

PRODUCCIÓN DE BIOETANOL A PARTIR DE DESPOJOS DE MAÍZ EN LA PROVINCIA DE IMBABURA-ECUADOR

Andrés Wilfrido Mora Oña

Facultad de Ingeniería en Ciencias Aplicadas, Universidad Técnica del Norte
Av. 17 de Julio 5-21, Ibarra - Ecuador
aumorao@utn.edu.ec

Resumen.

El presente proyecto tiene como finalidad producir bioetanol a partir de despojos de maíz en la provincia de Imbabura-Ecuador. Para cumplir con dicha finalidad se emplean y utilizan los desechos del maíz, específicamente del tipo "Chaucho Mejorado" (maíz amarillo) que se produce en la provincia de Imbabura, al cual por medio de su tratamiento (aplicación y absorción de la enzima "D-Xilosa") libera azúcares a los que se les añade levadura "Saccharomyces Cerevisiae" que posteriormente producen su fermentación para finalmente poder destilarla, obteniendo de ésta manera el producto deseado, en este caso el bioetanol. A este producto se le adiciona gasolina "súper" de 92 octanos RON, conformando de esta manera un biocombustible en proporción E10, el cual se sometió a una caracterización (análisis fisicoquímico) para establecer si la utilización del mismo en el ámbito automotriz es factible y de la misma manera se establece si el mismo cumple o no con la norma INEN-935 para requerimientos de gasolinas de 92 octanos. Tras analizar los datos de producción de bioetanol y demanda de combustible fósil (gasolinas) a nivel provincial, se determina si dicha producción satisface o no la demanda de consumo del mismo para los escenarios E5 y E10. De igual manera mediante la realización del presente proyecto se procura incentivar la búsqueda y estudio de nuevas fuentes de energía como son los biocombustibles, representando una alternativa a la utilización de combustibles tradicionales que en su gran mayoría son derivados del petróleo, además de las consecuencias que conlleva la utilización de los mismos.

Palabras clave: despojos de maíz, bioetanol, biocombustible E10.

Abstract.

The objective of this project is to produce bioethanol from corn offal in the province of Imbabura-Ecuador. To fulfill this purpose, corn waste is used and used, specifically of the "Chaucho Mejorado" type (yellow corn) that is produced in the province of Imbabura, to which by means of its treatment (application and absorption of the enzyme ("D-Xilose ") releases sugars to which yeast " Saccharomyces cerevisiae "is added, which subsequently produces its fermentation to finally distill it, thus obtaining the desired product, in this case bioethanol. To this product is added "súper" gasoline of 92

octane RON, thus forming a biofuel in proportion E10, which was subjected to a characterization (physicochemical analysis) to establish if the use of it in the automotive field is feasible and in the same way, it is established whether or not it complies with the INEN-935 standard for gasoline requirements of 92 octanes. After analyzing the bioethanol production and fossil fuel demand (gasoline) data at the provincial level, it is determined whether said production satisfies the consumption demand of the same for scenarios E5 and E10. In the same way, by means of the realization of the present project it is tried to stimulate the search and study of new sources of energy as they are the biofuels, representing an alternative to the utilization of traditional fuels that in their great majority are derivatives of petroleum, besides the consequences that involves the use of them.

Keywords: corn offal, bioethanol, biofuel E10.

I. INTRODUCCIÓN.

Debido a los cambios climáticos presentes a nivel mundial, así como también al agotamiento progresivo de las reservas del petróleo, actualmente es necesario buscar fuentes de energía alternas o denominadas ecológicas que tengan como prioridad mantener y conservar el medio ambiente, de esta manera se lleva a cabo el presente proyecto que promueve el estudio, producción y utilización de los biocombustibles de segunda generación, permitiendo así incentivar un desarrollo sostenible y consiente de los recursos naturales aún presentes a nivel mundial.

Inicialmente se establece todo lo referente al problema de investigación, refiriéndose y enfocándose en la dependencia existente del petróleo y sus derivados, además de la limitación en cuanto a la disponibilidad de este recurso no renovable, además de las repercusiones provocadas hacia el medio ambiente tras utilizarlo como fuente de energía.

