiésel de palma muestran variaciones mínimas en el consumo de combustible en cada uno de los 13 pasos estudiados. Lo anterior significa que no se incrementa el consumo de combustible en ninguna de las mezclas de los combustibles

diésel con biodiésel de palma (2, 5, 10, 20 y 30%). Este comportamiento es similar en las tres presiones atmosféricas evaluadas en este proyecto (Figura 4).

En vehículos. Las pruebas se realizaron en el Chasis dinamométrico del Laboratorio de Motores del ICP. Este es un dinamómetro marca “Mustang Dynamometer” referencia MD-100-M-HD, que permite medir torque y potencia transferida al eje motor. Se utilizó el ciclo de manejo para vehículos CCM-ICP-01 desarrollado en el ICP.

Los vehículos utilizados en esta actividad fueron prestados en comodato por las empresas Daimler Chrysler (1), G.M. Colmotores (2) y Transpiadecuesta (2). El grupo de vehículos fue heterogéneo en cuanto al tiempo de uso, mantenimiento y tipo de motor diésel. Para el muestreo de gases se utilizó el sistema

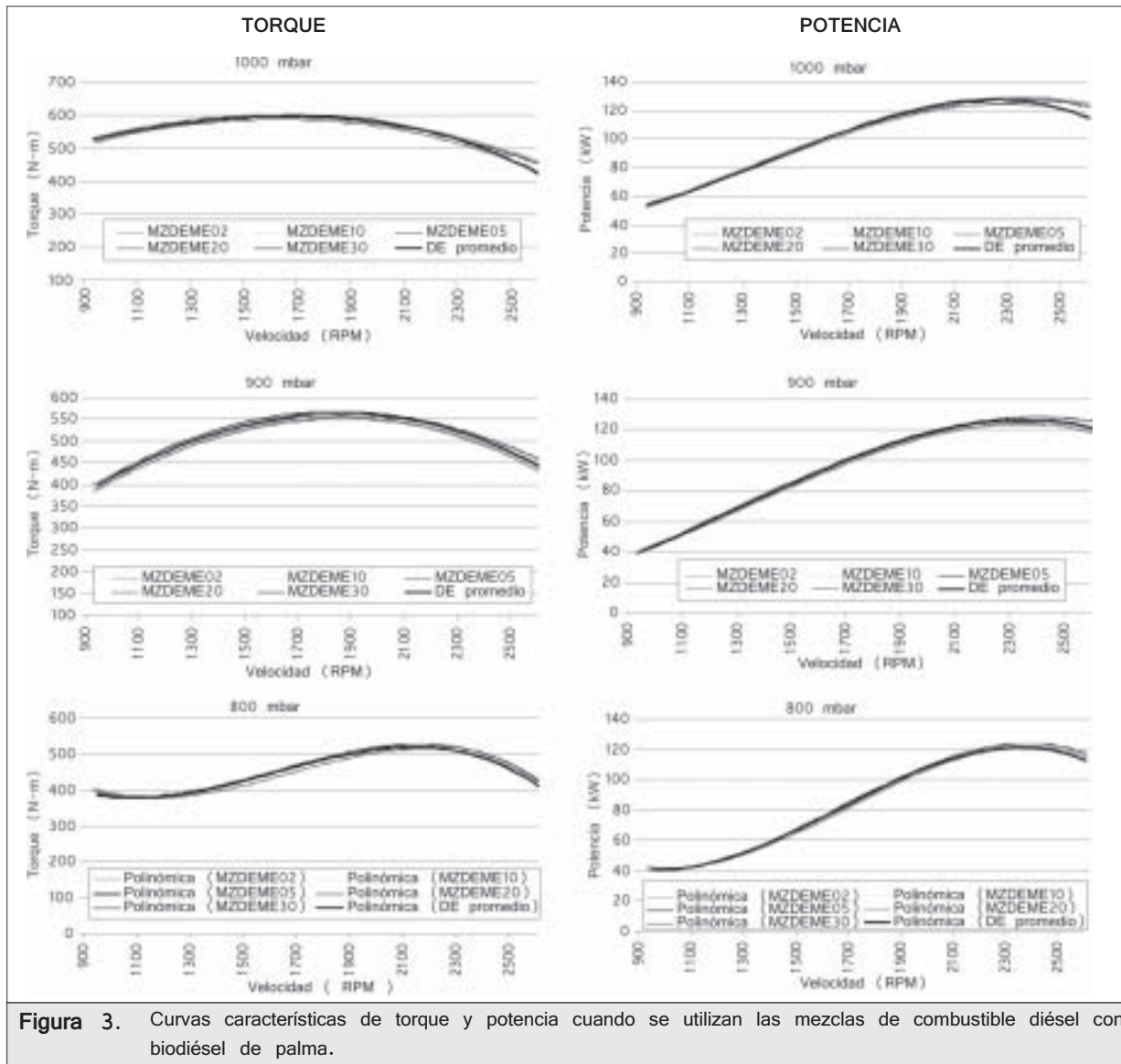


Figura 3. Curvas características de torque y potencia cuando se utilizan las mezclas de combustible diésel con biodiésel de palma.

DOES2 y para la medición se utilizó un analizador de cinco gases.

