

## INFORMACIÓN IMPORTANTE

La Universidad Santo Tomás, informa que el(los) autor(es) ha(n) autorizado a usuarios internos y externos de la institución a consultar el contenido de este documento a través del Catálogo en línea de la Biblioteca y el Repositorio Institucional en la página Web de la Biblioteca, así como en las redes de información del país y del exterior con las cuales tenga convenio la Universidad.

Se permite la consulta a los usuarios interesados en el contenido de este documento, para todos los usos que tengan **finalidad académica**, nunca para usos comerciales ,siempre y cuando mediante la correspondiente cita bibliográfica se le dé crédito al trabajo de grado y a su autor.

De conformidad con lo establecido en el Artículo 30 de la Ley 23 de 1982 y el artículo 11 de la Decisión Andina 351 de 1993, la Universidad Santo Tomás informa que “los derechos morales sobre documento son propiedad de los autores, los cuales son irrenunciables, imprescriptibles, inembargables e inalienables.”

**Bibliotecas Bucaramanga**  
**Universidad Santo Tomás**

**ESTUDIO DE PRE FACTIBILIDAD PARA LA OBTENCIÓN DE BIOETANOL  
COMBUSTIBLE DE SEGUNDA GENERACIÓN EN EL DEPARTAMENTO DE  
SANTANDER.**

**EDINSON DARIO QUINTANA BALLEEN  
EDWIN CASTELLANOS CALA**

**UNIVERSIDAD SANTO TOMAS DE AQUINO  
FACULTAD DE INGENIERÍA INDUSTRIAL  
BUCARAMANGA  
2014**

**ESTUDIO DE PRE FACTIBILIDAD PARA LA OBTENCIÓN DE BIOETANOL  
COMBUSTIBLE DE SEGUNDA GENERACIÓN EN EL DEPARTAMENTO DE  
SANTANDER.**

**EDINSON DARIO QUINTANA BALLEEN  
EDWIN CASTELLANOS CALA**

**Proyecto Final para optar al título de Ingenieros Industriales.**

**Director(A)  
MSc. VIVIANA QUINTERO DALLOS  
Ing. Química**

**Co-Director.  
MSc. JAVIER ENRIQUE PEÑA MANOSALVA  
Geólogo.**

**UNIVERSIDAD SANTO TOMAS DE AQUINO  
FACULTAD DE INGENIERÍA INDUSTRIAL  
BUCARAMANGA  
2014**

## **DEDICATORIA**

Este proyecto va dedicado a Dios quien es el que nos ha dado la oportunidad de poder alcanzar la primera meta para el inicio de nuestra vida profesional.

A nuestras familias que han sido un apoyo incondicional a lo largo de nuestras vidas, brindándonos el más sincero amor y confianza.

## **AGRADECIMIENTOS**

A Dios por la vida y la oportunidad de poder avanzar en los objetivos y metas que tenemos propuestas, por guiarnos y permitir que lleguemos a esta etapa de nuestras vidas.

A nuestros padres por apoyarnos durante estos años de vida universitaria, guiándonos y animándonos para cumplir con la meta de ser ingenieros industriales.

A la Universidad Santo Tomas y a todos los docentes que hicieron parte de este proceso de formación, por brindarnos el conocimiento y experiencias necesarias para afrontar y tomar decisiones en nuestras vidas profesionales.

A nuestra Directora de proyecto VIVIANA QUINTERO DALLOS por su apoyo incondicional y su dedicación durante este proceso, que con su sapiencia supo guiarnos para la culminación de este proyecto.

## CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCIÓN	17
1. ESTUDIO DE PRE FACTIBILIDAD PARA LA OBTENCIÓN DE BIOETANOL COMBUSTIBLE DE SEGUNDA GENERACIÓN EN EL DEPARTAMENTO DE SANTANDER	20
1.1 Problema	20
1.1.1 Definición Del Problema	20
1.1.2 Formulación Del Problema	22
1.2 Justificación	22
1.3. Objetivos	25
1.3.1 Objetivo General.	25
1.3.2 Objetivos Específicos	25
1.4 Alcance	25
2. MARCO REFERENCIAL	26
2.1. Estado del arte	26
2.2 Marco conceptual	29
2.3 Marco histórico	32
2.3.1 Evolución De La Caña.	32
2.3.2 Evolución de la Caña Panelera en Santander.	33
2.3.3 Evolución de los Biocombustibles: bioetanol.	33
2.4 Marco teórico	34
2.4.1 Hoya Del Rio Suarez: Caña Panelera.	34
2.4.2 Características de cultivo: Temperatura	36
2.4.3 Suelos.	36
2.4.4 Bagazo.	36
2.4.5 Caña De Azúcar.	37
2.4.6 Biocombustibles: Bioetanol.	39
2.4.7 Bioetanol de Primera Generación.	42
2.4.8 Bioetanol de Segunda Generación.	43
2.4.9 Biomasa.	44
2.4.9.1 Biomasa residual.	44
3. METODOLOGÍA	46
3.1. Bibliometría	46
3.2 Modelamiento matemático	47
3.3 Estudio de pre-factibilidad	47

3.3.1 Estudio de Mercados.	47
3.3.2 Estudio Técnico.	47
3.3.3 Estudio Ambiental.	48
3.3.4 Estudio Legal.	48
3.3.5 Evaluación Financiera.	48
4. ANÁLISIS BIBLIOMÉTRICO	49
4.1 Introducción	49
4.2 Ficha técnica	51
4.3 La importancia de la investigación de la biomasa.	52
4.3.1 Biomasa para producir Electricidad.	53
4.3.2 Biomasa para producir Calor	53
4.3.3. Biomasa para producir Biocombustibles	53
4.4 Materiales y métodos.	54
4.5. Resultados	54
4.6 Tipos de documentos.	55
4.7 Los autores que más publicaron.	55
4.8 Países que más publicaron.	56
4.9 Universidades que más publicaron.	57
4.10 Lenguaje de comunicación.	57
4.11 Histórico de la investigación.	58
4.12 Consolidación de la información.	58
4.12.1 Primera Generación.	61
4.12.2 Segunda Generación.	62
4.13 Etapas de proceso: Segunda generación.	63
4.13.1 Proceso	64
4.13.2 Etapas.	66
4.13.2.1 Pre-Tratamiento.	66
4.13.2.2 Hidrolisis.	68
4.13.2.3 Fermentación	69
4.13.2.4 Separación.	71
4.14 Rutas tecnologicas para la produccion de bioetanol	71
4.14.1 Tecnología NREL.	72
4.14.2 Tecnología IOGEN.	72
4.14.3 Tecnología DELHI IIT.	72
4.14.4 Tecnología de REITH et al.	72
4.15 Conclusiones	73
5. MODELO MATEMÁTICO	74
5.1. Síntesis de procesos por programación matemática	75
6. ESTUDIO DE MERCADOS	80
6.1 Generalidades	80

6.2	Análisis del mercado	81
6.2.1	Caracterización del mercado del Bioetanol	81
6.2.2	Bioetanol de Segunda Generación	85
6.2.3	Identificación de los productos.	87
6.2.4	Producto principal.	88
6.2.5	Subproductos.	88
6.2.6	Ficha del bioetanol.	89
6.2.7	Usos del producto principal.	90
6.3	Demanda	91
6.3.1	Mercado.	91
6.3.2	Segmentación del mercado.	93
6.3.3	Materia Prima: El bagazo de Caña en Colombia.	95
6.4	Proyección de oferta y demanda (potencial).	96
6.5	Oferta	97
6.5.1	Insumos	97
6.5.2	Proveedores.	97
6.5.3.	Distribución	98
6.5.4	Demanda real vs Oferta real.	99
6.6	Precio	99
6.6.1	Precio del Bioetanol.	100
6.6.1.1	Comportamiento histórico de precios mensuales de bioetanol en Colombia.	100
6.6.1.2	Comportamiento actual del precio de Bioetanol	101
7.	ESTUDIO TÉCNICO	102
7.1	Actividades	102
7.2	Ficha técnica del bioetanol.	102
7.3	Caracterización del bioetanol.	103
7.4	Localización del proyecto	105
7.4.1.	Micro Localización.	106
7.5	Tamaño del proyecto.	108
7.5.1	Capacidad del Proyecto.	109
7.5.1.1	Capacidad Instalada	109
7.6	Abastecimiento	112
7.6.1	Materia Prima.	112
7.6.1.1	Requerimientos de Insumos.	112
7.7	Precio de la materia prima	113
7.8	Mano de obra.	114
7.8.1	Mano de Obra en Producción	114
7.8.2	Mano de obra directa.	115
7.8.3	Mano de Obra Indirecta	116
7.9	Análisis de proceso	116
7.9.1	Etapas de Proceso.	117
7.9.2	Descripción Del Proceso De Producción.	120

7.9.3 Maquinaria y Equipo.	123
8. ESTUDIO AMBIENTAL	124
8.1 Desarrollo de estudio ambiental	125
8.2 Legislación ambiental	126
8.3 Análisis ambiental: producción + limpia.	127
8.4 Aportes ambientales al desarrollo sostenible.	132
9. ESTUDIO LEGAL	133
9.1 Requisitos de calidad del producto	134
9.2 Normatividad en colombia	135
9.2.1 Decretos	135
9.2.2 Resoluciones	136
9.2.3 Circulares	137
9.2.4 Normas técnicas colombianas	137
10. EVALUACIÓN FINANCIERA	138
10.1 Supuestos	138
10.2 Presupuesto de inversiones	139
10.2.1 Inversión Capital Fijo Depreciable.	139
10.2.1.1 Maquinaria y Equipo.	139
10.2.1.2 Equipos de Oficina, Muebles y Enseres	141
10.2.1.3 Depreciación Capital Fijo	141
10.2.2 Inversión Capital Fijo no Depreciable	143
10.2.3 Inversión Del Proyecto.	143
10.3 Costos de producción.	144
10.3.1 Costos Directos.	145
10.3.2 Costo Indirectos de Fabricación	146
10.4 Gastos de administración.	147
10.5 Gastos de ventas.	148
10.6 Otros costos indirectos.	149
10.7 Costos totales de producción.	149
10.8 Incentivos financieros	150
10.8.1 Gobierno Nacional	150
10.8 Balance general inicial.	153
10.8.1 Balance General Inicial.	154
10.9 Ingresos por venta	155
10.9 Flujo de caja libre.	156
10.9.1 Flujo de Caja Libre.	156
10.9.1.1 Valoración.	158
10.9.2.2 Grafica de Recuperación de la Inversión.	159
10.10 Punto de equilibrio.	160

11. CONCLUSIONES	162
12. RECOMENDACIONES.	163
BIBLIOGRAFÍA	164
ANEXOS	168

## LISTA DE TABLAS

	<b>Pág.</b>
Tabla 1. Estado del arte bioetanol combustible	26
Tabla 2. Departamentos por producción de panela en Colombia y su participación en el mercado.	34
Tabla 3. Hoya Del Rio Suarez: Municipios de Santander y su área cultivada en Caña Panelera. Hectáreas de cultivo.	35
Tabla 4. Hoya Del Rio Suarez: Municipios de Boyacá y su área cultivada en Caña Panelera. Hectáreas de Cultivo.	36
Tabla 5. Composición del bagazo	37
Tabla 6. Composición de la Caña.	39
Tabla 7. Ficha Técnica.	51
Tabla 8. Primera búsqueda	54
Tabla 9. Segunda búsqueda	59
Tabla 10. Bioetanol de Primera Generación. Materia Primas.	61
Tabla 11. Bioetanol de Segunda Generación. Materia Prima.	62
Tabla 12. Tercera búsqueda	63
Tabla 13. Tecnologías de Pre-Tratamiento.	67
Tabla 14. Producción de Etanol en Latinoamérica para el año 2013.	81
Tabla 15. Proyectos en marcha para la producción de bioetanol	84
Tabla 16. Hoya El Rio Suarez: Municipios de Santander y su área cultivada en Caña Panelera. Hectáreas de cultivo.	86
Tabla 17. Potencial de producción. Zona objeto de estudio.	87
Tabla 18. Cubrimiento de la demanda.	87
Tabla 19. Ficha Técnica	89
Tabla 20. Marcas de bioetanol registradas en Colombia.	92
Tabla 21. Plantas de Etanol en Colombia y su Capacidad Instalada.	94
Tabla 22. Proyecciones bioetanol. Producción y consumo.	96
Tabla 23. Proveedores de bioetanol.	98
Tabla 24. Demanda real vs oferta real de Bioetanol Combustible.	99
Tabla 25. Comportamiento actual del precio del bioetanol.	101
Tabla 26. Ficha Técnica Del Bioetanol	102
Tabla 27. Ventajas del bioetanol Combustible.	104
Tabla 28. Cubrimiento de la demanda. Capacidad Instalada	110
Tabla 29. Proyección de la capacidad Utilizada del proceso.	111
Tabla 30. Cubrimiento de la demanda. Capacidad Utilizada	111
Tabla 31. Estimación de la Producción.	111
Tabla 32. Costos por concepto de servicios.	112
Tabla 33. Cantidad de Bagazo	113
Tabla 34. Precio de compra del Bagazo Seco. Año 2011.	113
Tabla 35. Costo de Materia prima	114
Tabla 36. Calculo de la Mano de Obra Necesaria en Producción.	115
Tabla 37. Mano de Obra Directa.	116

Tabla 38. Mano de Obra Indirecta	116
Tabla 39. Etapas De Proceso	117
Tabla 40. Descripción de proceso.	120
Tabla 41. Diagrama de Análisis de Procesos	122
Tabla 42. Maquinaria y Equipos.	123
Tabla 43. Estudio Ambiental.	125
Tabla 44. Impacto s causados por la obtención de bioetanol combustible	129
Tabla 45. Leyes dentro del marco Legal.	133
Tabla 46. Resolución 2200 de 2005, requisitos de calidad del etanol anhidro combustible utilizado como componente oxigenante de gasolinas.	134
Tabla 47. Supuestos para la Evaluación Financiera	138
Tabla 48. Costo de Maquinaria y Equipo.	140
Tabla 49. Costos Muebles y Enseres.	141
Tabla 50. Costos Equipos de Oficina.	141
Tabla 51. Depreciación Maquinaria y Equipo de Producción.	142
Tabla 52. Depreciación Muebles y Equipos de Oficina.	143
Tabla 53. Presupuesto de Inversiones.	144
Tabla 54. Costo de Materia Prima.	145
Tabla 55. Costo de Insumos	145
Tabla 56. Costo MOD	146
Tabla 57. Costo MOI	146
Tabla 58. Costo de servicios.	147
Tabla 59. Gastos de administración.	147
Tabla 60. Sueldos Administrativos.	147
Tabla 61. Gastos de Venta.	148
Tabla 62. Sueldos de Ventas.	148
Tabla 63. Otros Costos Indirectos.	149
Tabla 64. Costos de Producción.	149
Tabla 65. Balance general.	154
Tabla 67. Ingresos.	155
Tabla 68. Valoración.	159
Tabla 69. Punto de Equilibrio.	160

## LISTA DE FIGURAS

	<b>Pág.</b>
Figura 1. Localización de las plantas productoras de alcohol carburante.	38
Figura 2. Caña.	39
Figura 3. Procesos Comparativos de Primera y Segunda Generación del Bioetanol.	44
Figura 4. Bioetanol.	88
Figura 5. Zonas potenciales para producir bioetanol en Colombia.	106
Figura 6. Municipios de la Hoya del Rio Suarez.	107
Figura 7. Municipio de Barbosa. Vereda Santa Rosa.	108
Figura 8. Diagramas de Bloques de Proceso	121
Figura 9. Tipos de Estudio de Impacto Ambiental.	124
Figura 10. Motivaciones para el Estado	152
Figura 11. Motivaciones del Estado para el país.	153

## LISTA DE GRAFICOS

	<b>Pág.</b>
Grafico 1. Ventajas de los Biocombustibles.	40
Grafico 2. Histórico de producción de Etanol en Colombia.	41
Grafico 3. Desventajas de los Biocombustibles.	42
Grafico 4. Los 10 Autores con más publicaciones.	55
Grafico 5. Artículos publicados por país.	56
Grafico 6. Universidades que más publicaron.	57
Grafico 7. Artículos por Año.	58
Grafico 8. Artículos por País.	59
Grafico 9. Artículos por año	60
Grafico 10. Artículos Publicados por País.	63
Grafico 11. Artículos por año	64
Grafico 12. Etapas de proceso para la producción de bioetanol lignocelulosico.	65
Grafico 13. Proceso de Separación de Hidrólisis y Fermentación.	70
Grafico 14. Proceso de sacarificación y fermentación simultánea.	71
Grafico 15. Superestructura de Etapas.	79
Grafico 16. Ruta Sintetizada.	79
Grafico 17. Producción de bioetanol en Colombia.	83
Grafico 18. Principales usos del etanol.	91
Grafico 19. Proyección de la Demanda de gasolina en Colombia.	92
Grafico 20. Producción y venta de alcohol carburante en el país.	94
Grafico 21. Usos del Bagazo.	95
Grafico 22. Determinantes del precio Nacional de Etanol.	100
Grafico 23. Comportamiento Histórico promedio de precios de bioetanol en Colombia. (\$/Galón).	101
Grafico 24. Recuperación de la Inversión.	160
Grafico 25. Punto de Equilibrio.	161

## ANEXOS

	<b>Pág.</b>
Anexo A. Nomina.	168
Anexo B. Amortización de la Deuda.	180
Anexo C. Índices Economicos.	182

## RESUMEN

**TITULO:** ESTUDIO DE PRE FACTIBILIDAD PARA LA OBTENCIÓN DE BIOETANOL COMBUSTIBLE DE SEGUNDA GENERACIÓN EN EL DEPARTAMENTO DE SANTANDER.

**AUTORES:** QUINTANA BALLEEN, Edinson Darío  
CASTELLANOS CALA, Edwin.

**PALABRAS CLAVE:** Bioetanol Lignocelulosico, Caña Panelera, Bagazo, Ruta de Proceso, Pre Factibilidad.

**DESCRIPCIÓN:** Este proyecto es un estudio de pre factibilidad para la obtención de Bioetanol Combustible de Segunda Generación en el Departamento de Santander; con el fin de conocer la viabilidad del proceso productivo, la cual tendrá como producto principal Bioetanol Combustible.

El proyecto inicio con un proceso de investigación, basado en fuentes secundarias, desarrollándose en primera instancia una revisión bibliográfica de Artículos científicos a través de bases de datos.

La metodología aplicada en el presente documento detalla una serie de etapas: Empezando por un Análisis Bibliométrico para la consolidación de información, seguida de un Modelamiento matemático para la elección de la ruta Óptima de producción. Posteriormente se realiza un Estudio de Pre Factibilidad que contiene: Análisis de mercado, donde se evidencia el mercado potencial y se muestra una demanda existente. El aspecto técnico presenta la descripción de la planta, la maquinaria, materia prima, capacidad y proceso de producción. Seguido de un diagnóstico ambiental, así como la identificación de requisitos y normas legales vigentes y por último la evaluación financiera que muestra el detalle de la inversión, proyecciones de ventas, costos e ingresos, estado de resultados, flujo de caja y balance general.

## INTRODUCCIÓN

La base para la industrialización de los países desarrollados fue el uso de forma masiva y paulatina de combustibles fósiles y en la actualidad sigue siendo un elemento principal de los procesos de cambio económico que caracterizan a los países más poblados del mundo.<sup>1</sup>

La dependencia respecto al uso de combustibles fósiles ha generado dos tipos de preocupaciones: por un lado, los impactos ambientales asociados como las emisiones de CO<sub>2</sub> y, en especial, sus efectos en el cambio climático del planeta; por otro lado, cabe resaltar que se ha generado la posibilidad de que exista cierta limitación de las reservas petrolíferas y se habla de su futuro agotamiento.

Es por esto que a nivel mundial se hace necesario realizar investigaciones asociadas al tema, para así encontrar energías renovables no convencionales, las cuales puedan sustituir esta fuente de energía emitiendo menor cantidad de gases contaminantes a la atmosfera, evitando así los problemas ambientales y de abastecimiento en un futuro.

Es aquí donde entran en el escenario energético los llamados biocombustibles líquidos, los cuales son obtenidos a partir de diferentes cultivos alimenticios ricos en azúcares. Los principales productores a nivel mundial son Estados Unidos, el cual utiliza el maíz como materia prima y, Brasil el cual utiliza la caña de azúcar como materia prima. Estos biocombustibles son llamados de primera generación.

Los biocombustibles están en pleno desarrollo y cada día se está considerando la posibilidad de su uso; ya que podrían sustituir momentáneamente a los combustibles fósiles, brindando solución a los problemas anteriormente mencionados, ya que generan un menor impacto ambiental y tienen la posibilidad de crear un ciclo energético, el cual disminuye las emisiones de CO<sub>2</sub>.

Sin embargo, actualmente se está diversificando la producción de biocombustibles, en este caso particular el bioetanol, ya que a nivel mundial se ha

---

<sup>1</sup> SALAET FERNANDEZ, Stéphane y ROCA JUSMET, Jordi. *Agotamiento de los Combustibles fósiles y emisiones de CO<sub>2</sub>*. UNIVERSIDAD DE BARCELONA. [en línea]. 24 de marzo de 2010. [citado en septiembre 2 de 2014]. Disponible en internet < [usc.es/econo/RGE/Vol19\\_1/castelan/art1c.pdf](http://usc.es/econo/RGE/Vol19_1/castelan/art1c.pdf) >

generado el debate en cuanto a la utilización de los cultivos, ya que estos cultivos tiene valor alimenticio y se están utilizando para fuentes energéticas. Debido a esto aparece el concepto de Biocombustibles de segunda generación, en el cual se utilizan como materias primas desechos agrícolas sin valor alimenticio y con altos rendimientos.

Cabe resaltar que este tipo de biocombustibles se encuentra aún en etapa de investigación y desarrollo a escalas experimentales y no se producen comercialmente.

En Colombia, el bioetanol se produce principalmente en la región del Valle del río Cauca a partir del procesamiento de la caña de azúcar; para el presente estudio se tuvo en cuenta la Región de la Hoya del río Suárez debido a la disponibilidad de cultivos y por lo tanto de materias primas, considerando la utilización del bagazo de caña, el cual es un residuo del proceso de extracción del jugo de la caña, con el fin de diversificar el uso de estas materia primas, teniendo en cuenta su disponibilidad en la región ya que para el año 2011 se encontraban cultivadas 8.117<sup>2</sup> Ha teniendo un rendimiento de 183.001 Toneladas de Bagazo, sin la necesidad de tener que cultivas nuevas tierras.

Teniendo en cuenta lo anterior, en el presente estudio se pretende analizar la viabilidad del proceso de obtención de bioetanol de segunda generación a partir del bagazo de la caña en la región de la Hoya del Río Suárez, planteando tres objetivos que serán descritos a continuación.

En primera instancia se realizó un ejercicio de bibliometria con el fin de consolidar la información concerniente al tema de investigación planteado, en cual consta de materias primas, procesos productivos y tecnologías de procesamiento presentes en el bioetanol de segunda generación.

