

Pruebas de larga duración con biodiésel de palma en una flota de servicio público en Bogotá

Palm Biodiesel in Bogota's Public Bus Fleet: A Long Term Study

AUTORES

María Antonia Amado D.

Auxiliar de investigación del proyecto biodiésel (Cenipalma)

Jesús A. García N.

Líder del proyecto biodiésel (Cenipalma)

Ronald Carranza S.

Auxiliar de investigación del proyecto biodiésel (Cenipalma)

Mónica Cuéllar S.

Líder del proyecto biodiésel (Fedepalma)

Jaime A. Torres N.

Líder del Proyecto biodiésel (Ecopetrol)

Julia R. Acero R.

Profesional del Proyecto biodiésel (Ecopetrol)

José A. Sarmiento

Profesional del Proyecto biodiésel (Ecopetrol)

José L. Sarmiento

Líder del Laboratorio de motores (Ecopetrol)

Daniel Cabuya

Gerente de Producción de SiO2 y Líder del Proyecto biodiésel de Si99

Óscar Rincón

Ingeniero de Producción e Investigador del Proyecto biodiésel de Si99

Palabras CLAVE

Biodiésel de palma, Motores diésel,
Prueba de larga duración,
Emisiones gaseosas.

Palm biodiesel, Diesel motors,
Long-term study, Gas emissions.

Recibido: 21 enero 2009

Aceptado: 28 enero 2009

Resumen

Se llevó a cabo una prueba de larga duración (100.000 km/bus) para evaluar el desempeño de cinco (5) mezclas de diésel-biodiésel de palma (B5, B10, B20, B30 y B50) con diésel fósil (B0), bajo condiciones normales de operación de buses articulados del sistema de transporte masivo de Bogotá, a una altura de 2600 metros sobre el nivel del mar y a una temperatura promedio de 14° C. Los resultados obtenidos mostraron que el desempeño y consumo de combustible de los buses que utilizaron las mezclas diésel-biodiésel es muy similar al de los buses que utilizaron diésel fósil. La opacidad de los vehículos, evaluada cada 10.000 km, mostró que los buses que utilizan mezclas con biodiésel de palma presentan menores valores de opacidad que los que operaron con diésel. Lo anterior se corroboró con los resultados de las pruebas de emisiones en ruta, que mostraron reducciones en las emisiones de CO₂ y material particulado. Inspecciones mecánicas realizadas a los sistemas de inyección de los buses cada 50.000 km mostraron que no se presentan irregularidades y que el desgaste fue similar para todos los vehículos evaluados. Adicionalmente se encontró que los empaques y sellos (*o-rings*) de todos los vehículos se encontraban en buenas condiciones.

Summary

A long-term test (100,000 km) was carried out in order to evaluate the performance of five (5) blends of diesel and palm biodiesel (B5, B10, B20, B30 and B50) compared to fossil diesel (B0). The tests used several buses of the mass transport system in the city of Bogota operating under normal conditions at 2600 meters above sea level and an average temperature of 14° C. The results showed that the performance and fuel consumption of the buses using the biodiesel blends were very similar to those of the

buses using only diesel fuel (the control buses). The vehicles' opacity was measured every 10,000 km and the results showed that the buses using diesel- biodiesel blends had lower opacity values than the buses using fossil diesel fuel. This was confirmed by the results of the on-road emissions test which showed reduction in CO₂ and particulate matter emissions. Mechanical inspections of the injection systems of the vehicles were performed every 50,000 km and showed that there were no anomalies and the wear-out of the different components was similar for all the tested vehicles. It was also found that packaging and o-rings of all vehicles were in good condition.



Introducción

Colombia es un país de vocación agrícola que cuenta con extensas áreas dedicadas al cultivo de palma de aceite; actualmente existen alrededor de 352.000 hectáreas sembradas, de las cuales cerca de 230.000 se encuentran en producción y contribuyen con aproximadamente el 85% de la producción de aceites en Colombia. En este momento alrededor del 40% de esta producción es exportada y se satisface en su totalidad la demanda interna. Durante los últimos años se han visto incrementos en las exportaciones de aceite de palma, mientras que la disminución de las reservas de petróleo y la baja calidad del diésel corriente producido en Colombia llevan a requerir cada día mayores importaciones de combustibles para satisfacer la demanda de éstos en Colombia y cumplir con las nuevas regulaciones ambientales (Fedepalma, 2008; Upme, 2008).

Con base en la anterior situación y los resultados de un estudio de LMC International¹, se dio inicio al Programa de Biodiésel de Palma en Colombia, en 2004, con la publicación de la Ley 939, que estimula la producción y comercialización de combustibles de origen vegetal, mediante la exención de la renta líquida generada por el aprovechamiento de nuevos cultivos. Posteriormente, el Ministerio de Minas y Energía decretó iniciar el uso de mezclas diésel-biodiésel de palma al 5%, en 2008, y ampliar este porcentaje al 10% en 2012, según consta en el decreto 2629 de 2007; adicionalmente se requiere que a partir de 2012 todo el parque automotor nuevo en Colombia que utilice combustible diésel, esté en la capacidad de usar mezclas con biodiésel al 20%.

La decisión de destinar parte de la producción de aceite de palma como materia prima para la producción de biocombustibles ha generado polémica por su supuesto impacto negativo en la seguridad alimentaria del país. La realidad es que lo que representa un problema para otros países es para Colombia una oportunidad, ya que es uno de los pocos países que cuenta con 17,3 millones de hectáreas cultivables, de las cuales actualmente solo se aprovechan cerca de 5 millones. Lo anterior, sumado a la diversidad de las condiciones climáticas que se tienen en Colombia y a los programas gubernamentales de apoyo al agro, brindan los recursos para incrementar las siembras y aumentar la productividad, lo cual permite garantizar la seguridad alimentaria del país, llevando a Colombia a ser prácticamente autosuficiente en productos alimenticios y a tener participación con exportaciones en el mercado internacional (Arias, 2008).

