
Comportamiento de las emisiones en motor de encendido provocado a base de etanol a 2850 msnm

Behavior of the on ignition engine emissions based on ethanol at 2850 meters above sea level

Santiago Celi-Ortega¹, Francisco Ortega¹, Edilberto Llanes-Cedeño¹, Juan Rocha-Hoyos¹, Julio Leguísamo-Milla¹, Diana Peralta-Zurita¹, Paolo Salazar¹

¹Carrera de Ingeniería Mecánica Automotriz, Universidad Internacional SEK, Quito Ecuador.

Resumen

La presente investigación tiene como objetivo evaluar el comportamiento de las emisiones en un motor de encendido provocado alimentado con mezcla de etanol mediante pruebas estáticas y dinámicas para justificar su empleo a alturas superiores de 2800 msnm. Para el estudio se utiliza alcohol al 91 % proveniente del tallo de maíz como combustible en un automóvil Chevrolet - Spark (995 cc) a 2800 msnm. Se realizó una prueba estacionaria aplicándose el método NTE INEN 2004 y una prueba de ciclo de conducción (IM240), en base a protocolos de pruebas establecidos por el Centro de Transferencia Tecnológica para la Capacitación e Investigación en Control de Emisiones Vehiculares (CCICEV) en Quito-Ecuador, para determinar las emisiones con gasolina súper y biocombustible E50. Los resultados muestran que el biocombustible E50 produce menor cantidad de CO, , HC hacia el ambiente en comparación con el combustible súper. Sin embargo, emite mayor cantidad de NOx. Referente al consumo de combustible el E50 posee un mejor comportamiento. Se concluye que desde el punto de vista ambiental, el uso de mezcla de etanol es factible.

Palabras clave: Biocombustible, etanol, fermentación, motor de combustión interna, tallo de maíz.

Abstract

This research aims to evaluate the emissions behavior in an ignition engine feed. The tests were performed with ethanol mixture by static and dynamic conditions to justify its use at high altitudes above sea level. For the study, 91 % alcohol from the corn stem as fuel, was used. Test were performed in a Chevrolet - Spark car (995 cc), at 2800 meters above sea level. A stationary test applying the NTE INEN 2004 method and a driving cycle test

Recibido: 3 de marzo 2018, revisión aceptada 30 de abril 2018

¹Correspondiente al autor: santiago.celi@uisek.edu.ec

(IM240), to determine the emissions with super gasoline and biofuel E50 was carried out. The test protocols took place at the Technological Transfer Center for Training and Research in Vehicle Emission Control (CCICEV) in Quito – Ecuador. The research results showed that biofuel E50 produced fewer environment emissions of CO, , HC compared to the super fuel. However, its emitted a greater amount of NOx. Concerning about fuel consumption, the E50 presented a better performance. It is concluded the use of ethanol mixture is environmental feasible.

Keywords: Biofuel, ethanol, fermentation, internal combustion engine, Corn stalk.

Introducción

En la década de 70s emergió una idea, el reemplazo de combustibles fósiles por combustibles alternativos debido a la primera crisis del petróleo y la de reducir las emisiones contaminantes producidas por los motores de combustión interna (MCI) hacia el ambiente. Estudios realizados por la Comisión Económica para América Latina y el Caribe conocido como CEPAL, ubicada en Santiago de Chile indicaron que “En el 2012, 13200 millones de galones de etanol producidos redujeron las emisiones de los gases de efecto invernadero en 33,4 millones de toneladas. Eso equivale a quitar 5,2 millones de coches y camiones de las calles durante un año” (CEPAL, 2009).

En países como Estados Unidos con el 54,7 % de la producción mundial de bioetanol y Brasil con un 33,2 % según el Organismo de las Naciones Unidas datos del 2009, invierten en la elaboración y estudio de combustibles alternativos los cuales provienen de diferentes sectores agrícolas que se dedican a la producción de maíz y caña de azúcar respectivamente, conocidos como combustibles alternativos de primera generación (CEPAL, 2009).

