

ESTUDIO COMPARATIVO DEL FUNCIONAMIENTO Y CONSUMO DE COMBUSTIBLE DE UN MOTOR FUERA DE BORDA DOS TIEMPOS CON EL USO DE DIFERENTES MEZCLAS DE GASOLINA-ETANOL DERIVADO DE LA CAÑA DE AZÚCAR

Andrés F. Luque Lozano ^a

Andres.luque@armada.mil.co

Jorge A. Acevedo Talero^a

kpeto777@hotmail.com

Fecha de recepción: Noviembre de 2012, Fecha de aceptación: marzo de 2013

Resumen: En el trabajo se presentan los resultados de las mediciones realizadas a un motor fuera de borda operando con bioetanol de caña de azúcar y gasolina convencional, bajo un modo de operación diseñado por los autores.

Al usar mezclas de etanol y gasolina del 12% y 15% con relación a la gasolina convencional la cual tiene un 8% de etanol, se obtuvo un incremento entre el 1,90% y 13,45% respectivamente en la autonomía del motor fuera de borda Etec-Evinrude 175cm en su operación normal, la cual es a máximas rpm, conforme a la literatura se alcanza una disminución entre el 20% y 40% de producción de monóxido de carbono. Los resultados obtenidos muestran al bioetanol como una excelente alternativa energética de origen renovable para mezclarlo con el combustible gasolina convencional.

Palabras Claves: Bioetanol, Biocombustible, Etanol, Gasolina, Mezcla, Motor, Etec- Evinrude.

Abstract: In the paper are shown the results of measurements made to an outboard engine operating with sugar cane bioethanol and conventional gasoline, under an operating mode designed by the authors. By using ethanol-gasoline blends of 12% and 15% compared to conventional gasoline which has an 8%

^a Ingeniero Naval, Escuela Naval de Cadetes "Almirante Padilla" Cartagena, Colombia.

ethanol, there was an increase between 1.90% and 13.45% respectively in the autonomy of the engine is Evinrude Etec outboard-175cm in normal operation, which is at maximum rpm, according to literature reduction is achieved between 20% and 40% carbon monoxide production. The results show the bioethanol as an excellent alternative renewable energy source to be mixed with conventional gasoline fuel.

Key words: Bioethanol, Biofuel, Ethanol, Gasoline, Mixture, Engine, Etec-Evinrude.

1. INTRODUCCIÓN

La posibilidad de agotamiento de las reservas de combustibles fósiles, unido a las exigencias cada vez mayores en el control de las emisiones contaminantes producidas por la combustión, han llevado a buscar nuevas alternativas energéticas. El bioetanol, obtenido de alcoholes vegetales, se convierte en una alternativa atractiva, entre otras razones por su carácter biodegradable, la disminución de dependencia de hidrocarburos y sus bajas emisiones contaminantes, disminución de los gases de efecto invernadero. En el país existen más razones que justifican su implementación, como la posibilidad de remplazar cultivos ilícitos, la generación de empleo y desarrollo agroindustrial.

En trabajos precedentes del tema bioetanol, se ha mostrado la viabilidad técnica de la producción y uso del bioetanol de caña de azúcar como biocombustible en motores de combustión interna. En este artículo se presentan resultados de pruebas cortas realizadas a un motor fuera de borda dos tiempos de inyección directa en una lancha tipo elemento de combate fluvial, con la utilización de mezclas de gasolina con E8, E12 y E15 a máximas y mínimas rpm.

2. INSTALACIÓN EXPERIMENTAL

Material utilizado: Computador portátil, Software EVINRUDE versión 3030395, Cable de conexión del motor fuera de borda al pc, Bidón o tanque de almacenamiento de 1 y 5 galones para las mezclas de combustible, Jarra de 2lit y tetero de 200ml, Mezclas de combustible a diferentes porcentajes, Motor fuera de borda Evinrude-Etec 175cm³ modelo E175DSL.

