



## **UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE**

**FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS**

**CARRERA DE INGENIERÍA EN MANTENIMIENTO AUTOMOTRIZ**

**TEMA:**

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

**PLAN DE TRABAJO DE GRADO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE  
INGENIERO EN MANTENIMIENTO AUTOMOTRIZ**

**AUTOR:**

**MORA OÑA ANDRÉS WILFRIDO**

**DIRECTOR:**

**ING. HERNÁNDEZ RUEDA ERIK PAÚL MSC.**

**IBARRA, 2017**



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE**  
**BIBLIOTECA UNIVERSITARIA**  
**AUTORIZACIÓN DE USO Y PUBLICACIÓN**

**A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE**

**1. IDENTIFICACIÓN DE LA OBRA.**

La Universidad Técnica del Norte dentro del proyecto Repositorio Digital Institucional, determinó la necesidad de disponer de textos completos en forma digital con la finalidad de apoyar los procesos de investigación, docencia y extensión de la Universidad.

Por medio del presente documento dejo sentada mi voluntad de participar en este proyecto, para lo cual pongo a disposición la siguiente información.

| <b>DATOS DE CONTACTO</b>    |                          |                        |            |
|-----------------------------|--------------------------|------------------------|------------|
| <b>CÉDULA DE IDENTIDAD:</b> | 1003522990               |                        |            |
| <b>APELLIDOS Y NOMBRES:</b> | MORA OÑA ANDRÉS WILFRIDO |                        |            |
| <b>DIRECCIÓN:</b>           | OTAVALO, CDLA. LOS LAGOS |                        |            |
| <b>EMAIL:</b>               | and_wmo@hotmail.com      |                        |            |
| <b>TELÉFONO FIJO:</b>       | 2930230                  | <b>TELÉFONO MÓVIL:</b> | 0980350795 |

| <b>DATOS DE LA OBRA</b>            |   |
|------------------------------------|---|
| <b>TÍTULO:</b>                     | “PRODUCCIÓN DE BIOETANOL A PARTIR DE DESPOJOS DE MAÍZ, EN LA PROVINCIA DE IMBABURA-ECUADOR” |
| <b>AUTOR:</b>                      | MORA OÑA ANDRÉS WILFRIDO  |
| <b>FECHA:</b>                      | 11-12-2017  |
| <b>SOLO PARA TRABAJOS DE GRADO</b> |   |
| <b>PROGRAMA:</b>                   | PREGRADO  |
| <b>TITULO POR EL QUE OPTA</b>      | INGENIERO EN MANTENIMIENTO AUTOMOTRIZ   |
| <b>ASESOR/DIRECTOR</b>             | ING. HERNÁNDEZ RUEDA ERIK PAÚL MSC.   |

## **2. AUTORIZACIÓN DE USO A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD.**

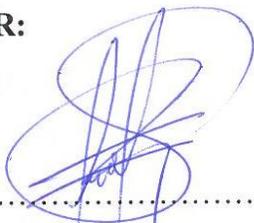
Yo, **MORA OÑA ANDRÉS WILFRIDO** con cédula de identidad Nro. **100352299-0**, en calidad de autor y titular de los derechos patrimoniales de la obra o trabajo de grado descrito anteriormente, hago entrega del ejemplar respectivo en formato digital y autorizo a la Universidad Técnica del Norte, la publicación de la obra en el Repositorio Digital Institucional y uso del archivo digital en la Biblioteca de la Universidad con fines académicos, para ampliar la disponibilidad del material y como apoyo a la educación, investigación y extensión; en concordancia con la Ley de Educación Superior Artículo 144.

## **3. CONSTANCIA.**

El autor manifiesta que la obra objeto de la presenta autorización es original y se la desarrolló, sin violar derechos de autor de terceros, por lo tanto, la obra es original y que son los titulares de los derechos patrimoniales, por lo que asumen la responsabilidad sobre el contenido de la misma y saldrán en defensa de la Universidad en caso de reclamación por parte de terceros.

Ibarra, a los 11 días del mes de diciembre del 2017.

**EL AUTOR:**



**Firma:** .....

**Nombre:** Mora Oña Andrés Wilfrido.

**Cédula de Identidad:** 1003522990.



## UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

### CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE GRADO A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

Yo, **MORA OÑA ANDRÉS WILFRIDO** con cédula de identidad Nro. **100352299-0**, manifiesto mi voluntad de ceder a la Universidad Técnica del Norte los derechos patrimoniales consagrados en la Ley de Propiedad Intelectual del Ecuador artículos 4, 5 y 6, en calidad de autor de la obra o trabajo de grado denominado **“PRODUCCIÓN DE BIOETANOL A PARTIR DE DESPOJOS DE MAÍZ EN LA PROVINCIA DE IMBABURA ECUADOR”** que ha sido desarrollado para optar por el título de Ingeniero en Mantenimiento Automotriz en la Universidad Técnica del Norte, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente. En mi condición de autor me reservo los derechos morales de la obra antes citada. En concordancia suscribo este documento en el momento que hago entrega del trabajo final en formato impreso y digital a la Biblioteca de la Universidad Técnica del Norte.

Ibarra, a los 11 días del mes de diciembre del 2017.

**EL AUTOR:**

**Firma:** .....

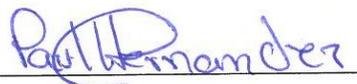
**Nombre:** Mora Oña Andrés Wilfrido.

**Cédula de Identidad:** 1003522990.

## CERTIFICACIÓN

Certifico que el presente proyecto fue realizado en su totalidad por el señor: **Mora Oña Andrés Wilfrido**, como requerimiento para la obtención del título de Ingeniero en Mantenimiento Automotriz.

Atentamente,



Ing. Hernández Rueda Erik Paúl MSc.  
DIRECTOR DEL PROYECTO

## **AGRADECIMIENTO**

Me permito expresar mis sentimientos de agradecimiento a:

A mis padres por su paciencia y consejos brindados que me han impulsado a afrontar y superar momentos difíciles.

Al Ing. Paúl Hernández MSc. docente de la carrera de Ingeniería en Mantenimiento Automotriz perteneciente a la Universidad Técnica del Norte, en calidad de tutor y amigo, que con sus conocimientos y guía aportaron de gran manera para el desarrollo y culminación del presente proyecto de grado.

A la carrera de Ingeniería Agroindustrial de la facultad “FICAYA” perteneciente a la Universidad Técnica del Norte por haber facilitado los equipos necesarios para el cumplimiento de varias etapas de este proyecto de grado.

Al Ing. Nelson Lucero vicerrector y docente del Instituto Tecnológico Superior 17 de Julio por su tiempo y aportación dedicados para el desarrollo del presente proyecto.

A la Universidad Técnica del Norte por realizar la transferencia de conocimientos académicos, valores y ética a través de sus docentes a la gran población universitaria del norte del país.

**MORA OÑA ANDRÉS WILFRIDO**

## **DEDICATORIA**

Dedico el presente proyecto de grado, que plasma mi esfuerzo, entrega y dedicación.

A mis queridos padres el Sr. Wilfrido Mora y la Sra. Paulina Oña que me permitieron tener la oportunidad de contar con una educación digna y de calidad; durante el transcurso de mi vida dentro y fuera del aula clases, han sido mi apoyo, guía y soporte incondicional, contribuyendo de esta manera a mi formación personal y profesional.

**MORA OÑA ANDRÉS WILFRIDO**

# ÍNDICE DE CONTENIDOS

|  | <b>PÁG.</b>                      |
|--|----------------------------------|
| <b>PORTADA</b> .....                                 | i                                |
| <b>AUTORIZACIÓN DE USO Y PUBLICACIÓN</b> .....       | ii                               |
| <b>CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO</b> ..... | ¡Error!<br>Marcador no definido. |
| <b>CERTIFICACIÓN</b> .....                           | ¡Error! Marcador no definido.    |
| <b>AGRADECIMIENTO</b> .....                          | vi                               |
| <b>DEDICATORIA</b> .....                             | vii                              |
| <b>ÍNDICE DE TABLAS</b> .....                        | xv                               |
| <b>ÍNDICE DE FIGURAS</b> .....                       | xviii                            |
| <b>RESUMEN</b> .....                                 | xxii                             |
| <b>ABSTRACT</b> .....                                | xxiii                            |
| <b>INTRODUCCIÓN</b> .....                            | xxiv                             |
| <b>CAPÍTULO I</b> .....                              | 1                                |
| <b>1. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN</b> .....            | 1                                |
| 1.1 ANTECEDENTES.....                                | 1                                |
| 1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....                  | 2                                |
| 1.3 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.....                    | 2                                |
| 1.4 DELIMITACIÓN.....                                | 2                                |
| 1.4.1 TEMPORAL Y ESPACIAL.....                       | 2                                |
| 1.5 OBJETIVOS.....                                   | 2                                |

|  |          |
|--|----------|
| 1.5.1 OBJETIVO GENERAL .....   | 2        |
| 1.5.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....   | 2        |
| 1.6 JUSTIFICACIÓN.....   | 3        |
| <b>CAPÍTULO II.....</b>  | <b>4</b> |
| <b>2. MARCO TEÓRICO.....</b>   | <b>4</b> |
| 2.1 ENERGÍA. ....  | 4        |
| 2.2 COMBUSTIBLES.....  | 4        |
| 2.2.1 TIPOLOGÍA DE LOS COMBUSTIBLES. ....                                      | 4        |
| 2.3 COMBUSTIBLES FÓSILES.....  | 5        |
| 2.3.1 EL PETRÓLEO. ....  | 5        |
| 2.3.2 EL GAS NATURAL. ....   | 7        |
| 2.3.3 EL CARBÓN.....   | 7        |
| 2.3.4 VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LOS COMBUSTIBLES<br>FÓSILES.....               | 8        |
| 2.4 BIOCOMBUSTIBLES.....   | 8        |
| 2.4.1 PRIMERA GENERACIÓN DE BIOCOMBUSTIBLES. ....                              | 8        |
| 2.4.2 SEGUNDA GENERACIÓN DE BIOCOMBUSTIBLES.....                               | 9        |
| 2.4.3 TERCERA GENERACIÓN DE BIOCOMBUSTIBLES.....                               | 9        |
| 2.5 PRINCIPIOS DE SUSTENTABILIDAD EN LA PRODUCCIÓN DE<br>BIOCOMBUSTIBLES. .... | 9        |
| 2.6 ESTADO ACTUAL DE LOS BIOCOMBUSTIBLES A NIVEL<br>MUNDIAL. ....              | 10       |
| 2.6.1 EL BIOGÁS. ....  | 10       |
| 2.6.2 EL BIODIÉSEL. ....   | 10       |
| 2.6.3 EL BIOETANOL. ....   | 11       |

|  |    |
|--|----|
| 2.7 BIOMASA. ....  | 11 |
| 2.8 TIPOS DE BIOMASA. ....   | 12 |
| 2.8.1 BIOMASA NATURAL. ....  | 12 |
| 2.8.2 BIOMASA RESIDUAL. ....   | 12 |
| 2.8.3 BIOMASA LIGNOCELULÓSICA. ....                                  | 12 |
| 2.9 MÉTODOS DE OBTENCIÓN DE BIOETANOL. ....                          | 13 |
| 2.10 PROCESOS DEL MÉTODO BIOQUÍMICO ....                             | 14 |
| 2.10.1 ACONDICIONAMIENTO DE LA MATERIA PRIMA. ....                   | 14 |
| 2.10.2 MOLIENDA DE LA MATERIA PRIMA. ....                            | 15 |
| 2.10.3 TRATAMIENTO QUÍMICO PARA LA MATERIA PRIMA. ....               | 15 |
| 2.10.4 FERMENTACIÓN. ....  | 15 |
| 2.10.4.1 Fermentación Aeróbica. ....                                 | 15 |
| 2.10.5 DESTILACIÓN DE SUBSTANCIA FERMENTADA. ....                    | 16 |
| 2.10.6 RECTIFICACIÓN DE ETANOL. ....                                 | 16 |
| 2.11 EL BIOETANOL COMO BIOCOMBUSTIBLE EN EL ECUADOR. ....            | 16 |
| 2.11.1 NORMA ECUATORIANA NTE INEN-2478 PARA ETANOL ANHIDRO. ....     | 17 |
| 2.11.2 NORMA ECUATORIANA NTE INEN-935 PARA GASOLINAS. ....           | 17 |
| 2.11.3 NORMA ASTM 910-02 PARA GASOLINA REGULAR DE 98 OCTANOS. ....   | 18 |
| 2.11.4 NORMA RTCA 169-2006 PARA GASOLINA REGULAR DE 83 OCTANOS. .... | 19 |
| 2.12 PROPIEDADES NORMALIZADAS IMPORTANTES DE LOS COMBUSTIBLES. ....  | 19 |
| 2.12.1 RON. ....   | 19 |

|  |    |
|--|----|
| 2.12.2 OCTANAJE.....   | 19 |
| 2.12.3 DESTILACIÓN. ....   | 20 |
| 2.12.4 PRESIÓN DE VAPOR REID. ....   | 20 |
| 2.12.5 CORROSIÓN A LA LÁMINA DE COBRE.....   | 20 |
| 2.12.6 CONTENIDO DE AZUFRE.....  | 21 |
| 2.12.7 CONTENIDO DE GOMAS.....   | 21 |
| 2.13 MEZCLAS DE BIOETANOL CON GASOLINA .....   | 22 |
| 2.14 LA HUELLA DE CARBONO. ....  | 22 |
| 2.14.1 CICLO DE LA HUELLA DE CARBONO.....  | 24 |
| 2.14.2 DESARROLLO SOSTENIBLE. ....   | 24 |
| GLOSARIO DE TÉRMINOS .....   | 25 |
| <b>CAPÍTULO III</b> .....  | 26 |
| <b>3. DESARROLLO DE LA PROPUESTA</b> .....   | 26 |
| 3.1 ETAPAS PRELIMINARES .....  | 26 |
| 3.2 ESTIMAR EL CONSUMO DE COMBUSTIBLE FÓSIL (GASOLINAS)<br>EN LA PROVINCIA DE IMBABURA-ECUADOR. .... | 27 |
| 3.2.1 ESTIMAR EL CONSUMO DE COMBUSTIBLE FÓSIL<br>(GASOLINAS) A NIVEL NACIONAL.....                   | 27 |
| 3.2.2 ESTIMAR EL CONSUMO DE COMBUSTIBLE FÓSIL<br>(GASOLINAS) A NIVEL PROVINCIAL.....                 | 27 |
| 3.3 DETERMINAR LAS ZONAS DE PRODUCCIÓN DE MATERIA PRIMA.<br>.....                                    | 28 |
| 3.3.1 CONOCER EL TIPO DE MAÍZ QUE SE PRODUCE EN LA<br>PROVINCIA DE IMBABURA.....                     | 28 |
| 3.3.2 FICHA TÉCNICA DEL MAÍZ SELECCIONADO.....   | 29 |

|   |           |
|---|-----------|
| 3.3.3 CONOCER LAS ZONAS DE PRODUCCIÓN DE LA MATERIA PRIMA “CHAUCHO MEJORADO”.                 | 29        |
| 3.4 DETERMINAR EL ELEMENTO ADECUADO PARA EL PROCESO QUÍMICO.                                  | 31        |
| 3.4.1 DETERMINAR EL ELEMENTO ADECUADO PARA HIDROLIZAR LA MATERIA PRIMA (BACTERIAS O ENZIMAS). | 31        |
| 3.5 PRODUCIR BIOETANOL EN BASE A DESPOJOS DE MAÍZ.  | 33        |
| 3.5.1 RECOLECCIÓN DE MUESTRA DE MATERIA PRIMA EN UN ÁREA DE 10 m <sup>2</sup> .               | 33        |
| 3.5.2 TRITURACIÓN DE MATERIA PRIMA SECA.  | 33        |
| 3.5.3 PESAJE DE MATERIA PRIMA SECA.   | 34        |
| 3.5.4 TRATAMIENTO ENZIMÁTICO.   | 34        |
| 3.5.5 ROMPIMIENTO DE PAREDES MOLECULARES Y LIBERACIÓN DE AZÚCARES FERMENTABLES.               | 34        |
| 3.5.6 FERMENTACIÓN.   | 36        |
| 3.5.7 DESTILACIÓN.  | 38        |
| 3.5.8 RECTIFICACIÓN.  | 39        |
| 3.6 CARACTERIZAR LA MUESTRA DE BIOCOMBUSTIBLE OBTENIDO EN PROPORCIÓN E10.                     | 40        |
| 3.6.1 PREPARACIÓN DE MUESTRA EN PROPORCIÓN E10.   | 40        |
| 3.6.2 ENVÍO DE MUESTRA A LABORATORIO (EPN).   | 41        |
| <b>CAPÍTULO IV</b>  | <b>42</b> |
| <b>4. ANÁLISIS DE RESULTADOS</b>  | <b>42</b> |
| 4.1 ESTIMAR EL CONSUMO DE COMBUSTIBLE FÓSIL (GASOLINAS) EN LA PROVINCIA DE IMBABURA-ECUADOR.  | 42        |

|   |           |
|---|-----------|
| 4.2 DETERMINAR LAS ZONAS DE PRODUCCIÓN DE MATERIA PRIMA EN LA PROVINCIA DE IMBABURA.....  | 42        |
| 4.3 DETERMINAR EL ELEMENTO ADECUADO PARA EL PROCESO QUÍMICO.....  | 43        |
| 4.4 PRODUCIR BIOETANOL EN BASE A DESPOJOS DE MAÍZ.....  | 43        |
| 4.5 CARACTERIZAR LA MUESTRA DE BIOCOMBUSTIBLE OBTENIDO EN PROPORCIÓN E10. ....  | 45        |
| 4.5.1 NORMA ESTABLECIDA POR LA ASOCIACIÓN AMERICANA DE ENSAYO DE MATERIALES ASTM 910-02 PARA GASOLINA REGULAR DE 98 OCTANOS. .... | 45        |
| 4.5.2 NORMA ESTABLECIDA POR EL REGLAMENTO TÉCNICO CENTROAMERICANO RTCA 169-2006 PARA GASOLINA REGULAR DE 83 OCTANOS. ....         | 46        |
| 4.5.3 NORMA ESTABLECIDA POR EL INSTITUTO ECUATORIANO DE NORMALIZACIÓN NTE INEN-935 PARA GASOLINA SÚPER DE 92 OCTANOS.....         | 48        |
| 4.5.3.1 Octanaje.....   | 50        |
| 4.5.3.2 Destilación. ....   | 50        |
| 4.5.3.3 Presión de vapor reid. ....   | 51        |
| 4.5.3.4 Corrosión a la lámina de cobre. ....  | 51        |
| 4.5.3.5 Contenido de azufre. ....   | 52        |
| 4.5.3.6 Contenido de gomas.....   | 52        |
| 4.6 MODIFICACIONES A REALIZARSE EN UN VEHÍCULO AL UTILIZAR BIOETANOL.....   | 53        |
| 4.7 VENTAJAS Y DESVENTAJAS AL UTILIZAR BIOETANOL EN PROPORCIÓN E10. ....  | 54        |
| <b>CAPÍTULO V</b> .....   | <b>55</b> |

|  |           |
|--|-----------|
| <b>5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....</b> | <b>55</b> |
| 5.1 CONCLUSIONES.....                          | 55        |
| 5.2 RECOMENDACIONES. ....                      | 57        |
| BIBLIOGRAFÍA.....                              | 58        |
| ANEXOS .....                                   | 61        |