De igual manera se visualiza el estado actual del problema y sus derivaciones de manera teórica, sustentándose por medio de información perteneciente a textos, revistas científicas y papers, que contienen datos referentes a la investigación a desarrollar, específicamente de información acerca del estado actual de las reservas de petróleo, consumo de sus derivados y producción de biocombustibles.

A continuación, se consideran procesos a seguir de acuerdo con el desarrollo práctico del presente proyecto, entre ellos la recopilación de datos de demanda de combustible, información de zonas de producción de materia prima, elementos químicos considerados, producción de bioetanol, caracterización del biocombustible obtenido y requerimientos establecidos por normas de estandarización para gasolinas.

Tras el desarrollo práctico de los procesos antes mencionados se analizan los datos obtenidos a partir de los mismos, entre ellos están la producción de bioetanol, estimación de producción del mismo, sus características y su cumplimiento o no de la normativa NTE INEN-2478 para etanol anhidro grado carburante desnaturalizado de manera individual además de la norma NTE INEN-935 para requerimientos de gasolina de 92 octanos al conformar un biocombustible en proporción E10.

Finalmente se encuentran las conclusiones, recomendaciones a las que se llegó posterior a la culminación del presente proyecto, además de la información bibliográfica que se utilizó para el desarrollo del mismo y los anexos que evidencian su ejecución.

II. RESULTADOS.

2.1 Estimar el consumo de combustible fósil (gasolinas) en la provincia de Imbabura-Ecuador.

Se determina que, para el ámbito automotriz, en la provincia de Imbabura durante el año 2016, el consumo para gasolinas extra y súper asciende a 27.30 y 3.78 millones de galones respectivamente, dando un total de 30.78 millones de galones interpretados como consumo o demanda a nivel provincial, a continuación, se muestran los datos antes mencionados.

Tabla 1. Consumo de gasolina “extra” y “súper” en la provincia de Imbabura 2016.

Ámbito automotriz	
Tipo de gasolina	Volumen (millones de galones)
Extra	27.30
Súper	3.48
Millones de galones totales consumidos	30.78

(AIHE, 2017, pág. 36)

2.2 Determinar las zonas de producción de materia prima en la provincia de Imbabura.

Se conoce que se pueden producir 89.363 Kg de materia prima por cada hectárea de maíz cosechada, por consiguiente, se estima que la producción de materia prima en kilogramos utilizando las 1.844 hectáreas registradas como productoras en la provincia, producen 164'785.372 Kg totales de materia prima aprovechable, en la tabla inferior se muestran los datos ya mencionados.

Tabla 2. Producción total de materia prima en la provincia de Imbabura.

Hectáreas totales cosechadas	Kg de materia prima por hectárea	Kg totales de materia prima aprovechables
1.844	89.363	164'785.372

2.3 Determinar el elemento adecuado para el proceso químico.

Se establece que el mejor elemento para tratar los despojos de maíz y producir sobre la misma el resultado deseado (liberación de azúcares) es por medio de la enzima D-Xilosa, teniendo un lapso de incubación de 8 días y una demora de adquisición del producto de una semana que es considerablemente favorable para el desarrollo del presente proyecto, en la siguiente tabla se muestran los datos del método seleccionado.

Tabla 3. Elemento químico seleccionado.

Método	Tiempo de ejecución	Costo (\$)	Cantidad (gr)	Tiempo de adquisición del producto
Enzimas (D-Xilosa)	8 Días de incubación	250	10	1 semana

2.4 Producir bioetanol en base a despojos de maíz.

Al tener un balance general de resultados obtenidos referente al rendimiento biomasa / etanol se comprende que por cada 11.36 Kg de BRA empleados tendremos 0,22 GL de bioetanol con un porcentaje de alcohol presente del 96,5 % tras realizar 4 rectificaciones (destilaciones), a continuación, se muestran los datos del balance general de resultados que fueron analizados.