En segunda instancia se realizó un modelo matemático en un software llamado Lingo con el fin de dar a conocer las diferentes rutas tecnológicas de producción de bioetanol de segunda generación.

---

<sup>2</sup>.INSTITUTO COLOMBIANO DE DESARROLLO *RURAL*. *ADR hoya del rio Suarez*. [en línea]. S.f. [citado en 3septiembre 3 de 2014]. Disponible en internet < /www.incoder.gov.co/ADR\_Hoya\_del\_rio\_Suarez/ADR\_Hoya\_del\_rio\_Suarez.aspx >

Y en tercera instancia se realizó un estudio de Pre factibilidad consolidando aspectos del mercado, aspectos técnicos, aspectos ambientales y Legales con el fin de desarrollar la evaluación financiera del estudio y discutir sobre su viabilidad.

# 1. ESTUDIO DE PRE FACTIBILIDAD PARA LA OBTENCIÓN DE BIOETANOL COMBUSTIBLE DE SEGUNDA GENERACIÓN EN EL DEPARTAMENTO DE SANTANDER

## 1.1 PROBLEMA

**1.1.1 Definición Del Problema.** Colombia es un país que cuenta con un alto potencial agroindustrial y por esta razón los biocombustibles pueden constituir una estrategia sostenible para suplir la demanda energética; cumpliendo con tres objetivos básicos: reducir la dependencia de los combustibles de origen fósil, mejorar las condiciones ambientales y generar empleo en las zonas alejadas a los centros urbanos.

El proyecto de producción de bioetanol, inicia en el año 2005, en la región del valle del río Cauca, con la participación de 5 ingenios azucareros, quienes implementaron destilerías anexas a su procesos tradicionales de azúcar, para la producción de bioetanol; logrando una producción de 35 millones de litros, aproximadamente en el año 2013<sup>3</sup>, utilizados básicamente en el sector transporte como oxigenante de la gasolina en una proporción E8.

En otras zonas geográficas también se han propuesto proyectos para la producción de bioetanol; en este sentido, la región que comprende la hoya del río Suárez, conformada por municipios de Santander y Boyacá, fue proyectada para convertirse en un complejo agroindustrial en la producción de bioetanol combustible, utilizando la materia prima de la caña panelera.

La MADR (Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural justificó el proyecto como una gran posibilidad para promover y estandarizar el sector panelero incluyéndolo en un nuevo modelo de producción orientado a los agro combustibles renovables, logrando la participación de la pequeña economía campesina existente en la región en este mercado a partir de la diversificación y distribución de sus productos y de esta forma contribuir al desarrollo agrícola regional. En un informe sobre la producción de la caña panelera en Santander para agro combustibles renovables, se argumenta que, “la posibilidad de obtener riqueza mediante la explotación de un mismo producto para otros fines ha propiciado un reordenamiento en los procesos y una mayor atención a las regiones y se

---

<sup>3</sup> REVISTA TECNICAÑA No. 23, *septiembre de 2009*. [citado en *septiembre 3 de 2014*]. ISSN 0123 – 0409. Disponible en internet en: [http://www.tecnicana.org/pdf/2009/tec\\_no23\\_2009.pdf](http://www.tecnicana.org/pdf/2009/tec_no23_2009.pdf).

constituye en la actualidad en un sector de mucha importancia para el país, con la relevancia adquirida con el proyecto de “Alcoholes Carburantes” extraídos de la caña.<sup>4</sup>

Para lograr estos propósitos, desde el año 2004 se proyectó la construcción de dos plantas destiladoras de alcohol carburante. Ha sido un proceso tedioso y complicado que inicialmente creó amplias expectativas para grandes inversionistas del etanol y estimuló a medianos y pequeños productores de caña panelera en la región presionando procesos de especialización agrícola para atender la demanda del mercado agro energético.<sup>5</sup> Los pequeños y grandes productores de la región analizaban que la construcción de la planta demandada más producción de caña panelera, lo cual era una excelente noticia para ellos ya que iban a aumentar sus ventas y utilidades ya que se iba a crear un mercado alrededor de la región en cuestión.

Finalmente de los dos proyectos sólo uno se ha podido concretar, corresponde a un proyecto experimental y no al estimado por la empresa privada, llamado COMPLEJO AGROINDUSTRIAL ALCOL RIO SUAREZ. Alcoholes de Colombia S.A. - Alcol S.A.<sup>6</sup> empresa encargada de las etapas y fases para la realización del proyecto, mediante una licitación, planteo utilizar el proceso de desagregación molecular del bagazo de la caña, con el cual se deseaba obtener almidón y a partir de este obtener alcohol, utilizando tecnología Italiana, con un requerimiento de 4.000 ton/día de materia prima de caña y con una obtención de etanol del 99.99% de pureza. Una inversión de US\$21.000.000 para la construcción y montaje de la planta.

Este proyecto se inauguró en octubre de 2008, el cual consistió en una planta piloto de etanol en Barbosa (Santander), con presencia del entonces presidente de la república Álvaro Uribe Vélez y el ministro de agricultura y desarrollo rural Andrés Felipe Arias Leiva, con una capacidad de producción de 5 mil litros/día de etanol, para la cual el Ministerio de Agricultura asignó 5 mil 500 millones.<sup>7</sup>

En cuanto al otro proyecto, en este momento la planta que se esperaba estuviera instalada para el 2009, en el 2 Km., del municipio de Güepsa vía San Benito,

---

<sup>4</sup> MOJÍCA, PIMIENTO Almircar y Paredes, Vega Joaquín. *El cultivo de la caña panelera y la agroindustria panelera en el departamento de Santander*. Centro Regional de Estudios Económicos de Bucaramanga. Banco de la República de Colombia. Diciembre de 2004.

<sup>5</sup> BUSTOS URIBE, M.A. (2006) "*Alcohol carburante: impacto socio-económico en la región de la Hoya del Río Suárez*". Disponible en Internet en: <http://www.eumed.net/cursecon/ecolat/co/06/mabo.htm>.

<sup>6</sup> RIO SUAREZ. Alcol Disponible en Internet: <http://alcolriosuarez.com/espanol/index.html>.

<sup>7</sup> CORPORACIÓN COLOMBIANA DE INVESTIGACIÓN AGROPECUARIA. CORPOICA. Disponible en Internet: [http://www.corpoica.org.co/sitioweb/Noticias/vernoticia.asp?id\\_noticia=877](http://www.corpoica.org.co/sitioweb/Noticias/vernoticia.asp?id_noticia=877).

destilando 150.000 litros de etanol al día y con una capacidad de 300.000 litros diarios, nunca se construyó, generando así gran descontento por parte de los habitantes de la región ya que se generó sobreproducción panelera y debido a esto se acrecentó la oferta por parte de los productores y por lo tanto los precios bajaron al no haber la demanda esperada.

Sin embargo, estas planta no son funcionales como industria independiente si no que tiene que ir ancladas a otra industria con mayor poder para lograr su óptimo funcionamiento.

Con base en los aspectos mencionados anteriormente, en el presente estudio se plantea una ruta de procesamiento para la obtención de bioetanol combustible, la cual será sintetizada a partir de un modelo matemático evaluado a partir de parámetros técnicos; por otro lado, a partir del estudio de pre factibilidad se podrán establecer recomendaciones base para futuros estudios de factibilidad.

### **1.1.2 Formulación Del Problema**

¿Qué tan factible es promover la obtención de bioetanol combustible de segunda generación a partir del bagazo de la caña panelera en el departamento de Santander?

## **1.2 JUSTIFICACIÓN**

Teniendo en cuenta que se encuentran sembradas 19.508 hectáreas de caña panelera para el año 2011 en la región de la Hoya del rio Suarez en el Departamento de Santander y Boyacá<sup>8</sup> surge la idea de realizar un estudio de pre-factibilidad para la obtención de bioetanol combustible de segunda generación con el fin de incentivar producción de bioetanol en la región sin la necesidad de tener más tierras cultivadas.

Una estrategia es la utilización del bagazo de la caña panelera de la Hoya del Rio Suarez como materia prima principal, teniendo en cuenta que teóricamente por una (1) tonelada de bagazo se producen setenta y cinco (75) litros de etanol, a partir de este proceso se pueden obtener compuestos de vital importancia para la economía tales como lignina y xilitol, furfural utilizados en la industria de los

---

<sup>8</sup> INSTITUTO COLOMBIANO DE DESARROLLO RURAL, Op. Cit., p. 1.

plásticos o en algunos caso como fuentes de energía eléctrica, lo cual podría potencializar la economía santandereana bajo el concepto de biorefinería.

Un aspecto de vital importancia es la incidencia y el aporte de los biocombustibles al sector transportes en Colombia. Según la Federación Colombiana de Biocombustibles la producción de etanol en Colombia es de 1.200.000 litros por día en seis destilerías<sup>9</sup> – cinco (5) en el valle del río Cauca con caña de azúcar y una (1) en el departamento del Meta con yuca amarga -, con lo cual es posible reemplazar 8,5% de las gasolinas que se consumen en el país, en el sistema de transporte pesado de carga y pasajeros, como de equipos industriales. En el 2020, la meta es alcanzar mezclas de etanol-gasolina y biodiesel-diésel, del 20%.

Un hecho relativamente significativo es la contaminación que genera los productos derivados del petróleo, con la mezcla de solo 10% de etanol con la gasolina, se disminuyen en 27% las emisiones de monóxido de carbono en carros nuevos, 45% en carros típicos colombianos de 7-8 años de uso y 20% de hidrocarburos<sup>10</sup> no quemados a nuestra atmósfera por lo cual surge la necesidad de introducir técnicas que conlleven a la mejora de la contaminación del medio ambiente.

A nivel mundial, se están realizando proyectos para obtener bioetanol combustible de segunda generación. La empresa llamada Beta Renewables y la empresa biotecnológica Novozymes presentaron el pasado 11 de octubre de 2013 en Crescentino (Italia) la planta más grande destinada a producir bioetanol comercial de segunda generación. De ella saldrán 75 millones de litros al año, elaborados a partir de residuos agrícolas obtenidos de la caña.<sup>11</sup>

La planta emplea como materia primas la paja de trigo y de arroz, además de caña. A parte de obtener bioetanol comercial, utilizan la lignina extraída durante el proceso de producción del etanol para cubrir las necesidades energéticas de toda la planta e incluso poder alimentar a una subestación eléctrica local.

---

<sup>9</sup> FEDERACIÓN NACIONAL DE BIOCMBUSTIBLES EN COLOMBIA. Cifras estadísticas del sector. [en línea]. Mayo de 2014. [citado en septiembre 3 de 2014]. Disponible en internet en: <fedebiocombustibles.com/v3/estadistica-mostrar\_info-titulo-Alcohol\_Carburante\_%28Etanol%29.htm >

<sup>10</sup> CONFEDERACIÓN EMPRESARIAL DEL CAMPO DE COLOMBIA. CONFECAMPO. *Informe "Alcohol Carburante, situación actual y perspectivas"*. [en línea]. S.f. [citado en 3 de septiembre de 2014]. Disponible en Internet en: < confecampo.com/estadisticas/PRESENTACION%20ETANOL.ppt >

<sup>11</sup> ENERGÍAS RENOVABLES. *Primera planta de Etanol combustible de segunda generación a gran escala*. S.f. [citado en Septiembre 5 de 2014]. Disponible en internet < energias-renovables.com/articulo/primera-planta-de-produccion-de-etanol-de-20131011 >

El presente estudio se enfocara principalmente en el departamento de Santander, (proyecto hoya del rio Suarez) región donde se han llevado a cada diversos proyectos y estudios acerca de la producción de bioetanol aprovechando el potencial de caña panelera en esta región. La producción de panela de lleva a cabo en agroindustrias rurales en las cuales la tecnología y mano de obra empleada en su proceso son poco sofisticadas. La elaboración del producto se realiza en economía campesina y además de elaborar un producto de gran consumo, vincula cerca de 370.000 personas. Los municipios con la mayor área de caña panelera son Chitaraque (Boyacá), con 4855 hectáreas y San Benito (Santander), 2.598 hectáreas para el año 2011<sup>12</sup>; es relevante anotar que la Hoya del Río Suárez produce el 30% de la panela que se comercializa y distribuye en el país.

*“La producción de panela está amarrada a la identidad de los habitantes de la Hoya del río Suárez porque hay un fenómeno micro climático considerado como único en el mundo: se presentan siete microclimas en menos de 24 horas, lo que hace que la concentración de sacarosa en la caña sea mucho más alta que la del promedio nacional”,* explica la especialista diana patricia borrero especialista en desarrollo económico local y marketing territorial.

La Hoya del Suárez comercializa panela, principalmente con Bogotá, Bucaramanga, Cúcuta, Villavicencio y Medellín. De Santana (Boyacá), salen para Bogotá 3.008 toneladas, Vélez (Santander) envía 1.925 Toneladas constituyéndose la ciudad de Bogotá el mayor cliente para la panela de la región.<sup>13</sup>

Este proyecto se va a realizar por medio de la necesidad de establecer un punto de equilibrio en la producción de Bioetanol de segunda generación en Santander a partir de la introducción de mecanismos para la elaboración de nuevos subproductos en el proceso del bioetanol, aprovechando el potencial productivo de caña panelera en la región, plantearemos una serie de alternativas o casos mediante rutas con el fin de evaluar las posibles soluciones al problema planteado.

---

<sup>12</sup> Producción de panela como estrategia de diversificación en la generación de ingresos en áreas rurales de América Latina. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. RODRIGUEZ, Gonzalo, GARCIA, Hugo y SANTACOLOMA, Pilar. Roma. 2004. Disponible en Internet < [fao.org/fileadmin/user\\_upload/ags/publications/AGSF\\_WD6s.pdf](http://fao.org/fileadmin/user_upload/ags/publications/AGSF_WD6s.pdf). >

<sup>13</sup> INSTITUTO COLOMBIANO DE DESARROLLO RURAL, Op. Cit., p. 1.

### **1.3. OBJETIVOS**

#### **1.3.1 Objetivo General.**

Realizar un estudio de pre-factibilidad para la obtención de bioetanol combustible de segunda generación a partir del bagazo de la caña panelera en la región de la hoya del río Suárez del departamento de Santander.

#### **1.3.2 Objetivos Específicos**

- Identificar las tecnologías en cada etapa de procesamiento de bioetanol denominado segunda generación a través de un ejercicio de bibliometría.
- Sintetizar a partir de modelamiento matemático una ruta para la producción de bioetanol teniendo en cuenta las condiciones de la zona de estudio.
- Realizar el estudio de Pre-factibilidad de la ruta escogida.

### **1.4 ALCANCE**

El proyecto que se plantea incluye tres etapas principales, la primera es la elaboración del estado del arte sobre producción de bioetanol que incluye materias primas, tecnologías para cada etapa de procesamiento, procesos actuales en demostración, entre otros. Como segunda etapa, teniendo en cuenta la información obtenida del estudio de bibliometría, se sintetizará una ruta de procesamiento mediante un modelo matemático y finalmente en la tercera etapa se realizará un estudio de pre-factibilidad para la ruta sintetizada, teniendo en cuenta las condiciones de la región.

## 2. MARCO REFERENCIAL

A continuación se describen los aspectos conceptuales, históricos, teóricos y legales a considerar en el desarrollo del presente proyecto.

### 2.1. ESTADO DEL ARTE

A continuación se determinan algunos de los numerosos estudios recientes a nivel mundial y nacional sobre el uso y obtención de bioetanol combustible de primera y segunda generación, lo cual corresponde a la temática a desarrollar en el presente estudio de factibilidad.

**Tabla 1. Estado del arte bioetanol combustible**

A NIVEL MUNDIAL			
PROYECTO	AUTOR	AÑO	DESCRIPCIÓN
<p><b>PROYECTO DE IMPLEMENTACION DE UNA PLANTA PRODUCTORA DE ETANOL EN BASE A LA CAÑA DE AZÚCAR, EN LA PENÍNSULA DE SANTA ELENA, PROVINCIA DEL GUAYAS<sup>14</sup></b></p>	<p>Gary Cox Tóala Juana Irene Astudillo Constantino Tobalina Facultad de Ciencias Humanísticas y Económicas ESPOL</p>	<p>2008</p>	<p>Con las crisis recurrentes de los precios del petróleo a nivel internacional y las consecuentes Repercusiones en las economías de los países en vía de desarrollo, la búsqueda de productos capaces de reducir la dependencia del petróleo es una tarea importante y urgente. Desde esta perspectiva, este proyecto de producción y comercialización de etanol como producto sustituto de los combustibles reviste una importancia capital.</p> <p>Para la elaboración de este proyecto, se ha usado una metodología mixta donde se combinó la investigación documental con el trabajo de campo</p>

<sup>14</sup> ESPOL *proyecto de implementación de una planta productora de etanol en base a la caña de azúcar, en la península de santa Elena, provincia del guayas. TOALA, Gary, ASTUDILLO Y TOBALINA, Constantino. [en línea]. S.f. [citado en 10 de Septiembre de 2014]. Disponible en internet < [dspace.espol.edu.ec/bitstream/123456789/1463/1/2937.pdf](http://dspace.espol.edu.ec/bitstream/123456789/1463/1/2937.pdf) >*

<b>A NIVEL MUNDIAL</b>			
<b>PROYECTO</b>	<b>AUTOR</b>	<b>AÑO</b>	<b>DESCRIPCIÓN</b>
<b>PROYECTO DE VIABILIDAD DE UNA PLANTA DE BIOETANOL CON UN SISTEMA DE COGENERACIÓN<sup>15</sup></b>	Jesús Alberto Álvarez Carlos Salamanca Fresno Ricardo Fernández	2010	El Proyecto tiene como objetivo determinar la viabilidad técnica y económica de una planta de bioetanol con un sistema de cogeneración desde la recepción de la materia prima hasta la comercialización del producto.
<b>AGRO ENERGÍA EN AMÉRICA LATINA<sup>16</sup></b>	THOMAS FRITZ	2008	Este estudio describe la política estatal en materia de agro energía de estos países y sus Posibles impactos. En el centro de esta investigación estarán las consecuencias de esta política para los grupos sociales más desfavorecidos: campesinos sin tierras indígenas y trabajadores rurales. Además se consideraran los cambios observados en el uso de la tierra que pueden tener un impacto significativo sobre la seguridad alimentaria

<sup>15</sup>EOI Viabilidad de una planta de bioetanol con un sistema de cogeneración. ALVAREZ, Jesús, SALAMANCA, Carlos y FERNANDEZ, Ricardo. S.f. [en línea]. [Citado en Septiembre 14 de 2014]. Disponible en internet < [api.eoi.es/api\\_v1\\_dev.php/fedora/asset/eoi:48401/componente48399.pdf](http://api.eoi.es/api_v1_dev.php/fedora/asset/eoi:48401/componente48399.pdf) >

<sup>16</sup>Biocombustibles de segunda generación y Biodiesel: Una mirada a la contribución de la Universidad de los Andes. GONZALES, Andres, JIMENEZ, Isabel y RODRIGUEZ, Manuel. Bogotá. Noviembre 27 de 2008. [citado en septiembre 20 de 2014]. Disponible en internet en < [revistaing.uniandes.edu.co/pdf/a%2028%20corr.pdf](http://revistaing.uniandes.edu.co/pdf/a%2028%20corr.pdf) >

## A NIVEL NACIONAL

<p>BIOCOMBUSTIBLES DE SEGUNDA GENERACIÓN Y BIODIESEL: UNA MIRADA A LA CONTRIBUCIÓN DE LA UNIVERSIDAD DE LOS ANDES<sup>17</sup></p>	<p>ANDRÉS FERNANDO GONZÁLEZ</p> <p>ISABEL CRISTINA JIMÉNEZ</p> <p>MANUEL RODRÍGUEZ SUSANA</p> <p>SILVIA RESTREPO</p> <p>JORGE MARIO GÓMEZ</p>	<p>2008</p>	<p>Este artículo trata de resumir los aportes en el desarrollo de tecnologías que ha hecho la universidad de los andes en los últimos años relacionados con su producción. Dichos esfuerzos se han dirigido en gran parte en el uso de subproductos como por ejemplo la tusa de la palma de aceite o residuos domiciliarios en la producción de etanol, obtención de hidrógeno y combustibles líquidos a partir de digestión anaerobia y pirolisis respectivamente</p>
<p>OPTIMIZACIÓN DE LA CADENA DE VALOR DEL BIO-ETANOL A PARTIR DE LA CAÑA DE AZÚCAR Y LA YUCA<sup>18</sup></p>	<p>MIGUEL JALLER MARTELO</p>	<p>2006</p>	<p>Se pretende entonces desarrollar herramientas de soporte a la toma de decisiones útiles para los integrantes de la cadena de bioetanol a partir de la yuca y la caña de azúcar promoviendo el conocimiento de las ventajas y de las posibilidades que existen para implementarlas como herramienta esencial para mejorar significativamente los niveles de competitividad sectorial</p>

<sup>17</sup> Ibid., P. 75

<sup>18</sup> JALLER, Miguel. Optimización de la cadena de valor del bio-etanol a partir de la caña de azúcar y la yuca. Barranquilla. [en línea]. 2006. [citado en 18 de Septiembre de 2014]. Disponible en internet < [manglar.uninorte.edu.co/bitstream/handle/10584/87/72311675.pdf?sequence=1](http://manglar.uninorte.edu.co/bitstream/handle/10584/87/72311675.pdf?sequence=1) >

## A NIVEL LOCAL

<p>Análisis del ciclo de vida para la producción de biodiesel a partir de aceite de higuera y etanol<sup>19</sup></p>	<p>ALVARO JOSE PEREZ CORTES</p> <p>KELLY JOHANA DUMAR OYOLA</p>	<p>2011</p>	<p>En este trabajo, el análisis del ciclo de vida permitió evaluar estos efectos para la producción de biodiesel a partir de aceite de higuera, asociándose para tal fin los flujos másicos y energéticos de entrada y salida de todos los procesos involucrados</p>
<p>Alcohol carburante: impacto socio-económico en la región de la Hoya del Río Suárez<sup>20</sup></p>	<p>MIGUEL ANGEL BUSTOS URIBE</p>	<p>2006</p>	<p>En este documento se tratará de medir el impacto de un proyecto de inversión de gran magnitud como la implementación de la Planta de Producción de Alcohol Carburante en la Hoya del Río Suárez</p>

Fuente: Elaboración de los Autores del Proyecto.

## 2.2 MARCO CONCEPTUAL

El presente proyecto consta de un estudio de factibilidad, por medio del cual se seleccionarán los mejores aspectos referentes a variables de consumo, técnicas, financieras y administrativas acudiendo a la información primaria y secundaria para identificar todas las variables que afectan su comportamiento.