Investigadores de la Universidad de California afirman que en el año 2007 “El etanol elevó

los precios del maíz en, al menos, un 18 % y tal vez hasta un 39 %, los biocombustibles fueron responsables de un 25 % a un 60 % del aumento de precio del maíz” (Wharton Business School, 2013). Y por último para satisfacer la gran demanda de los mercados de biocombustibles los agricultores hacen uso del monocultivo el cual erosiona y degrada el suelo, como es el caso de Brasil en la ciudad de Sao Paulo.

En la actualidad se presenta una nueva propuesta de reemplazar los combustibles alternativos de primera generación por los combustibles alternativos de segunda generación en los MCI. Los biocombustibles de segunda generación son aquellos que utilizan como materia prima, biomasa comercializada y utilizada en la industria alimenticia, logrando solucionar los problemas que presenta los biocombustibles de primera generación mediante el aprovechamiento de los residuos orgánicos para su producción (Naik, Goud, Rout, & Dalai, 2010).

En el Ecuador el maíz suave choclo (*Zea mays L*) es un alimento básico en la dieta de la población y ha incrementado su producción nacional en un 68,43 % entre el año 2000 al 2012. Durante el censo que se realizó en el año 2012, el maíz presentó 69 mil hectáreas de cosecha dando como resultado

la producción de 73 mil toneladas de maíz (Ministerio de Agricultura y Ganadería, Acuacultura y Pesca, 2013).

De este maíz suave choclo solo es aprovechado la mazorca que representa el 11,8 % (p/p) (Pasturas de América, 2016), la cual es destinada principalmente para la alimentación humana y en menor medida para los animales del ganado, en tanto que el tallo que representa el 17,6 % (p/p) de la planta de maíz, no es utilizado para la alimentación, convirtiéndose en un residuo orgánico poco utilizado en la industria alimenticia (Pasturas de América, 2016).

Hoy en día por la alta demanda y producción de automóviles de MCI que hay en el mercado automotriz, los cuales generan una excesiva cantidad de emisiones contaminantes hacia el ambiente, se implementan nuevas formas de preservar el cuidado del ambiente a través de nuevas investigaciones de los combustibles alternativos, como por ejemplo el bioetanol a partir de residuos orgánicos. Los países que más implementa esta nueva tecnología de la producción de combustibles alternativos son Estados Unidos y Brasil.

Estados Unidos es el primer productor de bioetanol del mundo con un 54,7 % de la producción mundial, Estados Unidos utiliza como materia prima principal el grano de maíz para la producción del bioetanol. En segundo lugar, se encuentra Brasil con un 33,2 % de la producción mundial, la materia prima utilizada para la producción de biocombustibles proviene de las plantaciones de caña de azúcar (Gracia, 2009).

Entre las proporciones más utilizadas en el mercado automotriz sin modificar los parámetros del motor se encuentran los E5 y E10. Y en el caso de motores modificados la proporción más utilizada es la E85 (Ecured, 2018). Estos biocombustibles no

solo reducen la cantidad de emisiones hacia el ambiente también generan un beneficio en la potencia y torque del motor (Cajisaca, Rafael, Uzhca, & Gustavo, 2010).

El biocombustible E5 es una mezcla habitual utilizada especialmente en el continente europeo. Estas mezclas contienen 5 % de etanol y 95 % de gasolina, genera grandes beneficios en las emisiones contaminantes. El biocombustible E10 es una mezcla de 10 % de bioetanol y 90 % de gasolina, este tipo de mezcla es muy utilizada en Estados Unidos de América puesto que hasta este porcentaje los motores no requieren ninguna modificación para su utilización. El E10 presenta el beneficio de aumentar el octanaje de la gasolina generando un aumento de la potencia, torque y la reducción de emisiones contaminantes (Botero & Roa, 2011).

El biocombustible E85 es una mezcla que se encuentra compuesta por 85 % de bioetanol y un 15 % de gasolina, este tipo de mezcla solo es utilizada por motores especiales conocidos como *Flexible Fuel Vehicles* (FVV). Entre las marcas que utilizan este tipo de sistema se encuentran Hummer, Buick Chevrolet y Cadillac, Mercedes-Benz, Renault Nissan y Toyota (Botero & Roa, 2011).