El motor fuera de borda acoplado a una unidad tipo Elemento de Combate Fluvial entra en funcionamiento a través del suministro de las diferentes mezclas de combustible utilizadas, sustrayendo las mezclas del bidón por medio de una manguera, el motor es conectado al computador portátil por medio de un cable de datos, el computador cuenta con el software EVINRUDE con el cual se efectúan las tomas de datos arrojados por el motor.

3. PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL

- Como dato inicial se tiene que la gasolina suministrada por el proveedor contiene un 8% de etanol acuerdo la reglamentación vigente para este año.
- Se utilizan mezclas de combustible con etanol al 8%, 12% y 15% (E8, E12 y E15).
- Se realizaron las mezclas para la toma de datos a máximas y mínimas RPM del motor fuera de borda EVINRUDE ETEC 175cm³.

3.1. Pruebas a Mínimas RPM.

Para el caso de las pruebas a mínimas RPM se efectuaron las mezclas de diferentes porcentajes de etanol en 1 galón (3.7851t) de mezcla de combustible para lo cual se utilizaron las siguientes ecuaciones y obteniendo sus respectivos resultados así:

**Tabla 1. Volumen de cantidades de las mezclas en galones para mínimas RPM
(1 galón)((% de etano1/100)-(8/9200)*(100-% de etanol))**

E-(%)	Volumen de etanol (gal)	Volumen de gasolina ES (pi)
8	0,00	1,00
12	0,04	0,96
15	0,08	0,92

**Tabla 2. Volumen de cantidades de las mezclas en litros para mínimas RPM (1)
((% de etano1/100)-(8/9200)*(100-% de etanol))(3.7851)**

E-(%)	Volumen de etanol (L)	Volumen de gasolina E8 (L)
8	0,00	3,79
12	0,16	3,62
15	0.29	3.50

3.1.1. Mezcla E8.

Se utilizó el combustible suministrado por el proveedor el cual contiene una cantidad del 8% de etanol con una totalidad de 1 galón (3.78510 de combustible, el cual se vierte en un bidón de 1 galón y se procede a dejar en funcionamiento el motor a mínimas RPM durante 1 hora, en la cual se van tomando reportes de funcionamiento del motor aproximadamente cada 10 minutos, culminada la hora se extrae el sobrante del combustible y se toma la medida con el fin de determinar el consumo.

3.1.2. Mezcla E12

Se utiliza el combustible suministrado por el proveedor el cual contiene una cantidad del 8% de etanol, agregándosele 0.291t de etanol acuerdo nos muestra la tabla 12 en su ecuación correspondiente con una totalidad de 1 galón (3.7851t) de combustible, la mezcla se vierte en un bidón de 1 galón y se procede a dejar en funcionamiento el motor a mínimas RPM durante 1 hora, en la cual se van tomando reportes de funcionamiento del motor cada 10 minutos aproximadamente,

culminada la hora se extrae el sobrante del combustible y se toma la medida con el fin de determinar el consumo.

3.1.3. Mezcla E15

Se utiliza el combustible suministrado por el proveedor el cual contiene una cantidad del 8% de etanol, agregándosele 0.161t de etanol acuerdo nos muestra la tabla 12 en su ecuación correspondiente con una totalidad de 1 galón (3.7851t) de combustible, la mezcla se vierte en un bidón de 1 galón y se procede a dejar en funcionamiento el motor a mínimas **RPM** durante 1 hora, en la cual se van tomando reportes de funcionamiento del motor cada 10 minutos aproximadamente, culminada la hora se extrae el sobrante del combustible y se toma la medida con el fin de determinar el consumo.