Tabla 4. Balance general de resultados obtenidos

Kg de biomasa utilizada	Número de rectificaciones	Cantidad de etanol obtenido (GL)	% De alcohol (°Gay Lussac) presente
11.36	4	0.22	96.5

Se tiene una estimación de producción de bioetanol basada en la relación de las hectáreas totales de producción registradas en la provincia de Imbabura (1.844 Ha) y los galones producidos por hectárea empleada (1.768), teniendo de esta manera una proyección de 3'260.855 de GL de bioetanol producidos o 12.358,64 m³ de bioetanol obtenido, en la siguiente tabla se observa los datos antes mencionados.

Tabla 5. Estimación de producción de bioetanol.

GL obtenidos por hectárea	Hectáreas totales disponibles	GL totales obtenidos de bioetanol	m ³ Totales obtenidos de bioetanol
1.768	1.844	3'260.855	12.358,64

Al realizar un análisis de datos (características) del bioetanol obtenido se establece que los mismos cumplen con los rangos permisibles que la norma NTE INEN-2478 establece para etanol anhidro grado carburante desnaturalizado, cabe recalcar que dichos datos fueron adquiridos mediante la utilización de los equipos proporcionados por la carrera de “Ingeniería Agroindustrial” perteneciente a la “Universidad Técnica del Norte”, a continuación se muestran los datos del bioetanol obtenido y los datos establecidos por la norma NTE INEN-2478.

Tabla 6. Datos del bioetanol resultante final.

Característica	Unidad	Bioetanol Obtenido	Datos norma NTE- INEN 2478	
			Mínimos	Máximos
Cantidad de bioetanol obtenido	(GL)	0.22	-----	-----
% de Alcohol presente	(°Gay Lussac)	96.5°	96.3	-----
PH	-----	6.8	6.5	9.0
Coloración	-----	Incoloro	-----	-----
Olor	-----	Característico	-----	-----
Densidad	Kg/m ³	0,768	-----	791,5

2.5 Caracterizar la muestra de biocombustible obtenido en proporción E10.

Se realiza una comparación de datos obtenidos de la caracterización del biocombustible E10 y norma establecida por el Instituto Ecuatoriano de normalización NTE INEN-935 para gasolina súper de 92 octanos, dichos datos son mostrados en la siguiente tabla.

Tabla 7. Comparación de datos obtenidos con la norma NTE INEN 935 para gasolina de 92 octanos.

DATOS OBTENIDOS BIOCMBUSTIBLE E10				Norma NTE INEN 935		
ENSAYO	NOR MA- MÉT ODO	UNI DA D	VAL OR OBTE NIDO	Mí nim o	Má xim o	
Número de octano (RON)	NTE INE N 2102	----- ----	96.3	92.0	----- -	
Ensa yo de Desti lación	AST M D86- 15	Temp eratur a al 10 %	°C	52.1	-----	70
		Temp eratur a al 50 %	°C	110.5	-----	121
		Temp eratur a al 90 %	°C	No alcanz ó el porcen taje	-----	190
		Punto Final	°C	170	-----	220
		Resid uo	%	1.0	-----	2
Presión de vapor Reid	AST M D323 -15A	kPa	58.6	-----	60	
Corrosión a la lámina de cobre	AST M D130 -12	----	1 ^a	----- -	1A	
Contenido de azufre	AST M D429 4-16	%	0,020	----- -	0,06 5	
Contenido de gomas	AST M D381 -12	mg/1 00 ml	0,2	----- -	4,0	

Conforme los datos detallados mostrados en esta tabla, mismos que fueron obtenidos posterior a la caracterización (análisis fisicoquímico) a la que fue sometida la muestra (biocombustible E10) enviada al laboratorio de petróleos de Ingeniería Química de la EPN, señalan que el antes mencionado cumple con todas las especificaciones establecidas en la normativa NTE INEN-935 para requerimientos de gasolina de 92 octanos, a excepción del ensayo de destilación a 90% de temperatura, consecuentemente se tiene un análisis comparativo de cada uno de los datos obtenidos.