Debido al menor poder calorífico del biodiésel de palma en comparación con el combustible diésel (10% menor), la potencia transferida y el torque generado en el eje de los rodillos, cuando se utiliza biodiésel, disminuyen en promedio 7% en relación con el diésel regular y 6,2% en relación con el diésel extra (Figura 5).

Los resultados encontrados cuando se utilizan las mezclas de diésel – biodiésel de palma son consistentes con los encontrados para los combustibles puros, es decir a medida que aumenta la cantidad de biodiésel presente en el combustible, la tendencia es a disminuir la potencia transferida por los vehículos a los rodillos.

La disminución máxima encontrada cuando se utiliza la mezcla al 30% de biodiésel es 2,5% y 3% con respecto al diésel regular y extra.

Por la relación existente entre el torque y la potencia, se presenta un comportamiento similar en el torque al observado para la potencia, es decir, a medida que aumenta la cantidad de biodiésel de palma presente en la mezcla, el torque en el eje de los rodillos disminuye.

En las mezclas al 30% de biodiésel de palma, el torque en el eje de los rodillos tiende a disminuir entre 1,7 y 2,2% con respecto a los combustibles diésel regular y extra. Esta disminución no es significativa y no se espera que afecte la operación normal de los vehículos (Figura 6).

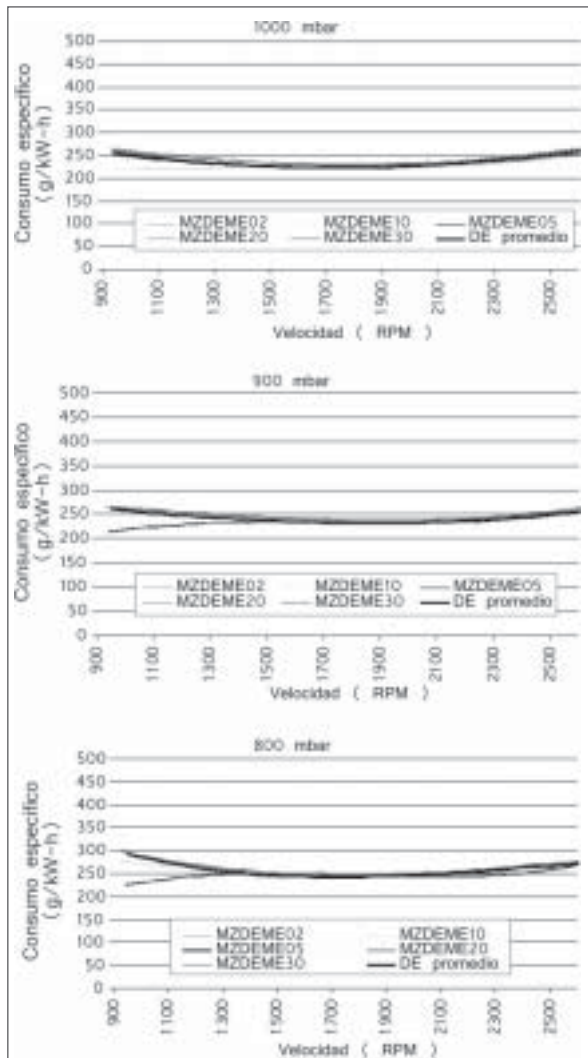


Figura 4. Consumo específico de combustible cuando se utilizan las mezclas de combustible diésel con biodiésel de palma.