3.2. Pruebas a Máximas rpm

Para el caso de las pruebas a máximas **RPM** se efectúan las mezclas de diferentes porcentajes de etanol en cinco galones (18.92510 de mezcla de combustible para lo cual se utilizan las siguientes ecuaciones y obteniendo sus respectivos resultados así:

Tabla 3: Volumen de cantidades de las mezclas en litros para máximas **RPM**
 (5 galones)((% de etano1/100)-(8/9200)*(100-% de etanol))

E(%)	Volumen de etanol (gal)	Volumen de gasolina E8 (gal)
8	0,00	5,00
12	0,22	4,78
15	0,38	4,62

Tabla 4 Volumen de cantidades de las mezclas en litros para máximas **RPM**
 (5)((% de etano1/100)-(8/9200)*(100-% de etanol))(3.7851)

E-(%)	Volumen de etanol (L)	Volumen de gasolina E8 (L)
8	0,00	18,93
12	0,82	18,10
15	1,44	17,49

3.2.1. Mezcla E8

Se utiliza el combustible suministrado por el proveedor el cual contiene una cantidad del 8% de etanol con una totalidad de 5 galón (1 8.9251t) de combustible, el cual se vierte en un bidón de 5 galón y se procede a dejar en funcionamiento el motor a máximas RPM tomando el tiempo hasta el consumo total del combustible, momento en que se apaga el motor, durante ese tiempo se van tomando reportes de funcionamiento del motor cada 3 minutos aproximadamente, culminado el consumo total de los 5 galones del combustible se verifica el tiempo gastado con el fin de determinar el consumo de esta mezcla comparado con las otras mezclas.

3.2.2. Mezcla E12

Se utiliza el combustible suministrado por el proveedor el cual contiene una cantidad del 8% de etanol, agregándosele 0.821t de etanol como se muestra la tabla 14 en su ecuación correspondiente con una totalidad de 5 galones (18.9251t) de combustible, el cual se vierte en un bidón de 5 galón y se procede a dejar en funcionamiento el motor a máximas RPM tomando el tiempo hasta el consumo total del combustible, momento en que se apaga el motor, durante ese tiempo se van tomando reportes de funcionamiento del motor cada 3 minutos aproximadamente, culminado el consumo total de los 5 galones del combustible se verifica el tiempo gastado con el fin de determinar el consumo de esta mezcla comparado con las otras mezclas.

3.2.3. Mezcla E15

Se utiliza el combustible suministrado por el proveedor el cual contiene una cantidad del 8% de etanol, agregándosele 1.441t de etanol acuerdo nos muestra la tabla 14 en su ecuación correspondiente con una totalidad de 5 galones (18.9251t) de combustible, el cual se vierte en un bidón de 5 galón y se procede a

dejar en funcionamiento el motor a máximas RPM tomando el tiempo hasta el consumo total del combustible, momento en que se apaga el motor, durante ese tiempo se van tomando reportes de funcionamiento del motor cada 3 minutos aproximadamente, culminado el consumo total de los 5 galones del combustible se verifica el tiempo gastado con el fin de determinar el consumo de esta mezcla comparado con las otras mezclas.

4 RESULTADOS EXPERIMENTALES

4.1. Para Las Pruebas Con Las Mezclas Mencionadas Anteriormente A Mínimas RPM Obtenemos Los Sigüientes Resultados:

Consumo de combustible: En 1 galón de combustible mezcla E8, el motor en funcionamiento a mínimas RPM durante 1 hora tuvo un consumo de 1.711t, determinado a través del combustible sobrante (2.0751t) medido en comparación al suministrado (3.7851t).

En 1 galón de combustible mezcla E12, el motor en funcionamiento a mínimas RPM durante 1 hora tuvo un consumo de 1.281t, determinado a través del combustible sobrante (2.51t) medido en comparación al suministrado (3.7851t) en 1 galón de combustible mezcla E 15, el motor en funcionamiento a mínimas RPM durante 1 hora tuvo un consumo de 0.781t, determinado a través del combustible sobrante (3.0051t) medido en comparación al suministrado (3.7851t).