2.5.1 Octanaje.

Debido al valor elevado de vaporización que posee el bioetanol en relación al valor registrado por la gasolina súper, al momento de realizar la mezcla entre ellos, se evidencia un aumento del número de octanaje específicamente del 4.3 puntos en la escala de octanaje en relación al valor registrado por la norma NTE INEN-935 para la gasolina de 92 octanos, participando como un aditivo para la misma, lo que se refleja en mejoras de rendimiento del combustible y potencia del motor al contener mayor capacidad antidetonante, de la misma manera el bioetanol al tener aproximadamente el doble de peso en oxígeno en relación a la gasolina, produce una combustión relativamente más completa, a continuación, se muestran los datos antes mencionados.

Tabla 8. Comparación de datos de octanaje.

Gasolina súper (Norma NTE INEN-935)	Biocombustible E10
92	96.3

2.5.2 Destilación.

Se tiene una diferencia de datos referentes a temperaturas de destilación existiendo una disminución en las registradas por el biocombustible E10 con respecto a las de la gasolina súper, se tiene el siguiente análisis de datos.

La disminución de temperatura registrada por el biocombustible E10 al 10 % de temperatura es de - 17.9 °C de esta manera se constata una mayor capacidad para facilitar el encendido en frío del motor o a bajas temperaturas por parte de este combustible.

La disminución de temperatura registrada por el biocombustible E10 al 50 % de temperatura es de - 10.5°C evidenciándose su capacidad para alcanzar temperaturas acordes a la del funcionamiento del motor, desempeñándose de mejor manera a temperaturas bajas.

Para el porcentaje de temperatura del 90%, los datos de destilación registrados por el biocombustible no alcanzaron los valores legibles por el equipo de análisis, lo que evidencia su alto valor de vaporización, en la tabla inferior se muestran los datos antes mencionados.

Tabla 9. Comparación de datos de destilación.

Gasolina súper (Norma NTE INEN-935).			Biocombustible E10		
10 %	50 %	90%	10 %	50 %	90%
70 °C	121 °C	190 °C	52.1° C	110.5 °C	No alcanzó el porcentaje

2.5.3 Presión de vapor reid.

Se tiene una disminución de los valores registrados por el biocombustible de -1.4 KPa en relación a la gasolina súper, considerándose a esta diferencia de valores como despreciable, asumiéndose que tiene el mismo valor que el de la gasolina, además de comportarse de igual manera al ser almacenados y utilizados bajo una temperatura de 100 °F (37°C), en la siguiente tabla se muestran los datos ya mencionados.

Tabla 10. Comparación de datos de vapor reid.

Gasolina súper (Norma NTE INEN-935)	Biocombustible E10
60 KPa	58.6 KPa

2.5.4 Corrosión a la lámina de cobre.

Los datos registrados por el biocombustible en este ensayo no presentan variaciones en relación al registrado por la gasolina súper, asumiéndose de esta manera que los dos tipos de combustibles reaccionan de la misma manera a la corrosión ya que se encuentran en la categoría 1A que significa deslustre ligero, a continuación, se muestran los datos antes mencionados.

Tabla 11. Comparación de datos de corrosión a la lámina de cobre.

Gasolina súper (Norma NTE INEN-935)	Biocombustible E10
1A	1A

2.5.5 Contenido de azufre.

De acuerdo con los datos registrados se establece una disminución del porcentaje de azufre presente en el biocombustible de -0.045 % o partes por millón en relación al valor registrado por la gasolina súper, señalando de igual manera que es menos propenso a corroer las diferentes aleaciones del motor de combustión interna e influir en el mal funcionamiento del catalizador, en la tabla inferior se muestran los datos ya mencionados.

Tabla 12. Comparación de datos de contenido de azufre.

Gasolina súper (Norma NTE INEN-935)	Biocombustible E10
0.65 %	0.20 %

2.5.6 Contenido de gomas.

Se tiene una diferencia considerable de datos en este ensayo, teniendo como resultado del análisis del biocombustible una disminución de - 3.8 mg/100 ml en relación a la gasolina súper, asumiéndose de esta manera un bajo potencial para impregnarse en las paredes internas del motor, además de no desarrollar a largo plazo sedimentos o residuos de combustible en sistema de alimentación tras evaporarse, en la tabla inferior se muestran los datos antes mencionados.