Por ende, para una mejor comprensión del documento se definen a continuación los principales términos referentes al desarrollo, contenido y ejecución del presente proyecto:

- **EVALUACIÓN FINANCIERA:** La evaluación puede considerarse como aquel ejercicio teórico mediante el cual se intentan identificar, valorar y comparar

<sup>19</sup> PEREZ, Alvaro y DUMAR, Kelly. Análisis del ciclo de vida para la producción de biodiesel a partir de aceite de higuera y etanol. [en línea]. Bucaramanga, 2011. [citado en septiembre 20 de 2014]. Disponible en internet < tangara.uis.edu.co/biblioweb/tesis/2011/142298.pdf >

<sup>20</sup> BUSTOS Uribe, M.A. (2006) "Alcohol carburante: impacto socio-económico en la región de la Hoya del Río Suárez Disponible en internet: <http://www.eumed.net/coursecon/ecolat/co/06/mabo.htm>

entre sí los costos y beneficios asociados a determinadas alternativas de proyecto con la finalidad de coadyuvar a decidir la más conveniente.<sup>21</sup>

- **TASA INTERNA DE RETORNO (TIR):** La tasa interna de retorno de una inversión o proyecto es la tasa efectiva anual compuesto de retorno o tasa de descuento que hace que el valor actual neto de todos los flujos de efectivo (tanto positivos como negativos) de una determinada inversión igual a cero.<sup>22</sup>
- **VALOR PRESENTE NETO (VPN):** El valor presente neto de un proyecto es el valor presente de los ingresos actuales y futuros menos el valor presente de los costes actuales y futuros.<sup>23</sup>
- **ANALISIS BIBLIOMETRICO:** La aplicación de los métodos estadísticos y matemáticos dispuestos para definir los procesos de la comunicación escrita y la naturaleza y el desarrollo de las disciplinas científicas mediante técnicas de recuento y análisis de dicha comunicación.<sup>24</sup>
- **SOFTWARE LINGO:** es el lenguaje de modelación matemática, este lenguaje permite expresar el problema de una manera natural, similar a la notación matemática standard. Además de poder ingresar cada término de cada restricción explícitamente, LINGO permite expresar una serie de restricciones similares en una sola sentencia compacta<sup>25</sup>.
- **EL BAGAZO DE CAÑA:** se produce como consecuencia de la fabricación de azúcar y constituye un subproducto de esta producción. Es un combustible natural para producir vapor en las fábricas azucareras. Es un material fibroso, heterogéneo en cuanto a su composición granulométrica y estructural, que presenta relativamente baja densidad y un alto contenido de humedad, en las condiciones en que se obtiene del proceso de molienda de la caña.<sup>26</sup>
- **BIOCOMBUSTIBLES:** Los biocombustibles se producen orgánicamente y a diferencia de los combustibles fósiles son una fuente de energía renovable. Los biocombustibles provienen de la biomasa: materia orgánica originada en un proceso biológico, espontáneo o provocado, utilizable como fuente de energía.

---

<sup>21</sup> Universidad EAFIT. Departamento de Contaduría Pública. Disponible en Internet en: <http://www.eafit.edu.co/escuelas/administracion/departamentos/departamento-contaduria-publica/planta-docente/Documents/Nota%20de%20clase%2066%20evaluacion%20financiera%20de%20proyectos.pdf>.

<sup>22</sup> Finanzas Corporativas. Disponible en Internet en: <http://www.encyclopediainfinanciera.com/finanzas-corporativas/tasa-interna-de-retorno.htm>.

<sup>23</sup> Introducción a la Economía. MicroEconomía. Paul R. Krugman, Robin Wells. Año 2007. Cap 7. Pag 176.

<sup>24</sup> Pritchard, Alan. "Statistical bibliography or Bibliometrics" en Journal of Documentation, 1969, vol.25, n<sup>o</sup>4, pp. 348-369

<sup>25</sup> UNIVERSIDAD AUTONOMA DE BARCELONA. Disponible en Internet en: [http://mat.uab.es/~mzakyn/lunes\\_06\\_11\\_06.pdf](http://mat.uab.es/~mzakyn/lunes_06_11_06.pdf)

<sup>26</sup> ECURED disponible en internet: [http://www.ecured.cu/index.php/Bagazo\\_de\\_ca%C3%B1a](http://www.ecured.cu/index.php/Bagazo_de_ca%C3%B1a)

- **BIOCOMBUSTIBLES DE SEGUNDA GENERACIÓN:** Son combustibles producidos a partir de materias primas que no son fuentes alimenticias, para lo cual se utilizan tecnologías que todavía están en etapas de investigación y Desarrollo y con costos de producción aún muy elevados.
- **BIOETANOL:** Es un producto químico obtenido a partir de la fermentación de los azúcares que se encuentran en los productos vegetales, tales como cereales, remolacha, caña de azúcar, sorgo o biomasa. Estos azúcares están combinados en forma de sacarosa, almidón, hemicelulosa y celulosa.
- **BIOMASA:** La biomasa es la utilización de la materia orgánica como fuente energética. Por su amplia definición, la biomasa abarca un amplio conjunto de materias orgánicas que se caracteriza por su heterogeneidad, tanto por su origen como por su naturaleza.<sup>27</sup>
- **FERMENTACIÓN:** Es un proceso catabólico de oxidación incompleta, totalmente anaeróbico, siendo el producto final un compuesto orgánico.
- **HEMICELULOSAS:** Las hemicelulosas son polisacáridos que, excluyendo la celulosa, constituyen las paredes celulares de las plantas y se pueden extraer con soluciones alcalinas diluidas. Las hemicelulosas forman aproximadamente una tercera parte de los carbohidratos en las partes maderosas de las plantas.<sup>28</sup>
- **HIDRÓLISIS:** Pérdida o disociación a una reacción ácido-base entre una sustancia, típicamente una sal, y el agua, Esta reacción es importante por el gran número de contextos en los que el agua actúa como disolvente.<sup>29</sup>
- **LIGNINA:** La lignina es un polímero de naturaleza aromática con alto peso molecular que tiene como base estructural unidades de fenil-propano y probablemente está ligada a los polisacáridos (poliosas) de la madera.<sup>30</sup>
- **RESIDUOS LIGNOCELULOSICOS:** Se encuentran en la biomasa vegetal y permiten la obtención de productos sustentables y no contaminantes del medio ambiente, entre los que destaca el etanol. Desechos o subproductos de bajo valor agregado en la obtención de energía.

---

<sup>27</sup> APPA. Asociación de Productores De Energías Renovables. Disponible en Internet en: [http://www.appa.es/04biomasa/04que\\_es.php](http://www.appa.es/04biomasa/04que_es.php)

<sup>28</sup> SCIENTIFICPSYCHIC disponible en internet: <http://www.scientificpsychic.com/fitness/carbohidratos2.html>

<sup>29</sup> HIDROLISIS. GEOSFERA. Disponible en internet en: <http://hscarambiental.files.wordpress.com/2012/03/bloque-0-tema-0a-geosfera.pdf>

<sup>30</sup> LA GUIA disponible en internet: <http://quimica.laguia2000.com/elementos-quimicos/lignina-la-quimica-de-la-madera>

## 2.3 MARCO HISTÓRICO

### 2.3.1 Evolución De La Caña.

Se dice que la caña de azúcar es uno de los cultivos más antiguos en el mundo, se dice que empezó hace unos 3.000 años como un tipo de césped o de pasto en la isla de Nueva Guinea y de allí se extendió a Borneo, Sumatra e India.

El proceso del azúcar se escuchó primero en la India tan temprano como en el 3.000 A.C. Una leyenda local en las Islas de Salomón dice que los antepasados de la raza humana se generaron de un tallo de la caña. Una corona hecha de caña de azúcar se describe en el Atharvaveda, libro sagrado de los hindúes, escrito aproximadamente 800 A.C. El general griego Nearchus, quien acompañó a Alejandro el Grande a la India en el IV siglo A.C. cuenta de una caña que produjo 'miel' sin la ayuda de las abejas.<sup>31</sup>

Debido a su antigüedad, existen múltiples y diversas versiones acerca de sus orígenes y cultivos, los cuales no son posibles de confirmar en algunos casos, lo cierto es que se sabe que la caña de azúcar se expandió desde Asia, primero desde India y luego desde Persia hacia Europa, es buena medida gracias a las conquistas árabes y la expansión del islam sobre gran parte del territorio europeo.

En Colombia se plantó por primera vez en Santa María La Antigua del Darién en 1510. Pedro de Heredia, fundador de Cartagena, introdujo la caña en la Costa Atlántica alrededor de 1533 y posteriormente Sebastián de Belalcázar, fundador de Santiago de Cali, la plantó en el Valle del Cauca, en su estancia en Yumbo en 1541. Hacia 1550 se fundaron tres ingenios a orillas del Río Amalme y desde esta región se envió azúcar y miel a Panamá en 1588. Para 1721 había en el Valle del Cauca 33 trapiches en funcionamiento.<sup>32</sup> La caña cultivada en ese entonces se denomina criolla, originada de las cañas introducidas por los españoles. Durante su visita a nuestro país el sabio alemán, Alexander Humboldt, recomendó a los hacendados vallecaucanos la variedad Tahití u Otahiti la cual fue introducida al Valle del Cauca entre 1802 y 1808 y se esparció por el territorio colombiano. Con el pasar de los años se le han tecnificado los procesos de producción entorno a la caña de azúcar y se le ha dado diferentes usos para extraer al máximo todo el potencial de sus materias primas con el fin de poder obtener gran variedad de productos y soluciones.

---

<sup>31</sup> PROCAÑA. Historia de la caña de Azúcar. Disponible en Internet en: <http://www.procana.org/historia.php>

<sup>32</sup> PROCAÑA. Disponible en Internet en: <http://www.procana.org/historia.php>

### **2.3.2 Evolución de la Caña Panelera en Santander.**

La historia del cultivo de caña en el departamento de Santander, se remonta al año 1939, época en la cual un buen número de campesinos santandereanos derivaron su sustento de la venta de panela, que se elaboraba de manera rústica en viejos trapiches. Muchas tierras de Bucaramanga, Piedecuesta, Rio Negro, Floridablanca, Girón y especialmente la zona conocida como la Hoya del Río Suárez, en donde convergen municipios del Sur de Santander y el norte de Boyacá, se cultivaron con caña. De hecho, en esta última zona se estima una producción que oscila entre 45.000 y 60.000 hectáreas sembradas.

### **2.3.3 Evolución de los Biocombustibles: bioetanol.**

El sector de los combustibles se posiciona en los sectores productivos que a lo largo de toda su historia han mantenido de una reconocida importancia económica y social para el crecimiento de nuestro país. Como cualquier actividad humana, en este caso debido a su relación directa con el entorno, provoca impactos significativos para el medio ambiente tanto a la hora de producir, como de usar o deshacerse de sus productos y resultantes, no obstante se hace necesaria la búsqueda de diferentes alternativas para su obtención de modo que se genere un mínimo impacto ambiental a menor costo y obteniendo utilidades considerables. Sin embargo la evolución en el desarrollo de estrategias y fórmulas para la obtención de etanol en los diferentes países a nivel mundial ha sido muy diversa y en algunos casos compleja debido a la falta de infraestructura tecnológica, donde países como Brasil y EE. UU. Son líderes en dicho procedimiento.

En Julio del año 2005, el etanol ya se podía producir a partir de una amplia variedad de plantas de cosecha, comúnmente se genera a partir del grano o del azúcar, cada país tiene sus determinados cultivos y cosechas para obtener determinados biocombustibles, por ejemplo, estados unidos utiliza el maíz, Francia utiliza la remolacha y en nuestro país al igual que en Brasil utilizamos la caña de azúcar como insumo principal del proceso de transformación. Posteriormente se mezcla con gasolina como oxigenada o suplemento del combustible, dependiendo de las políticas y legislación de cada país se obtiene una mezcla y se usa en vehículos de gasolina, o también puede ser utilizado sin mezclar en "vehículos combustible-flexibles" que funcionan con cualquier mezcla de etanol y gasolina.

Actualmente, el bioetanol constituye la alternativa energética más viable y sostenible.

## 2.4 MARCO TEÓRICO

En el presente capítulo se encontrará la base teórica en la que se sustenta el proyecto que consiste en un estudio de pre-factibilidad para la obtención de bioetanol combustible de segunda generación. Dicha base teórica son generalidades de la caña de azúcar Y caña panelera, bioetanol de primera y segunda generación, con el fin de recolectar información para su estudio.

### 2.4.1 Hoya Del Rio Suarez: Caña Panelera.

En Colombia, la producción de caña panelera se concentra básicamente, en los departamentos de Santander, Boyacá y Cundinamarca, los cuales absorben más del 50% del total producido, aunque se debe mencionar que en los últimos años el cultivo ha perdido importancia, debido a los bajos precios de la panela, la sobreproducción de caña y los productos sustitutos, entre otros factores.

**Tabla 2.nDepartamentos por producción de panela en Colombia y su participación en el mercado.**

DEPARTAMENTO	PARTICIPACIÓN (%)
Santander	55.68
Valle del Cauca	16.18
Risaralda	8.21
Antioquia	6.86
Cundinamarca	5.76
Boyacá	3.96
Norte de Santander	2.76
Atlántico	0.56
Quindío	0.10
Bogotá	0.04

Fuente: Dane. Producción de panela por regiones.

En el departamento de Santander, lugar del objeto de estudio de nuestro proyecto, se potencializa el cultivo de caña panelera en una región conocida como la hoya del rio Suarez. Esta región está ubicada en la cuenca media del río Suárez, en alturas comprendidas entre los 1 200 y 1 900 metros sobre el nivel del mar, incluye

municipios tanto del departamento de Boyacá como del departamento de Santander entre los cuales están los municipios de San José de Pare, Togüí, Chitaraque y Moniquirá, en el departamento de Boyacá y los municipios de Barbosa, Vélez, Chipatá, Puente Nacional, San Benito, Güepsa, Suaita y Oiba, en Santander. La topografía característica es de montaña, con pendientes catalogadas de medianas a altas.

Presenta el mayor grado de tecnificación en los cultivos, encontrándose un rendimiento medio de 120 toneladas de caña por hectárea y en algunos casos se alcanza hasta 200 t/ha. Las unidades agrícolas en su mayoría tienen un área superior a las 20 hectáreas, con una dedicación de cerca del 50 por ciento al cultivo de la caña panelera.<sup>33</sup> La mayoría de los departamentos de la Hoya del Rio Suarez cultivan la caña panelera, unos con mayor producción que otros, ya que es uno de los cultivos con mayor área cultivada de la región.

**Tabla 3. Hoya Del Rio Suarez: Municipios de Santander y su área cultivada en Caña Panelera. Hectáreas de cultivo.**

SANTANDER	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011
Barbosa	600	535	470	490	570	500	540
Chipata	550	900	600	800	599	599	639
Guavata	58	58	100	150	15	34	67
Guepsa	1.450	1.300	1.700	1.800	990	950	2.400
Puente Nacional	200	198	197	196	110	163	163
San Benito	1.200	2.200	2.100	1.830	1.910	2.000	2.598
Suaita	3.850	2.400	1.735	1.070	600	880	905
Vélez	800	810	857	837	797	787	805

Fuente: Elaboración de los autores del proyecto a partir de datos del Instituto Colombiano de Desarrollo Rural. INCODER.

<sup>33</sup> ORGANIZACIÓN DE LA NACIONES UNIDAD PARA LA ALIMENTACION Y LA AGRICULTURA. "Informe Panela CORPOICA". Disponible en internet en: [http://www.fao.org/fileadmin/user\\_upload/ags/publications/AGSF\\_WD6s.pdf](http://www.fao.org/fileadmin/user_upload/ags/publications/AGSF_WD6s.pdf)

**Tabla 4. Hoya Del Rio Suarez: Municipios de Boyacá y su área cultivada en Caña Panelera. Hectáreas de Cultivo.**

BOYACA	2007	2008	2009	2010	2011
Chitaraque	4.800	4.800	4.860	4.860	4.855
Moniquira	1.200	800	1.430	1.723	1.736
San José de Pare	2.700	2.820	2.600	2.000	2.050
Santana	2.520	2.800	2.535	1.300	1.300
Togui	2.100	2.300	1.400	1.400	1.450

Fuente: Elaboración de los autores del proyecto a partir de datos del Instituto Colombiano de Desarrollo Rural. INCODER.

**2.4.2 Características de cultivo: Temperatura.** La mayor producción de miel y panela se obtiene con temperaturas de 25 a 26 grados centígrados, sin embargo temperaturas entre 20 y 30 grados centígrados, permiten buenos rendimientos del cultivo y productividad por hectárea sembrada. Los cambios de temperatura superiores a los 8°C entre el día y la noche, permiten la formación del azúcar conocido como "sacarosa", indispensable para la buena calidad de la miel y la panela.<sup>34</sup>

**2.4.3 Suelos.** La caña se puede destinar para la producción de miel y de azúcar según sea el caso, se puede cultivar y sembrar en una amplia variedad de suelos, pero principalmente en los franco-arcillosos, profundos y bien drenados; ya que en suelos mal drenados, aunque con altas producciones y buenas condiciones en campo, producen cañas exuberantes y debido a esto la concentración de sacarosa es baja, dando mala calidad de miel y panela, y lo que se busca principalmente es que la caña tenga una concentración de sacarosa alta para aumentar su rendimiento y productividad. El pH, se encuentra en un rango entre 5.5 y 7.5, pero el pH óptimo está entre 6.0 y 8.0.

**2.4.4 Bagazo.** El Bagazo de caña, el cual es un tipo de biomasa residual, se obtiene como consecuencia del proceso de extracción y transformación de la caña de azúcar, al momento en el que los tallos son triturados para extraer sus jugos, queda un resultante de masa o materia, lo cual se conoce como bagazo, los juegos pasan a ser parte de la cadena productiva ya sea para obtener azúcar, mieles o panela, y el resultante o bagazo pasaría a ser un subproducto del proceso, el cual se le pueden dar diferentes usos y de esta forma obtener un valor agregado dentro de toda la cadena productiva. Es un combustible natural para

<sup>34</sup> FEDEPANELA Disponible en Internet: [http://www.fedepanela.org.co/publicaciones/cartillas/manejo\\_agronomico\\_de\\_la\\_cana\\_panelera.pdf](http://www.fedepanela.org.co/publicaciones/cartillas/manejo_agronomico_de_la_cana_panelera.pdf)

producir vapor en las fábricas azucareras, o en nuestro caso de estudio se puede utilizar como materia prima principal para la obtención de etanol combustible.

En cuanto a características como planta, es un material fibroso, heterogéneo en cuanto a su composición granulométrica y estructural, que presenta relativamente baja densidad y un alto contenido de humedad, en las condiciones en que se obtiene del proceso de molienda de la caña.

**Tabla 5. Composición del bagazo**

ANÁLISIS	BAGAZO ENTERO SECO
Celulosa	51.23
Hemicelulosa	24.11
Lignina	20.67
Cenizas	3.99
TOTAL	100

Fuente: INVERBIO. Instituto Veracruzano de Bioenergéticas.

**2.4.5 Caña De Azúcar.** La Caña de Azúcar es una gramínea tropical, un pasto gigante emparentado con el sorgo y el maíz. Tiene un tallo macizo de 2 a 5 metros de altura con 5 o 6 cm. de diámetro. El sistema radicular lo compone un robusto rizoma subterráneo; El tallo acumula un jugo rico en sacarosa, él cual es el insumo más importante durante el proceso de extracción y producción para la obtención ya sea de mieles o de azúcar. La sacarosa es sintetizada por la caña gracias a la energía tomada del sol durante la fotosíntesis con hojas que llegan a alcanzar de dos a cuatro metros de longitud. En su parte superior encontramos la panocha, que mide unos 30 cm. de largo<sup>35</sup>

El cultivo de caña de azúcar en Colombia se centra principalmente en el valle geográfico del río Cauca, que abarca un total de 47 municipios, desde el departamento del Cauca, la franja central del valle del Cauca, terminado en el sur del departamento de Risaralda, considerando el aspecto anterior, de los 13 ingenios azucareros existentes en esta región. Dentro de su cadena productiva ha incursionado el etanol como producto de valor agregado, en este caso particular,

<sup>35</sup>SIAP Caña de Azúcar Disponible en internet:<http://w4.siap.gob.mx/sispro/Integra/Caracteristicas/CanaAzu.html>

el bioetanol (alcohol carburante) a base de mieles y azúcares, lo que conocemos como etanol de primera generación.

**Figura 1. Localización de las plantas productoras de alcohol carburante.**



Fuente: UPME. Unidad De Planeación Minero Energética.

Colombia es el doceavo mayor productor y consumidor de azúcar en el mundo<sup>36</sup>, además debido a la ubicación geográfica de sus cultivos cuenta con condiciones climáticas y ambientales para la producción y cosecha continua en todo el año y no en forma estacional como el resto del mundo. Los ingenios azucareros han visto una gran oportunidad de negocio integrando dos unidades productivas, una unidad productiva azucarera y una unidad productiva adicional de biocombustibles dándole un valor agregado a la industria azucarera, a través del desarrollo de alternativas energéticas sostenibles.

<sup>36</sup> MERCADO INTERNACIONAL DEL AZÚCAR e impacto del precio del azúcar en los productos que la utilizan como insumo. Resumen ejecutivo. Disponible online en : <http://www.eldulcesabordelprogreso.com/uploads/attachment/4df6e8f9a5f3e4774b4febbe36fd904928379f37.pdf>.

**Figura 2. Caña.**



Fuente: Agro-Bio.org

Además de su alto rendimiento por unidad de superficie la caña de azúcar es importante por la gran variedad de productos que genera, los cuales se utilizan en la alimentación y la industria. Productos tales como el azúcar morena, azúcar refinada y azúcar granulada, así mismo se puede obtener panela, jugo de caña y miel integral, y para la alimentación de los animales la melaza.

**Tabla 6. Composición de la Caña.**

COMPONENTES	TALLOS %	COGOLLOS Y HOJAS %
Materia seca	29.00	26.00
Azúcares	15.43	2.18
Lignocelulosa	12.21	19.80
Materia Bioetanol	27.64	21.98
Cenizas y otros.	1.36	4.02
Agua	71.00	74.00
TOTAL	100	100

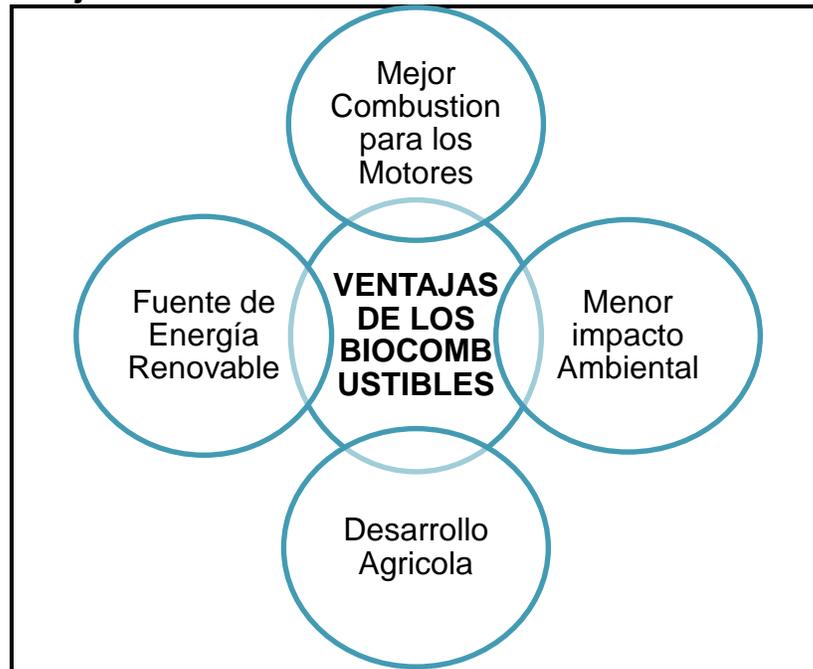
Fuente: INVERBIO. Instituto Veracruzano de Bioenergéticas.