## ÍNDICE DE TABLAS

| <b>TABLA</b> | <b>DESCRIPCIÓN</b>   | <b>PÁG.</b> |
|--------------|--|-------------|
| 1.           | Reservas mundiales de petróleo por región 2016. ....   | 6           |
| 2.           | Etanol anhidro grado carburante desnaturalizado.....   | 17          |
| 3.           | Norma NTE INEN-935 para gasolina extra de 87 octanos. ....   | 17          |
| 4.           | Norma NTE INEN-935 para gasolina de 92 octanos. ....   | 18          |
| 5.           | Norma ASTM 910-02 para gasolina de 98 octanos.....   | 18          |
| 6.           | Norma RTCA 169-2006 (75.01.19:06) para gasolina de 83 octanos. ....  | 19          |
| 7.           | Modificaciones a realizar en un motor según el porcentaje de etanol presente en la mezcla de biocombustible..... | 22          |
| 8.           | Consumo nacional de derivados de petróleo (gasolinas) en el Ecuador 2015-2016.....                               | 27          |
| 9.           | Consumo de gasolina “extra” y “súper” en la provincia de Imbabura 2016.....                                      | 28          |
| 10.          | Características técnicas del “Chaucho Mejorado”.....   | 29          |
| 11.          | Hectáreas de maíz (Chaucho Mejorado) cosechadas en Imbabura 2016.....  | 30          |
| 12.          | Evaluación de elementos para tratar la materia prima.....  | 32          |
| 13.          | Ficha técnica de enzima D-Xilosa.....  | 32          |

|     |   |    |
|-----|---|----|
| 14. | Pesaje de muestras secas.....   | 34 |
| 15. | Resultados de control de grados Brix.....   | 35 |
| 16. | Resultado de destilación de etanol.....   | 38 |
| 17. | Resultado de rectificación de etanol.....   | 39 |
| 18. | Ensayos para caracterización de biocombustible. ....  | 41 |
| 19. | Consumo de gasolina “extra” y “súper” en la provincia de Imbabura 2016.....                 | 42 |
| 20. | Producción total de materia prima en la provincia de Imbabura.....                          | 42 |
| 21. | Elemento químico seleccionado. ....   | 43 |
| 22. | Balance general de resultados obtenidos. ....   | 43 |
| 23. | Estimación de producción de bioetanol. ....   | 44 |
| 24. | Datos del bioetanol resultante final.....   | 44 |
| 25. | Comparación de datos obtenidos con la norma ASTM 910-02 para gasolina de 98 octanos.....    | 45 |
| 26. | Especificaciones cumplidas para la norma ASTM 910-02 para gasolina de 98 octanos.....       | 46 |
| 27. | Comparación de datos obtenidos con la norma RTCA 169-2006 para gasolina de 83 octanos. .... | 47 |
| 28. | Especificaciones cumplidas para la norma RTCA 169-2006 para gasolina de 83 octanos.....     | 48 |
| 29. | Comparación de datos obtenidos con la norma NTE INEN 935 para gasolina de 92 octanos.....   | 49 |

|            |   |           |
|------------|---|-----------|
| <b>30.</b> | <b>Comparación de datos de octanaje.....</b>                            | <b>50</b> |
| <b>31.</b> | <b>Comparación de datos de destilación.....</b>                         | <b>51</b> |
| <b>32.</b> | <b>Comparación de datos de vapor reid. ....</b>                         | <b>51</b> |
| <b>33.</b> | <b>Comparación de datos de corrosión a la lámina de cobre. ....</b>     | <b>52</b> |
| <b>34.</b> | <b>Comparación de datos de contenido de azufre. ....</b>                | <b>52</b> |
| <b>35.</b> | <b>Comparación de datos de contenido de gomas. ....</b>                 | <b>53</b> |
| <b>36.</b> | <b>Modificaciones considerables al usar el biocombustible E10. ....</b> | <b>53</b> |
| <b>37.</b> | <b>Ventajas y desventajas al utilizar bioetanol E10.....</b>            | <b>54</b> |

## ÍNDICE DE FIGURAS

| <b>FIGURA</b> | <b>DESCRIPCIÓN</b>   | <b>PÁG.</b> |
|---------------|--|-------------|
| 1.            | Tipología de los combustibles. ....  | 5           |
| 2.            | Reservas mundiales de petróleo por región.....   | 7           |
| 3.            | Biocombustibles de primera generación.....   | 8           |
| 4.            | Biocombustibles de segunda generación.....   | 9           |
| 5.            | Biocombustibles de tercera generación.....   | 9           |
| 6.            | Proceso de generación de biomasa. ....   | 12          |
| 7.            | Método por fermentación de azúcares para la obtención de bioetanol. ....               | 13          |
| 8.            | Método bioquímico para la obtención de bioetanol.....                                  | 14          |
| 9.            | Corrosión lámina de cobre.....   | 21          |
| 10.           | Alcances y mediciones de la huella de carbono.....                                     | 23          |
| 11.           | Clasificación de los alcances de la huella de carbono. ....                            | 23          |
| 12.           | Desarrollo y continuidad del ciclo de gestión propuesto para la huella de carbono..... | 24          |
| 13.           | Etapas preliminares. ....  | 26          |
| 14.           | Distribución geográfica de Imbabura y sus cantones.....                                | 30          |
| 15.           | Hectáreas de maíz cosechadas en Imbabura.....  | 31          |

|     |   |    |
|-----|---|----|
| 16. | Enzima “D-Xilosa”.  | 32 |
| 17. | Recolección de materia prima.                                       | 33 |
| 18. | Trituración de materia prima.                                       | 34 |
| 19. | Aplicación de enzima.   | 35 |
| 20. | Control de grados Brix (Refractómetro de mano marca “Alla France”). | 36 |
| 21. | Pesaje levadura.  | 36 |
| 22. | Presencia de burbujas día 4.  | 37 |
| 23. | Presencia de fina capa blanca en biomasa.                           | 37 |
| 24. | Ensamblaje de alambique.  | 38 |
| 25. | Bioetanol con 30% de alcohol.                                       | 39 |
| 26. | Bioetanol con 96.5 % de alcohol.                                    | 40 |
| 27. | Gasolina súper 900 ml.  | 40 |
| 28. | Bioetanol 100 ml.   | 41 |
| 29. | Corte de materia prima.   | 62 |
| 30. | Apilamiento de materia prima.                                       | 62 |
| 31. | Equipo triturador de materia prima.                                 | 63 |
| 32. | Materia prima triturada.  | 63 |
| 33. | Pesaje de enzima “D-Xilosa”.  | 64 |
| 34. | Substancia a fermentar.   | 64 |

|     |   |    |
|-----|---|----|
| 35. | Proceso de fermentación. ....   | 65 |
| 36. | Finalización de proceso de fermentación.....                            | 65 |
| 37. | Ficha técnica de refractómetro “Alla Fance” para mosto de cerveza. .... | 66 |
| 38. | Alambique de 5.2 gal. ....  | 67 |
| 39. | Alambique de 2.10 gal. ....   | 67 |
| 40. | Muestra de 100 ml de bioetanol.....                                     | 68 |
| 41. | Muestra de 900 ml de gasolina súper. ....                               | 68 |
| 42. | Ficha técnica de enzima “D-Xilosa”.....                                 | 69 |
| 43. | Muestras de enzima “D-Xilosa”. ....                                     | 69 |
| 44. | Cotización de caracterización de biocombustible E10. ....               | 70 |
| 45. | Informe final de caracterización de biocombustible E10.....             | 71 |
| 46. | Tabla patrón para ensayo de corrosión de lámina de cobre.....           | 72 |

## ÍNDICE DE ANEXOS

| ANEXO | DESCRIPCIÓN  | PÁG. |
|-------|--|------|
| 1.    | Recolección de muestras de materia prima en un área de 10 m <sup>2</sup> ..... | 62   |
| 2.    | Trituración de materia prima.....  | 63   |
| 3.    | Unión de elementos para el proceso químico.....                                | 64   |
| 4.    | Fermentación de sustancia.....   | 65   |
| 5.    | Refractómetro de mano a la francesa.....                                       | 66   |
| 6.    | Destilación de sustancia resultante de la fermentación.....                    | 67   |
| 7.    | Preparación de mezcla bioetanol - gasolina súper.....                          | 67   |
| 8.    | Propiedades de enzima d-xilosa.....  | 69   |
| 9.    | Caracterización de biocombustible <sup>10</sup> .....                          | 70   |
| 10.   | Corrosión de lámina de cobre.....  | 72   |

## 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.

## 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 "Chaicho 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.

## 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 con la norma 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.

# CAPÍTULO I

## 1. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

### 1.1 Antecedentes.

A nivel mundial los combustibles derivados del petróleo denominados fósiles, han sido creados con la finalidad de aprovechar la energía que estos liberan al ser combustiónados, siendo empleados en su gran mayoría en los sectores de transporte e industrial, con el pasar de los años se han considerado las ventajas de utilizar este tipo de combustibles, dejando de lado las desventajas que se tienen, siendo la más importante la cantidad de CO<sub>2</sub> y gases residuales contaminantes que se obtienen como producto de su combustión, afectando así al medio ambiente e incrementando el calentamiento global (Núñez, 2012).

La economía al igual que el desarrollo en general de los países dependen en gran manera del petróleo y sus derivados, con el transcurso del tiempo la explotación indiscriminada de este recurso no renovable ha ocasionado su agotamiento progresivo, originando así el interés en nuevas fuentes de energía renovable que permitan tener un desarrollo sostenible.

Países como Brasil, Estados Unidos y Argentina son considerados como los mayores productores de biocombustibles de primera y segunda generación (etanol de caña de azúcar y rastrojo de maíz respectivamente) (Acosta, 2012). Actualmente el mayor inconveniente que se considera al producir biocombustibles de primera generación es la interferencia presente en el ámbito alimentario al utilizar determinada materia prima para poder producirlo, dicho inconveniente a promovido el estudio y producción de biocombustibles de segunda generación que se obtienen a partir de materia orgánica como es la biomasa.

Este proyecto se desarrolla con la finalidad de producir bioetanol de segunda generación a partir de residuos de maíz, teniendo como base la abundancia existente en la provincia de Imbabura-Ecuador de la materia prima para la producción del mismo.

## **1.2 Planteamiento del problema.**

Actualmente gran parte de combustibles fósiles tales como las gasolinas, diésel, naftas entre otros son empleados en el sector transporte, la cantidad de gases contaminantes que emana un automotor al utilizar este tipo de combustibles han afectado de manera directa a la conservación del medio ambiente. Al no fomentar el estudio de nuevas fuentes de energía alterna renovable y debido al inevitable incremento del parque automotor tanto a nivel nacional como a nivel mundial, se prevé un aumento gradual de la cantidad de gases contaminantes emanados a la atmósfera que de cierta manera alterarán la conservación del medio ambiente.

## **1.3 Formulación del problema.**

¿Qué resultados se tendrán al producir bioetanol a partir de despojos de maíz en la provincia de Imbabura?

## **1.4 Delimitación.**

### **1.4.1 Temporal y Espacial.**

Este proyecto se lleva a cabo durante 11 meses comprendidos entre el mes de noviembre del 2016 hasta el mes de octubre del 2017, siendo desarrollado por un estudiante de la carrera de “Ingeniería en Mantenimiento Automotriz” dentro de las instalaciones de la “Universidad Técnica del Norte”.

## **1.5 Objetivos.**

### **1.5.1 Objetivo General.**

Producir bioetanol a partir de despojos de maíz en la provincia de Imbabura-Ecuador.

### **1.5.2 Objetivos Específicos.**

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

2. Conocer las zonas de producción de materia prima.
3. Determinar el elemento adecuado para el proceso bioquímico.
4. Producir bioetanol en base a despojos de maíz.
5. Caracterizar la muestra de biocombustible obtenido en proporción E10.

### **1.6 Justificación.**

La presente investigación surge de la necesidad de buscar fuentes de energía que sean renovables, como alternativa a la utilización de combustibles derivados del petróleo y de esta manera disminuir en parte el impacto ambiental que los gases residuales contaminantes producen al trabajar con los mismos.

Se analizan las ventajas y desventajas existentes al utilizar combustibles tradicionales (gasolinas) como también combustibles alternos (biocombustible E10), además de sus diferencias en cuanto a propiedades fisicoquímicas.

Esta investigación beneficiará a la “Universidad Técnica del Norte” y a sus estudiantes de manera directa al contar con una fuente de información referente a combustibles alternos, dicha información servirá como una base para futuros estudios.

# CAPÍTULO II

## 2. MARCO TEÓRICO

### 2.1 Energía.

Básicamente la energía es la capacidad que posee determinada materia para producir o generar trabajo, puede ser expresada en forma de luz, movimiento o calor entre otras (Peña & Dreyfus, 2002). La energía representa un rol importante en el desarrollo humano, económico y bienestar de las sociedades (Castro Martínez, Beltrán Arredondo, & Ortiz Ojeda, 2012), debido a que es la impulsora de absolutamente todas las actividades desarrolladas por el hombre, la ausencia de energía derivaría en la inexistencia de desarrollo y la extinción de vida.

La principal fuente de energía es la impartida por el sol, seguida de la energía que se encuentra a nivel interno y externo de la superficie del planeta además de la energía encontrada a nivel atmosférico del mismo (Acosta, 2012).

Actualmente la fuente de energía más utilizada a nivel mundial es la proporcionada por los combustibles, los mismos que pueden ser obtenidos a partir de recursos renovables y no renovables.

### 2.2 Combustibles.

Se denomina combustible a toda sustancia sólida, líquida o gaseosa ya sea esta de origen artificial o natural, misma que al momento de adicionarle oxígeno es capaz producir una reacción de la que se desprende calor y por ende energía, la cual mediante un tratamiento adecuado puede ser aprovechada con varios propósitos.