Tabla 13. Comparación de datos de contenido de gomas.

Gasolina súper (Norma NTE INEN-935)	Biocombustible E10
4.0 mg/100ml	0.2 mg/100ml

2.6 Modificaciones a realizarse en un vehículo al utilizar bioetanol.

Para este punto se considera la cantidad de agua presente en el biocombustible al estar compuesto por bioetanol que no es totalmente deshidratado (96.5% de alcohol y 3.5 % agua), además de sus repercusiones en el motor al ser combustionado y utilizado a largo plazo, tomando como una alternativa la realización de modificaciones a un motor para disminuir futuros problemas en el mismo, se consideran varias modificaciones las cuales se indican en la siguiente tabla.

Tabla 14. Modificaciones considerables al usar el biocombustible E10.

Cantidad de bioetanol presente	Modificaciones a realizarse
E10	Sistema de inyección
	Bomba de combustible
	Filtro de combustible
	Cañerías de combustible
	Sistema de refrigeración

2.7 Ventajas y desventajas al utilizar bioetanol en proporción E10.

Tras el análisis comparativo de los resultados finales de la caracterización del biocombustible E 10, se consideran ciertas ventajas y desventajas al utilizarlo como un combustible en el motor de combustión interna, las cuales se detallan en la siguiente tabla.

Tabla 15. Ventajas y desventajas al utilizar bioetanol E10.

Ventajas	Desventajas
- Actúa como un aditivo al mezclarse con la gasolina elevando considerablemente su número de octano.	- Libera mayor energía térmica al ser combustionado, elevando la temperatura del motor, siendo motivo para realizar modificaciones en el sistema de refrigeración.
- Al tener mayor capacidad antidetonante permite alcanzar mayores relaciones de compresión, reflejándose en mejoras en el rendimiento del motor y del combustible.	- Al contener cierto porcentaje de agua en su composición, produce corrosión en varias aleaciones internas del motor.
- Mejora los procesos de combustión, al ser pulverizado de mejor forma en el interior del cilindro.	
- Facilita el encendido en frío del motor.	
- Es menos propenso a influir en el mal funcionamiento del catalizador al contener un muy bajo porcentaje de azufre.	
- No forma sedimentos o residuos de combustible en el sistema de alimentación, específicamente en los inyectores, bomba de combustible y filtro de combustible.	

III. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

3.1 Conclusiones.

- El consumo de gasolinas (extra de 88 octanos RON y súper de 92 octanos RON) en la provincia de Imbabura representa únicamente el 2,68 % del consumo anual a nivel nacional.

- El porcentaje más alto de alcohol (°Gay Lusaac) que se obtuvo al momento de llevar a cabo la destilación del bioetanol es del 96.5%, debido en gran parte a las limitaciones tecnológicas presentes en los equipos que fueron utilizados durante este proceso, sin llegar por este motivo al porcentaje máximo de alcohol presente en el bioetanol (99.9%), pese a este inconveniente los datos del bioetanol obtenido si están dentro de los parámetros establecidos por la normativa NTE INEN-2478 para etanol anhidro grado carburante desnaturalizado.

- Conociendo que se puede producir 1.768 gal de bioetanol por hectárea de maíz utilizada, se estima que si se emplea las 1.844 hectáreas de maíz (Chaucho Mejorado) producidas en la provincia de Imbabura se podría producir 3'260.855 GL o 12.358,64 m³ de bioetanol, satisfaciendo de esta manera los escenarios E5 y E10 de consumo de combustible fósil (gasolinas) a nivel provincial en el año 2016, existiendo un excedente del 52.81% y 5.60% de producción, para los escenarios antes mencionados respectivamente.

- La mezcla del bioetanol producido (de 96.5 % de alcohol) en adición a la gasolina súper (de 92 octanos RON) conforman un biocombustible en proporción E10, el mismo que mediante los resultados obtenidos posterior a su caracterización, se establece que si cumple con la normativa NTE INEN-935 para requerimientos de gasolina de 92 octanos.