En cuanto al desempeño del biodiésel como combustible, diversos autores han expuesto las ventajas que presenta su uso, ya sea puro o mezclado con diésel fósil. A escala mundial se han desarrollado diversas investigaciones con el propósito de establecer el desempeño del biodiésel y sus mezclas, en pruebas tanto de motores estacionarios como en ruta. Una revisión sobre el desempeño del biodiésel desde el punto de vista mecánico y ambiental, realizado por la Universidad del Norte (Agudelo *et al.*, 2003), recopila algunos de los estudios que se han realizado en diferentes partes del mundo, empleando biodiésel de diferentes materias primas. La mayoría de los autores coinciden en que el desempeño de los vehículos no se ve afectado y señalan, además, que la combustión

1. Biodiesel - How will it affect the fuel and oilseeds Markets? LMC International, 2002.



con el biodiésel es mucho más completa, debido a la presencia de oxígeno en la molécula (Choi *et al.*, 1997; Schäfer, 1995).

Para el caso específico del biodiésel producido a partir de aceite de palma, se han realizado algunas pruebas sobre las propiedades y el comportamiento de este combustible. Los estudios llevados a cabo en un chasis dinamométrico por Wirawan *et al.* (2008) mostraron un buen desempeño del biodiésel de palma, con la ventaja adicional de una significativa reducción de las emisiones de gases contaminantes.

En Colombia se conocen algunas pruebas cortas en ruta realizadas con un vehículo Nissan tipo microbús, por parte de investigadores de la Universidad Nacional y de la Universidad de Antioquia. Según los resultados presentados, se concluye que el biodiésel de palma es una alternativa energética apta para oxigenar el diésel, sin afectar el desempeño del mismo, y que para su uso no requiere modificaciones el motor del vehículo (Agudelo *et al.*, 2004).

Por otra parte, los estudios realizados por Cenipalma y Ecopetrol en banco de pruebas y chasis dinamométrico, mostraron que en mezclas hasta del 30% no se afectan el consumo de combustible, ni las propiedades de flujo en frío. Las mezclas evaluadas exhibieron un alto número de cetano, buena estabilidad, mejor capacidad lubricante y resultados positivos en la reducción de emisiones, por ser un combustible oxigenado libre de azufre y aromáticos (Cuéllar y Torres, 2006).

Con el fin de validar los anteriores resultados, Fedepalma, Cenipalma, Ecopetrol y Si99, uno de los operadores de Transmilenio, diseñaron una prueba de larga duración con biodiésel de palma, para evaluar el comportamiento de los buses de Transmilenio con la utilización de mezclas de diésel-biodiésel de palma en proporciones desde un 5% hasta un 50%, en un recorrido acumulado de un millón de kilómetros (100.000 km/bus). Las pruebas fueron realizadas en Bogotá, a 2600 metros sobre el nivel del mar (msnm) y a una temperatura promedio de 14° C, lo cual permitió verificar el comportamiento del biodiésel de palma en condiciones de clima frío y el efecto de la altura, en el desempeño de los motores diésel.

Es importante recordar que al operar los motores a alturas mayores sobre el nivel del mar, se reduce su eficiencia volumétrica, lo que significa que menos aire entra al cilindro, proporcionando una mezcla rica en combustible y haciendo su combustión más incompleta. En este artículo se presentan los principales resultados de la prueba de larga duración.

Metodología

Para el desarrollo de este proyecto fue necesario llevar a cabo la construcción de una estación de almacenamiento y mezcla de combustibles, con capacidad de proveer a los vehículos con proporciones al 5, 10, 20, 30 y 50% en volumen de biodiésel de palma.

Se diseñó además un esquema de control de calidad para garantizar el cumplimiento de las especificaciones de las mezclas diésel-biodiésel de palma que se utilizaron en la prueba, de acuerdo con lo establecido en la resolución 182087 de 2007, que es la norma sobre calidad vigente en Colombia. La calidad de los combustibles puros fue verificada en el momento del recibo y durante el almacenamiento, al igual que la calidad de sus mezclas.

Paralelamente se realizó la selección y puesta a punto² de los 12 vehículos que participaron en la prueba; este proceso tuvo por objeto garantizar que los buses se encontraran en un estado mecánico comparable para iniciar la prueba; esta adecuación no es requerida para un vehículo convencional que inicie el uso de biodiésel.

La primera etapa del proyecto consistió en el establecimiento de una línea base; para esto, los 12 buses de la prueba utilizaron únicamente combustible diésel fósil durante un recorrido de 10.000 km, con el propósito de conocer su comportamiento. Este periodo incluyó un seguimiento diario al consumo de combustible, y otro semanal a la opacidad de cada uno de los buses.

Una vez conocida la línea base, se dio inicio a la prueba, empleando dos (2) vehículos para cada una de las mezclas de diésel-biodiésel de palma al 5, 10, 20, 30 y 50% en volumen; los dos vehículos restantes continuaron utilizando diésel fósil. Cada uno de los buses

² La puesta a punto de los vehículos consistió en las siguientes actividades: lavado de los tanques de combustible, mantenimiento de la bomba de inyección, montaje de inyectores nuevos, cambio del filtro y el prefiltro de combustible, cambio del aceite del motor e instalación y puesta a punto del sistema de adquisición de datos FM200.

recorrió 100.000 km, periodo durante el cual se realizó un seguimiento diario al consumo de combustible y cada 10.000 km se verificó la opacidad registrada, la aceleración de los vehículos y el estado del aceite lubricante del motor.

Para verificar el efecto de las mezclas con biodiésel de palma sobre el sistema de inyección, se efectuó una revisión mecánica de uno de los buses de cada pareja, una vez cumplidos los primeros 50.000 km. Para esto, las bombas del sistema de inyección y los inyectores fueron desmontados y desensamblados y se realizó un registro fotográfico de cada una de las partes para un análisis detallado de cada pieza. Al finalizar la prueba (100.000 km) fueron revisados los sistemas de inyección de todos los buses del proyecto.