#### 2.2.1 Tipología de los combustibles.

En este proyecto, para determinar de manera específica la tipología de los combustibles, se considera tomar en cuenta su materia base de obtención (renovable o no renovable), al igual que los diferentes estados físicos en los que se pueden llegar a encontrar

(sólidos, líquidos o gaseosos), entre los más importantes se encuentran los siguientes:

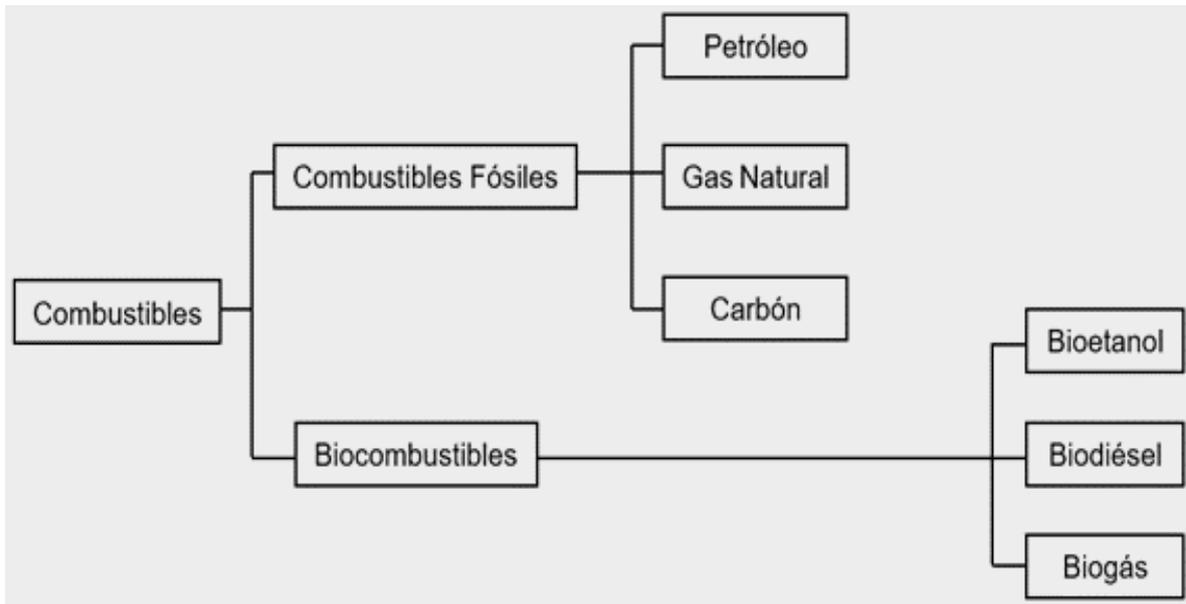


Figura. 1. Tipología de los combustibles.

(Varnero Moreno, 2011, pág. 22)

### 2.3 Combustibles fósiles.

Estos combustibles se han formado a partir de la descomposición anaeróbica de organismos enterrados hace millones de años, son una fuente de energía que se encuentra presente en el planeta, se componen principalmente de porcentajes altos de carbono, las distintas propiedades de cada combustible dependen del tratamiento efectuado para su obtención (Castells X. , 2012).

Se diferencian principalmente tres tipos de combustibles fósiles:

- El Petróleo
- El Gas natural
- El Carbón

#### 2.3.1 El Petróleo.

Es la base principal de materias primas en la actualidad, se encuentra conformado básicamente de partes sólidas, líquidas y gaseosas las cuales se componen principalmente de hidrocarburos que contienen átomos de hidrógeno y carbono además de nitrógeno,

oxígeno y una cantidad pequeña de azufre los cuales están presentes de manera natural en el interior de depósitos de rocas sedimentarias y sitios donde se dio lugar la descomposición o degradación de materia orgánica a los que se denominan yacimientos (Castro Martínez, Beltrán Arredondo, & Ortiz Ojeda, 2012).

El petróleo es un combustible líquido que sirve como materia base de todos los hidrocarburos, refiriéndose al crudo o productos finales derivados del petróleo como crudo refinado. La explotación y extracción de este recurso no renovable se da lugar por medio de perforaciones altamente costosas sobre la superficie del suelo (Castells X. , 2012).

Con el transcurso del tiempo y debido a la explotación desmedida de este recurso no renovable las reservas del mismo han ido disminuyendo de forma progresiva a nivel mundial, a continuación, se muestra el estado actual de la totalidad de las reservas de petróleo por región.

Tabla 1. Reservas mundiales de petróleo por región 2016.

| <b>Región</b>             | <b>Millones de Barriles</b> |
|---------------------------|-----------------------------|
| América del Norte         | 222,11                      |
| América del Sur y Central | 331,90                      |
| Europa                    | 11,64                       |
| EuroAsia                  | 119,60                      |
| Medio Oriente             | 802,71                      |
| África                    | 127,09                      |
| Asia y Oceanía            | 46,10                       |
| <b>Mundial</b>            | <b>1661,15</b>              |

(AIHE, 2017, pág. 4)

De la totalidad de reservas mundiales de petróleo (1661,15 billones de barriles), el Medio Oriente es la región con mayor volumen de las mismas representando así un aproximado del 48% de ellas.

A continuación, se muestra de manera gráfica la participación porcentual por región.

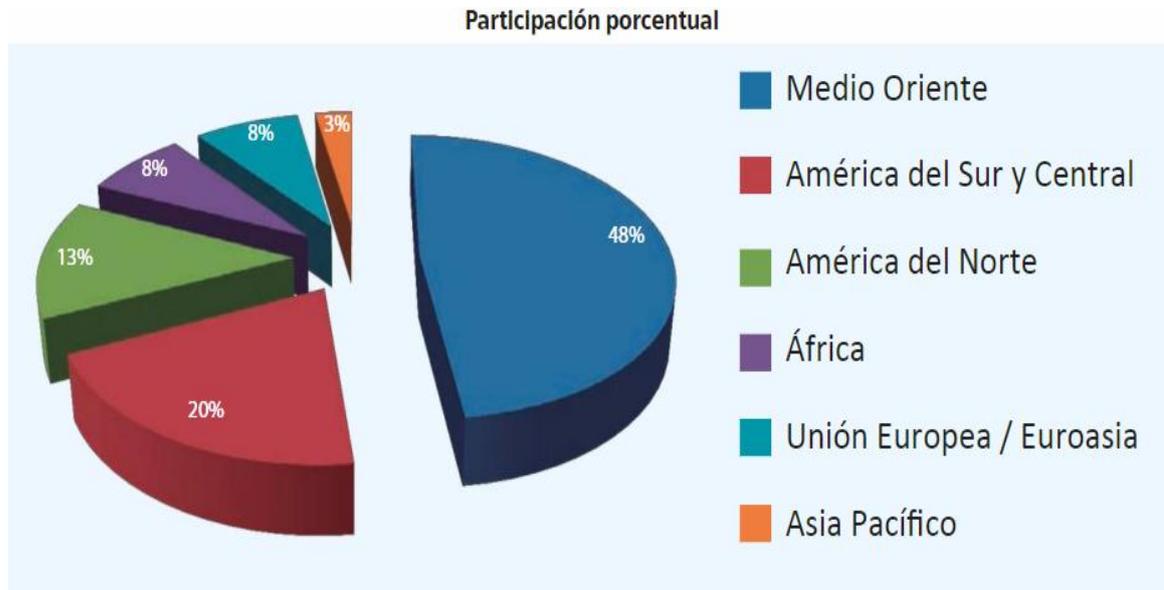


Figura. 2. Reservas mundiales de petróleo por región.  
(AIHE, 2017, pág. 5)

### 2.3.2 El Gas natural.

Está compuesto principalmente de gases de hidrocarburos entre ellos el más importante es el metano; es considerado como una de las importantes fuentes de combustibles fósiles, por lo general su ubicación está asociada a yacimientos donde hay presencia de petróleo, para su extracción se perforan reservas subterráneas, se almacenan en grandes cavernas para ser utilizado posteriormente (Álvarez Gallego & Rodríguez Olalla, 2015).

### 2.3.3 El Carbón.

El proceso de formación de este tipo de combustible se remonta a la era geológica (hace 251 millones de años), específicamente se conforma de materia vegetal acumulada en zonas pantanosas que a través del tiempo se solidifican y convierten en carbón, el cual contiene varios elementos como el oxígeno, nitrógeno, azufre e hidrógeno (Riesco Ávila, Gallegos Muñoz, & Montefort Sánchez, 2009).

Es considerado el combustible fósil más abundante en el planeta debido a que se estima que las reservas del mismo representan al 70 % de las reservas mundiales.

### 2.3.4 Ventajas y desventajas de los combustibles fósiles.

Entre las ventajas se encuentran la accesibilidad, abundancia de las reservas, la capacidad para proporcionar energía a un bajo costo y transporte poco complicado.

Como desventajas se encuentran los altos niveles de dióxido de carbono que liberan a la atmósfera al ser aprovechados, contaminando el medio ambiente; la condición de ser energía no renovable sin poder reemplazarlos para su uso en próximas generaciones.

### 2.4 Biocombustibles.

Se denominan combustibles alternos debido a la materia base utilizada para su obtención (maíz, caña de azúcar), son empleados conjuntamente con combustibles derivados del petróleo específicamente con gasolinas o naftas, se conoce con las siglas EX si la mezcla es de bioetanol, por otro lado, se tiene con las siglas BX si es de biodiésel, siendo X el porcentaje de biocombustible, representando una potencial opción para obtener una mejora en el rendimiento del motor de combustión interna, además de una disminución considerable de la emisión de gases tóxicos al medio ambiente, lo cual promueve su investigación y utilización en campos industriales a nivel mundial (Camps & Marcos, 2008).

#### 2.4.1 Primera generación de biocombustibles.

Se denomina de primera generación a los biocombustibles que se producen en base de almidones, grasas animales, azúcar o aceites vegetales utilizando tecnología tradicional (Acosta, 2012), se tienen los siguientes ejemplos.



Figura. 3. Biocombustibles de primera generación.  
(Acosta, 2012, pág. 30)

#### 2.4.2 Segunda generación de biocombustibles.

Los biocombustibles de segunda generación son elaborados a partir de materias primas los cuales no representan un riesgo para la alimentación de la sociedad, esta puede ser la BRA (biomasa residual agrícola) como por ejemplo la que se obtiene en plantaciones de maíz, de yuca o de papa (Acosta, 2012), se tienen los siguientes ejemplos.



**Jatropa**

**Topinambur**

**Bagazo**

Figura. 4. Biocombustibles de segunda generación.  
(Acosta, 2012, pág. 31)

#### 2.4.3 Tercera generación de biocombustibles.

Los biocombustibles de tercera generación se basan en cultivos que requieren estudio además de desarrollo para considerarlos posibles, por ejemplo: hiervas, algas o árboles de ciclo rápido (Abril, Alejandro; Navarro, Enrique, 2012), se tienen los siguientes ejemplos.



Figura. 5. Biocombustibles de tercera generación.  
(Acosta, 2012, pág. 32)

#### 2.5 Principios de sustentabilidad en la producción de biocombustibles.

Una de las principales razones de impulsar el estudio y obtención de los biocombustibles a nivel mundial es el cuidado del medio ambiente, es importante mencionar que todo aprovechamiento de materia prima para la obtención de biocombustibles debe respetar varios aspectos, entre ellos están:

- Ambientales: Suelo, agua, clima.
- Sociales: Población, educación, alimentación.
- Económicos: Infraestructura.

Al tomar en cuenta los aspectos antes mencionados se espera precautelar no solo el bien común de los seres humanos, sino también el bien de todos los seres vivos.

## **2.6 Estado actual de los biocombustibles a nivel mundial.**

Los biocombustibles que más se consumen son los de primera generación, siendo los más representativos el biogás, el biodiésel y el bioetanol.

Con el transcurso del tiempo el consumo y demanda del bioetanol ha aumentado en todo el mundo principalmente en países que se encuentran en continuo desarrollo. La zona más importante en cuanto a producción de biocombustible es América con su grandiosa biodiversidad geográfica y climática, sobresaliendo Estados Unidos, Brasil y Argentina que hoy en día son los protagonistas en este mercado debido a su buen potencial de desarrollo y producción de biocombustibles. El desarrollo, producción y consumo de combustibles alternos a nivel mundial, es impulsado en gran medida por el interés de conservación del medio ambiente (Acosta, 2012).

### **2.6.1 El Biogás.**

Es un biocombustible gaseoso que se considera como un subproducto de determinada fermentación, contribuye a la reducción de altos porcentajes de contaminación, principalmente cuando se trata de desechos de las industrias agroalimentarias o de granjas (Varnero Moreno, 2011).

### **2.6.2 El Biodiésel.**

El biodiésel es un biocombustible que tiene su base en materia orgánica biodegradable natural y no tóxica, es extraído a partir de aceites vegetales o grasas animales, en el campo automotriz se lo suele emplear con la finalidad de disminuir emisiones de gases contaminantes hacia el medio ambiente, mediante su combinación con un combustible

derivado del petróleo como el diésel, se lo identifica con las siglas BX (Camps & Marcos, 2008).

### **2.6.3 El Bioetanol.**

Es un biocombustible que puede ser obtenido a partir de biomasa o la fermentación de materia orgánica biodegradable natural no tóxica, rica en azúcares e hidratos de carbono además de almidón, se suele utilizar netamente como combustible o como un potenciador del mismo, sus materias primas de obtención se pueden clasificar en: azúcares, amiláceas tales como el cereal o tubérculos y lignocelulósicas tales como madera o plantas.

Este tipo de combustible actúa como un potenciador de combustible al ser empleado conjuntamente con un combustible derivado del petróleo, por ejemplo la gasolina, obteniéndose así un biocombustible con características de alta capacidad energética, se lo identifica con las siglas EX (Abril & Navarro, 2012).

### **2.7 Biomasa.**

Se determina como biomasa a la materia orgánica renovable originada por cultivos energéticos como plantas, animales o de la transformación artificial, natural de seres vivos; de igual manera se puede catalogar a la biomasa como todo material de origen biológico descartando aquellos que hayan sufrido un proceso de mineralización en formaciones geológicas.

Si bien la biomasa simboliza solo una pequeña parte de la masa total del planeta, su recuperación es vital para sustentar la vida de los seres vivos ya que es una gran fuente de energía renovable, a pesar de que solo utiliza una pequeña parte de la energía que entrega el sol (Abril, Alejandro; Navarro, Enrique, 2012).

La energía que proporciona la biomasa es proveniente directamente de la radiación solar, la misma que en un principio es utilizada para su metabolismo, a través del proceso de fotosíntesis transforma dicha energía solar en energía química. Este proceso fotosintético está constituido por un complejo entramado de reacciones fotoquímicas y bioquímicas que ocurren en los cloroplastos de la célula (Abril & Navarro, 2012), siendo esta transformación o proceso el verdadero proceso capaz de producir la suficiente cantidad de

energía que sostiene la vida, se muestra el proceso general de generación de biomasa.

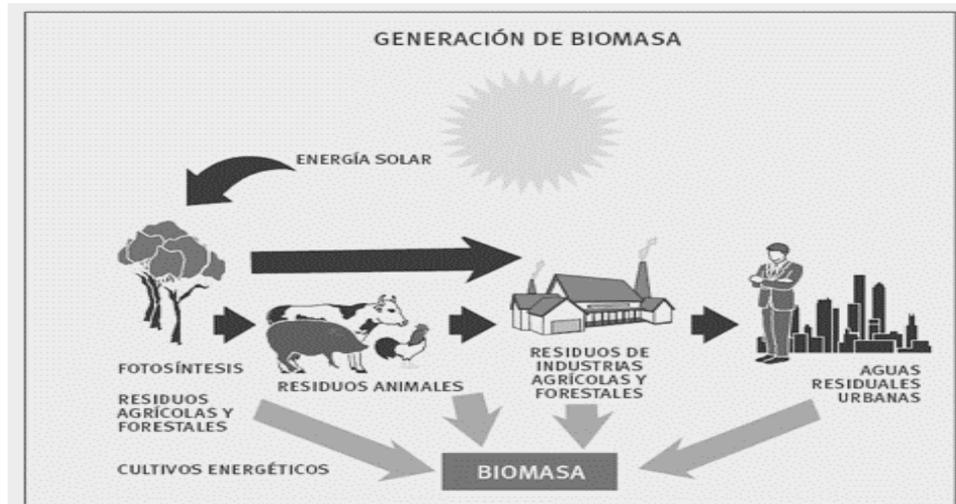


Figura. 6. Proceso de generación de biomasa.  
(Castells X. E., 2012, pág. 19)

## 2.8 Tipos de biomasa.

Para clasificar la biomasa se tomará en cuenta el origen de la misma, de la siguiente manera:

### 2.8.1 Biomasa natural.

Esta biomasa es obtenida en el ambiente natural, es decir se produce sin la necesidad de la intervención o manipulación del hombre, pero el aprovechamiento intensivo de la misma no es compatible con la protección y conservación del ecosistema, en su gran mayoría se trata de recursos forestales.

### 2.8.2 Biomasa residual.

Se refiere a todo residuo de materia orgánica que se produce al realizar una actividad humana, teniendo como un claro ejemplo a procesos ganaderos, agrícolas y las del mismo ser humano como son los desechos.

### 2.8.3 Biomasa lignocelulósica.

El aprovechamiento de este tipo de biomasa es una de las ideas más promisorias para la producción de biocombustibles, ya que está compuesta por hemicelulosa, celulosa

y lignina, siendo los dos primeros una fuente latente de azúcares fermentables, este tipo de biomasa se puede agrupar en las siguientes categorías:

- Residuos industriales y desechos forestales primarios.
- Residuos agroindustriales y agrícolas.
- Desperdicios urbanos.
- Cultivos energéticos, tales como hierbas y árboles de ciclo corto.

## 2.9 Métodos de obtención de bioetanol.

Se tiene 2 métodos de obtención del bioetanol, considerados en base a la materia prima de la que se dispone para la producción del mismo.

### 2.9.1 Método por fermentación de azúcares para la obtención de bioetanol.

El biocombustible obtenido a partir de este método se denomina de primera generación, se lleva a cabo mediante la extracción y fermentación del zumo o jugo azucarado obtenido directamente de la materia prima para su posterior tratamiento, el ejemplo más claro de este tipo de procedimiento es el bioetanol obtenido del jugo de la caña de azúcar, a continuación, se muestra un esquema básico del mismo.