4.2. Para Las Pruebas Con Las Mezclas Mencionadas Anteriormente A Máximas RPM Obtenemos Los Sigüientes Resultados:

4.2.1 Consumo de combustible

En 5 galones (18.9251t) de combustible mezcla E15, el motor en funcionamiento a máximas RPM hasta su consumo total (momento en que el

motor se apaga) tuvo un tiempo aproximado de 19 minutos 49 segundos. Expresado mediante las figuras 38 ala 45.

En 5 galones (18.9251t) de combustible mezcla E12, el motor en funcionamiento a máximas RPM hasta su consumo total (momento en que el motor se apaga) tuvo un tiempo aproximado de 17 minutos 48 segundos. Expresado mediante las figuras 46 ala 51.

En 5 galones (18.92510 de combustible mezcla E8, el motor en funcionamiento a máximas RPM hasta su consumo total (momento en que el motor se apaga) tuvo un tiempo aproximado de 17 minutos 28 segundos. Expresado mediante las figuras 52 ala 58.

Sacando diferencia de tiempos y utilizando regla de tres, se determina el consumo de combustible en litros y porcentajes de las pruebas a máximas RPM, los resultados arrojados durante las pruebas permiten determinar los diferentes comportamientos a diferentes mezclas de combustible.

Tabla 5. Comportamiento RPM con pruebas máximas RPM

LECTURAS	MEZCLA ES	MEZCLA E12	MEZCLA E15
1	4863	4844	4970
2	4873	4844	4921
3	4854	4882	4873
4	4854	4844	4863
	4882	4873	4911
6			4882

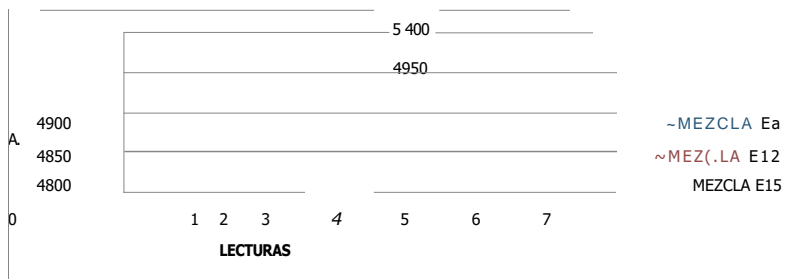


Figura 2. Comportamiento RPM con pruebas máximas RPM

Tabla 6. Comportamiento Temperatura con pruebas máximas RPM

LECTURAS	MEZCLA ES	MEZCLA E12	MEZCLA E15
1	67.7	68,1	62,6
2	66.7	67.9	67,3
3	66.7	68.3	67.9
4	66.6	68.1	67.9
5	66.8	67.9	68
6			68.2

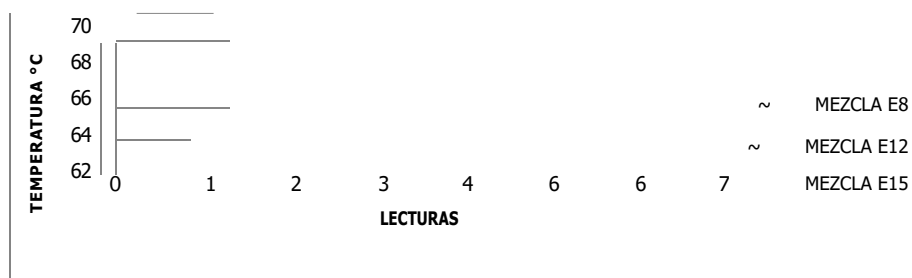
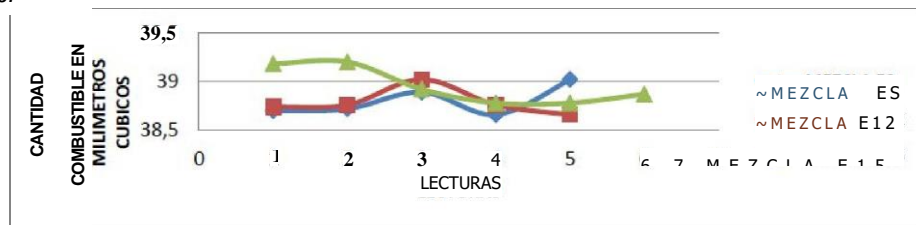