Resultados

A continuación se describen los principales resultados obtenidos durante la ejecución de la prueba de larga duración con las mezclas diésel-biodiésel.

Selección de vehículos y periodo de línea base

Se seleccionaron 12 buses que prestan servicios al sistema de transporte masivo de Bogotá. Los vehículos participantes son de la marca Mercedes Benz, modelos 2001 y 2002, del tipo articulado O-400-UPA. Con ellos se realizó una puesta a punto para garantizar un estado mecánico equiparable al inicio de la prueba.

Durante el periodo de línea base se realizó un seguimiento al consumo específico de combustible, utilizando el sistema electrónico FM200, que está instalado en cada uno de los buses. Se halló que el rendimiento de combustible para los buses se encuentra entre 4,86 km/gal y 7,0 km/gal, valores que están dentro del rango que maneja el operador SÍ99 en el resto de su flota (Figura 1).

Es importante destacar que durante este periodo todos los vehículos utilizaron el mismo combustible y mostraron variaciones en el rendimiento registrado; lo anterior es un indicador de que el consumo no sólo depende del combustible sino que se ve influenciado por otros factores, tales como la ruta recorrida, el modo de conducción y el estado mecánico de cada uno de los vehículos.

El promedio de opacidad registrada por los vehículos en el periodo de línea base se muestra en la Figura 2. Puede verificarse que el promedio de opacidad de todos los vehículos se mantuvo por debajo del porcentaje máximo legal permitido, que es de 40%, y también del máximo establecido por el programa de autorregulación de SÍ99 que es del 32%. Las determinaciones se realizaron empleando el método de aceleración libre Fast, el cual sigue la metodología de las normas técnicas SAE J1667 y NTC 4231. Este tipo de prueba es muy útil, pues el montaje es sencillo y el resultado inmediato; sin embargo, su desventaja consiste en que no proporciona información acerca de

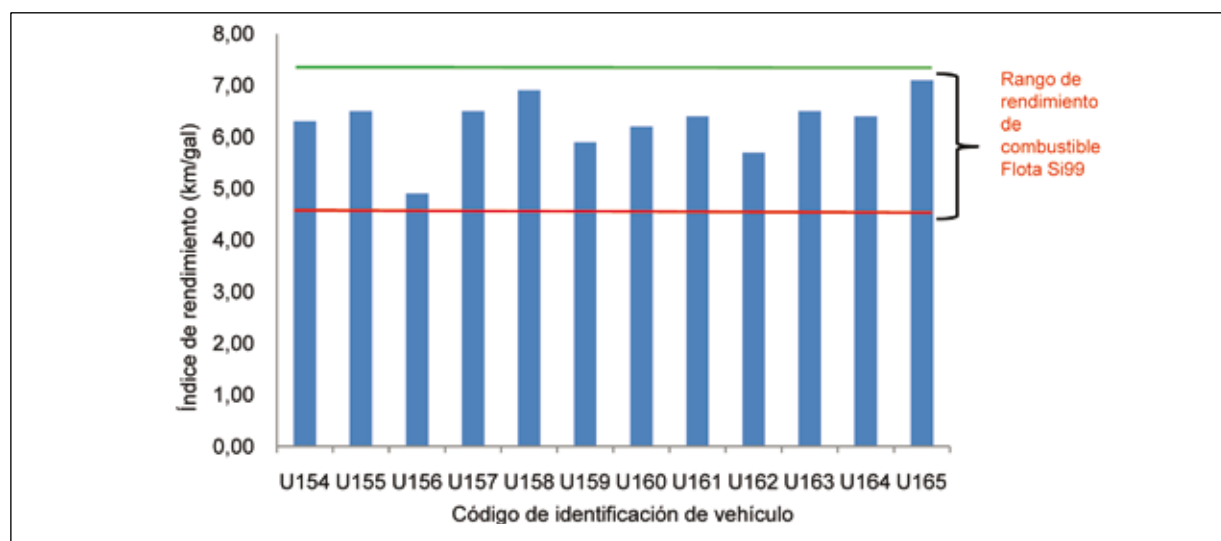


Figura 1. Rendimiento de combustible durante el periodo de línea base.

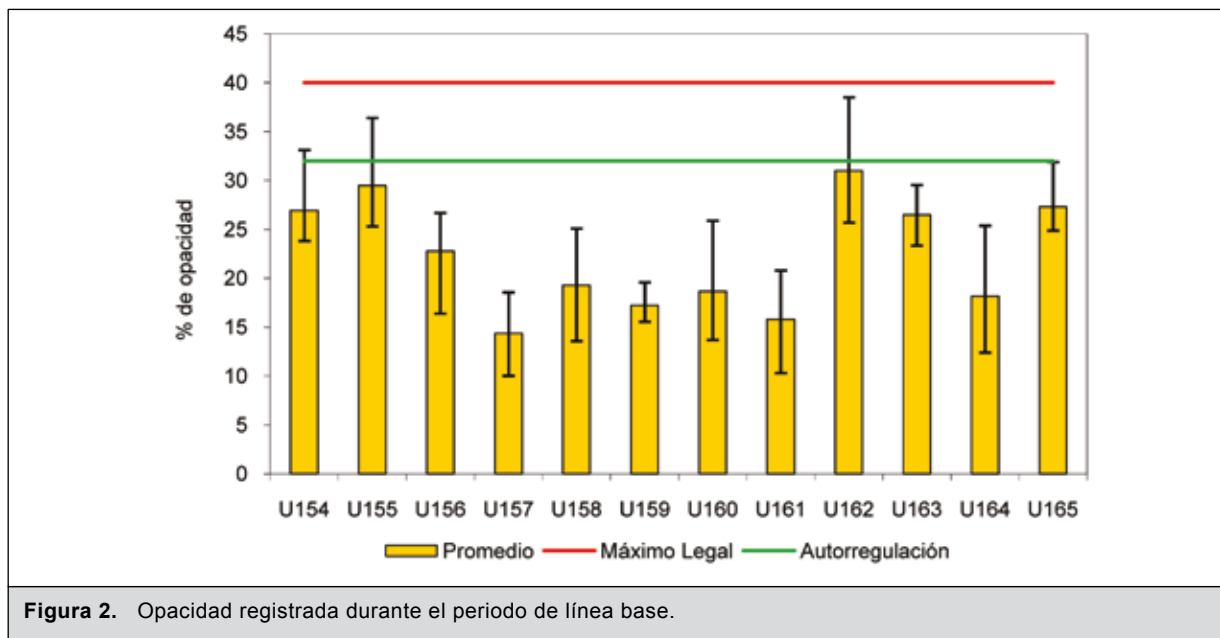


Figura 2. Opacidad registrada durante el periodo de línea base.