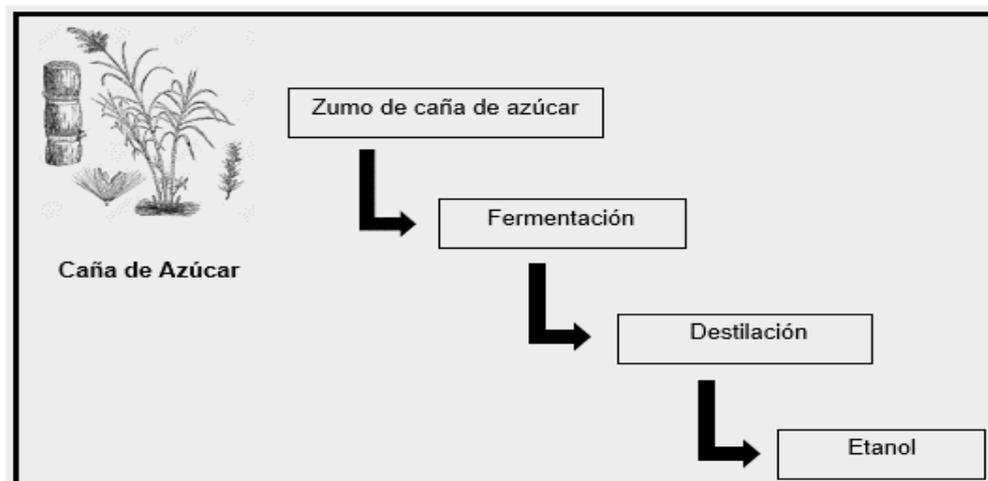


Figura. 7. Método por fermentación de azúcares para obtención de bioetanol.  
(Acosta, 2012, pág. 37)

El método ya mencionado se desarrolla sin necesidad de la adición de químicos de manera externa, siendo esta razón por la que destaca de los demás procesos de obtención.

## 2.9.2 Método bioquímico para la obtención de bioetanol.

A diferencia del método anterior, en este no se dispone directamente de azúcares tratables para su posterior fermentación y aprovechamiento, con el propósito de extraer los azúcares presentes en la materia prima se realiza un proceso químico (hidrólisis) empleando agentes o químicos externos que pueden ser enzimas o bacterias, de este modo pueden ser tratados y aprovechados con la finalidad de producir bioetanol.

A continuación, se tiene un esquema básico que muestra los procesos del que consta este método.

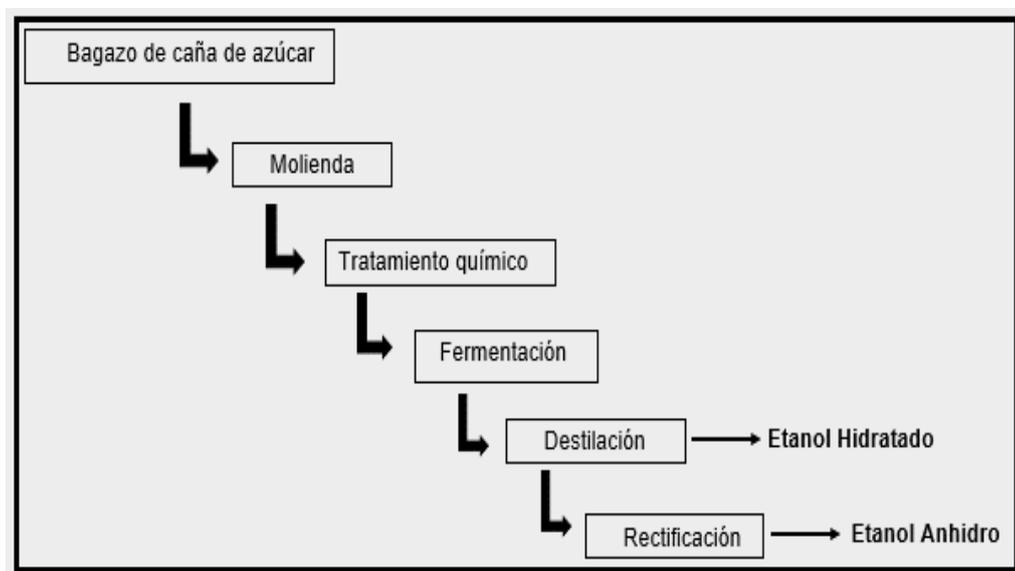


Figura. 8. Método bioquímico para la obtención de bioetanol.  
(Acosta, 2012, pág. 38)

Debido a la naturaleza de su materia prima base (biomasa residual agrícola), como también a su método de obtención se denomina al biocombustible resultante como de segunda generación.

## 2.10 Procesos del método bioquímico.

### 2.10.1 Acondicionamiento de la materia prima.

Este proceso está dirigido esencialmente a la obtención de la materia prima idónea para el posterior tratamiento de la misma a fines de conseguir derivados industriales como son los biocombustibles.

### **2.10.2 Molienda de la materia prima.**

Con la rotura y destroce de la materia prima para su posterior molienda se busca separar la fibra y el zumo de la biomasa, todo el proceso puede llevarse a cabo por medio de molinos y cilindros trituradores que faciliten la finalidad del mismo.

### **2.10.3 Tratamiento químico para la materia prima.**

Con tratamiento químico específicamente se refiere a una hidrólisis, la hidrólisis es un procedimiento en el cual una molécula de celulosa es dividida por la gestión de una molécula de agua con la ayuda de una enzima. Las estructuras de la celulosa, lignina y hemicelulosa se dividen a través de diferentes procedimientos consiguiendo así una solución azucarada, además se excluyen productos ajenos a la descomposición de los azúcares que pueden de una manera u otra manera llegar a dificultar el procedimiento de fermentación.

El ya mencionado tratamiento se logra llevar a cabo utilizando determinados elementos que faciliten la extracción del azúcar proveniente de la materia prima para su posterior fermentación (Lucero, 2016). El elemento más utilizado hoy en día son las enzimas las cuales actúan sobre determinada materia como un reactivo que colabora al desarrollo controlado del metabolismo de la misma, para que las enzimas actúen de manera apropiada y además se logre un tiempo óptimo de trabajo se deben considerar sus características químicas, cantidad y temperatura a la que se encuentre (Lucero, 2016).

### **2.10.4 Fermentación.**

Una fermentación no es más que un procedimiento en el cual sustancias, productos orgánicos o micro organismos experimentan varias alteraciones químicas que dan como resultado un producto potencialmente aprovechable para la producción de un biocombustible, los productos de una fermentación pueden ser: ácidos orgánicos, etanol, enzimas, acetona, etc. Esto puede llevarse a cabo con o sin la presencia de oxígeno.

#### **2.10.4.1 Fermentación Aeróbica.**

Este proceso es realizado por varios micro organismos como por ejemplo bacterias, las cuales al momento de tener la presencia directa de oxígeno trabajan en la materia orgánica

existente para después transformarla en materia celular que puede ser aprovechada posteriormente.

El proceso involucra la oxidación directa de la materia orgánica biodegradable y la auto oxidación de la materia celular (Varnero Moreno, 2011). Dichos procesos pueden llevarse a cabo y con normalidad en el interior de un cilindro descubierto.

#### **2.10.5 Destilación de sustancia fermentada.**

El proceso de destilación consiste en extraer los diferentes elementos líquidos de una sustancia mediante calor (Acosta, 2012), al aplicar cierta cantidad de calor a una mezcla previamente fermentada se obtiene un subproducto destilado, un claro ejemplo de esto es la producción de etanol, el mismo que se encuentra conformado por un porcentaje de agua, que debe ser extraído para poder utilizarlo como un combustible, la destilación utiliza y aprovecha los puntos de ebullición de las sustancias y sus diferencias de temperatura.

#### **2.10.6 Rectificación de etanol.**

Consiste en deshidratar el etanol obtenido de una destilación previa, se lo realiza con la finalidad de purificarlo para posteriormente ser utilizado como un combustible.

### **2.11 El bioetanol como biocombustible en el Ecuador.**

La utilización del bioetanol en adición a hidrocarburos forma parte de los denominados combustibles reformulados, los cuales tienen mayor participación en países de América Latina como Brasil y Argentina que comercializan gasolinas con la presencia de hasta un 85% de bioetanol en ellas (Castillo Hernández, Mendoza Domínguez, & Caballero Mata, 2011).

Desde el año 2010 en el Ecuador se desarrolla el proyecto de producción y comercialización del biocombustible “Ecopaís” que contiene 95% de gasolina pre mezclada y 5% de etanol derivado de la caña de azúcar en su composición, este biocombustible cumple con la norma establecida por el “Instituto Ecuatoriano de Normalización” (NTE INEN-935) para gasolina extra, la misma que establece su número de octanaje en 87. Con el desarrollo de este proyecto se busca minorar la cantidad de gases contaminantes que emiten los automotores en el país.

Los combustibles derivados del petróleo al igual que los biocombustibles deben cumplir y poseer características generales que se encuentren dentro de los rangos establecidos por normas de calidad dependiendo del país de origen, a continuación, se muestran varias normas de calidad estandarizadas para gasolinas.

### 2.11.1 Norma Ecuatoriana NTE INEN-2478 para etanol anhidro.

Norma establecida por el Instituto Ecuatoriano de normalización NTE INEN-2478 para etanol anhidro grado carburante desnaturalizado.

Tabla 2. Etanol anhidro grado carburante desnaturalizado.

| Requisitos          | Unidad            | Mínimo | Máximo |
|---------------------|-------------------|--------|--------|
| Contenido de etanol | %                 | 96.3   | -----  |
| Densidad a 20 °C    | Kg/m <sup>3</sup> | -----  | 791,5  |
| Ph                  | -----             | 6,5    | 9,0    |

(Instituto Ecuatoriano de Normalización, 2017, pág. 2)

### 2.11.2 Norma Ecuatoriana NTE INEN-935 para gasolinas.

Norma establecida por el Instituto Ecuatoriano de normalización NTE INEN-935 de requerimientos para gasolina extra de 87 octanos utilizadas en automotores de combustión interna.

Tabla 3. Norma NTE INEN-935 para gasolina extra de 87 octanos.

| Requisitos                     | Unidad              | Mínimo | Máximo |     |
|--------------------------------|---------------------|--------|--------|-----|
| Numero de octano (RON)         | -----               | 87     | -----  |     |
| Destilación                    | Temperatura al 10 % | °C     | -----  | 70  |
|                                | Temperatura al 50%  | °C     | 77     | 121 |
|                                | Temperatura al 90%  | °C     | -----  | 189 |
|                                | Punto final         | °C     | -----  | 220 |
| Presión de vapor reid          | KPa                 | -----  | 60     |     |
| Corrosión a la lámina de cobre | -----               | -----  | 1A     |     |
| Contenido de azufre            | %                   | -----  | 0,065  |     |
| Contenido de gomas             | mg/100 ml           | -----  | 3      |     |

(Instituto Ecuatoriano de Normalización, 2017, pág. 3)

Norma establecida por el Instituto Ecuatoriano de normalización NTE INEN-935 de requerimientos para gasolina súper de 92 octanos utilizadas en automotores de combustión interna.

Tabla 4. Norma NTE INEN-935 para gasolina de 92 octanos.

| Requisitos                     |                     | Unidad    | Mínimo | Máximo |
|--------------------------------|---------------------|-----------|--------|--------|
| Numero de octano (RON)         |                     | -----     | 92     | -----  |
| Destilación                    | Temperatura al 10 % | °C        | -----  | 70     |
|                                | Temperatura al 50%  | °C        | 77     | 121    |
|                                | Temperatura al 90%  | °C        | -----  | 190    |
|                                | Punto final         | °C        | -----  | 220    |
| Presión de vapor Reid          |                     | KPa       | -----  | 60     |
| Corrosión a la lámina de cobre |                     | -----     | -----  | 1A     |
| Contenido de azufre            |                     | %         | -----  | 0,065  |
| Contenido de gomas             |                     | mg/100 ml | -----  | 4.0    |

(Instituto Ecuatoriano de Normalización, 2017, pág. 4)

### 2.11.3 Norma ASTM 910-02 para gasolina regular de 98 octanos.

Norma establecida por la Asociación Americana de Ensayo de Materiales ASTM 910-02 para gasolina regular de 98 octanos.

Tabla 5. Norma ASTM 910-02 para gasolina de 98 octanos.

| Requisitos                     |                     | Unidad    | Mínimo | Máximo |
|--------------------------------|---------------------|-----------|--------|--------|
| Numero de octano               |                     | -----     | 98     | -----  |
| Destilación                    | Temperatura al 10 % | °C        | -----  | 75     |
|                                | Temperatura al 50%  | °C        | -----  | 105    |
|                                | Temperatura al 90%  | °C        | -----  | 135    |
|                                | Punto final         | °C        | -----  | 170    |
| Presión de vapor Reid          |                     | KPa       | 38     | 49     |
| Corrosión a la lámina de cobre |                     | -----     | -----  | 1A     |
| Contenido de azufre            |                     | %         | -----  | 0,065  |
| Contenido de gomas             |                     | mg/100 ml | -----  | 0,05   |

(RTCA, 2006, pág. 4)

#### 2.11.4 Norma RTCA 169-2006 para gasolina regular de 83 octanos.

Norma establecida por el Reglamento Técnico Centroamericano RTCA 169-2006, de especificaciones para gasolina regular de 83 octanos.

Tabla 6. Norma RTCA 169-2006 (75.01.19:06) para gasolina de 83 octanos.

| Requisitos                     |                     | Unidad    | Mínimo | Máximo |
|--------------------------------|---------------------|-----------|--------|--------|
| Numero de octano               |                     | -----     | 83     | 88     |
| Destilación                    | Temperatura al 10 % | °C        | 77     | 121    |
|                                | Temperatura al 50%  | °C        | ----   | 105    |
|                                | Temperatura al 90%  | °C        | ----   | 190    |
|                                | Punto final         | °C        | ----   | 225    |
| Presión de vapor Reid          |                     | KPa       | ----   | 69     |
| Corrosión a la lámina de cobre |                     | -----     | ----   | 1A     |
| Contenido de azufre            |                     | %         | ----   | 0,10   |
| Contenido de gomas             |                     | mg/100 ml | ----   | 4      |

(RTCA, 2006, pág. 5)

#### 2.12 Propiedades normalizadas importantes de los combustibles.

##### 2.12.1 RON.

Conocido como numero de octanaje de investigación refiriéndose a la escala de la capacidad antidetonante que posee un combustible en relación a una muestra patrón conformada por isoctano y n –heptano. Este ensayo muestra valores de octanaje que tiene un combustible al ser empleado bajo condiciones de manejo en ciudad y a continuas aceleraciones.

##### 2.12.2 Octanaje.

El número o valor de octanaje de un combustible indica la capacidad antidetonante que posee el mismo tras ser sometido a determinadas condiciones de presión y temperatura. El bajo valor de este indicativo en un combustible se vería reflejado en cascabeleos, contra explosiones y problemas de funcionamiento en el motor de combustión interna, debido a la auto combustión de la mezcla estequiométrica aire – combustible de manera anticipada en

el cilindro, es decir antes que el pistón llegue al punto más alto de su carrera “PMS” (Castillo Hernández, Mendoza Domínguez, & Caballero Mata, 2011).

### **2.12.3 Destilación.**

Consiste en someter a determinada substancia a una atmósfera de presión y a diferentes porcentajes de temperatura entre estos 10 %, 50% y 90% siendo 200 °C el pico más alto correspondiente al 100% de temperatura, al analizar dichos porcentajes de temperatura al igual que su punto final de destilación, se interpreta su comportamiento y propiedades al ser utilizados.

La temperatura 10 % es la capacidad que tiene un combustible para garantizar el arranque en frío del motor.

La temperatura 50 % y 90 % representan la capacidad que tiene un combustible para adaptarse a la temperatura del motor según su funcionamiento.

### **2.12.4 Presión de vapor reid.**

Es una característica física muy importante a identificar en combustibles o derivados líquidos del petróleo ya que determina la volatilidad (evaporación) de un líquido, la cantidad de vapor que produce al ser almacenado y posteriormente utilizado a una temperatura de 100 °F (37 °C), es importante mencionar que la presión de vapor de las gasolinas debe ser lo suficientemente baja para no provocar sellos de vapor en los conductos internos de alimentación de combustible del motor.

### **2.12.5 Corrosión a la lámina de cobre.**

Los combustibles derivados del petróleo contienen cierta cantidad de azufre aún después de ser refinados, la presencia de este elemento determina el grado corrosivo de un combustible y su acción corrosiva a los elementos y metales féreos que lo contienen, el comportamiento del azufre presente en un combustible se determina mediante una lámina de cobre pulida inmersa en la substancia a analizarse durante 2 o 3 horas y a una temperatura de 100 °C, terminado este proceso se compara la coloración de la lámina de cobre con láminas y colores patrones determinados con la finalidad de clasificarlos, es importante mencionar que en este ensayo se utilizan letras mayúsculas para analizar y clasificar

substancias como gasolinas, a continuación, se muestra la tabla patrón del ensayo de corrosión a la lámina de cobre.