Evaluación de las emisiones de gas efecto invernadero.

Algunos resultados obtenidos por la Agencia de Protección Ambiental de California muestran cómo es la reducción de las emisiones cuando se utiliza biodiésel al 2, 20 y 100%; es así como reportan una disminución en los hidrocarburos quemados, el monóxido de carbono y el material particulado. En el caso de las emisiones de óxidos de nitrógeno, reportan un incremento. Es importante aclarar que estos resultados fueron obtenidos cuando se utiliza biodiésel de soja, girasol y colza.

Los resultados obtenidos con el biodiésel de palma son los siguientes:

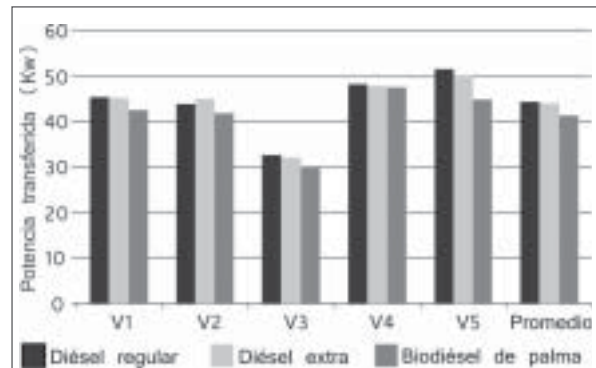


Figura 5. Comparación de la potencia transferida cuando se utilizan los combustibles puros.

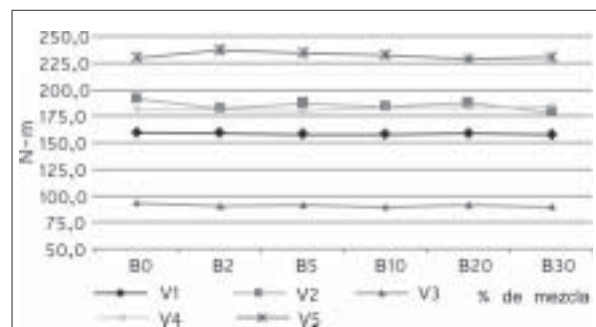
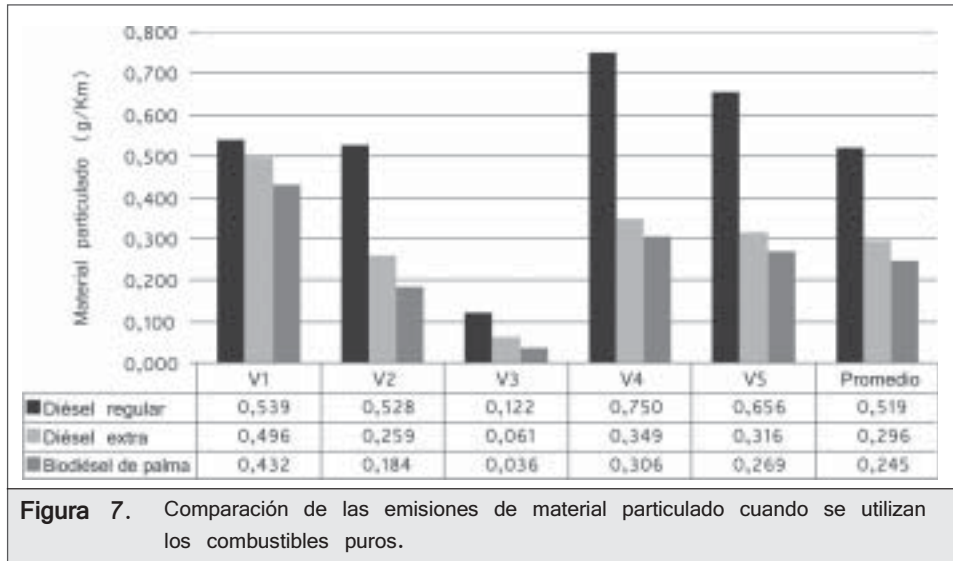


Figura 6. Comparación del torque en el eje de los rodillos cuando se utilizan las mezclas de combustible diésel con biodiésel de palma.