En la actualidad se han realizado estudios de emisiones y consumo de combustible en vehículos con transmisión automática (Iñiguez, 2017) donde se compara las emisiones producidas con un vehículo Ford F150 con transmisión automática utilizando gasolina común y un combustible alternativo E5 mediante pruebas estáticas y dinámicas. De donde se obtuvo como resultado la reducción de emisiones contaminantes de CO, HC y CO₂, pero no se han relacionado en el mismo auto con transmisión manual.

El propósito de este estudio es evaluar el comportamiento de las emisiones en un

motor de encendido provocado alimentado con mezcla de etanol mediante pruebas estáticas y dinámicas para justificar su empleo a elevadas alturas sobre el nivel del mar

Metodología

La experimentación fue realizada en los laboratorios del Centro de Transferencia Tecnológica para la Capacitación e Investigación en Control de Emisiones Vehiculares (CCICEV) de la Escuela Politécnica Nacional Quito-Ecuador. Las

pruebas realizadas en el motor de 995 cc son una fuente importante para determinar las emisiones contaminantes mediante una prueba estática y un ciclo de prueba de conducción, del biocombustible con respecto a la gasolina súper.

Características del vehículo de prueba

Los ensayos de emisiones estáticas y emisiones dinámicas se realizaron en un vehículo con las siguientes características (tabla 1).

Tabla 1. Especificaciones técnicas vehículo

Marca: Chevrolet	Modelo: Spark
Torque: 91/4200 N·m/rpm	Potencia: 65/5400 HP/rpm
Cilindrada y número de cilindros: 995 y cuatro cilindros	Modelo del motor: Spark 1.0 5P
Disposición de cilindros: en L	Posición del motor: Motor delantero
Combustible: Gasolina	Tracción: delantera
Tonelaje: 0,41	País de origen: Colombia
Designación tamaño de neumáticos: 165/65R13	
Tipo de frenos: Disco delanteros y tambores trasero	Número de ejes: 2

Fuente: Manual serie LPS 3000 MAHA (Haldenwan, 2018).

Los equipos utilizados para la obtención de los parámetros necesarios para el estudio fueron un dinamómetro automotriz o banco de potencia MAHA modelo LPS 3000, mediante el cual se desarrolló un ciclo de conducción seleccionado; analizador de gases contaminantes de vehículos a gasolina MAHA modelo MGT5.

El ensayo de emisiones estáticas es una prueba que se realiza sin aplicación de carga, es decir

la marcha del vehículo en posición neutro, para determinar la cantidad de emisiones que se producen en la reacción de combustión del motor. En este tipo de ensayo se obtienen las cantidades de CO, , HC, y el factor lambda. El ensayo estático utilizado en este proyecto es la prueba estática NTE INEN 2004. La medición de gases se efectuó en dos fases, la primera manteniéndose el régimen del motor en 2500 rpm durante 30 segundos y

la segunda consiste en mantener el motor en ralentí durante 30 segundos para empezar a tomar las medidas.

El ensayo de emisiones dinámico es un método que se realiza por medio de aplicación de cargas en el motor en diferentes relaciones de marcha, con la finalidad de determinar los gases residuales producto de la reacción de combustión del motor. Este ensayo dinámico ayuda a determinar los porcentajes y partes por millón de cinco gases residuales en la combustión CO, , HC, , NOx y el factor lambda. En el presente proyecto se aplicó el ensayo dinámico americano conocido como IM240. El ensayo IM240 pertenece a los ensayos dinámicos transitorios, este ensayo se realiza en vehículos livianos en un dinamómetro de chasis por medio de un ciclo de manejo de 240 segundos, que simula un recorrido en zona urbana de 3,2 km a una velocidad media de 30 km/h y una máxima de 91 km/h. Para la realización del ciclo se realizó una fase preliminar que consta de los siguientes pasos. Primero se efectuó una operación estacionaria a 2500 rpm en un tiempo máximo de 4 minutos, después

se aplicó una operación en estado estable a una velocidad de 48 km/h por un tiempo de 4 minutos y por último una operación dinámica transitoria. Antes de realizar las mediciones de gases del vehículo el automóvil se lleva a la temperatura de servicio según lo referido por Francisco & José (2011). El número de mediciones (3) está en función a lo indicado por la norma NTE INEN 2004 y el protocolo de prueba dinámica IM240.