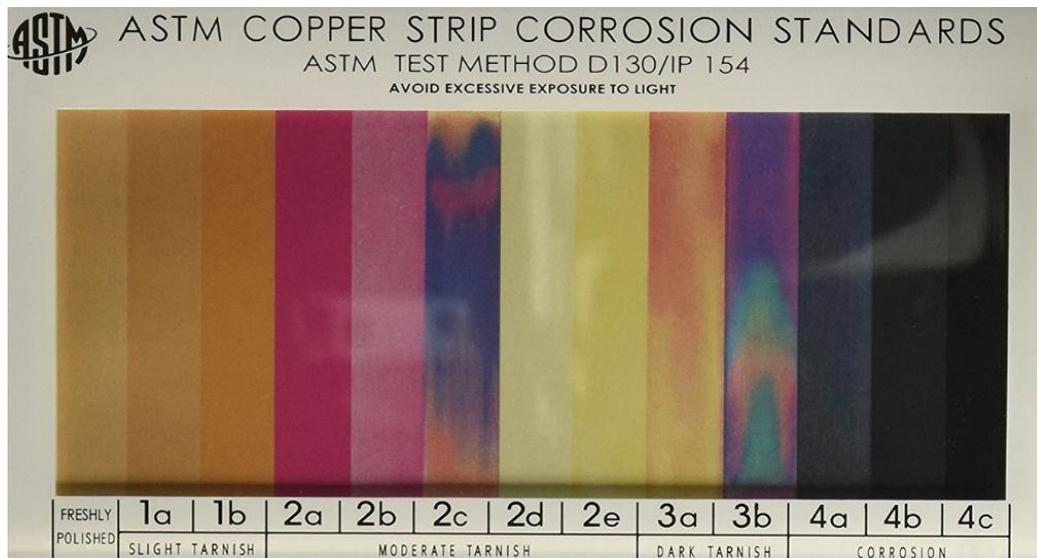


Figura. 9. Corrosión lámina de cobre.

(Castillo Hernández, Mendoza Domínguez, & Caballero Mata, 2011, pág. 17)

### 2.12.6 Contenido de azufre.

El contenido de azufre presente en una gasolina es de suma importancia ya que la cantidad del mismo asociará al combustible con estándares de calidad y pureza, al utilizar combustibles con proporciones de azufre considerables se producen emisiones que pueden alterar el buen funcionamiento de varios sistemas del vehículo encargados de regularlos, como un ejemplo de la repercusión del azufre sobre los sistemas del vehículo está el catalizador, ya que el azufre resultante de la combustión se impregna en el centro del catalizador disminuyendo así su eficacia e influyendo en la cantidad de gases contaminantes emanados por el automotor (Castillo Hernández, Mendoza Domínguez, & Caballero Mata, 2011).

### 2.12.7 Contenido de gomas.

El contenido de gomas presentes en un combustible determina la cantidad sedimentos o residuos del mismo impregnados en las superficies internas del motor tras evaporizarse y combustionarse, lo que a largo plazo afectará a la relación de compresión del motor, su rendimiento y finalmente el estado del mismo.

### 2.13 Mezclas de bioetanol con gasolina.

La iniciativa de mezclar bajas cantidades de etanol con gasolina no es reciente en el campo automotriz ya que se ha desarrollado aproximadamente desde el año 1970. En países como Brasil y Estados Unidos la mezcla de estos componentes en distintas proporciones es conocida con el nombre de gasohol, siendo más común en proporciones E10 (90% de gasolina y 10% de etanol) (Camarillo Montero, 2011). Varios estudios realizados determinan que el grado corrosivo del gasohol en proporción E10 no es significativa, lo que se deriva en la ausencia de modificaciones internas de un motor al trabajar con mezclas no superiores al 10% de etanol, no siendo así para mayores proporciones de etanol, en base a estos conceptos se realizan varias consideraciones de modificaciones a realizar en motores al utilizar etanol en concentraciones mayores al 10 %, detalladas en la tabla inferior.

Tabla 7. Modificaciones a realizar en un motor según el porcentaje de etanol presente en la mezcla de biocombustible.

| Modificaciones          | Porcentaje de etanol presente en la mezcla |                 |                 |                 |
|-------------------------|--|-----------------|-----------------|-----------------|
|                         | 10% ≤                                      |                 | 85 % ≤          |                 |
|                         | Si es necesario                            | No es necesario | Si es necesario | No es necesario |
| Filtro de combustible   |  | X               | X               |                 |
| Cañerías de combustible |  | X               | X               |                 |
| Bomba de combustible    |  | X               | X               |                 |
| Sistema de inyección    |  | X               | X               |                 |
| Catalizador             |  | X               | X               |                 |

(Camarillo Montero, 2011, pág. 37)

### 2.14 La Huella de carbono.

Se la puede definir como la cantidad absoluta de emisiones y absorciones de carbono causadas de manera directa o indirecta como resultado de una actividad en el ciclo de vida de un producto (Álvarez, Rubio, & Rodríguez, 2015).

Dentro de este concepto hay varios puntos a resaltar como son los límites en la denominada huella de carbono de una organización, se clasifica sus emisiones con alcances permitiendo tener una mejor observación de las diferencias entre las emisiones directas o de alcance 1 y las indirectas o de alcance 2 y 3, se muestra de manera gráfica la clasificación de los alcances y las fuentes principales que las producen.

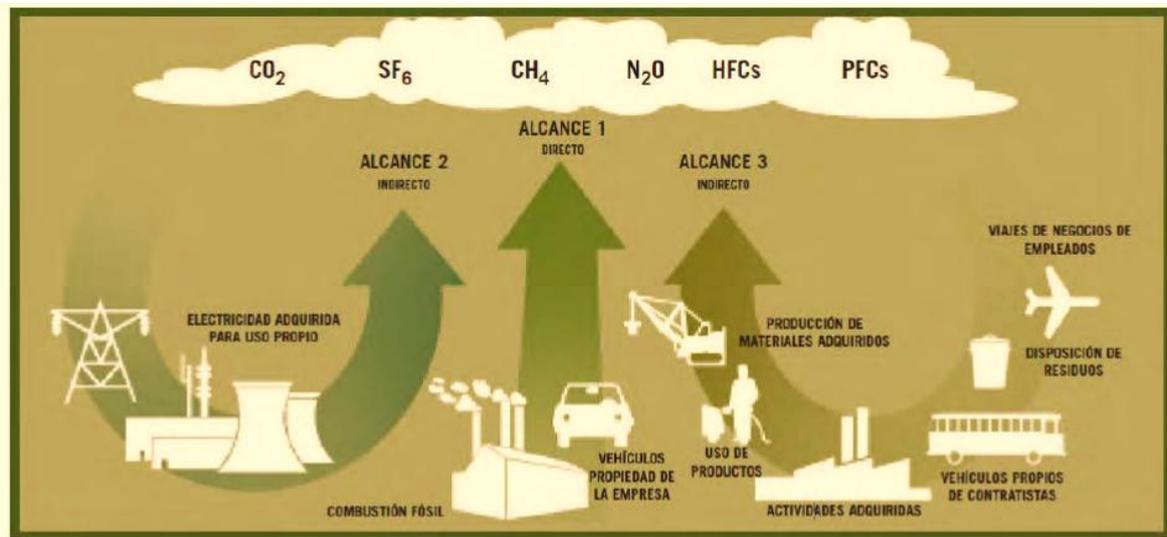


Figura. 10. Alcances y mediciones de la huella de carbono.

(Álvarez, Rubio, & Rodríguez, 2015, pág. 41)

En base a dichas especificaciones se tienen varias tipologías de la huella de carbono según su alcance:

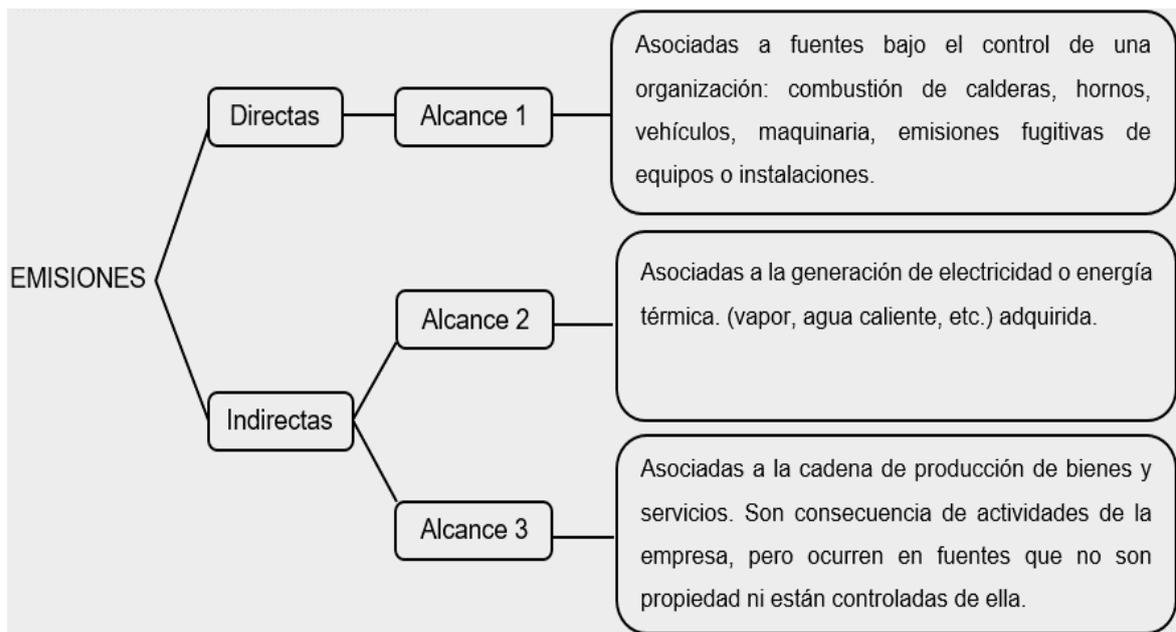


Figura. 11. Clasificación de los alcances de la huella de carbono.

(Álvarez, Rubio, & Rodríguez, 2015, pág. 42)



## GLOSARIO DE TÉRMINOS

**BRA:** Biomasa residual agrícola.

**Hidrólisis:** Proceso químico en el que una molécula de celulosa es dividida por la gestión de una molécula de agua con la ayuda de una enzima o bacteria.

**Enzima:** Elemento que actúa sobre determinada materia prima como un reactivo que colabora al desarrollo controlado del metabolismo de la misma.

**RON:** Numero de octano de investigación determinado en un motor estático.

**E5:** Biocombustible con 5% de concentración y 95 % combustible fósil.

**E10:** Biocombustible con 10% de concentración y 90 % combustible fósil.

**Huella de carbono:** Cantidad de emisiones y absorciones de dióxido de carbono resultantes de una actividad.

**Grados Brix:** Cantidad de azúcares disueltos en una sustancia.

**Grados Gay Lussac:** Escala de porcentaje de alcohol presente en una sustancia.

**Alambique:** Equipo destinado a separar componentes de una sustancia mediante la diferencia de temperaturas de obtención presentes en las mismas.

**PMS:** Punto muerto superior o punto más alto que el pistón alcanza en el interior del cilindro de un motor de combustión interna.

**Ha:** Hectáreas.

**Fermentación Aeróbica:** Oxidación de materia en presencia de oxígeno.

**Yacimientos:** Zonas naturales que contienen petróleo o minerales bajo condiciones propicias para su explotación.

**Combustible reformulado:** Combustibles mezclados o adicionados a otras sustancias con la finalidad de alterar y mejorar sus características originales.

**Presión de vapor reid:** Ensayo al que se somete cierta sustancia para determinar su volatilidad.

# CAPÍTULO III

## 3. DESARROLLO DE LA PROPUESTA

### 3.1 Etapas preliminares.

En el presente capítulo se considera varias etapas proyectadas en base a los objetivos específicos propuestos en el capítulo I del presente proyecto, los cuales son presentados a continuación:

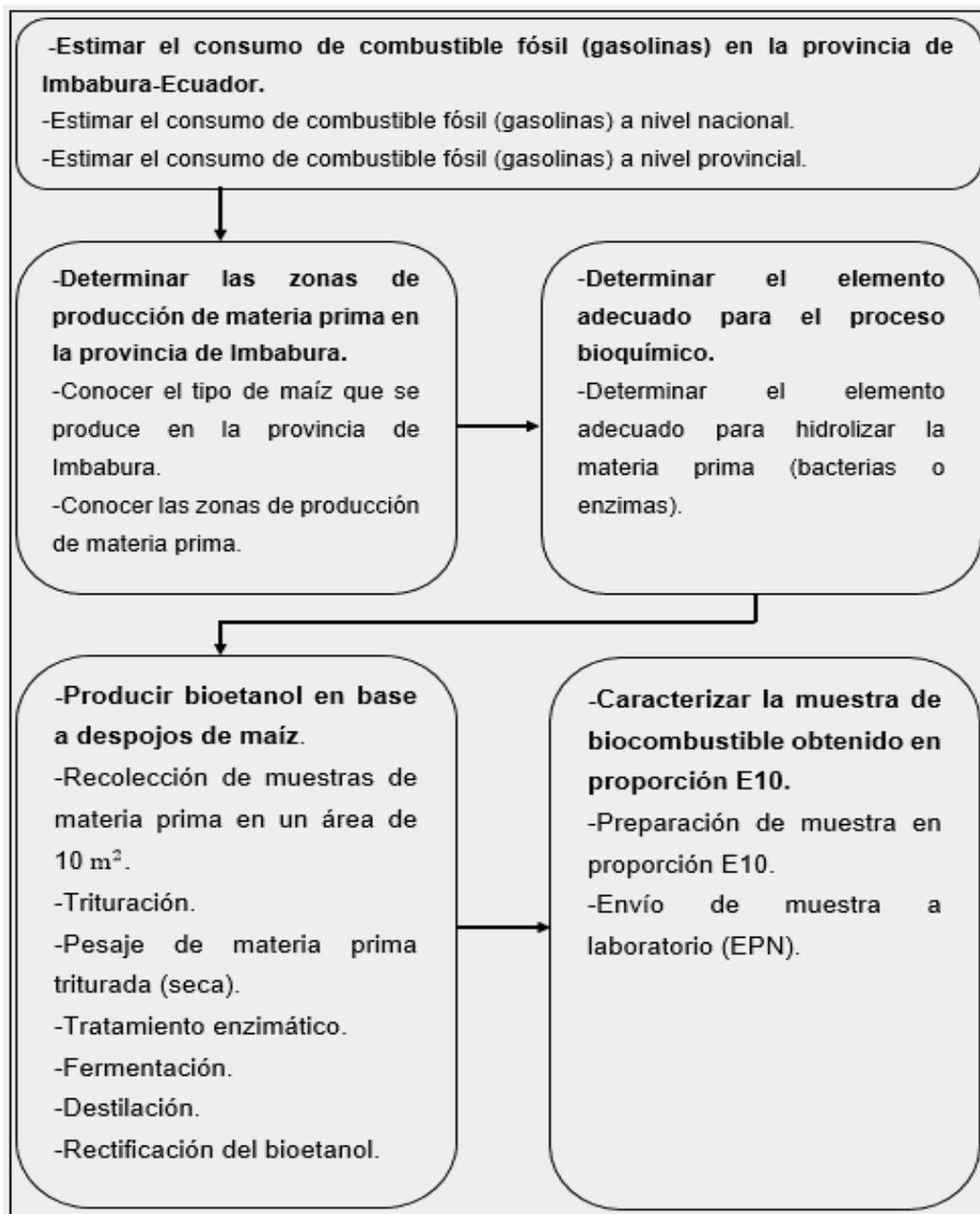


Figura. 13. Etapas preliminares.

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

Para lograr conocer y estimar el consumo de combustible fósil (gasolinas) en la provincia de Imbabura se procederá a analizar los datos de la AIHE (Asociación de la Industria Hidrocarburífera del Ecuador) obtenidos de su folleto estadístico anual “EL PETRÓLEO EN CIFRAS 2016” publicado en marzo del 2017, primeramente se analizan los datos a nivel nacional y posteriormente datos a nivel provincial, específicamente en Imbabura.

#### **3.2.1 Estimar el consumo de combustible fósil (gasolinas) a nivel nacional.**

Según la AIHE se estima un incremento en el 2016 acerca del consumo nacional de derivados de petróleo (gasolinas) en aproximadamente el 0,3% en relación al año 2015, cabe mencionar que estos datos son enfocados al consumo del sector automotriz, los datos netos de consumo se muestran en la tabla inferior.

Tabla 8. Consumo nacional de derivados de petróleo (gasolinas) en el Ecuador 2015-2016.

| <b>Año de referencia</b> | <b>Consumo de gasolinas (millones de barriles)</b> |
|--------------------------|--|
| 2015                     | 27,3   |
| 2016                     | 27,6   |

(AIHE, 2017, pág. 31)

#### **3.2.2 Estimar el consumo de combustible fósil (gasolinas) a nivel provincial.**

De acuerdo con la localización del presente proyecto y conforme el desarrollo del mismo, se toma en cuenta para este punto únicamente a los datos que están directamente asociados a la provincia de Imbabura, los mismos que han sido publicados por la “AIHE” acerca de la distribución geográfica del consumo anual de gasolinas y diésel por provincias en el 2016, en la siguiente tabla se muestra los datos de consumo a nivel provincial específicamente de las gasolinas denominadas “extra” y “súper”.