la composición de los gases de escape o del material particulado generado, y que es muy sensible a las condiciones externas, lo cual lo hace muy variable.

Teniendo en cuenta los resultados obtenidos, se puede concluir que cada bus se comporta como una unidad experimental diferente y que el análisis de la información debe realizarse evaluando tendencias.

Construcción de la estación de almacenamiento, mezcla y control de calidad de los combustibles

La estación construida (Figura 3) cuenta con dos unidades portátiles para el almacenamiento del diésel y el biodiésel de palma. Como este último tiene un punto de nube de 14° C, la unidad dedicada a su almacenamiento fue acondicionada para que la temperatura interna del contenedor se encuentre entre 20° C y 25° C, con lo cual se garantiza que el producto permanezca líquido en el lugar de almacenamiento.

La estación tiene líneas independientes para cada combustible. La destinada al biodiésel cuenta con aislamiento y sistema de calentamiento eléctrico para garantizar el flujo del biodiésel de palma por las tuberías. La mezcla de combustibles es efectuada en línea por medio de un mezclador surtidor de combustible o “blender”, que cuenta con entradas independientes para el diésel y el biodiésel de palma, y por medio de válvulas electrónicas dosifica la cantidad requerida para realizar mezclas al 5, 10, 20, 30 y 50%.



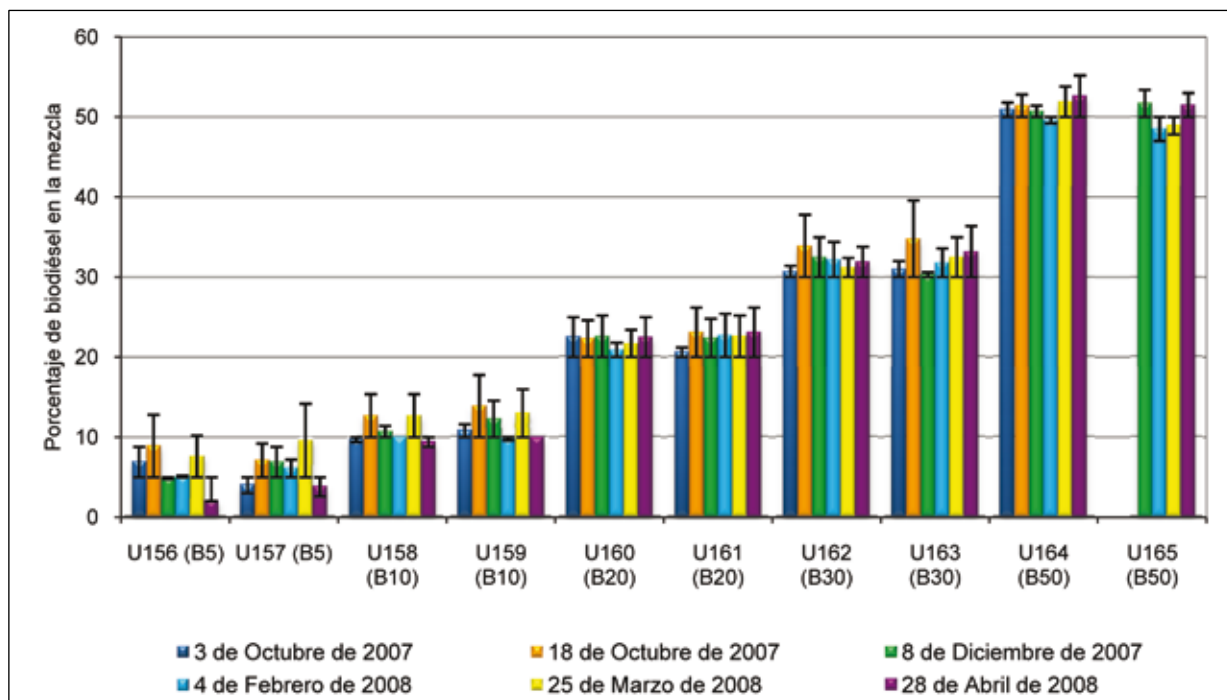
Figura 3. Estación de almacenamiento y mezcla de combustibles.

Durante la operación de la planta, la temperatura media del biodiésel de palma en el tanque de almacenamiento fue de 23° C, y en el caso del diésel, de alrededor de 14° C; el abastecimiento de combustible a los buses se realizó en horas de la madrugada, con un registro promedio de temperatura ambiente de 9° C. Bajo estas condiciones, no se evidenciaron, en ninguna de las mezclas, problemas de choque térmico o formación de sólidos por la diferencia de temperatura de los combustibles.