- Emisiones de material particulado. Cuando se utilizaron los combustibles puros, diésel regular, diésel extra y biodiésel de palma, se encontró que en los cinco vehículos en prueba las emisiones de material particulado disminuyen de forma significativa cuando se utiliza biodiésel de palma en comparación con las emisiones del diésel regular y diésel extra. En promedio, las reducciones de material particulado fueron del 53% y del 17% con respecto al diésel regular y diésel extra respectivamente (Figura 7).

Al evaluar las emisiones de material particulado en el motor estacionario a las diferentes presiones atmosféricas, se encontró que a mayor altura sobre el nivel del mar, las emisiones son mayores debido a la disminución de la presión atmosférica y por ende menor concentración de oxígeno disponible para la combustión. Este fenómeno se evidencia en la figura X, en la cual se comparan las emisiones a las tres presiones



así como en promedio las emisiones de NOx se reducen en un 20% con respecto al diésel regular y en un 12% con respecto al diésel extra (Figura 9). Es importante tener en cuenta que este tipo de emisión, no sólo dependen del tipo de combustible que se esté utilizando además depende de algunos factores tales como tipo, modelo, mantenimiento del motor, de la temperatura de

evaluadas 1000, 900 y 800 milibares. Además se encontró una reducción de emisiones relacionada con el contenido de biodiésel en la mezcla, es decir a medida que se incrementa el contenido de biodiésel se incrementan la reducción de emisiones (Figura 8).

- Emisiones de dióxido de carbono, CO₂. Cuando se evalúan las emisiones de CO₂ en los vehículos, se encontró que la tendencia es a disminuir este tipo de emisiones cuando utilizan biodiésel en comparación de las emisiones con diésel regular y diésel extra. Es así como en promedio con respecto al diésel regular se presentó una reducción del 7% y con respecto al diésel extra es del 1%.

En las emisiones de dióxido de carbono (CO₂) no se evidencia un efecto marcado de la presión atmosférica; las curvas para estas tres presiones en cada una de las emisiones presentan la misma tendencia. Sin embargo, cuando se utilizan mezclas con contenidos de biodiésel superiores al 20% se presenta una tendencia a disminuir las emisiones en comparación con los combustibles puros.

- Emisiones de óxidos de nitrógeno, NOx. En el caso de los óxidos de nitrógeno encontramos que en 4 de los vehículos probados las emisiones de NOx cuando se utiliza biodiésel de palma disminuye. Es

combustión, del lugar donde se utilice el combustible. Si bien este resultado preliminar es muy importante, es necesario que se verifique cuando se realicen las pruebas de larga duración con metil éster de palma (Figura 10).

Además de las variables anteriormente mencionadas, el contenido de moléculas saturadas en el biodiésel también afecta las emisiones de NOx. Es importante recordar que el aceite de palma es el más saturado de los aceites que hoy utilizan para la producción de biodiésel en el mundo, en comparación con el aceite de soya, colza y girasol. Es así como al igual que el combustible diésel, hay una relación directa entre contenido moléculas insaturadas y emisiones de NOx, es decir entre mayor sea el contenido de este tipo de ácidos grasos insaturados, para el caso del biodiésel, mayor serán las emisiones de NOx. Desde otro punto de vista, entre mayor sea la concentración de ácidos grasos saturados menor serán las emisiones de NOx.

Cuando se evalúan las emisiones de NOx a diferentes presiones atmosféricas, se observa que el tema de la presión atmosférica no afecta de forma significativa las emisiones, y al igual que las emisiones de CO₂, hay una tendencia a disminuir las emisiones de NOx cuando la mezcla es superior al 20%.