Tabla 9. Consumo de gasolina “extra” y “súper” en la provincia de Imbabura 2016.

| <b>Ámbito automotriz</b>               |                                      |
|--|--------------------------------------|
| <b>Tipo de gasolina</b>                | <b>Volumen (millones de galones)</b> |
| Extra                                  | 27.30                                |
| Súper                                  | 3.48                                 |
| Millones de galones totales consumidos | 30.78                                |

(AIHE, 2017, pág. 36)

### **3.3 Determinar las zonas de producción de materia prima.**

Con el objeto de llegar al desarrollo de esta fase que es conocer las zonas de producción de materia prima en la provincia de Imbabura, es necesario realizar el siguiente procedimiento:

#### **3.3.1 Conocer el tipo de maíz que se produce en la provincia de Imbabura.**

La materia prima que se utiliza como base para la obtención del bioetanol es el despojo o rastrojo del maíz, debido al origen de la misma se denomina al bioetanol a producir como un biocombustible de segunda generación, pero es necesario conocer específicamente el tipo de maíz a utilizar para producir dicho biocombustible, con esta finalidad se acude al “MAGAP” (Ministerio de agricultura, ganadería, acuicultura y pesca) en la provincia de Imbabura.

Para este proyecto se propone utilizar la semilla de maíz que es distribuida a los agricultores de la provincia de Imbabura por parte del “MAGAP”, con base en los datos proporcionados por este ministerio provincial se conoce que la semilla que se distribuye es la del “INIAP -122 Chaucho Mejorado”, el mismo es una variedad de maíz amarillo harinoso que se adapta de manera apropiada a las condiciones geográficas y climáticas de la provincia de Imbabura.

### 3.3.2 Ficha técnica del maíz seleccionado.

Es necesario conocer las características que posee el tipo de maíz seleccionado como materia prima, dichas características se muestran en la siguiente tabla.

Tabla 10. Características técnicas del “Chaucho Mejorado”.

| <b>Morfológicas y Agronómicas</b>                                     | <b>Promedio</b>         |
|---|-------------------------|
| Días transcurridos hasta la floración femenina<br>(presencia de flor) | 102                     |
| Días transcurridos a cosecha en choclo                                | 135                     |
| Días transcurridos a cosecha en seco                                  | 225                     |
| Altura  | 250 cm                  |
| Color de grano seco / tierno  | Amarillo / Crema        |
| Maneras de consumirlo   | Harina, Tostado, Choclo |
| <b>Calidad (Seco)</b>   | <b>Promedio</b>         |
| Proteína  | 8.13%                   |
| Humedad   | 33.03%                  |
| Almidón   | 74.57%                  |
| Azúcares totales  | 2.32%                   |

(MAGAP-DPA IMBABURA UZI, 2016, pág. 4)

### 3.3.3 Conocer las zonas de producción de la materia prima “Chaucho Mejorado”.

La materia prima que se necesita para llevar a cabo la producción de bioetanol se considera como potencialmente de fácil acceso en la provincia de Imbabura ya que las buenas condiciones climáticas, así como las condiciones geográficas que posee la provincia son muy favorables para la obtención de la misma.

Imbabura se encuentra conformada por seis cantones, entre ellos se encuentran Otavalo, San Miguel de Urququí, Antonio Ante, Cotacachi, Ibarra y Pimampiro, los mismos

que cuentan con importantes áreas para la producción de maíz del tipo Chaucho Mejorado, a continuación, se muestra la distribución geográfica de ellos.



Figura. 14. Distribución geográfica de Imbabura y sus cantones.  
(MAGAP-DPA IMBABURA UZI, 2016, pág. 15)

Con la finalidad de conocer las áreas específicas de producción de maíz en la provincia se consulta los datos que son proporcionados por el “MAGAP”, teniéndose así la siguiente información acerca de los cantones pertenecientes a la provincia que se registran como los mayores productores del tipo de maíz seleccionado, en la tabla inferior se muestran los datos antes mencionados.

Tabla 11. Hectáreas de maíz (Chaucho Mejorado) cosechadas en Imbabura 2016.

| Cantones                 | Parroquia con mayor producción | Hectáreas cosechadas por cantón |
|--------------------------|--------------------------------|---------------------------------|
| Antonio Ante             | San Roque                      | 8                               |
| Cotacachi                | Imantag                        | 603                             |
| Ibarra                   | Angochagua                     | 262                             |
| Otavalo                  | Gonzáles Suárez                | 808                             |
| Pimampiro                | Pimampiro                      | 123                             |
| Urcuquí                  | Cahuasqui                      | 40                              |
| <b>Hectáreas Totales</b> |                                | <b>1,844</b>                    |

(MAGAP-DPA IMBABURA UZI, 2016)

A continuación, se tiene una interpretación gráfica porcentual de los cantones registrados como productores de la materia prima en la provincia de Imbabura.

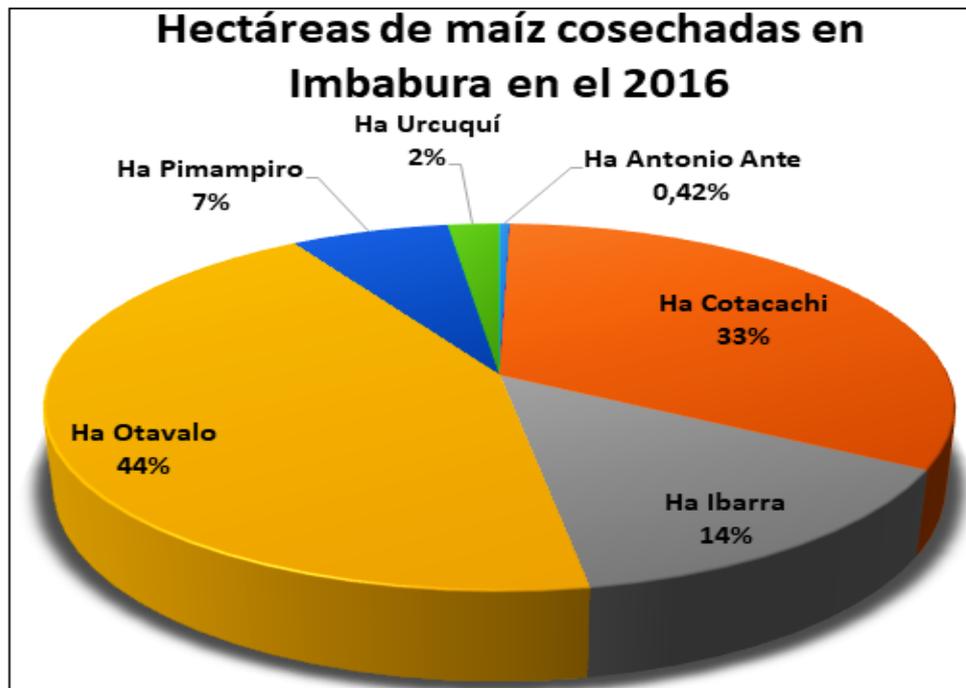


Figura. 15. Hectáreas de maíz cosechadas en Imbabura.

### 3.4 Determinar el elemento adecuado para el proceso químico.

Dentro de este proceso se opta por llevar a cabo una hidrólisis en la cual una molécula de celulosa es dividida por la gestión de una molécula de agua con la ayuda de una enzima o una bacteria. Las estructuras de la celulosa, lignina y hemicelulosa se dividen a través de este procedimiento consiguiendo así una solución azucarada fermentable (Lucero, 2016).

#### 3.4.1 Determinar el elemento adecuado para hidrolizar la materia prima (bacterias o enzimas).

Con la finalidad de lograr extraer los azúcares almacenados en los despojos de maíz, se consideran dos elementos analizados desde varios puntos, entre estos están el tiempo de ejecución (duración), costo y tiempo de adquisición del producto, esto debido a la necesidad de elegir el proceso con menor tiempo de ejecución (trabajo), lo que por consiguiente permitirá disponer y trabajar con la materia base ya tratada a la mayor brevedad posible, los métodos considerados se muestran a continuación.

Tabla 12. Evaluación de elementos para tratar la materia prima.

| Elemento           | Tiempo de ejecución   | Costo (\$) | Cantidad (gr) | Tiempo de adquisición del producto |
|--------------------|-----------------------|------------|---------------|------------------------------------|
| Hongos xilófagos   | 26 Días de incubación | -----      | -----         | -----                              |
| Enzimas (D-Xilosa) | 8 Días de incubación  | 250        | 10            | 1 semana                           |

Tomando en cuenta dichos factores, se considera que el elemento adecuado a elegir son las enzimas, específicamente se utiliza la enzima denominada “D-Xilosa” la cual es un monosacárido o azúcar proveniente de la madera, dicha enzima se muestra en la siguiente figura.



Figura. 16. Enzima “D-Xilosa”.

La enzima “D-Xilosa” es capaz de romper las paredes de las moléculas celulósicas de la biomasa residual del maíz liberando de este modo los azúcares almacenados en la ya mencionada biomasa, posteriormente en adición a levaduras es fermentada y destilada, obteniéndose así el bioetanol, a continuación, se muestra la ficha técnica de la enzima “D-Xilosa”.

Tabla 13. Ficha técnica de enzima D-Xilosa.

| Característica                 | Dato              |
|--------------------------------|-------------------|
| Fórmula molecular              | C5 H10 O5         |
| Grado                          | Pura              |
| Peso molecular                 | 150.13            |
| Valor PH                       | 4.5 – 6.0         |
| Color                          | Cristalino blanco |
| Densidad (gr/cm <sup>3</sup> ) | 1,525             |
| Olor                           | Inodoro           |
| Estado físico 20 °C            | Sólido            |

(Yépez & Representaciones, 2016, pág. 1)

### **3.5 Producir bioetanol en base a despojos de maíz.**

Posterior a conocer todos los datos acerca del tipo de maíz a utilizar, las zonas de producción del maíz y el elemento más favorable para tratar a la biomasa residual es pertinente iniciar con los procesos para la producción del bioetanol en sí, para ello se considera seguir un orden lógico el cual es detallado a continuación.

#### **3.5.1 Recolección de muestra de materia prima en un área de 10 m<sup>2</sup>.**

La recolección de la materia prima en este caso de la biomasa residual agrícola de maíz se realiza en uno de los sectores registrados como potencialmente productores de la misma, debido a la cercanía se la lleva a cabo en la ciudad de Otavalo, dicha recolección de materia prima tiene lugar en una zona delimitada de 10 m<sup>2</sup>, posteriormente realizada la recolección se procede al triturado y pesado de las muestras obtenidas, es importante mencionar que dicho proceso se da lugar al constatar que el grado de humedad relativa de la materia prima es del 33 % (García, 2016), en la figura inferior se muestra la recolección de la materia prima.



Figura. 17. Recolección de materia prima.

#### **3.5.2 Trituración de materia prima seca.**

Una vez obtenida la materia prima seca, es necesario picarla o triturarla hasta que la misma tenga una longitud aproximada de 0.3 a 0.8 cm, de esta manera la hidrólisis

enzimática tendrá mayor eficacia sobre la materia prima, a continuación, se muestra el equipo utilizado para realizar este proceso.



Figura. 18. Trituración de materia prima.

### 3.5.3 Pesaje de materia prima seca.

Al completar el proceso anterior se puede disponer de la biomasa residual de maíz, es necesario pesarla para conocer sus características en condiciones secas (33.03 % de humedad relativa), disponiendo de los siguientes datos registrados tras su realización.

Tabla 14. Pesaje de muestras secas.

| Área (m <sup>2</sup> ) | Kg registrados |
|------------------------|----------------|
| 10                     | 89.36          |

### 3.5.4 Tratamiento enzimático.

Para lograr romper las paredes moleculares de la materia prima (despojos de maíz) y extraer los azúcares almacenados en ella, se precisa la utilización de la enzima “D-Xilosa”.

### 3.5.5 Rompimiento de paredes moleculares y liberación de azúcares fermentables.

El proceso de la hidrólisis o rompimiento de las paredes de moleculares de la biomasa residual agrícola de maíz (celulosa) consiste básicamente en la añadidura de una molécula de agua a cada molécula de celulosa o materia prima transformándola en glucosa o azúcares fermentables disueltos.

En este punto se coloca 11,36 Kg de materia prima triturada en un recipiente plástico, conjuntamente con:

-Enzima “D- Xilosa” 0,75 gr por cada Kg de materia prima.

-10.58 gal de agua a una temperatura de 60°C

Tras colocar los antes mencionados elementos en el interior de un recipiente de plástico, se los dejará reposar durante 8 días, tiempo necesario para la actuación de la enzima sobre la materia prima, es necesario que la temperatura ambiente se encuentre en 30 °C de manera estable (Lucero, 2016), en la figura inferior se muestra el estado inicial de la substancia tratada tras adicionar los elementos antes mencionados.



Figura. 19. Aplicación de enzima.

Transcurridos 2 días de iniciado el proceso de hidrólisis es necesario controlar periódicamente la cantidad de azúcares disueltos (grados Brix) en la substancia mezclada inmersa en el recipiente de plástico, a continuación, se muestra el resultado de dicho control.

Tabla 15. Resultados de control de grados Brix.

| <b>Días transcurridos</b> | <b>Grados Brix</b> |
|---------------------------|--------------------|
| 2                         | 2                  |
| 4                         | 5.2                |
| 5                         | 8.5                |
| 6                         | 10                 |
| 8                         | 13                 |

Al término de 8 días después de iniciado el proceso enzimático y el posterior control de grados Brix disueltos en la mezcla, se determina que los mismos son lo suficientemente altos para proceder a fermentarlos (grados Brix 13°), el control de los grados Brix se realiza por medio de un refractómetro de líquidos mismo que se muestra en la figura inferior.



Figura. 20. Control de grados Brix (Refractómetro de mano marca “Alla France”).

### 3.5.6 Fermentación.

Obtenidos los azúcares fermentables a partir del proceso anterior, se procede a la fermentación aeróbica de la sustancia resultante, para este proceso se procede a añadir a dicha sustancia 0.68 Kg de levadura, manteniendo la temperatura ambiente constante de 30 °C, el pesaje de levadura a adicionarse se muestra en la siguiente figura.



Figura. 21. Pesaje levadura.

Tras la adición de 0.68 Kg de levadura, además del paso de 3 días posteriores, se observa la presencia de burbujas en la sustancia o mezcla dentro del recipiente de plástico, lo que indica la expulsión de  $\text{CO}_2$  por parte de la mezcla, además indicando que dicho elemento adicionado está actuando de manera favorable sobre la sustancia, en la figura inferior se evidencia la presencia de burbujas en la sustancia o mezcla.



Figura. 22. Presencia de burbujas día 4.

Tras el transcurso de 8 días se observa que la presencia de burbujas en la mezcla desaparece y en su lugar existe una fina capa blanca de biomasa residual, mostrando de esta manera el consumo total del azúcar disuelto en la mezcla, pudiendo comprobarlo midiendo los grados Brix ( $0^\circ$ ), a continuación, se muestra la fina capa de biomasa residual presente en la mezcla.

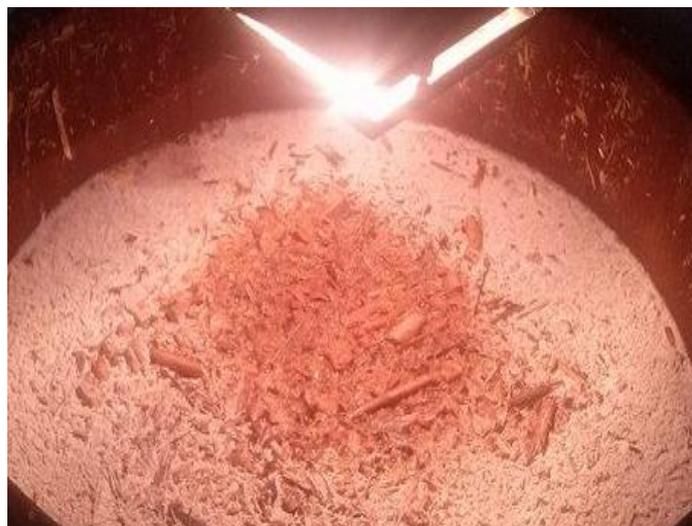


Figura. 23. Presencia de fina capa blanca en biomasa.

### 3.5.7 Destilación.

La ejecución de este proceso se lo realiza mediante la utilización de un alambique de bronce con una capacidad de 5.2 gal, este alambique es proporcionado por la carrera de “Ingeniería Agroindustrial” de la facultad “FICAYA” perteneciente a la “Universidad Técnica del Norte”, el procedimiento a seguir será el siguiente:

- Se vierten 5.2 gal de la sustancia fermentada en el interior del alambique.
- Se ensamblan los elementos que conforman el alambique, de la siguiente manera.



Figura. 24. Ensamblaje de alambique.

- Se somete a la sustancia fermentada a una temperatura establecida en los rangos de 80 °C a 85 °C, provocando así la evaporación y posterior destilación de la mayor parte del bioetanol presente en el líquido inmerso en el alambique (Lucero, 2016).

-Con ayuda de un alcoholímetro se verifica el porcentaje de alcohol presente en la sustancia resultante de la destilación, obteniéndose los siguientes datos.