Resultados

En este apartado se indicarán todos los resultados y datos obtenidos en el proceso de las pruebas de emisiones estáticas y dinámicas con la gasolina súper y el bioetanol E50, además las comparaciones y análisis de los resultados entre estos dos combustibles.

Emisiones estáticas

Los resultados del ensayo de emisiones estáticas por el método NTE INEN 2004 realizado con gasolina súper y bioetanol E50 se presentan en las tablas 2 y 3.

Tabla 2. Emisiones estáticas gasolina súper

Parámetros	Medición 1		Medición 2		Medición 3		Media	
	Ralentí	rpm alta	Ralentí	rpm alta	Ralentí	rpm alta	Ralentí	rpm alta
CO [%v]	0,14	0,04	0,1	0,02	0,22	0,03	0,15	0,03
[%v]	14,7	16,3	14,5	16,2	14,5	16,2	14,57	16,23
HC [ppm]	27	16	20	19	18	13	21,67	16,00
O2 [%v]	2,19	0,23	2,21	0,25	2,17	0,28	2,19	0,25
Lambda	1,098	1,007	1,102	1,009	1,096	1,01	1,10	1,01
rpm	760	2540	740	2540	750	2540	750	2540

Tabla 3. Emisiones estáticas bioetanol E50.

Parámetros	Medición 1		Medición 2		Medición 3		Media	
	Ralentí	rpm alta	Ralentí	rpm alta	Ralentí	rpm alta	Ralentí	rpm alta
CO[%v]	0,00	0,00	0,01	0,00	0,01	0,00	0,01	0,00
[%v]	16,2	14,7	16,2	14,8	16,22	14,8	16,21	14,77
HC[ppm]	11	10	10	8	10	10	10,33	9,33
[%v]	0,23	2,16	0,23	2,13	0,22	2,11	0,23	2,13
Lambda	1,009	1,102	1,009	1,101	1,008	1,099	1,01	1,10
Rpm	760	2540	750	2540	740	2540	750	2540

Análisis de resultados prueba estática

Emisiones de CO

Realizado el control de rangos y el promedio de la tabla 2 y 3 se puede observar que las emisiones de CO en la prueba estática a ralentí, producidas por el vehículo con gasolina súper son 0,15 % mientras que las emisiones de CO del vehículo con E50 son 0 %. Además a 2500 rpm las emisiones del vehículo gasolina súper son 0,03 % y del vehículo con E50 se mantienen en 0,01 %.

En los dos casos se puede observar en la figura 1 que están dentro de los rangos permitidos por la norma INEN (2004) la cual establece el límite máximo en 1 %.

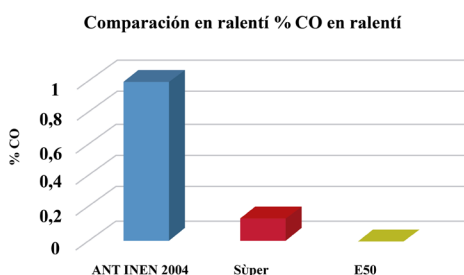


Figura 1. Comparación en ralentí %CO

Emisiones de CO₂

Con los parámetros obtenidos en la tabla 2 y 3 se puede observar que las emisiones de CO₂ en la prueba estática a ralentí, producidas por el vehículo con gasolina súper son 10 % menos que las emisiones de CO₂ del vehículo con E50 que son de 16,20 %. Mientras que a 2500 rpm el comportamiento se invierte.