Un consolidado de la caracterización de las mezclas empleadas durante la prueba se muestra en la Tabla 1. Puede verificarse que todas las mezclas de diésel-biodiésel de palma cumplieron con los estándares

Tabla 1. Consolidado de los análisis de calidad efectuados a las mezclas de diésel - biodiésel

Análisis	Norma	Especificación	Mezcla de diésel-biodiésel de palma				
			B5	B10	B20	B30	B50
Azufre (% masa)	ASTM D4294	0,1 Máx.	0,0733	0,0711	0,0565	0,0475	0,0370
Densidad (g/mL)	ASTM D4052	Reportar	0,855	0,856	0,857	0,859	0,864
Residuo de carbón (% masa)	ASTM D4530	0,2 Máx.	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10
Viscosidad (40° C)	ASTM D445	1,9 – 4,1	2,929	2,947	3,069	3,255	3,530
Punto de inflamación (°C)	ASTM D93	52 Mín.	65,7	65,6	67,0	70,5	78,0
Cenizas (% masa)	ASTM D482	0,01 Máx.	0,0001	0,0001	<0,001	<0,001	0,0001
Lubricidad (micrómetros)	ASTM D6079	450 Máx.	246,75	236,38	223,25	212,75	207,00
Punto inicial de ebullición: PIE (° C)	ASTM D-86	PFE: 360	173,0	174,4	179,2	176,1	186,8
Punto final de ebullición: PFE (° C)		Máx.	344,6	345,8	343,6	344,6	341,9
N° de Cetano (adimensional)	ASTM D613	45 Min.	48,0	47,7	51,0	54,4	59,6
Punto de fluidez (° C)	ASTM D97	3 Máx.	-18,0	-13,5	-9,0	-3,0	3,0
Punto de nube (° C)	ASTM D2500	Reportar	-10,3	-9,8	-8,0	-2,0	3,0
Cold filter plugging point: Cfpp	ASTM D6371	Reportar	-17,5	-16,8	-14,0	-8,5	-1,0

**Figura 4.** Verificación del contenido de biodiésel en las mezclas.

de calidad establecidos para el combustible diésel en Colombia, mostrando además mejoras significativas en el número de cetano, la lubricidad y el contenido de azufre.

El control realizado a la cantidad de biodiésel presente en la mezcla se muestra en la Figura 4. Los análisis fueron realizados utilizando un equipo *Petrospec*[™], el cual utiliza un modelo matemático generado por mediciones en el infrarrojo. Los re-

sultados mostraron que el contenido de biodiésel en las mezclas se encontraba acorde con el teórico esperado; sin embargo, se encontraron mayores variaciones para las mezclas con porcentajes de biodiésel más bajos.

Para garantizar que la humedad de los combustibles durante el almacenamiento se mantuviera dentro de las especificaciones, se instalaron filtros de silica-gel en los respiraderos de los tanques de almacenamiento. Estu-

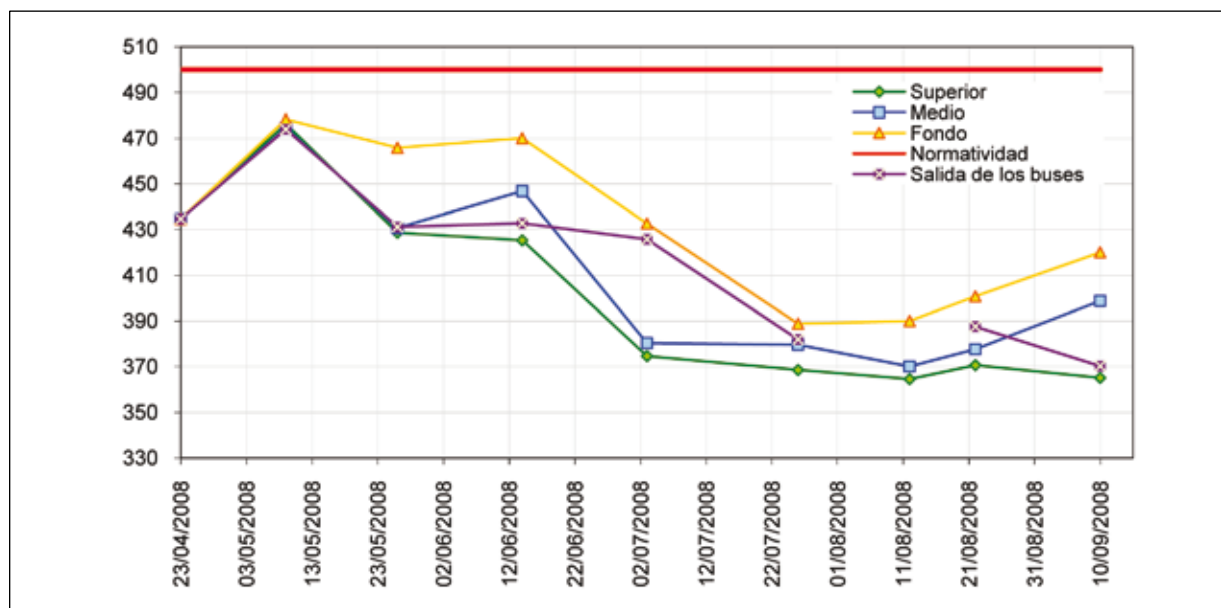


Figura 5. Seguimiento a la humedad del biodiésel, a diferentes niveles, en el tanque de almacenamiento.