**2.4.6 Biocombustibles: Bioetanol.** Los biocombustibles son recursos energéticos renovables procesados por el ser humano a partir de materias producidas recientemente por seres vivos, a las cuales se les denomina “biomasa”. Pueden ser líquidos, sólidos o gaseosos, y su finalidad última es liberar la energía contenida en sus componentes químicos mediante una reacción de combustión. Existen varios tipos de biocombustibles, a los cuales se les clasifica de acuerdo al insumo o materia prima y a la tecnología empleada para producirlos.<sup>37</sup>

<sup>37</sup> UNIVERSIDAD DE SEVILLA. Disponible en internet: [http://depa.fquim.unam.mx/amyd/archivero/IQ\\_biocombustibles\\_4a\\_generacion\\_25608.pdf](http://depa.fquim.unam.mx/amyd/archivero/IQ_biocombustibles_4a_generacion_25608.pdf)

Para la realización de este proyecto vamos a tener en cuenta como biocombustible principal el bioetanol combustible obtenido del bagazo de la caña panelera en Santander.

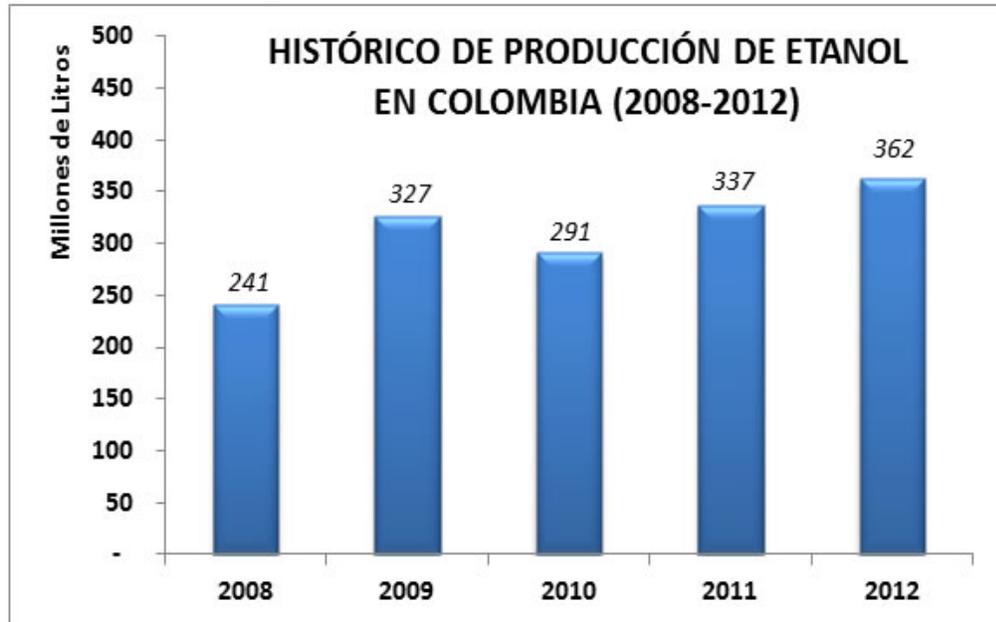
**Grafico 1. Ventajas de los Biocombustibles.**



Fuente: Elaboración de los Autores del Proyecto a partir de datos de la federación colombiana de Biocombustibles.

Actualmente en nuestro país lo que más suelen conocerse por su reciente uso es el biodiesel y el bioetanol, siendo este último nuestro principal tema de estudio. La producción de etanol combustible en nuestro país ha venido creciendo recientemente debido al auge mundial en materia de biocombustibles con el propósito producir bioetanol combustible como un valor agregado al proceso productivo del azúcar y de la panela. En la actualidad la mayoría de la producción de etanol en nuestro país se encuentra localizada en el valle del río Cauca aunque se están evaluando otros proyectos para seguir desarrollando investigación en torno a los biocombustibles. A continuación veremos un estimado de la producción de etanol en Colombia a través de los últimos años.

**Grafico 2. Histórico de producción de Etanol en Colombia.**



Fuente: Estadísticas. Federación Nacional de Biocombustibles.

Las tecnologías de producción de etanol, hacen referencia a procesos de fermentación hidrólisis de materias primas comestibles (caña de azúcar y maíz),

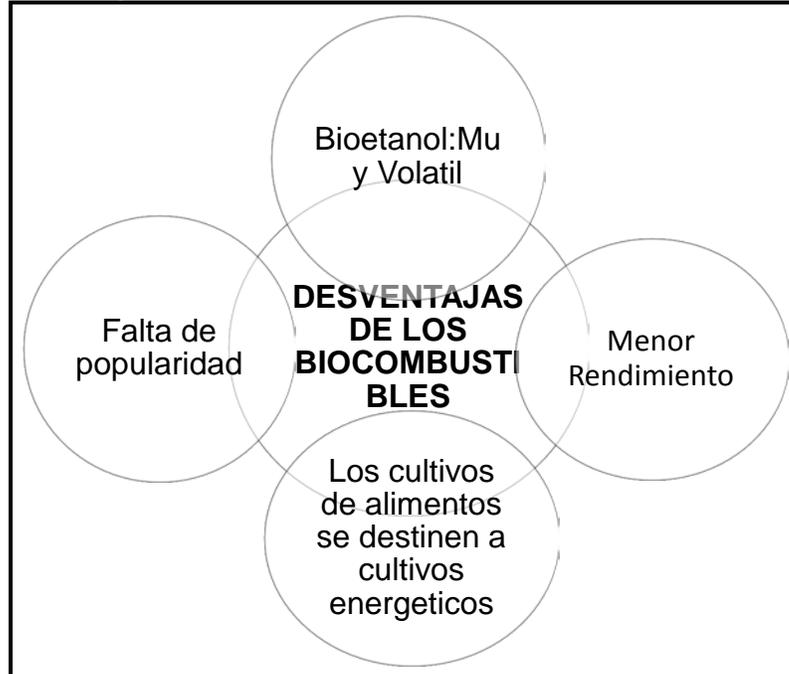
Las cuales a nivel mundial están bastante avanzadas, para nuestro trabajo de investigación solo se tendrá en cuenta la producción a partir de la caña y la utilización de los subproductos de este proceso como entradas económicas, y valor agregado.

En Colombia ya hay más de 150 mil hectáreas cultivadas con caña de azúcar y palma africana para la producción de biocombustibles. Pero el potencial es de cinco millones de hectáreas. Esta agroindustria, que congrega a más de 70 mil trabajadores directos e indirectos, clama por incentivos para avanzar a los mercados internacionales.<sup>38</sup>

Aunque es una industria que está en auge en nuestro país también está sujeta a ventajas y desventajas en el sector productivo.

<sup>38</sup> FEDERACION NACIONAL DE BIOCMBUSTIBLES. Boletín No 81Enero 23 de 2013 "BIOS DE TALLA MUNDIAL. Disponible en internet en: <http://www.fedebiocombustibles.com/v3/nota-web-id-1347.htm>

**Grafico 3. Desventajas de los Biocombustibles.**



Fuente: Elaboración de los Autores del Proyecto a partir de datos de la federación colombiana de Biocombustibles.

**2.4.7 Bioetanol de Primera Generación.** El tema que nos compete en este proyecto se basa en la obtención de bioetanol combustible de segunda generación, a continuación daremos un breve resumen del bioetanol de primera generación para entender un poco más el tema en cuestión y dejar claros algunos conceptos.

Los biocombustibles de primera generación (Bioetanol, Biodiesel y Biogás) son aquéllos provenientes de la biomasa, especialmente de cultivos agrícolas destinados a la alimentación humana, para diferenciarlos de la segunda generación que no compite con la producción de alimentos, esto quiere decir que una fracción de la producción, como valor agregado al proceso productivo, en este caso de azúcar en nuestro país, se destinó para la producción del etanol combustible. En la actualidad, las tecnologías de producción de aquéllos de primera generación son más simples y económicas y, en consecuencia, éstos se diferencian de los de segunda generación por el tipo de biomasa de donde se obtienen, y en la tecnología que se utiliza para su procesamiento.<sup>39</sup>

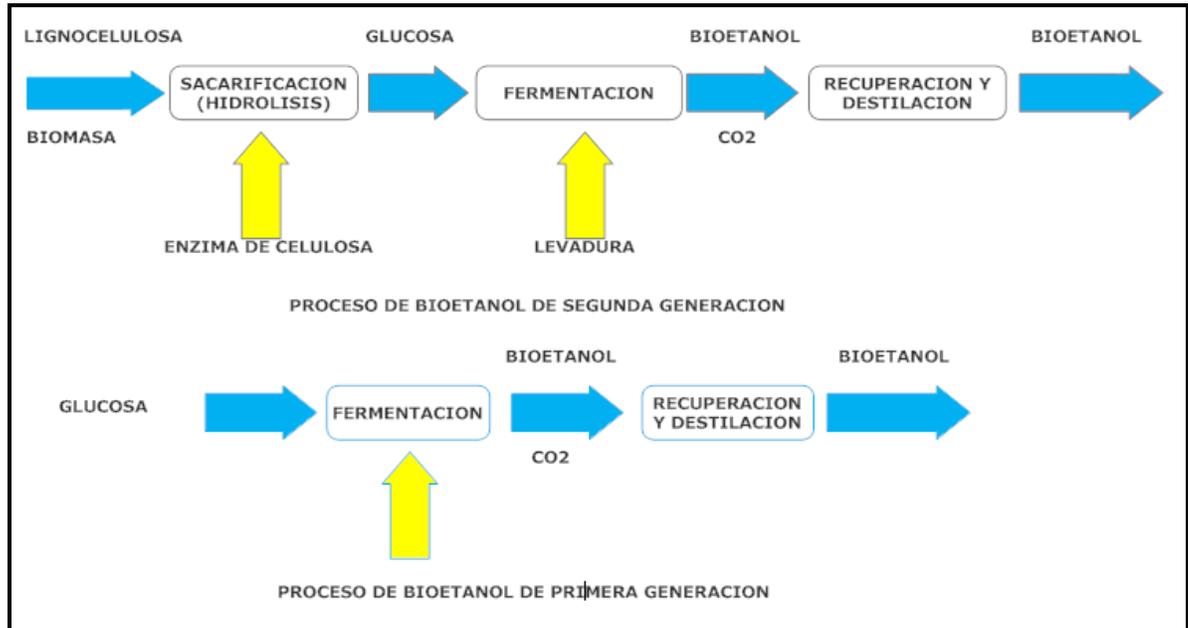
<sup>39</sup> REVISTA ELECTRO industrial Disponible en Internet:  
<http://www.emb.cl/electroindustria/articulo.mvc?xid=959&tip=7>

Sin embargo, la tecnología de procesamiento de estos materiales es más compleja, por lo que los gastos de inversión y producción asociados son elevados, lo que hace inviable su uso a corto plazo. Debido a esto se pretende direccionar el proyecto hacia la producción de bioetanol de segunda generación.

**2.4.8 Bioetanol de Segunda Generación.** Son combustibles producidos y obtenidos a partir de materias primas que no son consideradas como fuentes alimenticias, y en la mayoría de los casos no influyen directamente en la cadena productiva si no que son resultante de determinados procesos, para lo cual se utilizan tecnologías que todavía se encuentran en etapa de investigación y desarrollo y con una barrera de producción muy importante, los costos de producción son aún muy elevados. Los biocombustibles de segunda generación serán una alternativa muy eficaz para reemplazar a los biocombustibles fósiles derivados del petróleo sin utilizar cultivos alimenticios, ya que son denominados renovables. Ayudarán a combatir un problema que nos respecta y preocupa a todos, como es el calentamiento global y la contaminación.

El etanol se puede producir y obtener a partir de celulosa. El proceso consiste en transformar la celulosa, que puede originarse de pastos perennes, restos de cosechas y cultivos, tallos de maíz, bagazo de caña, árboles de rápido crecimiento, residuos orgánicos municipales y de casi cualquier otro material orgánico, en nuestro caso usaremos el bagazo de la caña panelera del departamento de Santander, en azúcares y sacarosa, para lo cual se hace importante el uso de utilizan enzimas de alta tecnología con el fin de fermentar los azúcares obtenidos en el proceso, a través del cual se obtiene el bioetanol. La siguiente imagen nos ilustra comparativamente los dos procesos y sus respectivas etapas de transformación hasta llegar al producto final.

**Figura 3. Procesos Comparativos de Primera y Segunda Generación del Bioetanol.**



Fuente: Elaboración de los autores del proyecto a partir de <http://nmrlab.yoque.ch/controversia/doku.php?id=c3:l1:biocombustible>.

**2.4.9 Biomasa.** Es la materia viva presente en una capa muy fina de la superficie terrestre llamada biosfera, la cual representa una fracción muy pequeña de la masa terrestre. Los residuos que se generan a partir de los procesos de transformación natural o artificial, también se constituyen en biomasa. La biomasa es un recurso muy variado debido a su producción y origen en los sistemas terrestres y acuáticos, lo que influye directamente en sus características físicas y químicas; se considera que la biomasa es renovable porque forma parte del flujo natural y repetitivo de los procesos en la naturaleza.<sup>40</sup>

**2.4.9.1 Biomasa residual.** La biomasa residual hace referencia a los subproductos que se generan en las transformaciones naturales o industriales que se llevan a cabo en la materia orgánica, dichos procesos se puede llevar a cabo para la transformación de una materia prima principal, y en alguna de sus etapas productivas se obtiene un resultante al cual se le llama biomasa residual, en nuestro caso particular la biomasa será el bagazo de la caña. Algunos ejemplos de biomasa son los residuos de las cosechas, en algunas fincas ganaderas, las aguas residuales y los residuos orgánicos de las plazas de mercado, ya sean cascaras, hojas o raíces.

<sup>40</sup> ATLAS DEL POTENCIAL ENERGETICO DE LA BIOMASA RESIDUAL EN COLOMBIA. Disponible en Internet en: <http://www.si3ea.gov.co/Home/Biomasa/tabid/76/language/es-CO/Default.aspx>

## **Composición estructural: Material Lignocelulosico**

### **Celulosa**

En su mayoría, los carbohidratos presentes en la naturaleza se encuentran en forma de polisacáridos, estos no solamente están compuestos por azúcares unidos por enlaces glicosídicos, sino también pueden contener estructuras sacáridos poliméricas unidas por enlaces covalentes a aminoácidos, péptidos, proteínas, lípidos y otras estructuras (Pérez et al., 2002). La celulosa es el polímero más abundante de la naturaleza, recibe el nombre de biopolímero ya que forma parte de estructuras biológicas vegetales. Su estructura está formada por monómeros de glucosa unidos por enlaces en el carbono 1 y el carbono 4 por medio de una unión  $\beta$ , es de peso molecular alto. (Laureano-Pérez, 2005).

### **Hemicelulosa**

La hemicelulosa es una estructura compleja de carbohidratos que consiste de diferentes polímeros, tales como: pentosas (xilosa y arabinosa), hexosas (glucosa, manosa y galactosa), y ácidos urónicos. El componente hemicelulósico principal de algunos materiales vegetales como maderas duras son los xilanos y en maderas suaves el glucomamano. Este polímero es de peso molecular más bajo que la celulosa y contiene ramificaciones con cadenas laterales cortas de azúcares diferentes fácilmente hidrolizables (Hendriks y Zeeman, 2009).

### 3. METODOLOGÍA

El diseño de investigación para este trabajo de grado será de tipo exploratorio, ya que permitirá profundizar sobre el problema planteado, sus alternativas de decisión y las variables que se deben considerar. Se plantea la metodología a seguir con el fin de elaborar los estudios para evaluar su factibilidad al analizar unas rutas.

#### 3.1. BIBLIOMETRÍA

Identificar las tecnologías en cada etapa de procesamiento de bioetanol denominado segunda generación a través de un ejercicio de bibliometría.

La bibliometría se centra esencialmente en el cálculo y en el análisis de los valores de lo que es cuantificable en la producción y en el consumo de la información científica (López Piñero 1972; Spinak 1996).

Antes de abordar el estudio de pre-factibilidad debemos analizar e identificar las etapas del proceso productivo del bioetanol de segunda generación ya que existen varias técnicas de procesamiento, esta identificación se hará mediante un ejercicio de bibliometría. Este ejercicio se realizara a través de una base de datos proporcionada por la Universidad Santo Tomas mediante la Unidad de Bibliometría y llamada **SCOPUS**, su aprendizaje será a través de tutorías presenciales a las cuales hemos venido asistiendo.

Scopus es una base de datos de referencias bibliográficas y citas de la empresa Elsevier. Es accesible vía Web para los suscriptores.

Scopus proporciona una visión general completa de la producción mundial de investigación en los campos de la Ciencia, la Tecnología, la Medicina, las Ciencias Sociales y Artes y Humanidades.<sup>41</sup>

Durante este ejercicio haremos uso de una herramienta de minería de datos llamada **THE VANTAGE POINT**, facilitada por la Universidad Santo Tomas.

---

<sup>41</sup> FUNDACIÓN ESPAÑOLA PARA LA CIENCIA Y LA TECNOLOGÍA. FECYT. Disponible en Internet en: <http://www.scopus.fecyt.es/Que-es-SCOPUS/Pages/Inicio.aspx>.

Vantage Point es una poderosa herramienta de minería de datos para el descubrimiento de conocimiento en los resultados de búsqueda de las bases de datos de patentes y de literatura.<sup>42</sup>

### 3.2 MODELAMIENTO MATEMÁTICO

Se realizara un modelamiento matemático con el fin de optimizar unas rutas de aprovechamiento en el proceso de producción de bioetanol en la planta piloto de la Hoya del Rio Suarez. Este modelamiento se hará en un software de programación lineal y no lineal llamado LINGO.

### 3.3 ESTUDIO DE PRE-FACTIBILIDAD

**3.3.1 Estudio de Mercados.** El análisis de mercados se realizará a través de un estudio exploratorio que contiene:

- Obtención de información secundaria conseguida a través de internet y principalmente las últimas ediciones de los textos de Fedebiocombustibles, Cenicaña, Asocaña, Incoder.
- Realización de visitas a las empresas del gremio ubicadas en Bucaramanga, recolectando información acerca del tema de interés

Lo anterior con el fin de determinar el comportamiento histórico del producto nacional a partir de la demanda y la oferta desde el año 2007 hasta la actualidad.

**3.3.2 Estudio Técnico.** El estudio técnico se realizará con el fin de determinar una óptima selección y distribución de los procesos a través de un análisis de:

- **Tamaño.** Se calculará el nivel de producción que la planta tiene actualmente en base a las especificaciones técnicas de los equipos que son utilizados, en este caso se va identificar la tecnología empleada actualmente en la producción de etanol en la Hoya del rio Suarez.
- **El Equipo:** Se elaborará una ficha técnica, donde se determinan todas las característica que posee el equipo, maquinaria o materia prima a usar.

---

<sup>42</sup> <https://www.thevantagepoint.com/>.

- **Proceso Productivo.** En el desarrollo de este proyecto se quiere obtener bioetanol combustible de segunda generación con las mejoras en tecnología que se han realizado con el fin de aumentar la eficiencia, identificar los procesos, balancear los altos costos de este tipo de plantas por medio de subproductos, para esto se analizarán las operaciones y se construirá el diagrama de flujo correspondiente.

**3.3.3 Estudio Ambiental.** En el estudio ambiental se investigarán los requerimientos ambientales aplicables para este tipo de plantas y el desarrollo de las actividades de la misma, con el fin de cumplir con estas disposiciones. Para la consecución de este objetivo debemos tener en cuenta lo siguiente

- Ubicación del proyecto (localización geográfica y socio-económica)
- Vinculación de normas y disposiciones legales vigentes
- Insumos y recursos (materias primas, recursos naturales, capacidad operativa, efluentes, residuos, etc.)
- Vida útil del proyecto

**3.3.4 Estudio Legal.** En el estudio legal se investigarán los requerimientos legales aplicables para el funcionamiento de este tipo de plantas de obtención de bioetanol en el país y el desarrollo de las actividades de la misma, con el fin de cumplir con estos requisitos.

**3.3.5 Evaluación Financiera.** La evaluación financiera se elaborará con el fin de determinar la viabilidad del proyecto a través del análisis de los siguientes aspectos:

- Inversión de capital
- Costos de producción
- Costos de personal, materiales e insumos, costos indirectos y costos fijos y variables
- Calculo de la rentabilidad VPN y TIR
- Hallar el punto de equilibrio.

## 4. ANÁLISIS BIBLIOMÉTRICO

### 4.1 INTRODUCCIÓN

La bibliometría se centra esencialmente en el cálculo y en el análisis de los valores de lo que es cuantificable en la producción y en el consumo de la información científica.<sup>43</sup>

Los estudios de bibliometría se basan en la búsqueda de información científica a través del uso de bases de datos electrónicas para la construcción de los análisis deseados; por consiguiente la Universidad Santo Tomás a través de la unidad de Bibliometría, facilitó la utilización de dos herramientas para la consecución de este análisis.

Una herramienta llamada **SciVerse Scopus**, que consiste en una base de datos de fuentes bibliográficas que ofrece una visión general de la producción mundial de investigaciones en los campos de la Ciencia, la Tecnología, la Medicina, las Ciencias Sociales, Artes y Humanidades.<sup>44</sup>

**Scopus** permite realizar búsquedas por medio de la construcción de palabras claves, o en algunos casos por autores o por publicación, delimitando la información a través de áreas de investigación como la Ciencia, la Tecnología y la Medicina y el determinado periodo de años con el fin de obtener resultados más precisos.

En el momento de determinar las palabras claves para la búsqueda, **Scopus** genera internamente una Ecuación de búsqueda, la cual inicia con las palabras claves a buscar, seguida del tipo de documento y de las áreas en las cuales la base de datos se focalizara para concluir la búsqueda.

TITLE-ABS-KEY (“Palabras Clave”) AND DOCTYPE (“Artículo, Revista, Conferencia”). Posteriormente la base de datos incluye las áreas en las cuales se realizara la búsqueda.

---

<sup>43</sup> Breve Introducción a la Bibliometría. (López Piñero 1972; Spinak 1996). Disponible en Internet en: <http://diposit.ub.edu/dspace/bitstream/2445/30962/1/breve%20introduccion%20bibliometria.pdf>.

<sup>44</sup> Universidad de Salamanca. Bases de Datos. Disponible en Internet en: <http://bibliotecas.usal.es/basesdatosform#s>

Los datos obtenidos en **Scopus** se pueden procesar con el fin de generar graficas de tendencias de evolución y de posición a través de una herramienta llamada **Vantage Point**.