Figura 3. Comportamiento Temperatura con pruebas máximas RPM

Tabla 7. Comportamiento cantidad de combustible en cada inyección con pruebas máximas RPM

LECTURAS	MEZCLA ES	MEZCLA E12	MEZCLA E15
1	38.7	38,74	39.18
2	38.72	38.76	39.2
3	38,89	39,02	38,92
4	38.66	38.76	38.78
	39.02	38.66	38.78
6			38.87

NOTA: EL COMBUSTIBLE ESTA MEDIDO EN MILIMETROS CUBICOS



ESTUDIO COMPARATIVO DEL FUNCIONAMIENTO Y CONSUMO...

Figura 4. Comportamiento cantidad de combustible en cada inyección con pruebas máximas **RPM**

Tabla 8. Duración de tiempo de la ignición en el cilindro con pruebas máximas **RPM**

LECTURAS	MEZCLA E8	MEZCLA E12	MEZCLA E15
1	0,2	0,2	0,2
2	0,2	0,2	0,2
3	0,2	0,2	0,2
4	0,2	0,2	0,2
5	0,2	0,2	0,2
6			0,2

NOTA: EL TIEMPO ESTA DADO EN MILISEGUNDOS

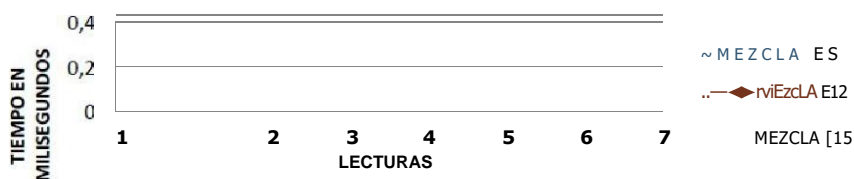


Figura 5. Duración de tiempo de la ignición en el cilindro con pruebas máximas **RPM**

LECTURAS	MEZCLA E8	MEZCLA E12	MEZCLA E15
1	494	495	531
2	499	496	431
3	502	508	466
4	458	442	469
5	489	506	516
6	504	510	501
			513

Tabla 9. Comportamiento **RPM** con pruebas mínima **RPM**

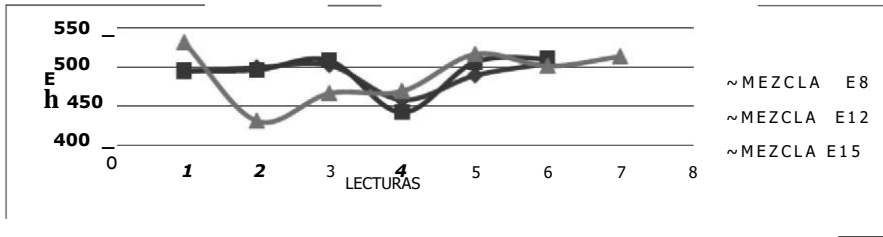


Figura 6. Comportamiento **RPM** con pruebas mínima **RPM**

Tabla 10. Comportamiento temperatura con pruebas mínimas **RPM**

LECTURAS	MEZCLA ES	MEZCLA E12	'MEZCLA E15
1	68,4	67,9	59,8
2 /	68,1	67,6	67,9
3	68	68,2	68,6
4	68,1	68,1	68,8
5	67,7	67,3	67,3
6	68,2	67,4	67,6
7			67,6