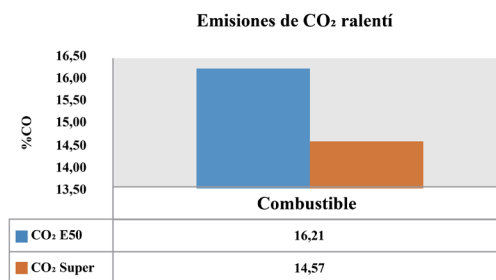


Figura 2. Comparación en ralentí % CO₂

Emisiones de HC

Con respecto a las emisiones de HC que genera el vehículo con gasolina súper se puede observar un valor de 21,6 ppm (partículas por millón) a 750 rpm y los 16 ppm (partículas por millón) a 2500 rpm, y con el uso de E50 estos valores disminuyen a 10,33 ppm (partículas por millón) a 750 rpm y los 9,33 ppm (partículas por millón) a 2500 rpm, lo que indica una reducción de

las emisiones de HC utilizando el etanol. En los dos casos se puede observar en la figura 3 que están dentro de los rangos permitidos por la norma INEN (2004) la cual establece un máximo de 200 ppm.

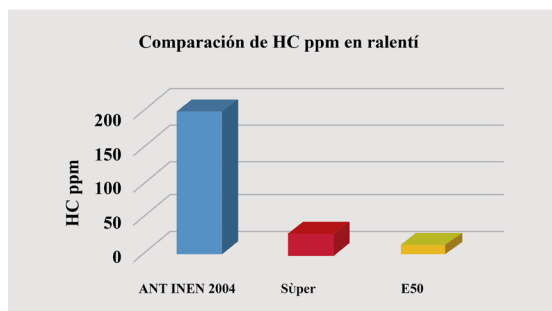


Figura 3. Comparación ralentí de HC ppm

Factor lambda

Los valores obtenidos de lambda a ralentí son con E50 1,008 y con súper 1,098 lo que nos indica que hay una mezcla más pobre

con súper y a 2500 rpm con E50 lambda es 1,10 y con súper 1,008 en este caso a mayor número de rpm en el caso de súper la mezcla tiende a hacerse rica y en el caso de E50 tiende a hacerse pobre

Emisiones Dinámicas

El ensayo de emisiones dinámicas consta de varios datos de los gases emitidos por el motor en función del tiempo. El CPU del dinamómetro se caracteriza por tomar 10 datos por cada segundo del ciclo IM240. Realizando un promedio de los datos se logra obtener los siguientes resultados presentados en las tablas 4 y 5 de emisiones tanto para gasolina súper como el combustible E50.

Tabla 4. Resultados emisiones dinámicas gasolina súper.

Ensayo	CO %	HC ppm	%	NOx ppm	lambda	
1	0,337	15,281	30,194	1,050	25,151	0,511
2	0,460	15,241	25,878	1,064	19,278	1,020
3	0,338	15,411	39,953	1,049	43,306	1,047
4	0,242	15,135	20,839	1,504	48,824	1,083

Tabla 5. Resultados emisiones dinámicas biocombustible E50.

Ensayo	CO %	HC ppm	%	NOx ppm	lambda	
1	0,169	13,923	8,322	3,008	120,118	1,011
2	0,091	14,365	16,811	2,464	153,340	1,153
3	0,147	14,187	12,491	2,638	124,274	1,176
4	0,117	14,509	11,822	2,183	131,578	1,141

Emisiones de CO

Como se puede observar en la figura 4 el vehículo con gasolina súper produce mayor emisión de CO con un promedio de una concentración volumétrica de 0,34 % observándose valores más irregulares a lo largo de todo el ciclo, mientras en el vehículo E50 se nota un valor promedio de 0,131 %; lo que demuestra que el vehículo con E5 produce menos emisiones contaminantes de CO.