Tabla 16. Resultado de destilación de etanol.

| <b>Substancia a destilar (gal)</b> | <b>Temperatura de destilación (°C)</b> | <b>Bioetanol obtenido (gal)</b> | <b>% de Alcohol (grados Gay-Lussac ) presente</b> |
|------------------------------------|--|---------------------------------|---|
| 10.58                              | 80° - 85°                              | 3.83                            | 30  |

En la figura inferior se muestra el porcentaje de alcohol presente en el bioetanol obtenido tras la realización de la primera destilación, siendo este del 30%.

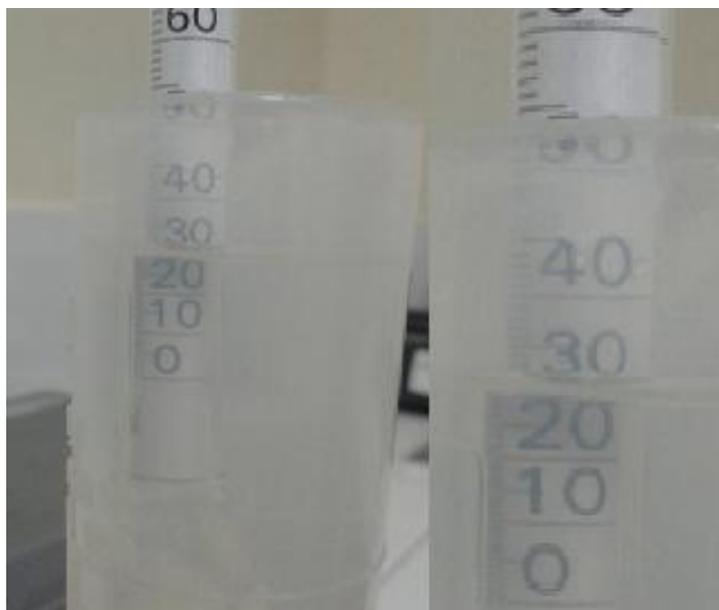


Figura. 25. Bioetanol con 30% de alcohol.

### 3.5.8 Rectificación.

Debido a la baja cantidad de bioetanol obtenido, como también al bajo porcentaje de alcohol presente en el mismo tras la primera destilación, se opta por someter al resultado de la destilación a una serie de rectificaciones (4) con la finalidad de aumentar su porcentaje de alcohol, esta vez se lo realizara en un alambique de bronce con una capacidad de 2.10 gal con rangos de temperatura comprendidos entre 70 y 80 °C (Lucero, 2016), teniendo así el siguiente resultado.

Tabla 17. Resultado de rectificación de etanol.

| Cantidad de<br>substancia a<br>destilar<br>(gal) | Número de<br>rectificaciones | Temperatura<br>de destilación<br>(°C) | Cantidad de<br>bioetanol<br>obtenido (gal) | % de Alcohol<br>(grados Gay-<br>Lussac ) presente |
|--|------------------------------|---------------------------------------|--|---|
| 3.83   | 4                            | 70° - 80°                             | 0.22                                       | 96.5  |

Tras someter al bioetanol a 4 rectificaciones se obtiene un porcentaje de alcohol presente en el mismo del 96.5%, como se muestra en la figura inferior.



Figura. 26. Bioetanol con 96.5 % de alcohol.

### **3.6 Caracterizar la muestra de biocombustible obtenido en proporción E10.**

Con la finalidad de conocer las características fisicoquímicas del biocombustible como producto final del presente proyecto, se mezcla gasolina súper de 92 octanos y el bioetanol obtenido de 96.5 de % de alcohol, de la siguiente manera.

#### **3.6.1 Preparación de muestra en proporción E10.**

En este punto se procede a preparar una muestra de biocombustible de 1 L para su posterior envío al laboratorio, dicha muestra está conformada por:

- 900 ml de gasolina súper de 92 octanos RON, como se muestra en la figura inferior.



Figura. 27. Gasolina súper 900 ml.

- 100 ml de bioetanol a base de despojos de maíz, como se muestra en la figura inferior.



Figura. 28. Bioetanol 100 ml.

### 3.6.2 Envío de muestra a laboratorio (EPN).

El laboratorio al cual se envía la muestra del biocombustible obtenido en proporción E10 es el Laboratorio de Petróleos del departamento de Ingeniería Química perteneciente a la Escuela Politécnica Nacional de la ciudad de Quito, a continuación, se muestra el listado de ensayos y normas a los que se someterá la muestra enviada a dicho laboratorio.

Tabla 18. Ensayos para caracterización de biocombustible.

| ENSAYO                         | NORMA          |
|--------------------------------|----------------|
| Número de octano               | NTE INEN 2102  |
| Destilación ASTM               | ASTM D86-15    |
| Presión de vapor REID          | ASTM D323-15 a |
| Corrosión a la lámina de cobre | ASTM D130-12   |
| Contenido de gomas             | ASTM D381-12   |
| Contenido de azufre            | ASTM D4294-16  |

## CAPÍTULO IV

### 4. ANÁLISIS DE RESULTADOS

#### 4.1 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 3.48 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 19. Consumo de gasolina “extra” y “súper” en la provincia de Imbabura 2016.

| <b>Ámbito automotriz</b>               |                                      |
|--|--------------------------------------|
| <b>Tipo de gasolina</b>                | <b>Volumen (millones de galones)</b> |
| Extra                                  | 27.30                                |
| Súper                                  | 3.48                                 |
| Millones de galones totales consumidos | 30.78                                |

(AIHE, 2017, pág. 36)

#### 4.2 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 20. Producción total de materia prima en la provincia de Imbabura.

| <b>Hectáreas<br/>cosechadas</b> | <b>totales</b> | <b>Kg de materia prima por<br/>hectárea</b> | <b>Kg totales de materia<br/>prima aprovechables</b> |
|---------------------------------|----------------|---|--|
| 1.844                           |                | 89.363                                      | 164'785.372  |

#### 4.3 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 21. Elemento químico seleccionado.

| <b>Método</b>      | <b>Tiempo de ejecución</b> | <b>Costo (\$)</b> | <b>Cantidad (gr)</b> | <b>Tiempo de adquisición del producto</b> |
|--------------------|----------------------------|-------------------|----------------------|---|
| Enzimas (D-Xilosa) | 8 Días de incubación       | 250               | 10                   | 1 Semana                                  |

#### 4.4 Producir bioetanol en base a despojos de maíz.

Al tener un balance general de resultados obtenidos referente al rendimiento biomasa / bioetanol se comprende que por cada 11.36 Kg de BRA empleados tendremos 0,22 gal 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 22. Balance general de resultados obtenidos.

| <b>Kg de biomasa utilizada</b> | <b>Número de rectificaciones</b> | <b>Cantidad de bioetanol obtenido (gal)</b> | <b>% de Alcohol (°Gay Lussac) presente</b> |
|--------------------------------|----------------------------------|---|--|
| 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 gal de bioetanol producidos o 12.358,64 m<sup>3</sup> de bioetanol obtenido, en la siguiente tabla se observa los datos antes mencionados.

Tabla 23. Estimación de producción de bioetanol.

| <b>Gal obtenidos por hectárea</b> | <b>Hectáreas totales disponibles</b> | <b>Gal totales obtenidos de bioetanol</b> | <b>m<sup>3</sup> Totales obtenidos de bioetanol</b> |
|-----------------------------------|--------------------------------------|---|---|
| 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 24. Datos del bioetanol resultante final.

| <b>Característica</b>          | <b>Unidad</b>    | <b>Datos registrados</b> | <b>Datos norma NTE- INEN 2478</b> |                |
|--------------------------------|------------------|--------------------------|-----------------------------------|----------------|
|                                |                  |                          | <b>Mínimos</b>                    | <b>Máximos</b> |
| Cantidad de bioetanol obtenido | (gal)            | 0.22                     | -----                             | -----          |
| % de Alcohol presente          | (°Gay Lussac)    | 96.5°                    | 96.3                              | -----          |
| PH                             | -----            | 6.8                      | 6.5                               | 9.0            |
| Coloración                     | -----            | Incoloro                 | -----                             | -----          |
| Olor                           | -----            | Característico           | -----                             | -----          |
| Densidad                       | g/m <sup>3</sup> | 0,768                    | -----                             | 791,5          |

#### 4.5 Caracterizar la muestra de biocombustible obtenido en proporción E10.

##### 4.5.1 Norma establecida por la Asociación Americana de Ensayo de Materiales ASTM 910-02 para gasolina regular de 98 octanos.

Se realiza una comparación de datos obtenidos de la caracterización del biocombustible E10 y la norma ASTM 910-02 para gasolina regular de 98 octanos, dichos datos son mostrados en la siguiente tabla.

Tabla 25. Comparación de datos obtenidos con la norma ASTM 910-02 para gasolina de 98 octanos.

| <b>DATOS OBTENIDOS BIOCMBUSTIBLE E10</b> |                     |                |                       | <b>Norma ASTM 910-02</b> |               |     |
|--|---------------------|----------------|-----------------------|--------------------------|---------------|-----|
| <b>ENSAYO</b>                            | <b>NORMA-MÉTODO</b> | <b>UNIDAD</b>  | <b>VALOR OBTENIDO</b> | <b>Mínimo</b>            | <b>Máximo</b> |     |
| Número de octano (RON)                   | NTE<br>INEN<br>2102 | -----          | 96.3                  | 98                       | -----         |     |
| Ensayo de destilación                    | Temperatura al 10 % | ASTM<br>D86-15 | °C                    | 52.1                     | -----         | 75  |
|  | Temperatura al 50 % |                | °C                    | 110.5                    | -----         | 105 |
|  | Temperatura al 90 % |                | °C                    | No alcanzó el porcentaje | -----         | 135 |
|  | Punto final         |                | °C                    | 170                      | -----         | 170 |
| Presión de vapor reid                    | ASTM<br>D323-15A    | kPa            | 58.6                  | 38                       | 49            |     |
| Corrosión a la lámina de cobre           | ASTM<br>D130-12     | -----          | 1A                    | -----                    | 1A            |     |
| Contenido de azufre                      | ASTM<br>D4294-16    | %              | 0,020                 | -----                    | 0,065         |     |
| Contenido de gomas                       | ASTM<br>D381-12     | mg/100<br>ml   | 0,2                   | -----                    | 0.05          |     |

El biocombustible en proporción E10 conformado por gasolina de 92 octanos y bioetanol de 96.5 % de contenido de alcohol, tras realizar su caracterización y posterior comparación con la norma ASTM -910-02 para gasolina de 98 octanos, se establece que cumple dos requerimientos establecidos para esta norma, específicamente “su punto final” y “corrosión a la lámina de cobre”, de la misma manera se establece que no cumple con 5 especificaciones, siendo estas “número de octano”, “destilación a 10%-50%-90%”, “presión de vapor Reid”, “contenido de azufre” y “contenido de gomas”, a continuación, se muestran los datos antes mencionados.

Tabla 26. Especificaciones cumplidas para la norma ASTM 910-02 para gasolina de 98 octanos.

| <b>Especificaciones</b>        | <b>Si cumple</b> | <b>No cumple</b> |
|--------------------------------|------------------|------------------|
| Número de octano               |                  | X                |
| Destilación a 10%, 50%, 90%    |                  | X                |
| Punto final                    | X                |                  |
| Presión vapor Reid             |                  | X                |
| Corrosión a la lámina de cobre | X                |                  |
| Contenido de azufre            |                  | X                |
| Contenido de gomas             |                  | X                |

#### **4.5.2 Norma establecida por el Reglamento Técnico Centroamericano RTCA 169-2006 para gasolina regular de 83 octanos.**

Se realiza una comparación de datos obtenidos de la caracterización del biocombustible E10 y la norma establecida RTCA 169 - 2006 para gasolina regular de

83 octanos, dichos datos son mostrados en la siguiente tabla.

Tabla 27. Comparación de datos obtenidos con la norma RTCA 169-2006 para gasolina de 83 octanos.

| <b>DATOS OBTENIDOS BIOCOMBUSTIBLE E10</b> |                     |                     |               | <b>Norma RTCA 169 - 2006</b> |               |               |
|---|---------------------|---------------------|---------------|------------------------------|---------------|---------------|
| <b>ENSAYO</b>                             |                     | <b>NORMA-MÉTODO</b> | <b>UNIDAD</b> | <b>VALOR OBTENIDO</b>        | <b>Mínimo</b> | <b>Máximo</b> |
| Número de octano (RON)                    |                     | NTE<br>INEN<br>2102 | -----         | 96.3                         | 83            | 88            |
| Ensayo de destilación                     | Temperatura al 10 % | ASTM<br>D86-15      | °C            | 52.1                         | 77            | 121           |
|   | Temperatura al 50 % |                     | °C            | 110.5                        | -----         | 105           |
|   | Temperatura al 90 % |                     | °C            | No alcanzó el porcentaje     | -----         | 190           |
|   | Punto final         |                     | °C            | 170                          | -----         | 225           |
| Presión de vapor Reid                     |                     | ASTM<br>D323-15A    | kPa           | 58.6                         | 38            | 69            |
| Corrosión a la lámina de cobre            |                     | ASTM<br>D130-12     | -----         | 1A                           | -----         | 1A            |
| Contenido de azufre                       |                     | ASTM<br>D4294-16    | %             | 0,020                        | -----         | 0,10          |
| Contenido de gomas                        |                     | ASTM<br>D381-12     | mg/100<br>ml  | 0,2                          | -----         | 4             |

El biocombustible en proporción E10 conformado por gasolina de 92 octanos y bioetanol de 96.5 % de contenido de alcohol, tras realizar su caracterización y posterior comparación con la norma RTCA 169 -2006 para requerimientos de gasolina de 83 octanos,

se establece que cumple un requerimiento establecido para esta norma, específicamente “corrosión a la lámina de cobre”, de la misma manera se establece que no cumple con 6 especificaciones, siendo estas” número de octano”, “destilación a 10%-50%-90%”, “punto final”, “presión de vapor reid”, “contenido de azufre” y “contenido de gomas”, a continuación, se muestran los datos antes mencionados.

Tabla 28. Especificaciones cumplidas para la norma RTCA 169-2006 para gasolina de 83 octanos.

| <b>Especificaciones</b>        | <b>Si cumple</b> | <b>No cumple</b> |
|--------------------------------|------------------|------------------|
| Número de octano               |                  | X                |
| Destilación a 10%, 50%, 90%    |                  | X                |
| Punto final                    |                  | X                |
| Presión vapor reid             |                  | X                |
| Corrosión a la lámina de cobre | X                |                  |
| Contenido de azufre            |                  | X                |
| Contenido de gomas             |                  | X                |

#### **4.5.3 Norma establecida por el Instituto Ecuatoriano de normalización NTE INEN-935 para gasolina súper de 92 octanos.**

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

Tabla 29. Comparación de datos obtenidos con la norma NTE INEN 935 para gasolina de 92 octanos.

| <b>DATOS OBTENIDOS BIOCOMBUSTIBLE E10</b> |                     |               |                       | <b>Norma NTE INEN 935</b> |               |     |
|---|---------------------|---------------|-----------------------|---------------------------|---------------|-----|
| <b>ENSAYO</b>                             | <b>NORMA-MÉTODO</b> | <b>UNIDAD</b> | <b>VALOR OBTENIDO</b> | <b>Mínimo</b>             | <b>Máximo</b> |     |
| Número de octano (RON)                    | NTE INEN 2102       | -----         | 96.3                  | 92.0                      | -----         |     |
| Ensayo de Destilación                     | Temperatura al 10 % | ASTM D86-15   | °C                    | 52.1                      | -----         | 70  |
|   | Temperatura al 50 % |               | °C                    | 110.5                     | -----         | 121 |
|   | Temperatura al 90 % |               | °C                    | No alcanzó el porcentaje  | -----         | 190 |
|   | Punto Final         |               | °C                    | 170                       | -----         | 220 |
|   | Residuo             |               | %                     | 1.0                       | -----         | 2   |
| Presión de vapor reid                     | ASTM D323-15A       | kPa           | 58.6                  | -----                     | 60            |     |
| Corrosión a la lámina de cobre            | ASTM D130-12        | -----         | 1A                    | -----                     | 1A            |     |
| Contenido de azufre                       | ASTM D4294-16       | %             | 0,020                 | -----                     | 0,065         |     |
| Contenido de gomas                        | ASTM D381-12        | mg/100 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.

#### 4.5.3.1 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 30. Comparación de datos de octanaje.

| <b>Gasolina súper (Norma NTE INEN-935)</b> | <b>Biocombustible E10</b> |
|--|---------------------------|
| 92   | 96.3                      |

#### 4.5.3.2 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 31. Comparación de datos de destilación.

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

#### 4.5.3.3 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 32. Comparación de datos de vapor reid.

| <b>Gasolina súper (Norma NTE INEN-935)</b> | <b>Biocombustible E10</b> |
|--|---------------------------|
| 60 kPa                                     | 58.6 kPa                  |

#### 4.5.3.4 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 combustible 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 33. Comparación de datos de corrosión a la lámina de cobre.

| <b>Gasolina súper (Norma NTE INEN-935)</b> | <b>Biocombustible E10</b> |
|--|---------------------------|
| 1A   | 1A                        |

#### 4.5.3.5 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 34. Comparación de datos de contenido de azufre.

| <b>Gasolina súper (Norma NTE INEN-935)</b> | <b>Biocombustible E10</b> |
|--|---------------------------|
| 0.65 %                                     | 0.20 %                    |

#### 4.5.3.6 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 o 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 35. Comparación de datos de contenido de gomas.