Figura 7. Comportamiento Temperatura con pruebas mínimas **RPM**

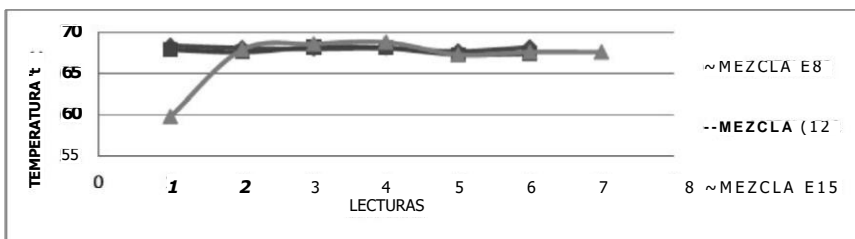


Tabla 11. Comportamiento cantidad de combustible en cada inyección con pruebas mínimas **RPM**

LECTURAS	MEZCLA ES	MEZCLA E12	MEZCLA E15
1	8,26	8.21	8,51
2	8,38	8.23	8,29
3	8,29	8.28	8,32
4	824	8.39	8,52
5	177	8.4	8,45
6	8,3	8.39	8,41
7			8,62

NOTA: EL COMBUSTIBLE ESTA MEDIDO EN MILIMETROS CUBICOS

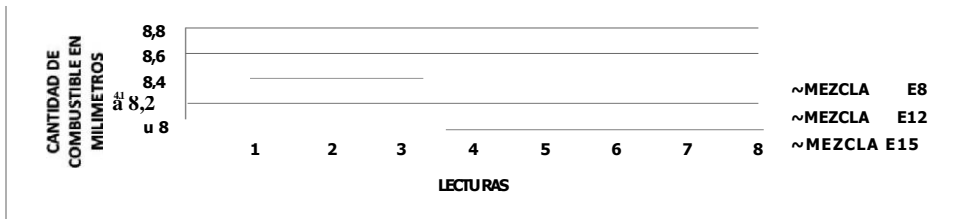


Figura 8. Comportamiento cantidad de combustible en cada inyección con pruebas mínimas **RPM**

Tabla 12. Duración de tiempo de la ignición en el cilindro con pruebas máximas **RPM**

LECTURAS	MEZCLA ES	MEZCLA E12	MEZCLA E15
1	2 9	2	2.18
2 7	' ,4'	2	2
3	2 7	9	2
4	2 7	2,36	2.38
5	2	2	'7
6	2	2,25	2
7			2.66

NOTA: EL TIEMPO ESTA DADO EN MILISEGUNDOS

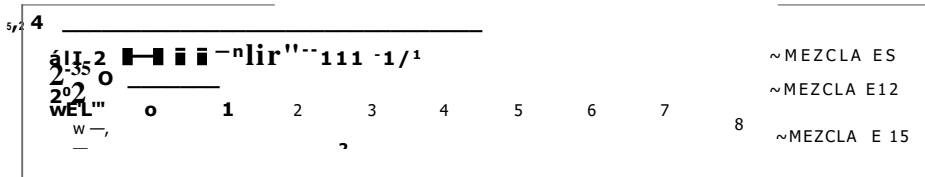


Figura 9. Duración de tiempo de la ignición en el cilindro con pruebas máximas RPM

5. CONCLUSIONES

El bioetanol de caña de azúcar ha mostrado ser una alternativa energética de origen renovable apto para utilizarse con mezclas de gasolina en el funcionamiento de un motor fuera de borda. Los resultados de funcionamiento del motor fuera de borda utilizado en ruta de pruebas cortas son favorables con relación a la gasolina convencional.

Se apreciaron variaciones estadísticamente significativas en el consumo de las diferentes mezclas a mayor porcentaje de etanol con relación a la gasolina convencional.

La autonomía del motor es ligeramente mejor a mayor porcentaje de etanol.

Se puede concluir que para un (ECF) con capacidad de 180 galones de gasolina requiere de \$1.583.640 con mezcla de E8, \$1.574.659 mezcla de E12 y un valor de \$1.567.926 para mezcla E15, lo cual evidencia un ahorro significativo para la institución en la compra de combustible a grandes cantidades, teniendo en cuenta que por unidad se ahorra un valor de \$15.714 con mezcla de E15.