**Vantage Point**<sup>45</sup> es un software de minería de datos para el descubrimiento de conocimiento en los resultados de búsqueda de las bases de datos. Utiliza tres herramientas analíticas: gráficos, matrices y mapas de relaciones.

Esta herramienta importa las búsquedas en las bases de datos con el fin de procesarlas.

En este trabajo, se utilizó la bibliometria para consolidar la información referente a las materias primas utilizadas, y tecnologías de procesamiento que hay en cada etapa del proceso productivo de bioetanol de segunda generación.

#### **- Actividad**

Identificar las materias primas y las tecnologías en cada etapa de procesamiento de bioetanol denominado segunda generación a través de un ejercicio de bibliometría.

#### **- Tareas**

- Identificar las materias primas utilizadas a nivel mundial para la obtención de bioetanol combustibles de primera y segunda generación.
- Consolidar las tecnologías utilizadas en cada etapa de procesamiento de bioetanol combustibles de segunda generación.

---

<sup>45</sup> <https://www.thevantagepoint.com/>.

## 4.2 FICHA TÉCNICA

A continuación se presenta la ficha técnica de la presente investigación.

**Tabla 7. Ficha Técnica.**

<b>ORGANIZACIÓN</b>	<b>UNIVERSIDAD SANTO TOMAS - BUCARAMANGA</b>
<b>Objetivo</b>	Presentar los indicadores bibliométricos y cientométricos de la publicación de artículos de investigación sobre la producción de bioetanol, que incluye materias primas, tecnologías para cada etapa de procesamiento, y procesos actuales en demostración.
<b>Tema</b>	Bioetanol de Primera y Segunda Generación.
<b>Palabras Clave:</b>	“Bioethanol”, “Feedstock Bioethanol”, “Production Process”, “Lignocellulosic Bioethanol”.
<b>Período de consulta:</b>	2007 a 2014
<b>Herramientas de consulta y tratamiento de la información</b>	Bases de datos bibliográficas <ul style="list-style-type: none"><li>• Scopus (Elsevier, B.V. 2013)</li></ul> Software especializado para minería de textos <ul style="list-style-type: none"><li>• VantagePoint (Versión académica 8.0, Search Technology), disponible a través de la Biblioteca de la USTABUCA.</li></ul>
<b>Dirigido por:</b>	Viviana Quintero Dallos. Director(A) Docente USTA
<b>Realizado por:</b>	Darío Quintana Ballén Edwin Castellanos Cala

Fuente: Elaboración de los Autores del Proyecto.

### 4.3 LA IMPORTANCIA DE LA INVESTIGACIÓN DE LA BIOMASA.

La energía es un recurso clave para el mundo y es de vital importancia para el desarrollo económico. La biomasa y los biocombustibles han generado un notable interés en la producción de energía sostenible y renovable.<sup>46</sup>

La biomasa es la utilización de la materia orgánica como fuente energética proveniente de la naturaleza. Se considera como materia prima de biomasa, los cultivos, árboles y residuos de alimentos. Pueden convertirse en portadores de energía más convenientes tales como los combustibles sólidos (por ejemplo, astillas de madera, pellets, briquetas), combustibles líquidos (por ejemplo, metanol, bioetanol, biodiesel) o de combustibles gaseosos (gas de síntesis, biogás, hidrógeno).

Entre ellos, los biocombustibles líquidos como el bioetanol y el biodiesel son adecuados para la industria del transporte y reciben una especial atención en el mundo académico, y también en el escenario de negocios.<sup>47</sup>

Pero lamentablemente, más del 80% del abastecimiento energético a nivel proviene de energías fósiles, otro 13% de energía nuclear, y solamente alrededor del 6% de Energías Renovables. Este 94% no renovable conlleva importantes implicaciones medioambientales y una fuerte dependencia del abastecimiento exterior.<sup>48</sup>

Como los precios del petróleo crudo y de la gasolina aumentan y las normas de emisiones cada vez más exigentes, el bioetanol podría prestarse más atención como un aditivo de combustible o gasolina renovable.<sup>49</sup> El bioetanol se sugirió por primera vez como combustible de automoción en los EE.UU. en la década de 1930, pero fue ampliamente utilizado sólo después de 1970.

---

<sup>46</sup> IEA, Bioenergy Project Development Biomass Supply, International Energy Agency, Paris, 2007.

<sup>47</sup> J. HILL, Environmental costs and benefits of transportation biofuel production from food- and lignocellulose-based energy crops. A review, *Agron. Sustain. Dev.* 27 (2007) 1–12.

<sup>48</sup> AREA TECNOLÓGICA: Biomasa y Residuos. Observatorio Tecnológico de la Energía. Disponible en internet

en:[http://www.idae.es/uploads/documentos/documentos\\_Calor\\_y\\_Frio\\_Renovables\\_Biomasa\\_11012012\\_global\\_v2\\_09570f12.pdf](http://www.idae.es/uploads/documentos/documentos_Calor_y_Frio_Renovables_Biomasa_11012012_global_v2_09570f12.pdf)

<sup>49</sup> L. PETRUS, M.A. Noordermeer, Biomass to biofuels, a chemical perspective, *Green Chem.* 8 (2006) 861–867

En la actualidad, el bioetanol para el mercado de los combustibles se produce a partir de azúcar (Brasil) o almidón (EE.UU.) a precios competitivos.

Cabe resaltar que a nivel mundial se le ha venido dando diferentes usos a la Biomasa dependiendo de la necesidad energética que tenga cada país.

De acuerdo a sus usos la Biomasa puede ser utilizada para generar Electricidad; para producir calor y para la Industria de Transportes como Combustible.<sup>50</sup>

**4.3.1 Biomasa para producir Electricidad.** La generación de energía eléctrica utilizando la biomasa es una de las fuentes de producción de energía eléctrica más utilizada a nivel mundial,<sup>51</sup> ya que una parte considerable de la electricidad generada por la utilización de biomasa es utilizada para la combustión en calderas convencionales utilizadas en diferentes tipos de industria, con el fin de obtener energía de fuentes renovables.

Las calderas utilizadas en algunas industrias queman la biomasa en forma de desechos agrícolas o forestales generados por la agricultura. Al quemarse esta biomasa se produce vapor, el cual es utilizado para hacer girar las turbinas. Y es la rotación de estas turbinas las que generan la electricidad.

**4.3.2 Biomasa para producir Calor.** Uno de los principales usos de la Biomasa es la Producción de calor en forma de calefacción. El procedimiento empleado es sencillo y poco costoso desde el punto de vista tecnológico. Es posible utilizarlo tanto en industrias como en hogares.<sup>52</sup>

**4.3.3. Biomasa para producir Biocombustibles.** Aquí es donde se enfoca el presente estudio. La biomasa es utilizada para producir biocombustibles ya sean de primera o segunda generación utilizando cultivos con poder alimenticio para el caso de primera generación y desechos forestales y agrícolas sin poder alimenticio para el caso de segunda generación.

---

<sup>50</sup> Plan de acción sobre la Biomasa. Unión Europea. Comunicación de la Comisión, de 7 de diciembre de 2005. Disponible en Internet en: [uropa.eu/legislation\\_summaries/energy/renewable\\_energy/l27014\\_es.htm](http://ropa.eu/legislation_summaries/energy/renewable_energy/l27014_es.htm)

<sup>51</sup> La importancia de la generación de energía eléctrica de biomasa en Estados Unidos. Disponible en Internet en: <http://energia12.com/2012/02/14/la-importancia-de-la-generacion-electrica-de-biomasa-en-estados-unidos/>

<sup>52</sup> Manual de Energías renovables. Energía de la Biomasa. Enero de 2007. Disponible en Internet en: [http://www.energiasrenovables.ciemat.es/adjuntos\\_documentos/Biomasa.pdf](http://www.energiasrenovables.ciemat.es/adjuntos_documentos/Biomasa.pdf)

En el presente trabajo se consolidara la información correspondiente al bioetanol de primera y segunda generación a través de un ejercicio de bibliometria.

#### 4.4 MATERIALES Y MÉTODOS.

Para el presente estudio bibliometrico se utilizaron dos herramientas para la consolidación de la información, en primer lugar se utilizó una base de datos llamada SciVerse Scopus con el fin de analizar los documentos pertenecientes al tema de búsqueda, y en segundo lugar se utilizó una herramienta de Minería de Datos llamada The Vantage Point con el fin de interpretar los datos introducidos en Scopus para crear gráficas y matrices de la información bibliográfica analizada. Cabe resaltar que estas herramientas bibliometricas fueron facilitadas por la Unidad de Bibliometria de la Universidad Santo Tomas y su respectiva capacitación para su uso.

En primera instancia, se determinaron los términos de búsqueda o palabras clave para aplicar en el estudio, las cuales fueron: “Bioetanol”, “Materias primas Bioetanol”, “Proceso Productivo”, “Bioetanol Lignocelulosico”.

En segunda instancia la búsqueda se dirigió a la investigación de la información en "artículos" como principal tipo de documentos. Los parámetros utilizados para clasificar la información fueron "Autor", "País" "Nombre de la Institución ", "Lenguaje ", " Año de Publicación".

#### 4.5. RESULTADOS

Este ejercicio comprende la consolidación de los artículos publicados a nivel mundial sobre el tema de bioetanol.

**Tabla 8. Primera búsqueda**

<b>Primera búsqueda</b>	
<b>Herramienta utilizada:</b>	<b>SCOPUS</b>
<b>Palabras clave:</b>	“Bioethanol”.
<b>Ecuación de Búsqueda:</b>	
<b>Tipo de Documento</b>	Artículos
<b>Rango de Búsqueda</b>	2007-2014
<b>Artículos Encontrados:</b>	3.595.

#### 4.6 TIPOS DE DOCUMENTOS.

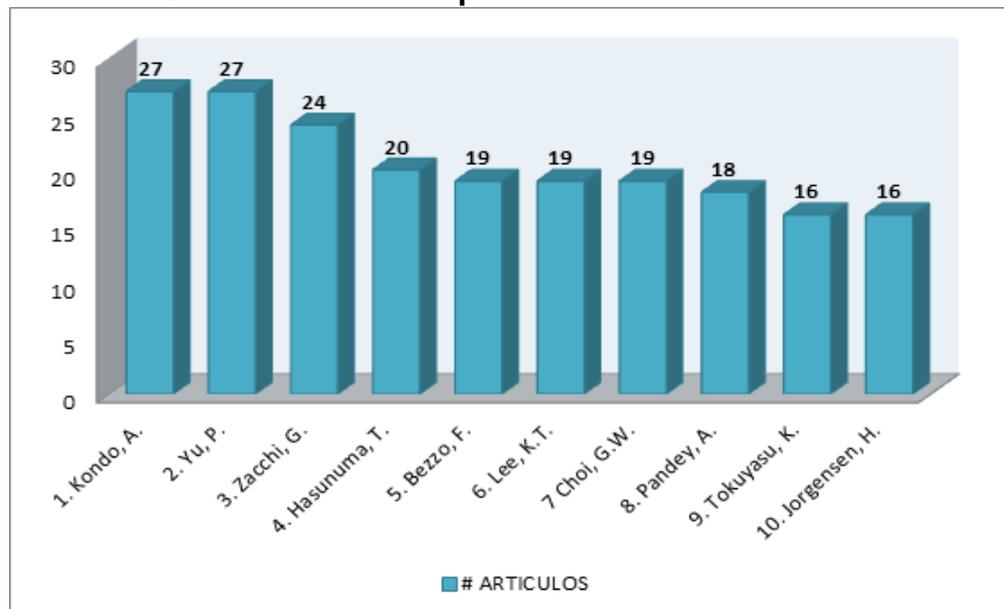
Usando las palabras claves para Bioetanol, se encontraron en la base de datos de Scopus **3.595** Artículos de Investigación entre el periodo comprendido del 2007 al 2014. El tamaño de la muestra sugiere que esta área ha sido de gran importancia investigativa. El total de los documentos fueron artículos ya que la investigación se limitó a este tipo de documentos.

#### 4.7 LOS AUTORES QUE MÁS PUBLICARON.

Sobre la base de la muestra de 3.595 artículos, mediante el ejercicio bibliometrico se determinó los 10 autores que más publicaciones han hecho sobre bioetanol, en primer lugar se encuentran Kondo, A y Yu, P. con 27 artículos publicados respectivamente, y en tercer lugar Zacchi, G. con 24 artículos publicados. Como se muestra en la Tabla 8, estos autores han publicado entre 16 y 27 trabajos.

La investigación sobre la mayoría de las publicaciones de los autores ha sido considerada un aspecto importante de la investigación bibliometrica, ya que esto permite saber cuáles son los autores que más están aportando al tema a nivel mundial.

**Grafico 4. Los 10 Autores con más publicaciones.**



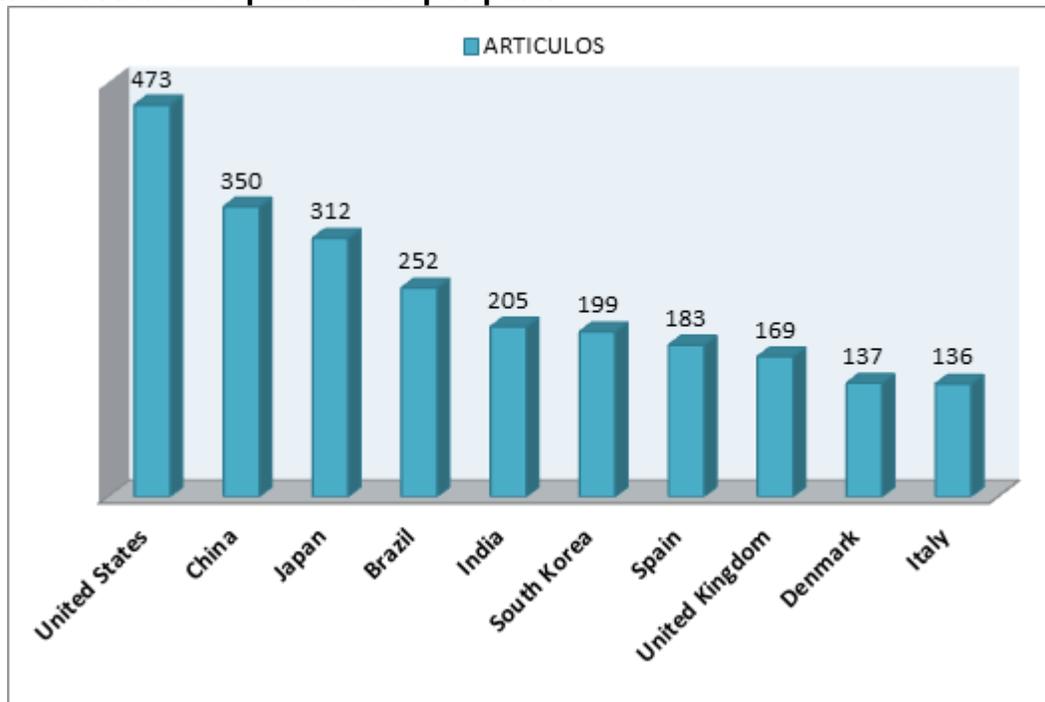
Fuente: The Vantage Point.

#### 4.8 PAÍSES QUE MÁS PUBLICARON.

Este ejercicio se llevó a cabo para determinar los 10 países que más han contribuido con la publicación de artículos. La grafica 5 muestra que el país con más publicaciones de artículos a partir de las palabras claves fue **Estados Unidos** con 473 Artículos que corresponde al **13,1%** del total de publicaciones, seguido por **China** con 350 artículos publicados correspondientes al **9,7%**, seguido de **Japón** con 312 Artículos correspondientes al **8,6 %**, y el país suramericano en la lista es **Brasil** con 252 artículos publicados correspondientes al **7%** del total de publicaciones.

Esto sugiere que países como Estados Unidos, China, Japón y Brasil se están preocupando por la investigación científica acerca del uso del bioetanol a nivel mundial.

**Grafico 5. Artículos publicados por país.**



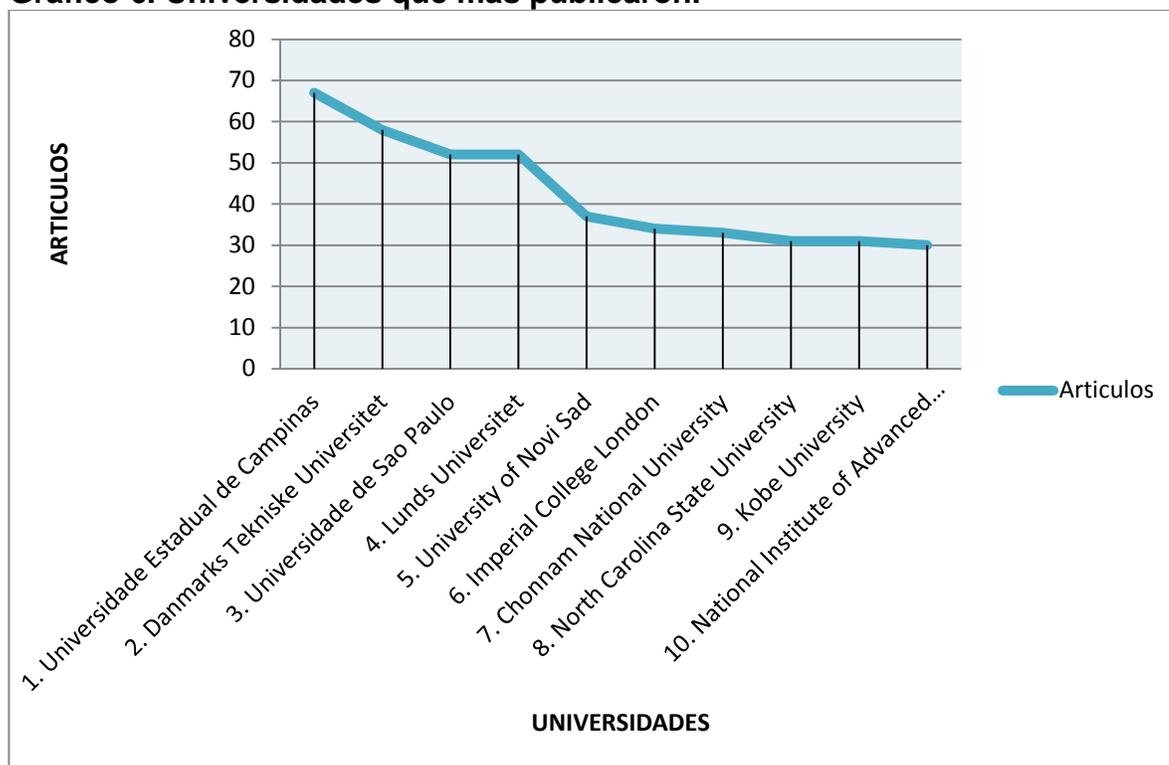
Fuente: The Vantage Point.

#### 4.9 UNIVERSIDADES QUE MÁS PUBLICARON.

La grafica 6 muestra las 10 instituciones o universidades de investigación que han publicado más artículos del tema bioetanol. En primer lugar se encuentra la “Universidad Estatal de Campiñas” con 67 publicaciones, en segundo lugar la “Universidad Técnica de Dinamarca” con 58 publicaciones y en tercer lugar la “Universidad de Sao Paulo” con 52 publicaciones.

Cabe resaltar que en los primeros lugares predominan las Universidades de Brasil.

**Grafico 6. Universidades que más publicaron.**



Fuente: The Vantage Point.

#### 4.10 LENGUAJE DE COMUNICACIÓN.

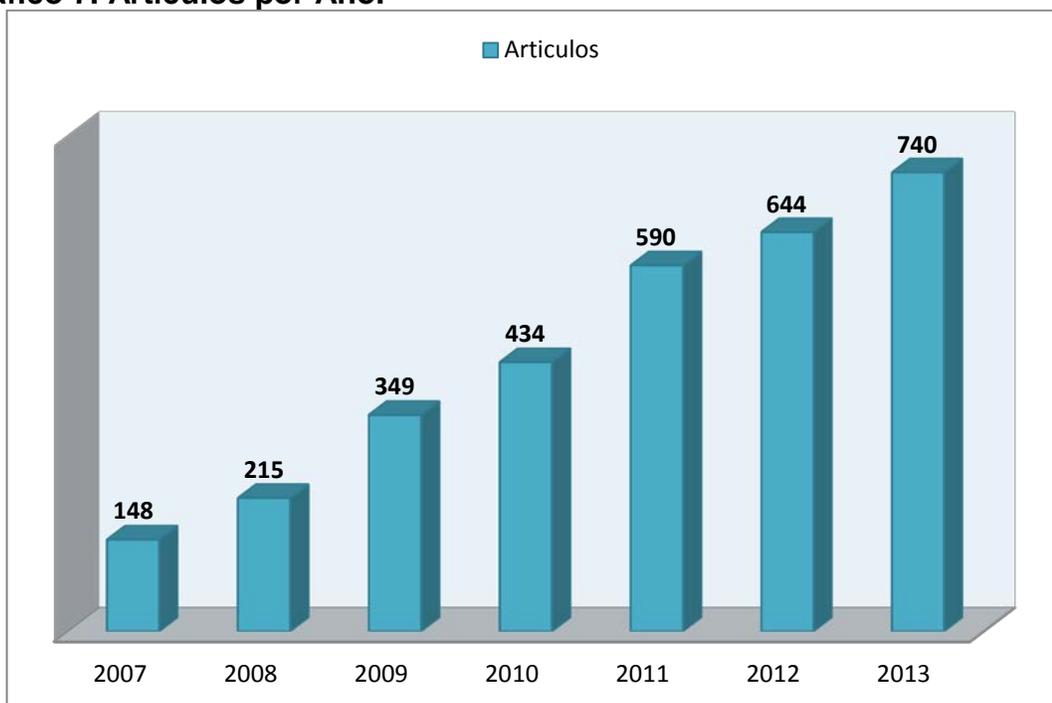
El principal tipo de comunicación fue el inglés. Es interesante notar que la mayoría de las publicaciones fueron hechas por autores Asiáticos y las universidades que más publicaron fueron brasileñas.

#### 4.11 HISTÓRICO DE LA INVESTIGACIÓN.

En la gráfica 7, se puede observar que el número de publicaciones ha venido aumentando desde el año de inicio de la búsqueda, desde el año 2006 con una producción de 148 artículos correspondientes al 4,11% del total de publicaciones hasta el año 2013 con una producción de 740 artículos correspondientes al 20,5%, se observa que aumento 5 veces la producción de artículos en este lapso de tiempo con un incremento del 16,47% del total de publicaciones.

Esto supone que la tendencia es que siga aumentando la producción de artículos referente al bioetanol cada año.

**Gráfico 7. Artículos por Año.**



Fuente: The Vantage Point.

#### 4.12 CONSOLIDACIÓN DE LA INFORMACIÓN.

Este ejercicio se basa en la consolidación de las materias primas utilizadas para la producción de bioetanol de primera y segunda generación a nivel mundial.