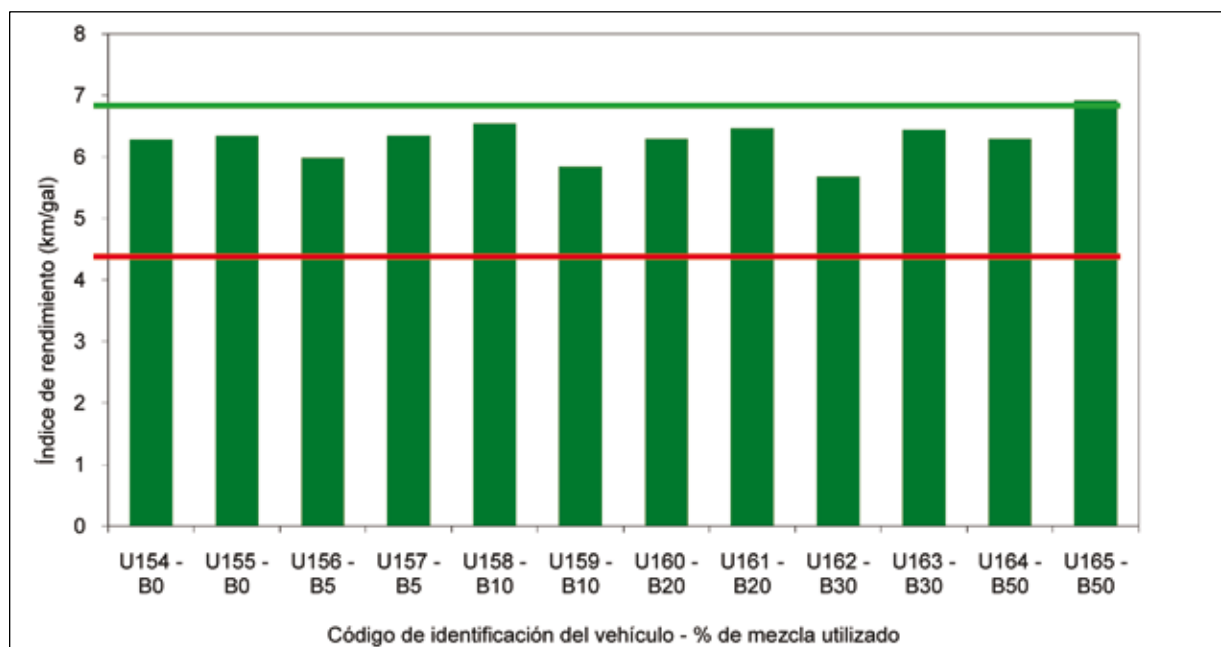


Figura 6. Rendimiento del consumo de combustible durante el periodo de prueba.

dios realizados sobre la afinidad del biodiésel con el agua (higroscopicidad) permitieron establecer que el biodiésel se satura rápidamente (en menos de un día), alcanzando concentraciones entre 1600 a 1800 partes por millón de agua. Sin embargo, con el control del ingreso de humedad al tanque se pudo mantener el biodiésel con niveles de agua dentro de la especificación, según lo comprobó el muestreo de seguimiento (Figura 5).

Desempeño de los buses durante el periodo de prueba

En el periodo de prueba cada bus recorrió aproximadamente 100.000 km; durante este tiempo se realizó seguimiento a los parámetros de operación de los buses, encontrando que con el uso de las mezclas de diésel-biodiésel de palma el rendimiento de los combustibles es similar al registrado con la utilización

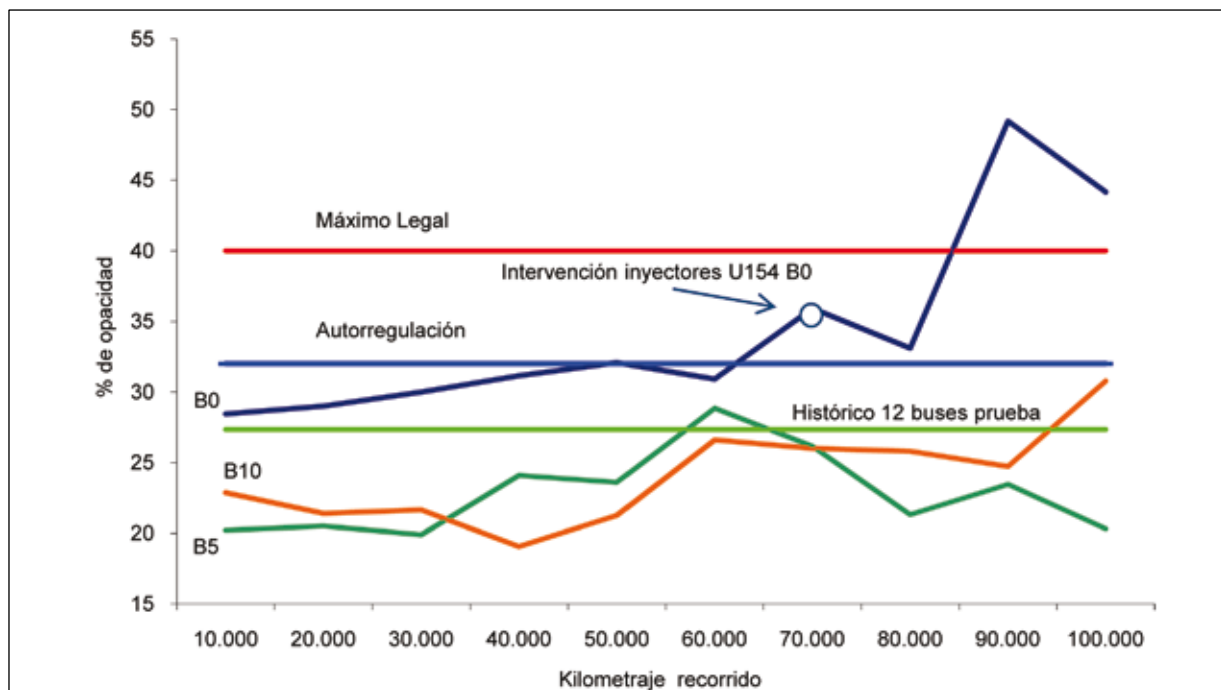


Figura 7. Comportamiento de la opacidad durante el periodo de prueba (B0, B5 y B10).