AGRADECIMIENTOS

Principalmente agradecemos a Dios por habernos dado la oportunidad de desarrollar este gran proyecto, a nuestras familias que son el motor principal de nuestro crecimiento personal y profesional, a los asesores Eduardo

Sánchez Tuiran (Ph. D. en Ingeniería Química), Juan Fernando Anzola Acevedo (Especialista en Gerencia de Empresas), Claudia Ahumada Klelers (Mg en Gestión Logística), Cabo Primero Yair Palacio Montiel (Técnico Motores Fuera de Borda), que nos apoyaron con sus conocimientos en el adelanto y direccionamiento del presente trabajo, a la decanatura académica de la Escuela Naval Almirante Padilla y al Batallón Fluvial de Infantería No. 30 por el apoyo logístico brindado.

REFERENCIAS

ADS. Tecnología y desenvolvimiento sustentavel. Consultado 13 Julio de 2012.

Disponible en: www.bvsde.paho.org/bvsacd/cd57/ethanol.pdf
<http://www.unica.com.br/opinia/show.asp?msgCode=%7BBF8E7F1F-1ADO-450D-901A-08B143E368F0%7D>

Asocaria. Análisis estructural 004-2005-Informe anual 2010-2011

www.asocana.org/informes/2004_2005.aspx?Cid=19
www.asocana.org/informes/2003_2004.aspx?Cid=25
www.asocana.org/.../2552011-a0bbe3d-00ff00,000a000,878787,c3

Consultado Junio 24 de 2012

Asocaña: Aspectos generales del sector azucarero. Análisis Estructural

2004-2005. <http://www.asocana.org>

Asocaria. Aspectos generales del sector azucarero. Consultado 15 Junio de 2012.

Disponible en: <http://www.asocana.org/>

Asocaria. Precios biocombustibles en Colombia. Consultado 25 Julio 2012.

Disponible en: www.asocana.org

Banco Interamericano de Desarrollo (BID) —Ministerio de Minas y Energías.

"Evaluación del ciclo de vida de la cadena de producción de

biocombustibles en Colombia". Medellín. Enero 2012. Consultado 9 Julio de 2012. Disponible en: http://minas.gov.co/minas//kernel/modmoviles/hidrocarburos.mov.jsp?carga=Home=2&opcion=Calendar=4&id_noticia=1469

Banco Interamericano de Desarrollo (BID) — Ministerio de Minas y Energías. "Evaluación del ciclo de vida de la cadena de producción de biocombustibles en Colombia". Enero 2012 Medellín. Consultado 27 Julio 2012. Disponible en: www.fedebiocombustibles.com/v2/nota-web-id-1100.htm

Comisión de gasolina-gasoil. Origen y proceso de la gasolina. Consultado 4 Julio 2012. Disponible en: <http://quimorg6.blogspot.com/2008/10/obtencion-de-la-gasolina-el-petrleo-es.html>.

CORPOICA. Avances y proyectos del programa de agroenergía de corpoica y la importancia de los biocombustibles en Colombia. Bogotá:

Corpoica, 2007. Video. Disponible en:

["http://www.corpoica.org.co/videos/vervideo.asp?id_video=62"](http://www.corpoica.org.co/videos/vervideo.asp?id_video=62)

CORPOICA, Ministerio de Agricultura, Universidad EAFIT, et. al. Reducción Ministerio de Minas. Reglamentación Biocombustibles en Colombia. Consultado 12, Julio 2012. Disponible en: www.minminas.gov.co/

Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural. Principales indicadores agropecuarios. Bogotá, 7 de Junio de 2012. <http://www.minagricultura.gov.co>

Ministerio de Medio Ambiente y Sostenible. Beneficio de los biocombustibles. Consultado 23 Julio de 2012. Disponible en: <http://www.minambiente.gov.co/>