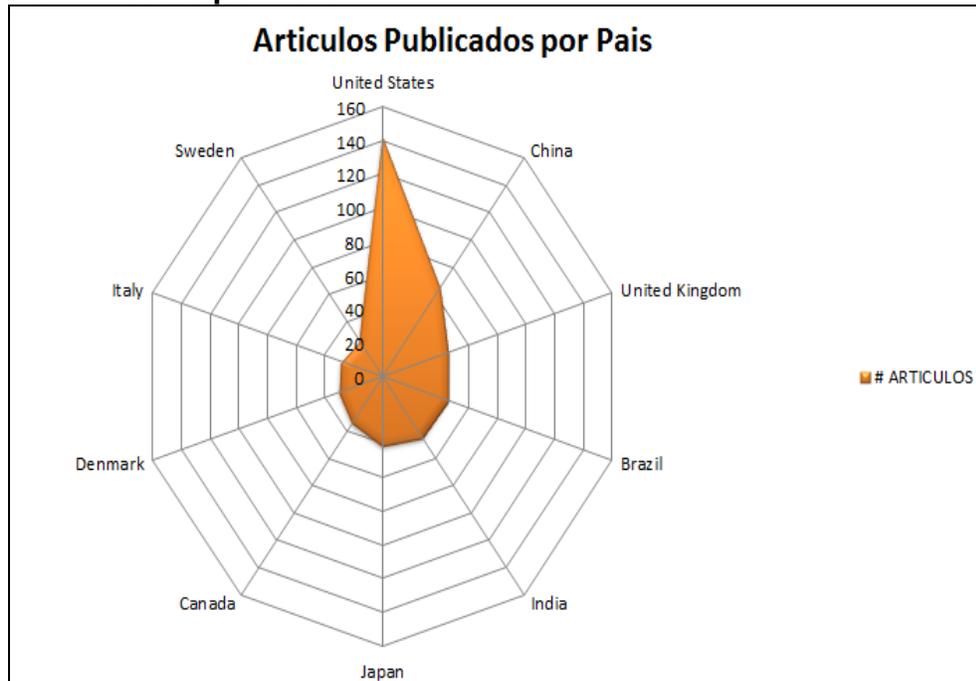
**Tabla 9. Segunda búsqueda**

<b>Segunda búsqueda</b>	
<b>Herramienta utilizada:</b>	SCOPUS
<b>Palabras clave:</b>	"Feedstock Bioethanol".
<b>Ecuación de Búsqueda:</b>	
<b>Tipo de Documento</b>	Artículos
<b>Rango de Búsqueda</b>	2007-2014
<b>Artículos Encontrados:</b>	649

- Gráfica de Tendencia de las publicaciones de Artículos por país.

A continuación se puede observar la publicación de Artículos por parte de algunos países investigadores en la temática desde el año 2007 a la actualidad.

**Grafico 8. Artículos por País.**



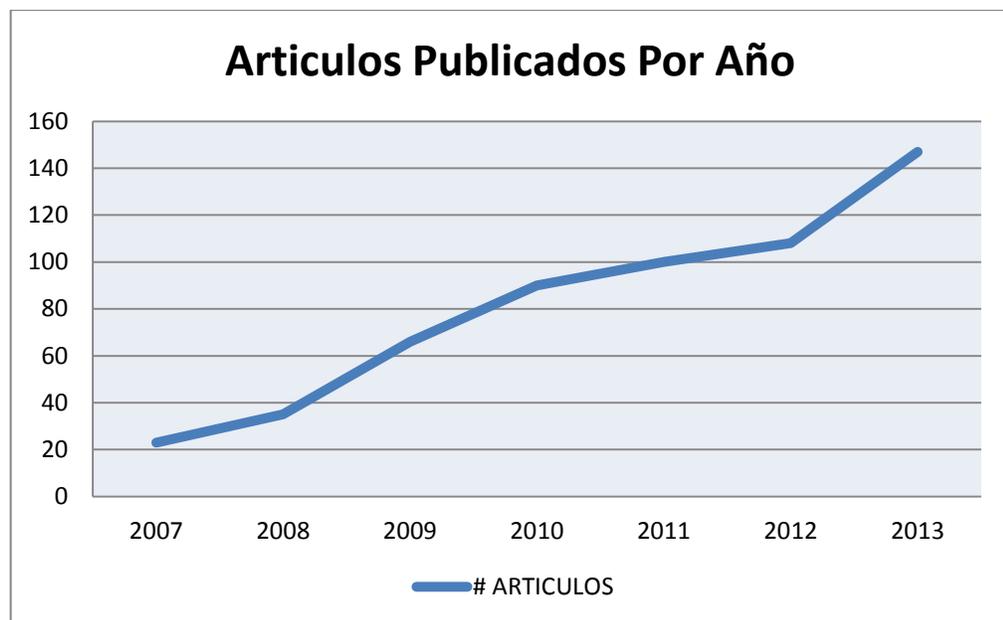
Fuente: The Vantage Point.

Con base en los artículos de investigación revisados, se puede observar que a nivel mundial, los países con mayor producción de bioetanol son Estados Unidos y Brasil.

Estados Unidos utiliza como materia prima principal para la producción de bioetanol el Maíz, en países europeos como Alemania, Francia, Italia y Dinamarca se utiliza la remolacha dulce como materia prima, y en algunos países Latinoamericanos como Brasil y Colombia se utiliza mayormente la caña de azúcar. Cabe resaltar que las publicaciones coinciden con los países con mayor producción en los últimos años entonces se puede ver un trabajo coordinado entre la investigación y la industria.

- Gráfica de tendencia de los Artículos publicados por año desde el 2007 hasta la actualidad.

**Gráfico 9. Artículos por año**



Fuente: The Vantage Point.

Con respecto a la producción científica (artículos) de acuerdo a la gráfica 9, se puede observar que muestra una tendencia de crecimiento; esto se debe a que se han explorado diversas fuentes de materias primas como bagazo, paja de arroz, trigo, residuos de maderas las cuales han sido evaluadas teniendo en cuenta diferentes parámetros; lo cual ha demostrado un alto potencial para diversos países en el mundo. También de acuerdo a la caracterización fisicoquímica del material se ha podido identificar la oportunidad de una biorefinería en donde se pueden obtener diferentes productos de valor agregado.

#### 4.12.1 Primera Generación.

**Tabla 10. Bioetanol de Primera Generación. Materia Primas.**

Materias Primas Bioetanol Primera Generación					
Materia prima	Rendimiento Agrícola (Ton/Ha)	Rendimiento en Alcohol (L etanol/Ton)	Rendimiento en Alcohol(L etanol/Ha)	Países Productores	Referencia
Caña de Azúcar	120	84,5	10140	BRASIL	Flury y Jungbluth 2012
Maíz	85	409	34765	USA	F.J. Guerra, C. Mallen, A. Struck, T. Varela 2008
Remolacha Dulce	60	200	12000	FRANCIA, ALEMANIA	F.J. Guerra, C. Mallen, A. Struck, T. Varela 2008

A nivel mundial se han venido utilizando una serie de materias primas para la producción de bioetanol de primera generación, estas materias primas se obtienen de cultivos agrícolas utilizados como fuente alimenticia, dependiendo de los cultivos potenciales que tiene cada país productor; por ejemplo, en Estados Unidos se utiliza como materia prima principal el Maíz debido a él gran potencial de cultivo que existente en este país, en Brasil y Colombia se utiliza la caña de azúcar para la obtención de bioetanol, por otro lado, en algunos países pertenecientes a la Unión Europea como Alemania, Francia e Italia se utiliza la remolacha dulce.

Cabe resaltar que aparte de la caña de azúcar, el maíz y la remolacha dulce, en algunas regiones también se han venido utilizando cultivos de yuca, sorgo, trigo con el fin de diversificar las materia primas. Aunque no todas las materias primas cuentan con las mismas características, algunas ofrecen un mayor rendimiento en cuanto a su productividad, en este orden de ideas, según la tabla 10, la caña de azúcar cuenta con el mayor rendimiento agrícola (Ton/ Ha), mientras que el cultivo del maíz ofrece un rendimiento mayor en Alcohol. En Colombia se utiliza como materia prima principal la Caña Azucarera para la producción de bioetanol, aunque la caña panelera es otra materia prima apta para la producción ya que ofrece un rendimiento de 120Ton/Ha/Año.<sup>53</sup>

<sup>53</sup> COLOMBIA. UNIDAD DE PLANEACIÓN MINERO ENERGÉTICA. UPME. Desarrollo y Consolidación del Mercado de Biocombustibles en Colombia. Junio de 2007. Capítulo IV.

#### 4.12.2 Segunda Generación.

**Tabla 11. Bioetanol de Segunda Generación. Materia Prima.**

Materias Primas Bioetanol Segunda Generación					
Materia prima	Rendimiento Agrícola (Ton/Ha)	Rendimiento en Alcohol. Teórico (L etanol/Ton)	Rendimiento en Alcohol. Teórico(L etanol/Ha)	Países	Referencia
Bagazo de Caña	30	282.62	8.478	BRASIL	Lima MA, Lavorente GB, da Silva H, Bragatto J, Rezende CA, 2013.
Rastrojo de Maíz	18	227	1.400	ESTADOS UNIDOS	Wyman, 1996.
Bagazo o Rastrojo de Sorgo	42.5	158	3.865		C. Chuck–Hernández, E. Pérez–Carrillo, E. Heredia–Olea y S.O. Serna–Saldívar.2011

A nivel mundial se han adelantado investigaciones con respecto a la producción de bioetanol de segunda generación, se han evaluado diferentes alternativas de producción y se han analizado una serie de posibles materias primas para la obtención de este biocombustible. En este caso, las materias primas provienen de material lignocelulosico, residuos agrícolas y residuos forestales que no tiene un valor alimenticio a diferencia de las materias primas de primera generación.

Se debe tener en cuenta que la producción de Bioetanol de segunda generación se encuentra en etapa experimental, debido a esto las materias primas utilizadas se encuentran en etapa de investigación para su posible uso de acuerdo a cada país productor. En Brasil se ha venido experimentando con el bagazo de la caña Azucarera, la cual tiene un rendimiento de alcohol en teoría de 8.478 Lts/Ha, relativamente alto comparado con el rastrojo de maíz y de sorgo. Por su parte, Estados Unidos se ha concentrado en la utilización de Rastrojo de Maíz como materia prima principal.

#### 4.13 ETAPAS DE PROCESO: SEGUNDA GENERACIÓN.

Este ejercicio se basa en la consolidación de las etapas del proceso productivo y Tecnologías del bioetanol de segunda generación a nivel mundial.

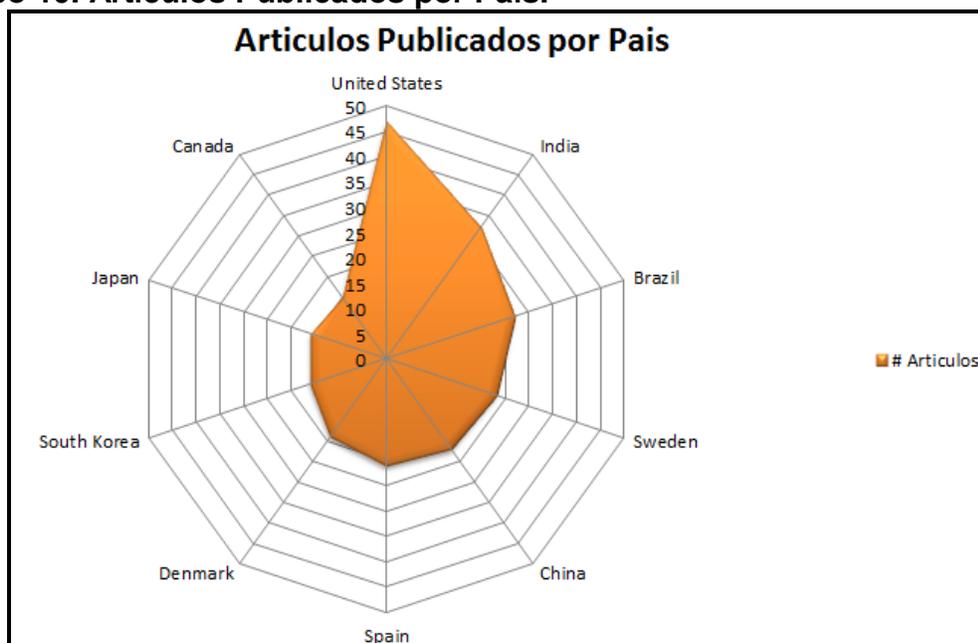
**Tabla 12. Tercera búsqueda**

Tercera búsqueda	
Herramienta utilizada:	SCOPUS
Palabras clave:	“Production Process” AND”Lignocellulosic Bioethanol”.
Ecuación de Búsqueda:	
Tipo de Documento	Artículos
Rango de Búsqueda	2007-2014
Artículos Encontrados:	328

- Grafica de Tendencia de las publicaciones de Artículos por país.

A continuación se puede observar la publicación de Artículos por parte de algunos países investigadores en la temática desde el año 2007 a la actualidad.

**Grafico 10. Artículos Publicados por País.**

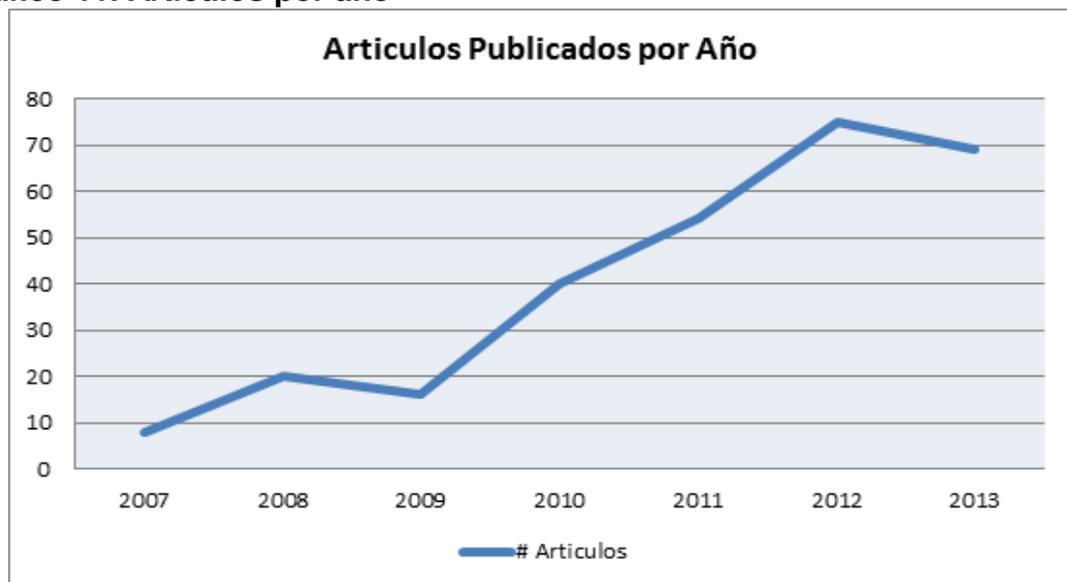


Fuente: The Vantage Point.

Con base en los artículos de investigación revisados, se puede observar que a nivel mundial, el país con mayor producción científica en cuanto a la temática de Producción de bioetanol es Estados Unidos al igual que con la temática de Materias Primas, pero en el segundo lugar se ve posicionado a la India por encima de Brasil. En la mayoría de las investigaciones analizadas se describen cuatro etapas principales de proceso, las cuales son; Pre-tratamiento, Hidrolisis, fermentación, y Destilación o Separación. En cada etapa se encontró una serie de tecnologías aplicables a la producción las cuales se describirán a continuación.

- Grafica de tendencia de los Artículos publicados por año desde el 2007 hasta la actualidad.

**Grafico 11. Artículos por año**



Fuente: The Vantage Point

Con respecto a la producción científica (artículos) de acuerdo a la gráfica 11, se puede observar que muestra una tendencia de crecimiento; esto se debe a que se han explorado diferentes alternativas de producción utilizando las tecnologías que se pueden aplicar en cada etapa de proceso y sus posibles configuraciones, con el fin de generar un modelo económicamente sostenible. También se está analizando la utilización de diferentes subproductos generados en el proceso como posible valor agregado.

**4.13.1 Proceso** Actualmente el bioetanol de segunda generación no se produce comercialmente, aunque en diversos países se están realizando proyectos de demostración con plantas que utilizan producciones a pequeña escala con el fin de

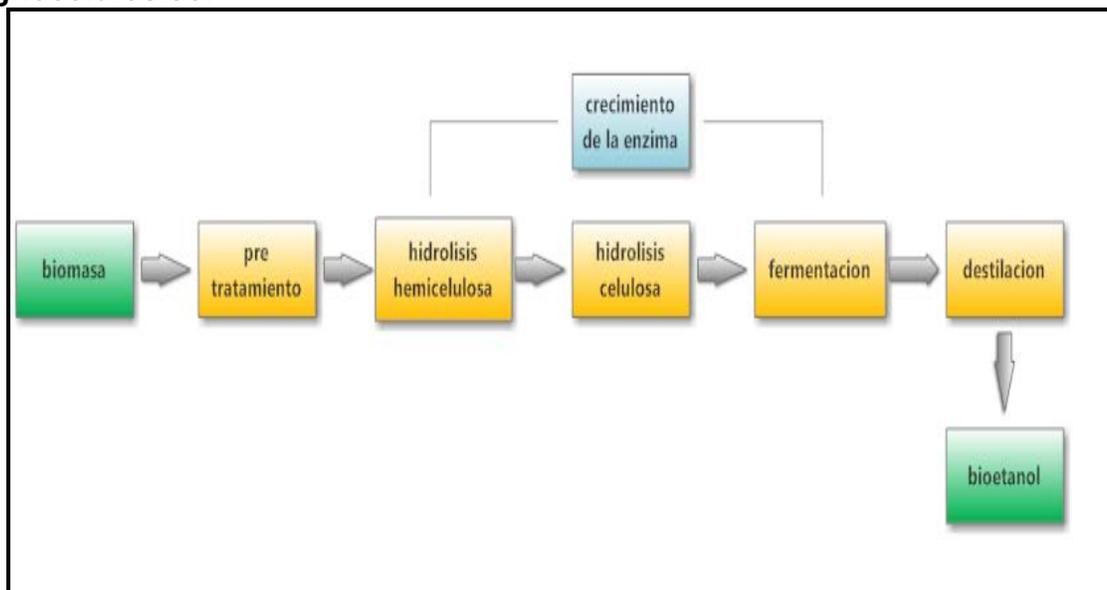
generar nuevas fuentes de energías renovables sin afectar la producción de alimentos.

El bioetanol de segunda generación se produce a partir de Biomasa lignocelulosa, la cual proviene de residuos agrícolas, residuos forestales y maderas que tiene un alto contenido de azúcares fermentables (Celulosa); cabe resaltar que ofrecen una ventaja ya que están altamente disponibles para su uso.

El proceso de producción de segunda generación es más complejo comparado con el de primera generación, debido a la complejidad estructural que presentan las materias primas utilizadas, ya que estas contienen azúcares que están unidos químicamente en cadenas y no pueden ser fermentados por los microorganismos convencionales utilizados para la producción de etanol.<sup>54</sup>

En este proceso se aplica tecnología más compleja e involucra cuatro etapas principales como: una primera etapa que consta del Pre-Tratamiento, seguida por una Hidrolisis, luego la Fermentación y por último la Separación, como lo indica la gráfica 12

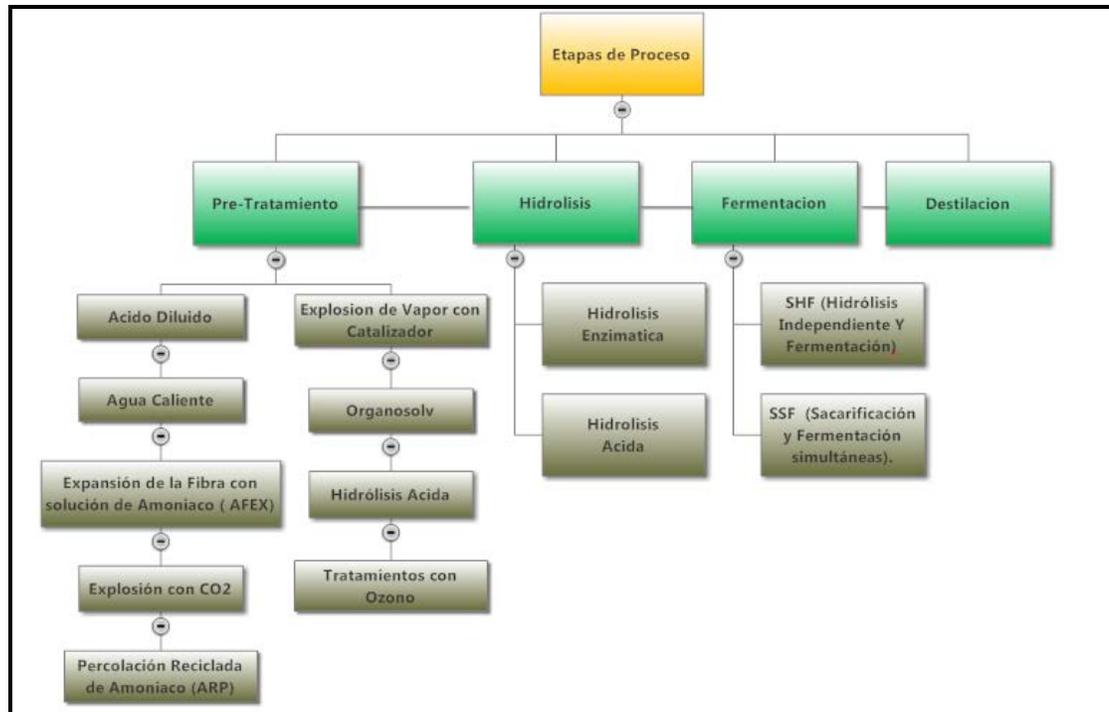
**Gráfico 12. Etapas de proceso para la producción de bioetanol lignoceluloso.**



Fuente: ANDRE faaij. "Biofuel Conversion Technologies". Chapter 7 "Sugarcane Ethanol".

<sup>54</sup> Biofuel Conversion Technologies. Sugarcane Ethanol. Chapter 7. Andre Faaij. Disponible en Internet: <http://sugarcane.org/resource-library/studies/Wageningen%20-%20Chapter%207.pdf>

**4.13.2 Etapas.** A continuación se relacionan las etapas de procesamiento de bioetanol de segunda generación con sus respectivas tecnologías y configuraciones.



**4.13.2.1 Pre-Tratamiento.** El Pre-Tratamiento es la primera etapa del esquema de producción del bioetanol, esta etapa es indispensable para el procesamiento de biomasa lignocelulósica ya que permite que los rendimientos de hidrólisis de la celulosa aumenten, esto se hace necesario ya que la lignina en las paredes celulares de la planta forma unas barreras a las cuales se les aplica posteriormente enzimas. Un pre tratamiento ideal es reducir el contenido de lignina, disminuir la cristalinidad de la celulosa e incrementar el área superficial.<sup>55</sup>

Un Pre-tratamiento eficaz es fundamental para el éxito de las siguientes etapas de Hidrolisis y Fermentación.<sup>56</sup> Cabe mencionar que esta etapa se considera la más costosa del proceso.