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

#### **4.6 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 36. Modificaciones considerables al usar el biocombustible E10.

| <b>Cantidad de bioetanol presente</b> | <b>Modificaciones a realizarse</b> |
|---------------------------------------|------------------------------------|
| <b>E10</b>                            | Sistema de inyección               |
|                                       | Bomba de combustible               |
|                                       | Filtro de combustible              |
|                                       | Cañerías de combustible            |
|                                       | Sistema de refrigeración           |

#### 4.7 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 37. 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. |  |
| - Mejora los procesos de combustión, al ser pulverizado de mejor forma en el interior del cilindro.  | - Al contener cierto porcentaje de agua en su composición, produce corrosión en varias aleaciones internas del motor.  |
| - 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.    |  |

## CAPÍTULO V

### 5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 5.1 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 ( $^{\circ}$ 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 gal o 12.358,64 m<sup>3</sup> 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.

## 5.2 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  $0.768 \text{ g/m}^3$ ) y la gasolina súper (de 92 octanos RON con una densidad de  $0.750 \text{ g/m}^3$ ), 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.

## BIBLIOGRAFÍA

- Abril, A., & Navarro, E. (2012). *Etanol a partir de biomasa lignocelulósica*. © Aleta Ediciones (2012).
- Abril, Alejandro; Navarro, Enrique. (2012). *Etanol a partir de biomasa lignocelulósica*. Aleta Ediciones.
- Acosta, A. (2012). *Biocombustibles*. ANI - Academia Nacional de Ingeniería.
- AIHE. (Marzo de 2017). En P. Sabando, *Petróleo en cifras*. Globalcorp.
- Álvarez Flórez, J. A., & Callejón Agramunt, I. (2005). *Motores alternativos de combustión interna*. Universitat Politècnica de Catalunya.
- Álvarez Gallego, S., & Rodríguez Olalla, A. (2015). *Gestión de la huella de carbono*. AENOR - Asociación Española de Normalización y Certificación.
- Álvarez, S., Rubio, A., & Rodríguez, A. (2015). *Conceptos básicos de la huella de carbono*. AENOR - Asociación Española de Normalización y Certificación.
- Camarillo Montero, J. A. (2011). *“ESTUDIO DE LA COMBUSTIÓN DE UN MOTOR MONOCILINDRICO DE INGENIERÍA ALIMENTADO CON MEZCLAS GASOLINA ETANOL*.
- Camps Michelena, M., & Marcos Martín, F. (2008). *Los biocombustibles (2a. ed.)*. Mundi-Prensa.
- Camps, M., & Marcos, F. (2008). *Los Biocombustibles 2da Edición*. Madrid: Mundi-Prensa.
- Castells, X. (2012). Los residuos como combustibles. En X. E. Castells, *Tratamiento y valorización energética de residuos* (pág. 72). Madrid: Ediciones Díaz de Santos.
- Castells, X. E. (2012). Biomasa y bioenergía. En X. E. Castells, *Energía, agua, medio ambiente, territorialidad y sostenibilidad*. Madrid: Díaz de Santos.
- Castillo Hernández, Mendoza Domínguez, & Caballero Mata. (2011). Análisis de las propiedades fisicoquímicas de gasolina y diesel.
- 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.
- Escudero, S., González, J., Rivas, J. L., & Suárez, A. (2009). *Motores*. Macmillan Iberia, S.A.

- 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.
- García, J. C. (2016). Evaluación de recursos con potencial nivel energético. (A. Mora , Entrevistador)
- INER, I. N. (2013). *www.iner.gob.ec*. Obtenido de *www.iner.gob.ec*: [http://www.iner.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2014/12/BIOMASA\\_DOSSIER.pdf](http://www.iner.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2014/12/BIOMASA_DOSSIER.pdf)
- Instituto Ecuatoriano de Normalización. (2017). *SERVICIO ECUATORIANO DE NORMALIZACIÓN*. Obtenido de <http://apps.normalizacion.gob.ec/descarga/index.php/buscar>
- Lombana Coy, J., Vega Jurado, J., Britton Acevedo, E., & Herrera Velásquez, S. (2015). *Análisis del sector biodiesel en Colombia y su cadena de suministro*. Universidad del Norte.
- Lucero, N. (Noviembre de 2016). Procesos Químicos para la obtención de Bioetanol. (A. Mora, Entrevistador)
- MAE, M. d. (2014). *www.ambiente.gob.ec*. Recuperado el 2010, de *www.ambiente.gob.ec*: <http://www.ambiente.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2014/05/Libro-Resumen-Inventario-13-02-2014-prensa.pdf>
- MAGAP-DPA IMBABURA UZI. (2016). Imbabura, Ecuador.
- Miliarium.com*. (2008). Obtenido de <http://www.miliarium.com/Bibliografia/Monografias/Biocombustibles/EtapasProcesoProduccionBioetanol.asp>
- N, L. (s.f.). *Alconoa*. Obtenido de <http://www.alconoa.com.ar/Proceso.html>
- Núñez, D. (2012). Uso de residuos agrícolas para la producción de biocombustibles en el departamento del Meta. *Tecnura*, 147.
- Pabón, D., Peña, D., & Estupiñan, H. (2012). Evaluación de la corrosión de un acero Aisi Sae 1020 en mezclas de gasolina-bioetanol del 5, 10, 15, 20 y 100% por medio de técnicas gravimétricas y electroquímicas. *Prospectiva*, 51.
- Peña, A., & Dreyfus, G. (2002). *La energía y la vida*. FCE - Fondo de Cultura Económica.
- Randall, G., Gary, S., & Zhuang, J. (2010). Towards Sustainable Cellulosic Bioenergy. *Journal of Resources and Ecology*, 117.

- Riesco Ávila, J., Gallegos Muñoz, A., & Montefort Sánchez, J. (2009). *Procesos alternativos de combustión en motores de combustión interna*. D - Universidad de Guanajuato.
- Rovira de Antonio, A., & Muñoz Domínguez, M. (2015). *Motores de combustión interna*. UNED - Universidad Nacional de Educación a Distancia.
- RTCA. (2006). PRODUCTOS DE PETRÓLEO. RTCA.
- Varnero Moreno, M. T. (2011). *Manual de Biogàs*. Santiago de Chile: FAO.
- Verde, M., García, A., Álvarez, G., & Mesa, M. (2012). Obtención de etanol a partir de biomasa lignocelulósica. *ICIDCA (Instituto Cubano de Investigaciones de los Derivados de la Caña de Azúcar)*, 14.
- Yépez, M., & Representaciones, M. M. (2016). D-XYLOSE. (A. Mora, Entrevistador)
- Yusaf, T., & Buttsworth, D. (2009). Theoretical and experimental investigation of SI engine performance and exhaust emissions using ethanol-gasoline blended fuels. *ICEE (International Conference on Energy and Environment)*, 195.

# **ANEXOS**

**ANEXO 1.**

**RECOLECCION DE MUESTRAS DE MATERIA PRIMA EN UN AREA DE 10 m<sup>2</sup>.**



Figura. 29. Corte de materia prima.



Figura. 30. Apilamiento de materia prima.

**ANEXO 2.**  
**TRITURACIÓN DE MATERIA PRIMA.**



Figura. 31. Equipo triturador de materia prima.



Figura. 32. Materia prima triturada.

**ANEXO 3.**  
**UNION DE ELEMENTOS PARA EL PROCESO QUÍMICO.**



Figura. 33. Pesaje de enzima "D-Xilosa".



Figura. 34. Substancia a fermentar.

**ANEXO 4.**  
**FERMENTACIÓN DE SUBSTANCIA.**



Figura. 35. Proceso de fermentación.



Figura. 36. Finalización de proceso de fermentación.

## ANEXO 5.

### REFRACTÓMETRO DE MANO ALLA FRANCE.

#### Refractómetro "Alla France"

Refractómetro de mano "Alla France" ATC 0-32% Brix / 1.000-1.120 Sp.Gr. Para mosto de Cerveza.

Diseñado para realizar mediciones de Gravedad específica (densidad) cantidad de azúcares en mosto de cerveza para análisis previo y posterior a la fermentación.

Características técnicas:

Rangos: 0-32% Brix / 1.000-1.120 Sp.Gr.

Mínima escala: 0.2% Brix / 0.001Sp.Gr.

Con compensación automática de temperatura (ATC).

Rango ATC: 10°C-30°C.



Figura. 37. Ficha técnica de refractómetro "Alla Fance" para mosto de cerveza.

(Arias Flórez, 2014, pág. 11)

## ANEXO 6.

### DESTILACIÓN DE SUBTANCIA RESULTANTE DE LA FERMENTACIÓN.



Figura. 38. Alambique de 5.2 gal.



Figura. 39. Alambique de 2.10 gal.

## ANEXO 7.

### PREPARACIÓN DE MEZCLA BIOETANOL - GASOLINA SÚPER.



Figura. 40. Muestra de 100 ml de bioetanol.



Figura. 41. Muestra de 900 ml de gasolina súper.

## ANEXO 8.

### PROPIEDADES DE ENZIMA D-XILOSA.

| Enzima D-Xilosa                |                   |
|--------------------------------|-------------------|
| Característica                 | Dato              |
| Fórmula Molecular              | C5 H10 O5         |
| Grado                          | Pura              |
| Peso molecular                 | 150.13            |
| Duración                       | 5 Años            |
| Valor PH                       | 4.5 – 6.0         |
| Color                          | Cristalino blanco |
| Densidad (gr/cm <sup>3</sup> ) | 1,525             |
| Olor                           | Inodoro           |
| Estado fisico 20 °C            | Sólido            |

Figura. 42. Ficha técnica de enzima “D-Xilosa”.  
(Yépez & Representaciones, 2016, pág. 1)



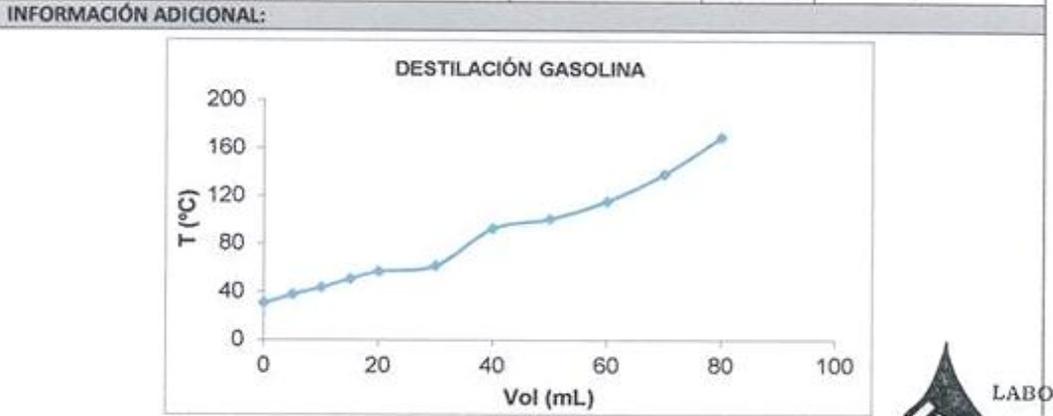
Figura. 43. Muestras de enzima “D-Xilosa”.

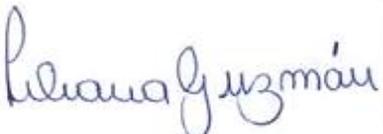


| REPORTE DE ANÁLISIS N°. ALPEP 034-017<br>ORDEN DE TRABAJO 5294 |             |                          |            |
|--|-------------|--------------------------|------------|
| INFORMACIÓN GENERAL:   |             |                          |            |
| CLIENTE  | ANDRÉS MORA |                          |            |
| MUESTRA  | GASOLINA    | NÚMERO DE MUESTRAS       | 1          |
| FECHA RECEPCIÓN  | 14-08-2017  | FECHA DE ENTREGA INFORME | 21-08-2017 |

| IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA: |                    |              |             |           |
|-------------------------------|--------------------|--------------|-------------|-----------|
| IDENTIFICACIÓN                | CÓDIGO LABORATORIO | TIPO MUESTRA | TIPO ENVASE | CAPACIDAD |
| BIOETANOL                     | LPM087-AGO         | Gasolina     | Vidrio      | 1 L       |

| RESULTADOS OBTENIDOS: |                                |                     |             |                 |                          |
|-----------------------|--------------------------------|---------------------|-------------|-----------------|--------------------------|
| MUESTRA               | ENSAYO                         | NORMA MÉTODO        | UNIDAD      | VALOR OBTENIDO* |                          |
| LPM087-AGO            | Número de octano (RON)         | NTE INEN 2102       | ---         | 96.3            |                          |
|                       | Ensayo de destilación:         | Temperatura del 10% | ASTM D86-15 | °C              | 52.1                     |
|                       |                                | Temperatura del 50% |             | °C              | 110.5                    |
|                       |                                | Temperatura del 90% |             | °C              | No alcanzó el porcentaje |
|                       |                                | Punto final         |             | °C              | 170                      |
|                       |                                | Residuo             |             | %               | 1.0                      |
|                       | Presión de vapor Reid          | ASTM D323-15a       | kPa         | 58.6            |                          |
|                       | Corrosión a la lámina de cobre | ASTM D130-12        | ---         | 1A              |                          |
|                       | Contenido de azufre            | ASTM D4294-16       | %           | 0.020           |                          |
|                       | Contenido de gomas             | ASTM D381-12        | mg/100mL    | 0.2             |                          |



|   |  |
|---|--|
|  |  |
| <b>Ing. Liliana Guzmán</b><br>Jefe del Laboratorio de Petróleos                     | <b>Ing. Tania Parra</b><br>Especialista de Laboratorio de Petróleos                  |

\*Los resultados indicados en este informe sólo afectan a las muestras sometidas a ensayo.

|   |
|---|
| Ladrón de Guevara E.11-253-Edif. Eléctrica Química - 5to piso<br>022976-300 Ext. 4329/4317/4328<br>lab.petroleos_ing.quimica@epn.edu.ec |
|---|

Figura. 45. Informe final de caracterización de biocombustible E10.

## ANEXO 10.

### CORROSIÓN DE LÁMINA DE COBRE.

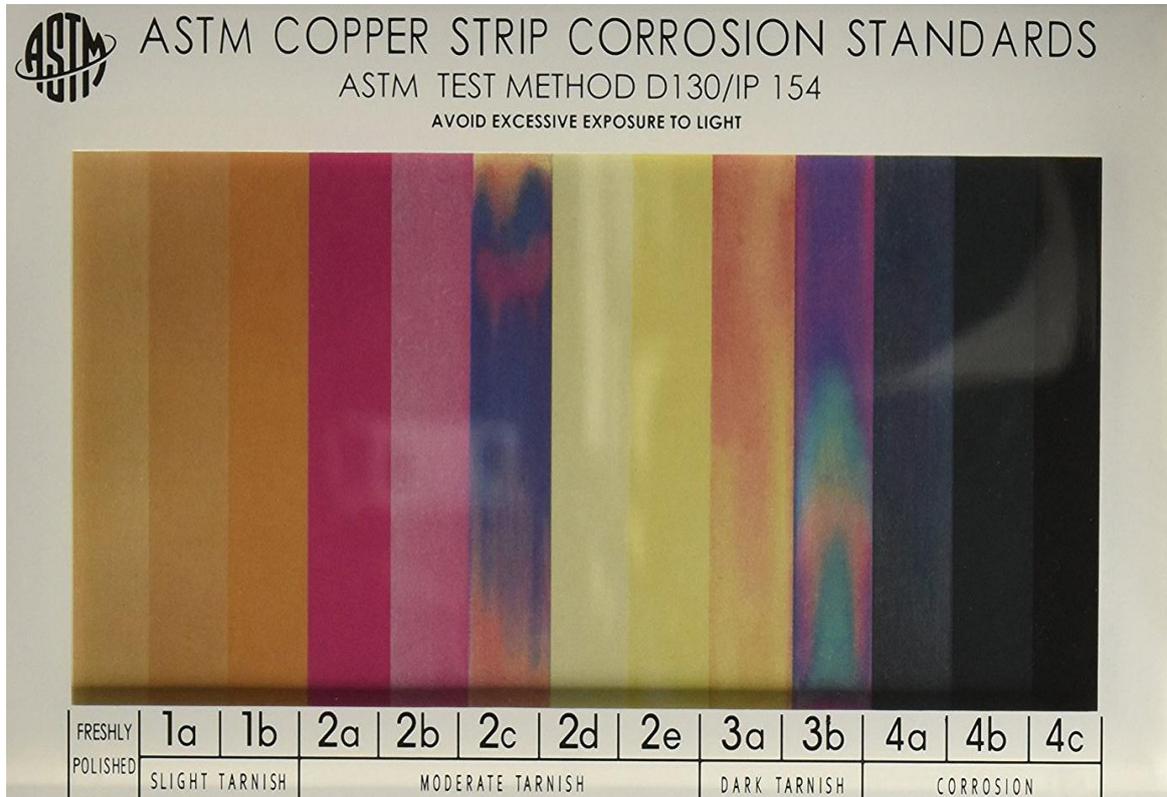


Figura. 46. Tabla patrón para ensayo de corrosión de lámina de cobre.  
(Castillo Hernández, Mendoza Domínguez, & Caballero Mata, 2011, pág. 17)