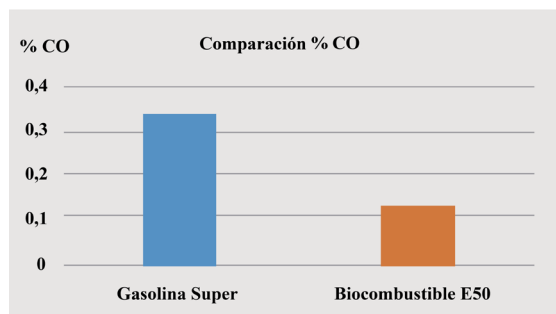


Figura 4. Comparación de CO entre gasolina súper y biocombustible E50

Emisiones de CO₂

La figura 5 muestra que las emisiones de CO₂ son similares pero el mayor valor corresponde al vehículo con súper con 15,2 % mientras que en el vehículo con E50 el mayor valor corresponde 14,2 %, los valores corresponden a un incremento del 6,68 % de aumento de emisiones de la gasolina súper al E50. Durante todo el ciclo se emite menos cantidad de CO₂ con el combustible E50, coincidiendo con los resultados de (Rocha, Tipanluisa, & Llanes, 2017)

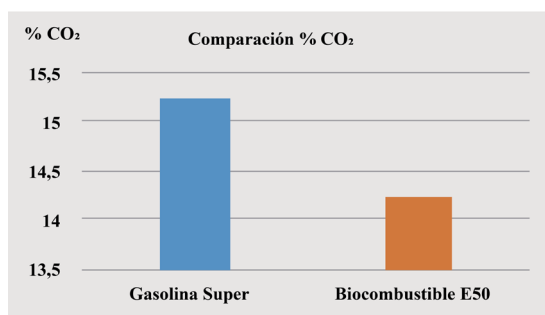


Figura 5. Comparación de CO₂ entre gasolina súper y biocombustible E50

Emisiones de HC

En las emisiones de HC el valor más elevado es de 39,53 ppm que corresponde al vehículo con combustible súper, mientras que con E50 el valor más alto es de 16,81 ppm. El promedio es de 29,21 ppm en el auto con súper y 12,36 ppm con E50. Además, se puede observar que las emisiones de HC se mantienen más estables y con valores más bajos con E50 como se indica en la figura 6.

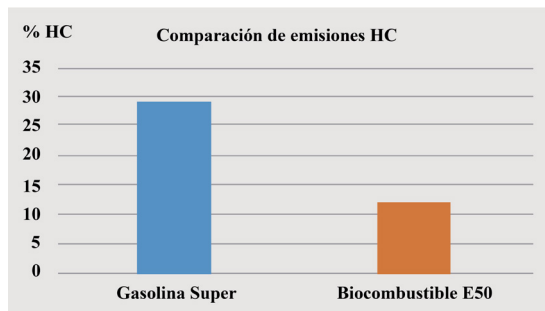


Figura 6. Comparación de HC entre gasolina súper y biocombustible E50

Emisiones de NO_x

Para el caso de los óxidos de nitrógeno se puede apreciar que el mayor valor lo produce el combustible E50 con 153,34 ppm comparando con el mayor valor de 48,82 del combustible súper.

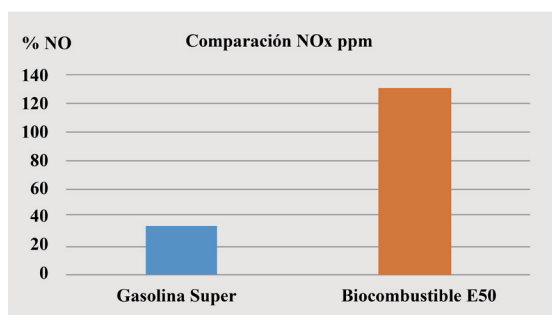


Figura 7. Comparación de NOx entre gasolina súper y biocombustible E50

Factor lambda

El valor de lambda evidencia que el combustible súper con un valor de 1,05 presenta una mejor oxidación que el biocombustible E50 con un valor de 1,12 como se aprecia en la figura 8.

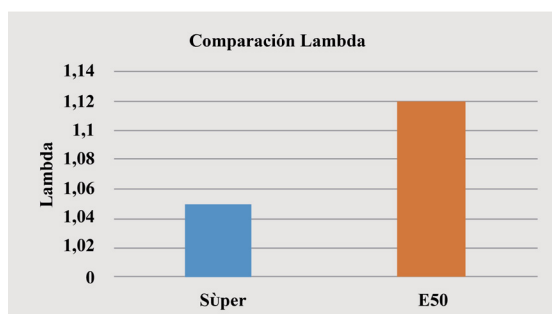


Figura 8. Comparación lambda.