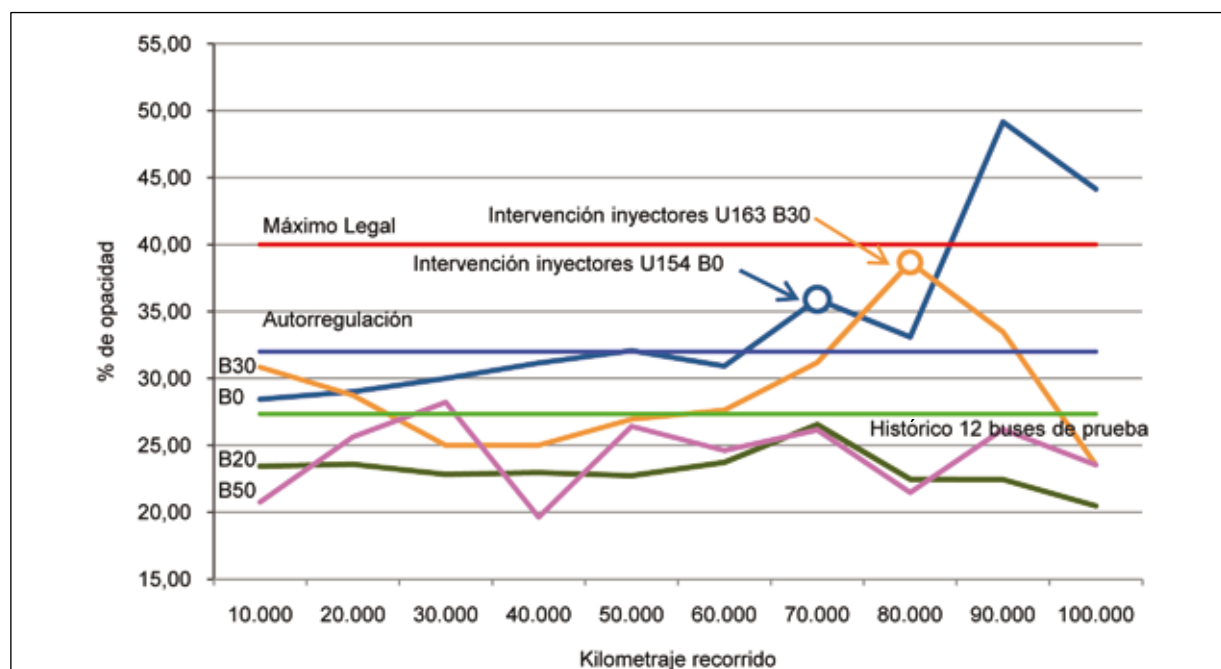


Figura 8. Comportamiento de la opacidad durante el periodo de prueba (B0, B5 y B10).

de diésel fósil, como se muestra en la Figura 6. Al comparar estos resultados con los del periodo de línea base, se observa que el rendimiento de combustible se mantiene dentro de la franja manejada por el operador SÍ99 para el resto de su flota.

Para el caso de la opacidad se encontró una tendencia de reducción con el uso de las mezclas del biodiésel de palma. Las Figuras 7 y 8 muestran el comportamiento de la opacidad con respecto al kilometraje de prueba recorrido; se aprecia que en promedio los

buses que utilizan las mezclas de diésel-biodiésel de palma registran porcentajes inferiores de opacidad. Es importante mencionar que solamente un bus de cada pareja (B0, B5, B10, B20, B30 y B50) fue revisado a los 50.000 km, por lo cual después de esta inspección se observaron algunos aumentos en la opacidad de varios vehículos del grupo de buses que no fueron intervenidos.

En la práctica operacional normal de mantenimiento de la flota de Sí99 se intervienen los sistemas de inyección cada 60.000 km. Para esta prueba se acordó llevar un bus de cada pareja, sin intervención, hasta los 100.000 km, asumiendo los riesgos que esto implica. Los inyectores de los buses U154(B0) y U163(B30), los cuales no fueron revisados a los 50.000 km, tuvieron que ser intervenidos para cumplir con la opacidad reglamentaria.

La tendencia de reducción de la opacidad, encontrada con el uso del biodiésel de palma, se confirma con las pruebas de emisiones en ruta cuyos resultados mostraron disminución en las emisiones de CO₂ y del material particulado (Figura 9). Las emisiones de NO_x son altamente dependientes de las condiciones ambientales (humedad relativa, temperatura y presión atmosférica), por esta razón deben ser medidas en condiciones controladas, que son muy complejas de lograr en una prueba en ruta. Para su determinación debe seguirse el protocolo de muestreo establecido para el control de emisiones de vehículos en ruta (EPA, 1995).

Durante el periodo de prueba se comprobó también que la aceleración de los vehículos no se vio afectada con el uso de las mezclas de diésel-biodiésel de palma, y que todos los buses de la prueba estuvieron dentro

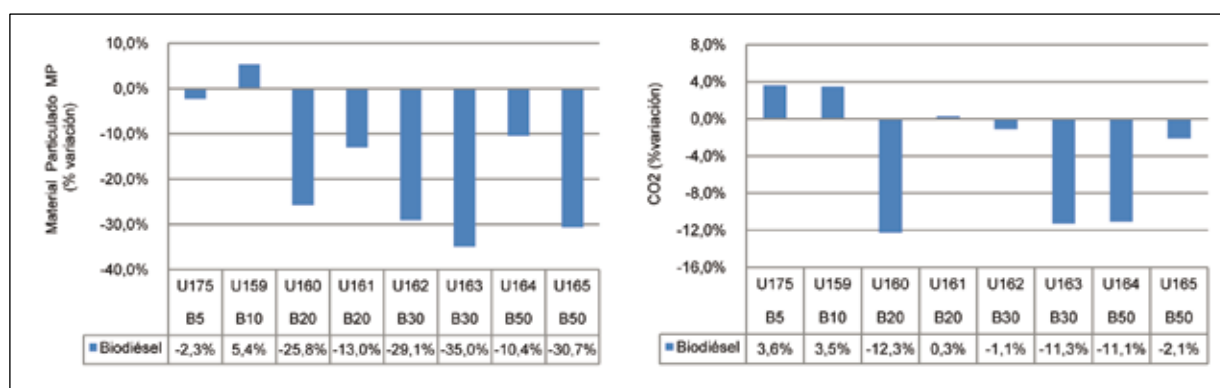


Figura 9. Porcentaje de variación en las emisiones de dióxido de carbono y del material particulado encontrado en las pruebas de emisiones en ruta.