- De los resultados obtenidos tras la caracterización del biocombustible en proporción E10, se establece que la diferencia más notable de los mismos corresponden al número de octano con 4.3 puntos de diferencia positiva, contenido de azufre con 0.045 % de diferencia (disminución) y contenido de gomas con 3.8 mg/100ml de diferencia (disminución), en relación a los datos registrados por la normativa NTE INEN-935 para requerimientos de gasolina de 92 octanos, en base a estos datos se establece una mejora en cuanto al rendimiento del combustible, potencia del motor y la ausencia de sedimentos producidos por el aprovechamiento del biocombustible a largo plazo.

3.2 Recomendaciones.

- Todos los datos relacionados con demanda de combustible y zonas de producción de materia prima deben ser actualizados de manera que los resultados de estimación de producción de bioetanol, así como la satisfacción de consumo de combustible sean lo más acertados posibles.

- Al momento de realizar la mezcla del bioetanol producido (de 96.5 % de alcohol con una densidad de 0.768 g/m³) y la gasolina súper (de 92 octanos RON con una densidad de 0.750 g/m³), se recomienda elevar la temperatura del bioetanol, con la finalidad de igualar las densidades de las dos sustancias a mezclar y que la misma sea homogénea.

- La caracterización (análisis fisicoquímico) del biocombustible debe ser realizado en laboratorios certificados que realicen ensayos en combustibles mediante la norma NTE INEN y ASTM, con el objeto de garantizar la veracidad de los datos obtenidos tras su realización.

- Se debe considerar posibles cambios o modificaciones en los sistemas de inyección, alimentación y refrigeración en el motor de combustión interna, cuando este trabaje de forma prolongada con biocombustibles en proporciones E10, debido a la cantidad de agua presente en el bioetanol hidratado.

REFERENCIAS.

1. AIHE. (Marzo de 2017). En P. Sabando, *Petróleo en cifras*. Globalcorp.
2. Camarillo Montero, J. A. (2011). "ESTUDIO DE LA COMBUSTIÓN DE UN MOTOR MONOCILINDRICO DE INGNICIÓN ALIMENTADO CON MEZCLAS GASOLINA ETANOL".
3. MAGAP-DPA IMBABURA UZI. (2016). Imbabura, Ecuador.
4. Abril, A., & Navarro, E. (2012). *Etanol a partir de biomasa lignocelulósica*. © Aleta Ediciones (2012).
5. Acosta, A. (2012). *Biocombustibles*. ANI - Academia Nacional de Ingeniería.
6. Álvarez Flórez, J. A., & Callejón Agramunt, I. (2005). *Motores alternativos de combustión interna*. Universitat Politècnica de Catalunya.
7. Álvarez Gallego, S., & Rodríguez Olalla, A. (2015). *Gestión de la huella de carbono*. AENOR - Asociación Española de Normalización y Certificación.
8. Camps Michelena, M., & Marcos Martín, F. (2008). *Los biocombustibles (2a. ed.)*. Mundi-Prensa.
9. Castells, X. (2012). Los residuos como combustibles. En X. E. Castells, *Tratamiento y valorización energética de residuos* (pág. 72). Madrid: Ediciones Díaz de Santos.
10. Castillo Hernández, Mendoza Domínguez, & Caballero Mata. (2011). Análisis de las propiedades fisicoquímicas de gasolina y diesel.
11. Castro Martínez, C., Beltrán Arredondo, L. I., & Ortiz Ojeda, J. C. (2012). *Producción de biodiesel y bioetanol: ¿una alternativa sustentable a la crisis energética?* Red Universidad Autónoma Indígena de México.
12. Escudero, S., González, J., Rivas, J. L., & Suárez, A. (2009). *Motores*. Macmillan Iberia, S.A.
13. Espinosa Cajas, F. J. (2013). OBTENCIÓN DE ETANOL MEDIANTE HIDRÓLISIS ALCALINA, ENZIMÁTICA Y FERMENTACIÓN A PARTIR DEL EXCEDENTE ORGÁNICO DEL BANANO VARIEDAD MUSA PARADISIACA . Quito.