Al analizar el valor de lambda del biocombustible E50, se determina que la combustión presenta una mezcla rica, existiendo una cantidad ligera de biocombustible en la cámara de compresión. Esto debido a que el etanol necesita menor cantidad de oxígeno para su combustión, presentando valores de dosado de 1/9, siendo este uno de los motivos por el cual este combustible presenta un rendimiento inferior con respecto al combustible súper.

Conclusiones

En el presente estudio se demuestra una clara reducción de emisiones contaminantes producidas por el motor de combustión interna al utilizar un biocombustible E50 a 2800 metros de altura con respecto al mismo vehículo cuando se utiliza combustible súper.

Las emisiones de CO, CO₂ y HC evidencian reducciones cuando se emplea E50 en comparación con la gasolina súper.

El biocombustible E50 emite más cantidad de que el combustible súper, el cual no reacciona, por esta razón se emite mayor cantidad de NOx, ya que el oxígeno excedente se mezcla con el nitrógeno que entra a la cámara de combustión y forma un enlace sumamente fuerte a presiones y temperaturas elevadas.

Literatura citada

- Botero, J., & Roa, M. (2011). *Biocombustibles*. Retrieved from <http://biocombustibleseafit.blogspot.com/2011/04/tipos-de-biocombustibles.html>
- Cajisaca, E., Rafael, F., Uzhca, N., & Gustavo, P. (2010). *Incidencia del tipo de gasolinas, aditivos y equipos optimizadores de combustible comercializados en la ciudad de Cuenca, sobre las emisiones contaminantes emitidas al aire* (Bachelor's thesis).
- CEPAL. (2009). *Brasil, Argentina y Colombia lideran producción de biocombustibles en la región*. Retrieved from CEPAL: <https://www.cepal.org/es/comunicados/brasil-argentina-y-colombia-lideran-produccion-de-biocombustibles-en-la-region>
- Ecured. (2018, Febrero 1). *EcuRed*. Retrieved from EcuRed: <https://www.ecured.cu/Gasolina>
- Francisco, P., & José, D. (2011). *Motores de Combustion Interna Alternativos*. Valencia.
- Gracia, C. (2009). *Biocombustibles: ¿energía o alimento*.
- Haldenwan, M. M. (2018). *MAHA*. Retrieved from <http://www.maha.de/productos.htm#camion-bancosdefuncionesypotencia>

- INEN. (2003). Revisión Técnica Vehicular. procedimientos. NTE INEN 2349. Instituto ecuatoriano de normalización.
- Iñiguez, J. (2017). Study of Polluting Emissions Produced by an Otto Engine with the Use of Gasoline and Fuel Base don 95% Gasoline and 5% Ethanol. *Innova Research Journal* 2017, Vol 2, No. 12, 11-18. *Universidad Internacional. Quito Ecuador*
- Ministerio de Agricultura y Ganadria, Acuicultura y Pesca. (2013). Maiz duro Seco. Retrieved from Maiz duro Seco: disponible en: <http://sinagap.agricultura.gob.ec/phocadownloadpap/cultivo/2013/maizduro.pdf>
- Naik, S. N., Goud, V. V., Rout, P. K., & Dalai, A. K. (2010). Production of first and second generation biofuels: a comprehensive review. *Renewable and sustainable energy reviews*, 14(2), 578-597.
- Pasturas de América. (2016). Retrieved from Pasturas de América: Disponible en: <http://www.pasturasdeamerica.com/utilizacion-forrajes/residuos-agricolas/maiz/>
- Rocha, J., Tipanluisa, L., & Llanes, E. (2017). *Análisis De Los Factores De Emisión En Ruta Para La Ciudad De Quito*. Memorias I Congrseo Internacional de Ingeniería CICI 2017. ISBN 978-9978-389-40-9.
- Wharton Business School. (10 de 7 de 2013). *Políticas publicas*.