<sup>55</sup> Krishna, S.H., T. Reddy, J., y Chowdary, G.V. (2001). Simultaneous saccharification and fermentation of lignocellulosic wastes to ethanol using a thermotolerant yeast. *Bioresource Technology*. 77, 193±196.

<sup>56</sup> Wyman CE. What is (and is not) vital to hydrolysate to ethanol. In:Himmel ME, Baker JO, Overend RP, editors. *Enzymatic conversion of biomass for fuels production*. ACS symposium series, vol. 566. Washington, DC:American Chemical Society; 1994. p. 411e37.

Las operaciones que hacen parte del pre-tratamiento incluyen principalmente procesos físicos, procesos químicos y procesos fisicoquímicos, cada uno de ellos tiene una función específica.

Los tipos de pre-tratamiento físicos se encargan principalmente de la disminución del tamaño del material lignocelulosico, en cuanto los pre-tratamientos químicos se encargan principalmente de la solubilización de la Lignina; por ultimo en los pre-tratamientos físico-químicos se toma en cuenta el vapor para modificar la estructura.

**Tabla 13. Tecnologías de Pre-Tratamiento.**

PRE-TRATAMIENTO	PRINCIPALES CARACTERISTICAS	REFERENCIAS
<b>Acido Diluido</b>	*Técnica práctica y sencilla. No requiere de Energía Térmica. *Hidrólisis Efectiva de Hemicelulosas con alto rendimiento de azúcar.	*Chandel AK, Chan E, Rudravaram R, Narasu ML, Rao LV, Ravindra P.2007. *Wyman CE, Dale BE, Elander RT, Holtzapple M, Ladisch MR, Lee YY. 2005
<b>Agua Caliente</b>	* La mayoría de las Hemicelulosas pueden ser disueltas. * No hay presencia de productos químicos tóxicos e inhibidores.	*Hu G, Heitmann JA, Rojas OJ.2008. *Laser M, Schulman D, Allen SG, Lichwa J, Antal MJ, Lynd LR.2008
<b>Expansión de la Fibra con solución de Amoniac ( AFEX)</b>	*Eficaz contra los residuos agrícolas, principalmente el rastrojo de maíz sin productos finales tóxicos. *No es adecuado para materiales con alto contenido de Lignina.	*Sun Y, Cheng J.2002. *Hendriks ATWM, Zeeman G.2009.
<b>Explosión con CO2</b>	*Es más barato que la explosión con amoniac. No origina los compuestos inhibitorios que se originan durante la explosión por vapor.	*Zheng et al., 1998
<b>Percolación Reciclada de Amoniac (ARP)</b>	*Alta redistribución de la Lignina (85%). *Reciclaje de amoniac.	*Kim S, Dale BE.2005. *Drapcho CM, Nhuan NP, Wlaker TH.2008.

PRE-TRATAMIENTO	PRINCIPALES CARACTERISTICAS	REFERENCIAS
<b>Explosión de Vapor con Catalizador</b>	*Eficaz contra los residuos agrícolas de la madera. * Eliminación de hemicelulosas en altas fracciones.	*Lloyd TA, Wyman CE.2005. *Bisaria VS, Ghose TK.1981.
<b>Organosolv</b>	*Alto rendimiento por la combinación de Acido. *Eficaz contra la madera dura y blanda. * Baja concentración de azúcar hemicelulosico.	*Monavari S, Galbe M, Zacchi G. 2009. *Pan XJ, Xie D, Gilkes N, Gregg DJ, Saddler JN.2005.
<b>Hidrólisis Acida</b>	*Ácidos concentrados: se obtienen rendimientos de hidrólisis superiores al 90%. *Ácidos diluidos: bajo consumo de ácidos; hidrólisis del 80 al 100% de la hemicelulosa; la Tº alta favorece la hidrólisis de la celulosa.	*Keller, 1996
<b>Tratamientos con Ozono</b>	* Efectivo para eliminar la Lignina a partir de una amplia gama de material celulósico sin generar inhibidores. * Costoso.	*Sun Y, Cheng J. 2002.

**4.13.2.2 Hidrolisis.** El éxito de la etapa de hidrólisis depende de la eficacia del pre-tratamiento aplicado en la primera etapa.<sup>57</sup> En esta etapa el propósito principal es convertir la celulosa en azúcares que se puedan fermentar.

Hay dos tipos diferentes de procesos de hidrólisis que se pueden aplicar en esta etapa ya sea ácida (ácido sulfúrico) o Hidrolisis Enzimática.

- **Hidrolisis Enzimática**

Proceso catalizado por enzimas denominadas celulasas, cuyo propósito es la degradación de la celulosa.<sup>58</sup>

<sup>57</sup> Gamage J, Howard L, Zisheng Z. Bioethanol production from lignocellulosic biomass. J Biobased Mater Bioenerg 2010;4:3e11.

<sup>58</sup> Sanchez Riano, A. M.; Gutierrez Morales, A. I.; Munoz Hernandez, J. A. Bioethanol Production from agroindustrial lignocellulosic.

El uso del pre-tratamiento como se explicaba anteriormente, facilita el desarrollo de esta etapa. Cabe destacar que en la mayoría de procesos de hidrólisis existe un primordial interés por los azúcares provenientes de la celulosa, sin embargo, la tendencia actual es el aprovechamiento integral de la biomasa, utilizando enzimas en este proceso.

- **Hidrolisis Acida**

La hidrólisis acida es un proceso químico que emplea catalizadores ácidos para transformar las cadenas de polisacáridos que forman la biomasa (hemicelulosa y celulosa) en sus monómeros elementales.<sup>59</sup>

Este tipo de hidrólisis utiliza diferentes clases de ácidos: sulfuroso, clorhídrico, sulfúrico, fosfórico, nítrico y fórmico.

Actualmente se están utilizando a nivel industrial los ácidos clorhídrico y sulfúrico. En esta etapa es donde se lleva a cabo la hidrolisis de la celulosa.

**4.13.2.3 Fermentación.** Los procesos de pre- tratamiento y la hidrólisis están diseñados para optimizar el proceso de fermentación.<sup>60</sup>

En esta etapa biología del proceso, dependiendo de las condiciones y de las materias primas utilizadas, se requiere de la presencia de microorganismos para fermentar el azúcar en alcohol. En esta etapa se suele utilizar el término de integración de procesos.

- **SHF (Hidrólisis Independiente Y Fermentación).**

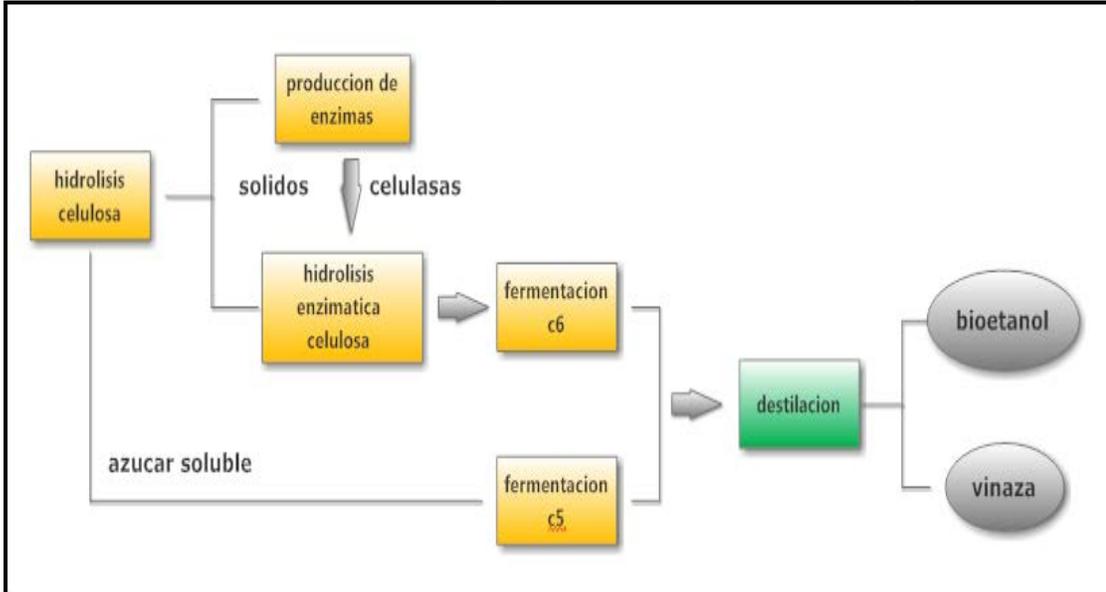
En este proceso, la hidrólisis de celulosa y la posterior fermentación de la glucosa se llevan a cabo en diferentes reactores, como lo dice su nombre, este proceso se realiza por separado como se puede observar en la gráfica 13.

---

<sup>59</sup> Galbe, M., y Zacchi, G. (2002). A review of the production of ethanol from softwood. Appl. Microbiol. Biotechnol. 59, 618- 628.

<sup>60</sup> Gamage J, Howard L, Zisheng Z. Bioethanol production from lignocellulosic biomass. J Biobased Mater Bioenerg 2010;4:3e11

**Gráfico 13. Proceso de Separación de Hidrólisis y Fermentación.**



Fuente: HAMELINK, hooijdonk, faau, 2005.

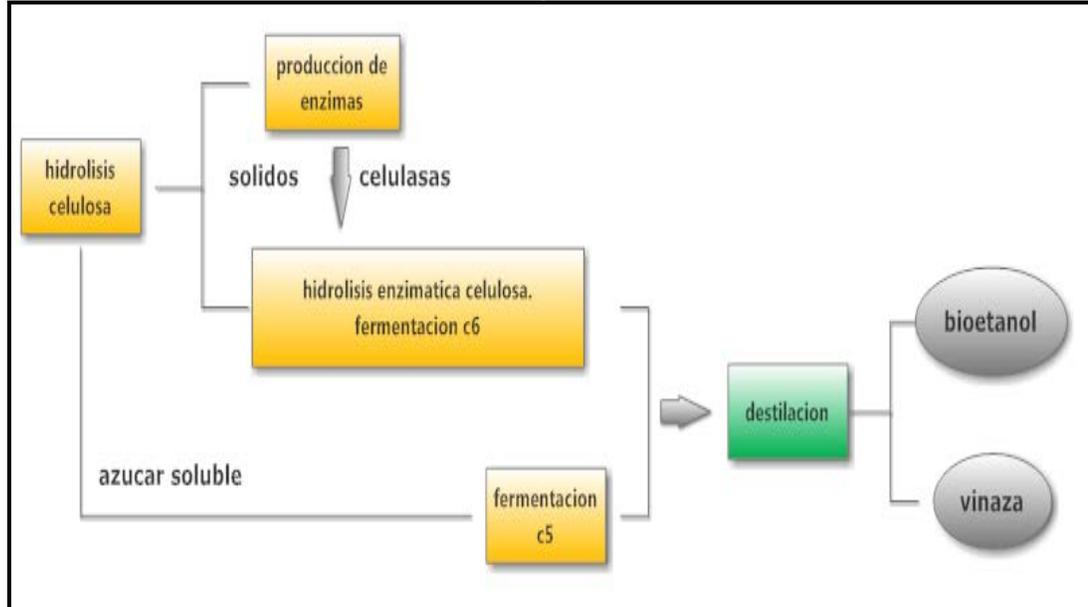
La temperatura de la hidrólisis enzimática y la fermentación se puede optimizar. La hidrólisis enzimática se lleva a cabo mediante la ruptura de celulosa y celobiosa en glucosa, por lo tanto por  $\beta$ -glucosidasa. Sin embargo, estos productos son inhibidores de enzimas (endoglucanasa y celobiosa por  $\beta$ -glucosidasa por la glucosa),<sup>61</sup> lo que no ocurre en el proceso de SSF, porque se está formando este proceso como la glucosa, también está siendo consumidos para la producción de etanol, que conduce a una mayor conversión de celulosa.

- **SSF** (Sacarificación y fermentación simultáneas).

A diferencia del proceso SHF, como su nombre lo indica, la fermentación de la glucosa y la hidrólisis de la celulosa se lleva a cabo en el mismo reactor, se hace de forma simultánea como se puede observar en la gráfica 14

<sup>61</sup> Bioetanol en Brasil. Disponible en Internet en: <http://www.biocombustiveis2g.xpg.com.br/biocombustivel.html>

**Grafico 14. Proceso de sacarificación y fermentación simultánea.**



Fuente: HAMELINK, hooijdonk, faau, 2005

**4.13.2.4 Separación.** El bioetanol obtenido a partir de la etapa anterior de fermentación requiere aún más la separación y purificación de etanol a través de un proceso de destilación. Esta es la última etapa de procesamiento.

La destilación fraccionada es un proceso implementado para la separación del etanol del agua. Este proceso consiste simplemente en hervir la mezcla de etanol. Debido a que el punto de ebullición del agua (100 ° C) es mayor que el punto de ebullición de etanol-(78,3 ° C), el etanol se convierte en vapor antes de agua. Así, el agua puede ser separada a través de un procedimiento de condensación.<sup>62</sup>

#### 4.14 RUTAS TECNOLOGICAS PARA LA PRODUCCION DE BIOETANOL

En la actualidad se han desarrollado diversas rutas tecnológicas para la producción de bioetanol a partir de biomasa lignocelulósica. A continuación se describen algunas rutas propuestas por algunas compañías y algunos investigadores a nivel mundial.

<sup>62</sup> Cardona CA, Sanchez OJ. Fuel ethanol production: process design trends and integration opportunities. Bioresour Technol 2007;98:2415e57

**4.14.1 Tecnología NREL.** Esta tecnología fue diseñada por el National Renewable Energy Laboratory de Estados Unidos (NREL), la cual comprende una hidrólisis previa de la biomasa con ácido diluido, cabe resaltar que en esta tecnología se utiliza la madera como materia prima, seguida de un proceso de sacarificación y co-fermentación simultáneas (SCFS) .El proceso emplea el vapor generado durante la combustión del metano formado en el tratamiento anaeróbico de las aguas residuales, así como durante la combustión de la lignina.<sup>63</sup> Se calcula que la producción de un litro de etanol por este proceso es de US\$0,396.<sup>64</sup>

**4.14.2 Tecnología IOGEN.** Esta ruta tecnológica fue desarrollada por la corporación IOGEN, el cual es el mayor productor de enzimas industriales en Canadá. Esta compañía desarrolló un proceso de hidrólisis y fermentación separadas (HFS) que comprende la explosión a vapor catalizada por ácido diluido y la remoción de la mayor parte del ácido acético liberado durante el pre tratamiento.<sup>65</sup>

**4.14.3 Tecnología DELHI IIT.** Los investigadores Ghosh y Ghose reportan el proceso modelo para la producción de bioetanol propuesto por el Indian Institute of Technology (IIT) el cual involucra dos etapas de pre tratamiento: explosión a vapor seguida de un pre tratamiento con solventes para la des lignificación de la biomasa.<sup>66</sup>

**4.14.4 Tecnología de REITH et al.** Ellos han revisado diferentes procesos para la conversión de biomasa en bioetanol y han concluido que, en las condiciones de Holanda, el pasto de borde de carretera, las copas de sauce y los residuos de la molienda de trigo podrían ser materias primas potenciales para la producción de alcohol carburante. Estos autores construyeron un modelo en Excel para la descripción genérica del proceso, el cual involucra la evaporación de la corriente que viene de la etapa de sacarificación de tal forma que la concentración de azúcares permita una concentración de al menos un 8,5% (vol.) de etanol.<sup>67</sup>

---

<sup>63</sup> . Wooley R., Ruth M., Sheehan J., Ibsen K., Majdeski H., Galvez A. (1999). Lignocellulosic biomass to ethanol process design and economics utilizing co-current dilute acid prehydrolysis and enzymatic hydrolysis. Current and futuristic scenarios. Technical Report NREL/TP-580-26157. Golden, CO, USA: National Renewable Energy Laboratory. 123

<sup>64</sup> McAloon A., Taylor F., Yee W., Ibsen K., Wooley R. (2000). Determining the cost of producing ethanol from corn starch and lignocellulosic feedstock's. Technical Report NREL/TP-580-28893. Golden, CO (USA): National Renewable Energy Laboratory. 35 p.

<sup>65</sup> Tolan J.S. (2002). Iogen's process for producing ethanol from cellulosic biomass. Clean Technologies and Environmental Policy, 3: 339-345.

<sup>66</sup> . Ghosh P., Ghose T.K. (2003). Bioethanol in India: Recent past and emerging future. Advanced Biochemical Engineering and Biotechnology, 85: 1–27.

<sup>67</sup> Reith J.H., den Uil H., van Veen H., de Laat W.T.A.M., Niessen J.J., de Jong E., Elbersen H.W., Weusthuis R., van Dijken J.P., Raamsdonk L. (2002). Co-production of bioethanol, electricity and heat from biomass

## 4.15 Conclusiones

La importancia de la investigación sobre la producción de bioetanol a partir de biomasa primaria y secundaria se ve reflejada en la cantidad de artículos publicados.

Los resultados presentados en este trabajo proporcionan ideas útiles en la investigación sobre la producción de bioetanol a partir de biomasa, incluyendo el tipo de documento analizado, en este caso los artículos, el tamaño de la muestra o la cantidad de artículos, los autores que más publicaciones aportaron en el lapso de tiempo de la búsqueda, los países con más producción de artículos, y las instituciones o universidades con mayor investigación en el tema.

Los resultados mostraron que la investigación sobre la producción de bioetanol a partir de biomasa ha crecido de forma constante durante el periodo delimitado para la búsqueda, el cual fue del año 2007 hasta el 2014, esto quiere decir que los países e instituciones han venido aumentando su producción científica en este tema con el fin de obtener diferentes alternativas viables para la producción de bioetanol lignocelulosico a través de la evaluación de diferentes materias primas y rutas tecnológicas de producción que ofrezcan el menor costo posible.

Este estudio demuestra que el análisis bibliométrico tiene un gran potencial para obtener información valiosa sobre la evolución de la investigación en este campo, como en el caso de utilización de diferentes materias primas y la configuración de diferentes rutas tecnológicas de procesamiento, y las etapas del proceso productivo.

---

residues. En: 12th European Conference and Technology Exhibition on Biomass for Energy, Industry and Climate Protection. Amsterdam, The Netherlands.

## 5. MODELO MATEMÁTICO

En este estudio se plantea un modelo matemático de Optimización que corresponde a un modelo ideado para escoger entre varias alternativas, de acuerdo a determinados criterios, la alternativa más óptima.

La demostración de modelos matemáticos de optimización, ya sea en Ingeniería de procesos o en otras áreas abarca principalmente, la recolección de los hechos de la vida real en ecuaciones matemáticas que muestren una función objetivo y las restricciones a las que está sujeto el modelo.

Para el presente estudio, es necesaria la utilización de nuevas tecnologías de procesamiento que se encuentra en etapa de investigación, debido a eso se hace necesaria la selección de una tecnología en cada etapa de proceso, teniendo en cuenta lo anterior se desarrolla una síntesis de procesos.

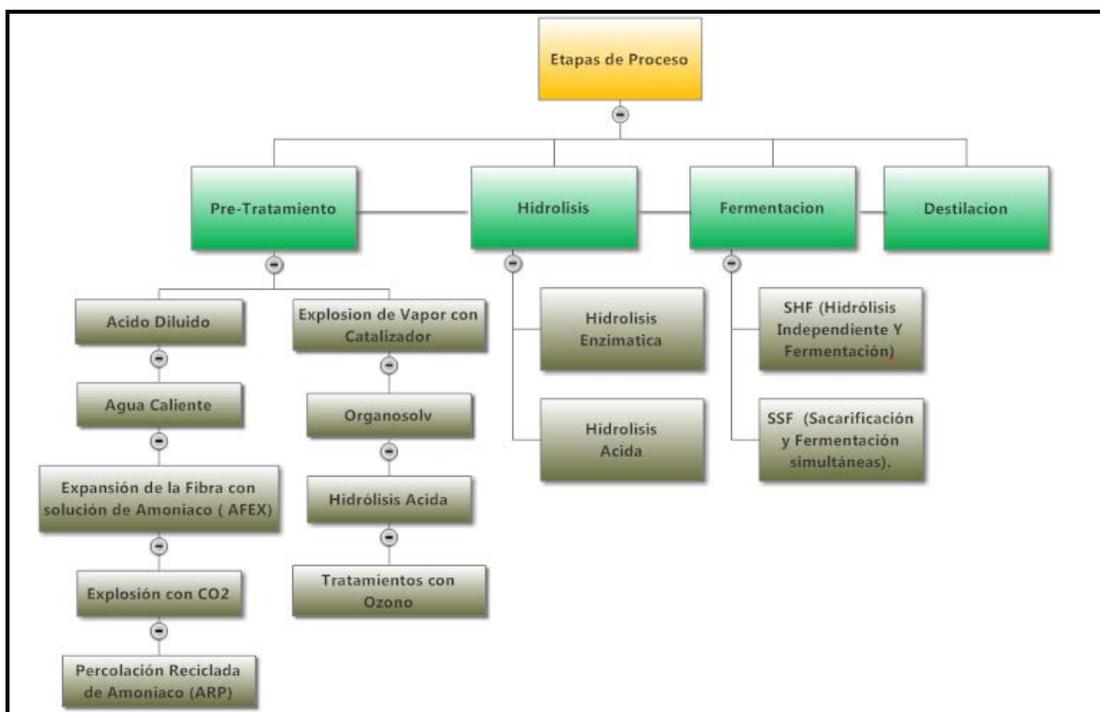
En este caso se planteó realizar una síntesis por programación matemática y se utilizó un modelo MILP (Mixed Integer Linear Program) para la función objetivo, el cual fue planteado en el trabajo titulado “Desarrollo de un modelo MILP para la síntesis de una ruta de procesamiento de bioetanol a partir de bagazo de caña” desarrollado por Roberto Pineda y Viviana Quintero Dallos.

Con base en lo anterior la metodología es la siguiente.

1. Con base en la revisión bibliométrica se consolidan las tecnologías de procesamiento para cada etapa del proceso productivo.
2. Planteamiento de una síntesis de procesos, la cual consta de un diseño de la superestructura y de un modelo matemático.

### **Revisión Bibliométrica: Rutas Tecnológicas.**

En la primera etapa, se realizó una búsqueda bibliométrica dirigida principalmente a la consolidación de la información referente a las materias primas utilizadas, tecnologías de procesamiento y análisis de proceso del bioetanol de primera y segunda generación.



Fuente: Elaboración de los autores del proyecto con base en la revisión bibliométrica.

En la tabla anterior se puede observar las diferentes rutas tecnológicas existentes en cada etapa del proceso productivo del bioetanol de segunda generación.

## 5.1. SÍNTESIS DE PROCESOS POR PROGRAMACIÓN MATEMÁTICA

La síntesis de procesos por programación matemática radica en la aplicación de algoritmos de optimización, esto depende de las características de los fenómenos modelados y de las necesidades planteadas en cada síntesis, que pueden representar desde tuberías y equipos hasta configuraciones enteras de procesos productivos.<sup>68</sup>

Este método de programación matemática ofrece mayor adaptación y agilidad al momento de escoger una ruta, y genera resultados efectivos en la generación de propuestas cercanas a lo más óptimo.<sup>69</sup>

### Modelos de Optimización

<sup>68</sup> Xiaoning Li, & Andrzej Kraslawski (2004). Conceptual process synthesis: past and current trends. Chemical Engineering and Processing 43 589–600.