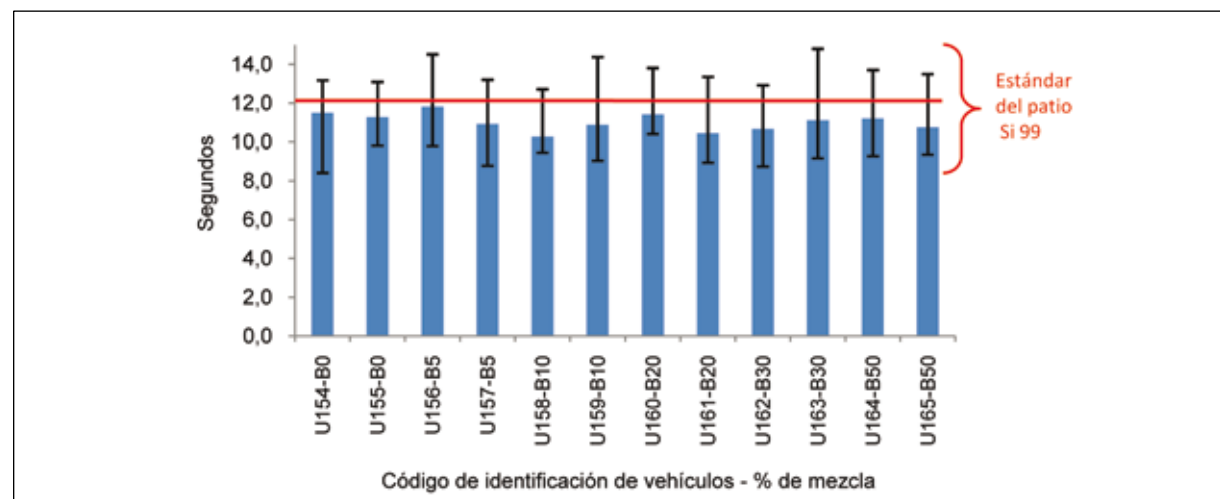


Figura 10. Aceleración de los vehículos durante el periodo de prueba.

del estándar del patio que maneja el operador Sí99, como se ve en la Figura 10. Para este caso, la prueba mide el tiempo en el cual se logra una determinada revolución del vehículo en movimiento, por tanto, entre menor sea el tiempo, la respuesta es mejor.

Por ser el biodiésel un combustible libre de azufre, se espera que la dilución de este compuesto afecte el número total de bases (TBN), que es una función del contenido de azufre en el combustible. De acuerdo con los análisis realizados cada 10.000 km se encontró el decaimiento del TBN, que se comporta de manera normal y adicionalmente que la concentración de metales, por desgaste, es la esperada de acuerdo con el kilometraje.

En general, no se presentó deterioro del aceite lubricante por el uso de las mezclas de diésel-biodiésel de palma, ya que el estado del aceite en todos los buses evaluados, incluyendo los buses testigo (BO), fue similar.

Las revisiones efectuadas al sistema de inyección de los buses del proyecto fueron realizadas por un representante de Bosch en Colombia, la empresa Maxdiésel y Turbos. El informe permitió establecer que no se presentaron desgastes anormales en las piezas evaluadas por el uso del biodiésel de palma, para ninguna de las mezclas. Es de destacar que los empaques y sellos (*o-rings*) de los diferentes sistemas de inyección desensamblados fueron encontrados en perfecto estado y que en algunas piezas se evidenció que la lubricidad del biodiésel contribuye a disminuir el desgaste de algunas partes. La Figura 11 muestra un registro fotográfico de este tipo de pruebas.



Figura 11. Registro fotográfico de la revisión a los sistemas de inyección.

Conclusiones

Las mezclas de diésel-biodiésel de palma hasta un 50% (B5, B10, B20, B30 y B50) cumplen con las especificaciones de calidad establecidas para el combustible diésel en Colombia. Las pruebas de larga duración en buses de Transmilenio permitieron corroborar que las mezclas presentan un buen desempeño en condiciones de clima frío a una altura de 2600 msnm. Se comprobó también que no se presentan efectos adversos sobre el motor, por el uso prolongado de las mezclas de diésel-biodiésel de palma. Lo anterior comprueba la viabilidad técnica de utilizar mezclas superiores a las actualmente contempladas en la normatividad vigente.

Referencias bibliográficas

- Agudelo, J. *et al.* 2003. Biodiésel - Una revisión del desempeño mecánico y ambiental. Ingeniería & Desarrollo. Universidad del Norte. 13:1-14.
- Agudelo, J. *et al.* 2004. Pruebas cortas en ruta en un vehículo tipo microbús con biodiésel de palma colombiano. Scientia et Technica Año X, N° 24.
- Choi, C.Y., *et al.* 1997. Effects of Biodiesel Blended fuels and Multiple Injections on DI Diesel Engines. University of Wisconsin, Madison. SAE Technical Paper. Series 970218.
- Cuéllar, M.; Torres, J. 2007. Posibilidades del biodiésel de palma y sus mezclas con diésel en Colombia. Revista Palmas. Vol. 28, N° Especial. Tomo 2.
- Discurso del Ministro de Agricultura y Desarrollo Rural. 2008. XXXVI Congreso Nacional de Cultivadores de Palma. Boletín El Palmicultor N° 436. Pp. 22-23.
- Fedepalma. 2008. X Congreso de Economistas de Latinoamérica y el Caribe.
- Schäfer, A. 1995. The Use of Biofuel in Modern Diesel Engines. *Proceedings of Porim Biofuel '95*. Porim International Biofuel Conference. Pp. 61.
- Unidad de Planeación Minero Energética. 2007. Boletín Estadístico de Minas y Energía 2002-2007.
- United States of America. 1995. Environmental Protection Agency (EPA). Code of Federal Regulations. N° 40. Part 86.
- Wirawan. S. S., *et al.* 2008 The Effect of Palm Biodiesel Fuel on the Performance and Emission of the Automotive Diesel Engine. *Agricultural Engineering International: the Cigr Ejournal*. Manuscript EE 07 005. Vol. X.