<sup>69</sup> Síntesis de procesos. Método de síntesis Jerárquica de Douglas (1988). Universidad Nacional de San Juan.

En todo problema de optimización se pueden encontrar tres elementos principales: las restricciones de igualdad o desigualdad, el algoritmo de optimización y la función objetivo.<sup>70</sup>

- Restricciones de igualdad o desigualdad

En un ejercicio de síntesis formal, el conjunto de restricciones lo componen básicamente los balances de masa y energía de las corrientes y los equipos, así como las leyes termodinámicas y demás limitaciones fenomenológicas propias a los procesos tenidos en cuenta.<sup>71</sup>

En la actualidad no se observa un modelo (o conjunto de restricciones) que maneje cada una de la restricciones al mismo tiempo y en el mismo nivel, debido a que implicaría una complejidad a la hora de aplicar el algoritmo.

- Algoritmo de Optimización

Un algoritmo de optimización, es una herramienta utilizada para disminuir el tiempo de análisis e incrementar la confiabilidad de optimalidad en un proceso de prueba y error aplicando ciertos métodos numéricos.

Los algoritmos se pueden clasificar en determinísticos y estocásticos. En este trabajo de investigación se trabajaron los algoritmos determinísticos, los cuales basan su funcionamiento en la estructura interna del modelo y la función objetivo.<sup>72</sup>

- Función Objetivo

La función objetivo es en definitiva el elemento de mayor relevancia al momento de realizar la selección, porque es en ella en la que se deben dejar definidos los criterios que se van a usar en el modelo, en la función objetivo se debe aprovechar el enfoque de modelado y en este se debe realizar el juicio correcto para parametrizar correctamente las variables de decisión, las cuales en general no tendrán las mismas unidades.

A continuación se enuncian los modelos que fueron base en el desarrollo de éste trabajo de investigación.<sup>73</sup>

---

<sup>70</sup> Thomas F. Edgar, & David M. Himmelblau. Optimization of chemical processes. Leon S Leasdon. 2 Edicion. ISBN 0-07-039359-1

<sup>71</sup> Ibid.

<sup>72</sup> Viet Pham & Mahmoud El-Halwagi (2011). Proces Synthesis and optimization of biorefinery configuration. Published online June20, in Wiley Online library.

<sup>73</sup> Grossmann I.E., Caballero J.A. H. & Yeomans (2000). Advances in mathematical programming for the synthesis of process systems. Latin American Applied Research 30-263-284

- Agregados

Con alto grado de simplificación, la cual obedece al aspecto en particular a ser optimizado. Aquí encontramos modelos como el usado para minimizar los costos de servicios industriales en destilación, o hallar el número mínimo de unidades en redes de intercambio de calor.

- Rigurosos

Son altamente detallados, centrándose en los modelos disponibles para predecir el desempeño de las unidades de operación por ejemplo. Por ejemplo son usados en la síntesis de secuencias de destilación, tanto ideal como no-ideal.

- Tipo “short Cut”:

Su grado de detalle se sitúa entre los dos anteriores, y los procesos de transformación son predichos aprovechando al máximo la forma algebraica de las ecuaciones a disposición. Ejemplos de costos son los que involucran optimización por costos, y suelen suponer problemas de tipo MILP (de programación mixta lineal entera, por sus siglas en inglés) o LP (de programación lineal).

Además del tipo de problema de optimización al que se aspira llegar, la formulación del modelo también debe apuntar a la estrategia de solución que se desea implementar. Existen dos estrategias, que se enuncian a continuación:

- Secuencial

Consiste en la partición del problema en una serie de subproblemas, que serán resueltos de manera secuencial, y cuyo orden generalmente obedece a un sentido de menor a mayor complejidad. Esta estrategia se asemeja más a la metodología propuesta por Douglas.

- Simultanea

Implica que todas las restricciones son tomadas en cuenta simultáneamente al momento de asignar valores para las variables, es decir, el modelo se optimiza de una vez. Es una forma bastante rigurosa que puede presentar dificultades dependiendo de la complejidad del modelo.

Actualmente, el ejercicio de síntesis de procesos por programación matemática, es utilizado en múltiples casos ingenieriles tales como el diseño conceptual de biorefinerías, una forma bastante simplificada para los modelos (rendimientos

experimentales aplicados algebraicamente y centra su atención en la evaluación de costos; en lo que se podrían denominar tipo “short cut”.<sup>74</sup>

La función objetivo específica para el caso del bioEtanol a partir de bagazo de caña, la cual es una versión modificada de la forma genérica descarta en la metodología adaptada a las consideraciones particulares del caso, es:

$$\begin{aligned} \frac{\text{Utilidad}}{\text{año}} = & \left\{ \left( \sum_o^4 Mfout_{4,6,0} * PM_6 \right) * Precio_6 - \sum_i^4 \sum_o^4 (Fin_{i,o} + Finex_{i,o}) * Cop_{i,o} \right. \\ & - \sum_i^4 \sum_o^4 (Mfinex_{i,7,o} * PM_7 * Precio_7) \\ & - \left. \sum_i^4 \sum_o^4 (Qenf_{i,o} * Cen_f + Qcal_{i,o} * Ccal) - Fmp * Precio_{mp} \right\} \\ & * (8000) - \left\{ \sum_i^4 \sum_o^4 (N_{i,o} * Cfix_{i,o}) \right\} * \frac{1}{5} \end{aligned}$$

- **Software de Programación Utilizado.**

La herramienta utilizada para la optimización del modelo matemático fue el software Lingo 14.0 (Linear Generalize Optimizer) el cual es una herramienta útil y sencilla para formular problemas lineales y no lineales, el cual debido a sus características funcionales proporcionó las bases necesarias para el ejercicio.

El resultado que LINGO proporciona es la optimización que facilita la búsqueda del mejor resultado: puede ser la ganancia más alta, o el costo más bajo. A menudo estos problemas involucran el uso más eficiente de los recursos. Los problemas de optimización son clasificados a menudo como lineales o no lineales, dependiendo si las relaciones en el problema son lineales con respecto a las variables, como capacidad, rendimiento, costo, etc.<sup>75</sup>

- **Diseño de la Superestructura**

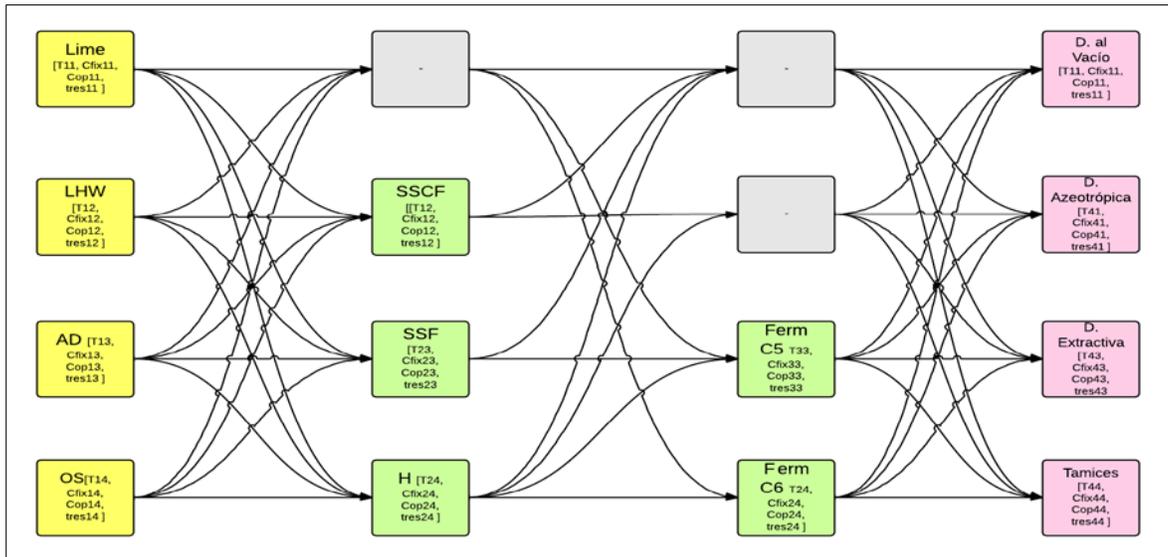
Para el proceso de obtención de bioetanol de segunda generación se relacionan diversas tecnologías en cada una de las etapas de procesamiento. En este estudio, se plantean las siguientes etapas dependiendo de la materia prima utilizar

<sup>74</sup> Jonathan Moncada, Mahmoud M. El-Halwagi, & Cardona Carlos A. (2012). Techno-economic analysis for a sugarcane biorefinery: Colombian case. Bioresource Technology

<sup>75</sup> Investigación Operativa. LINGO. Lindo System. Disponible en internet en: [http://www1.frm.utn.edu.ar/ioperativa/lingo\\_lindo.pdf](http://www1.frm.utn.edu.ar/ioperativa/lingo_lindo.pdf)

que en este caso fue el bagazo de la caña panelera, y se recrean diversas rutas tecnológicas de procesamiento para determinar la más óptima.

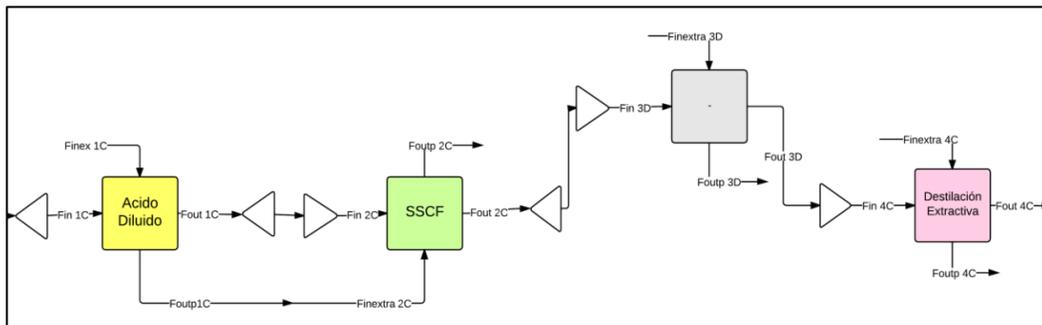
**Gráfico 15. Superestructura de Etapas.**



- **Ruta seleccionada para el estudio.**

Dicha ruta de síntesis se mantuvo como la mejor, según la forma de la función objetivo propuesta, para materia prima cuyas composiciones correspondieran con las del bagazo.

**Gráfico 16. Ruta Sintetizada.**



## 6. ESTUDIO DE MERCADOS

El estudio de mercados es la primera fase para el desarrollo del estudio de pre factibilidad, en el cual se tienen en cuenta tres variables para el análisis: producto, consumidor y mercado.<sup>76</sup>

En este proyecto es necesario, consolidar la información posible sobre el mercado del Bioetanol en Colombia, el comportamiento de la demanda y la oferta, de modo que disminuya el riesgo de las inversiones que se realicen a largo plazo.

Para el desarrollo del estudio de mercados, los autores plantean actividades específicas que se enuncian a continuación.

### 6.1 GENERALIDADES

- **Actividad**

Realizar un estudio de mercados que permita identificar el comportamiento histórico y actual de la oferta y la demanda del bioetanol combustible, así como las fluctuaciones en los precios de bioetanol combustible a nivel nacional.

- **Tareas**

- Determinar la demanda real y potencial de bioetanol combustible a nivel nacional.
- Identificar la oferta real y potencial el bioetanol combustible a nivel nacional.
- Analizar el comportamiento histórico de los precios de bioetanol combustible a nivel nacional.

---

<sup>76</sup> MIRANDA Miranda Juan José. Gestión de proyectos. Bogotá: MM Editores. 2005. p.91

## 6.2 ANÁLISIS DEL MERCADO

**6.2.1 Caracterización del mercado del Bioetanol.** De acuerdo con un estudio realizado por la Comisión Económica para América Latina y el Caribe CEPAL<sup>77</sup>; en Latinoamérica, los países de Brasil, Argentina y Colombia se están consolidando como pioneros en la producción de bioetanol. Brasil es la potencia latinoamericana con 25.000 millones de litros; mientras Colombia y Argentina para el mismo año produjeron 387 y 354 millones de litros, respectivamente, tal como se muestra en la tabla 16<sup>78</sup>

**Tabla 14. Producción de Etanol en Latinoamérica para el año 2013.**

PAÍSES	PRODUCCIÓN( MILES DE LITROS)
Brasil	25.000.000
Colombia	387.850
Argentina	354.000
Paraguay	205.000
Perú	180.000
Otros Suramérica	205.000

Fuente: F.O Licht, cifras de Asocaña.

- **Brasil**

Es el principal productor de bioetanol de la Latinoamérica y el segundo productor a nivel mundial superado solo por Estados Unidos, actualmente es uno de los países líderes en investigación de bioetanol lignocelulosico o de segunda generación.

<sup>77</sup> Comisión Económica para América Latina y el Caribe. CEPAL. Disponible en Internet en: <http://www.cepal.org/cgi-bin/getProd.asp?xml=/prensa/noticias/comunicados/7/42937/P42937.xml&xsl=/prensa/tpl/p6f.xsl&base=/washington/tpl-i/top-bottom.xslt>.

<sup>78</sup> Bioetanol en el sector Azucarero Colombiano. <http://es.slideshare.net/martinezjohan/bioetanol-en-el-sector-azucarero-colombiano-una-vision-integral>.

La producción de bioetanol en Brasil por hectárea es de 6.500 a 7.000 litros. En el Periodo 2007-2008 se observó una producción de 15,8 millones de m<sup>3</sup> anuales, y para el ciclo agrícola siguiente, se espera una producción de 16,8 m<sup>3</sup>.<sup>79</sup>

Actualmente se estima que la capacidad industrial instalada para producir bioetanol en Brasil es de 25 billones de litros. Cabe resaltar que Brasil usa como materia prima principal la Caña de Azúcar, pero además cuenta con posibles sustitutos tales como el sorgo, la batata y la mandioca.

Desde el 2003 Brasil trabaja con una mezcla del 20% al 25%, aunque cuenta con vehículos “Flex Fuel” que puede funcionar con un mezcla del 85% o del 100%.

- **Argentina**

Argentina es el tercer país productor de Latinoamérica, en este país funcionan 23 ingenios con capacidad para moler 20,5 millones de toneladas de caña de azúcar al año o 85 mil toneladas por día.

Estos ingenios producen la materia prima para suplir a 19 ingenios que tienen destilería logrando una capacidad instalada de 354 millones de litros al año, para cubrir una mezcla del 8% y 10% que se maneja en el país.<sup>80</sup>

Este país utiliza como materia prima principal la caña de azúcar aunque se plante utilizar también el maíz y el sorgo.

- **Colombia: Panorama Nacional**

Colombia posee más de 150 mil hectáreas cultivadas con caña de azúcar y palma africana, las cuales son utilizadas a la producción de biocombustibles. Pero el potencial es de cinco millones de hectáreas.<sup>81</sup>

Esta agroindustria, que reúne a más de 60 mil trabajadores directos e indirectos, solicita mayores incentivos para avanzar a los mercados internacionales, pero para esto primero se debe cubrir la demanda actual de bioetanol en el país, para cubrir esta demanda Colombia tiene una de las mayores productividades de

---

<sup>79</sup> ATLAS DE LA AGROENERGIA Y BIOCMBUSTIBLES DE LAS AMERICAS. Brasil. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura. Pág. 33. Disponible en Internet en: <http://www.olade.org/sites/default/files/CIDA/IICA/Atlas%20de%20Bioenergia%20y%20Combustibles%201.pdf>

<sup>80</sup> Ibid. Pág. 17.

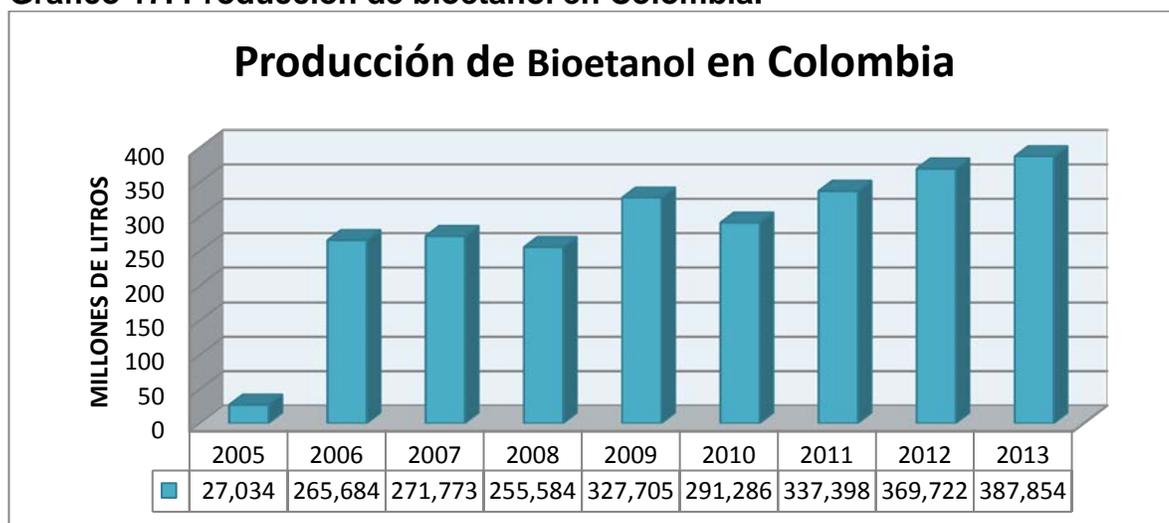
<sup>81</sup> Federación nacional de biocombustibles. Disponible en internet en: <http://www.fedebiocombustibles.com/v3/nota-web-id-1347.htm>

etanol, con 9.000 L/ha, superando a Brasil y Ecuador en un 50% y 55% respectivamente.

En Colombia, la producción de bioetanol como combustible, denominado primera generación asciende a **387.850.000** litros en el año **2013**, logrando posicionarse como el segundo productor en Latinoamérica. Como se muestra en la gráfica 17.

La materia prima utilizada es la caña de azúcar y actualmente cuenta con un área cultivada correspondiente a (426.051 ha). De acuerdo con el Ministerio de Agricultura; se cuenta con un área disponible de 3,9 millones de hectáreas para la siembra, sin incurrir directamente los demás cultivos agrícolas, esto se debe al estado físico y climático de estas zonas.<sup>82</sup> Según la FAO, Colombia tiene la mayor tasa de rendimiento (122,47 ton/ha) entre los principales productores de caña de azúcar en el mundo, superando a Brasil (79,2 ton/ha), India (68,7 ton/ha) y China (71,2 ton/ha).<sup>83</sup>

**Gráfico 17. Producción de bioetanol en Colombia.**



Fuente: Datos estadísticos de Asocaña.

Según la asociación de cultivadores de caña de azúcar ASOCAÑA, a partir del comienzo del programa de alcohol carburante bioetanol en el país este sector ha estado en constante crecimiento, con un aumento del 15.29%, desde el año 2005 hasta el 2013 como se muestra en la gráfica anterior 13, la producción industrial

<sup>82</sup> Sector de los Biocombustibles en Colombia. PROEXPORT.p 4. Disponible en Internet en: [http://www.inviertaencolombia.com.co/images/Perfil\\_Biocombustibles.pdf](http://www.inviertaencolombia.com.co/images/Perfil_Biocombustibles.pdf)

<sup>83</sup> Organización de las naciones unidas para la alimentación(FAO) disponible en internet en : <http://www.proexport.com.co/sites/default/files/Perfil%20Sectorial%20Biocombustibles.pdf>

de bioetanol en Colombia da inicio desde el año 2005 con 27.034.000 millones de litros a partir de la caña de azúcar, en la actualidad la producción de bioetanol supera el millón de litros diarios y se han venido desarrollando proyectos para producir industrialmente bioetanol con base en otros productos como: remolacha, yuca, soya, maíz, entre otros.<sup>84</sup>

Como se puede observar en la tabla 17, actualmente se está trabajando en aumentar la capacidad instalada con la puesta en marcha de diferentes proyectos para la producción de bioetanol combustible utilizando aparte de la caña de azúcar, materias primas como yuca y remolacha.<sup>85</sup>

**Tabla 15. Proyectos en marcha para la producción de bioetanol**

PROYECTO	REGIÓN	PRODUCCIÓN L/DÍA	MATERIA PRIMA
Petrotesting	Meta	20.000	Yuca
Rio paila	Valle del cauca	300.000	Caña
Alcohol del Rio Suarez	Barbosa, Santander	300.000	Caña
Mayagüez(Ampliación)	Valle del cauca	100.000	Caña
Maquiltec	Boyacá	300.000	Remolacha
Consortium S.A	Costa atlántica	900.000	Caña

Fuente: Unidad de Planeación Minero Energética.

Con base los datos estadísticos se puede pensar en un presente y un futuro prometedor para la producción y comercialización del etanol en Colombia, teniendo en cuenta que desde el inicio del programa, la producción de bioetanol ha ido aumentando; para el 2006 se registraron ventas de 265.684.000 litros y

<sup>84</sup> Asociación de cultivadores de caña de azúcar ASOCAÑA Disponible en internet en: <http://www.asocana.org/StaticContentFull.aspx?SCid=166>

<sup>85</sup> Unidad de planeación Minero Energética UPME. Disponible en Internet: [http://www.upme.gov.co/Docs/Biocombustibles\\_Colombia.pdf](http://www.upme.gov.co/Docs/Biocombustibles_Colombia.pdf)

para el año 2013 se registraron ventas de 387.854.000, con un incremento porcentual de 46%.<sup>86</sup>

**6.2.2 Bioetanol de Segunda Generación.** Las tecnologías para la obtención de bioetanol de segunda generación a nivel mundial están en etapa de investigación debido a los elevados costos de producción que se generan en algunas etapas del proceso; debido a esto se plantean diferentes rutas de producción a través de investigaciones científicas y documento académicos realizando simulaciones en plantas experimentales o en plantas piloto con el fin de evaluar la viabilidad económica de producir bioetanol combustible de segunda a nivel comercial.

En Colombia, actualmente se está produciendo a nivel comercial bioetanol de primera generación en la zona del valle del río Cauca a partir de caña azucarera.

Se pretende analizar la obtención de bioetanol combustible de segunda generación a partir del bagazo de la caña panelera.

En el departamento de Santander se adelantó un proyecto en la hoya del río Suárez en el año de 2006, el cual consistía en la construcción de una planta de bioetanol de primera generación, el cual iba a demandar gran cantidad de materia prima, debido a esto se cultivaron más hectáreas para la abastecer la planta.

Este proyecto contó con la participación de Alcoholes S.A., Goldman & Broadstreet y Mielles S.A los cuales proyectaban una producción diaria de 150 mil litros, cabe resaltar que con este proyecto se pronostica generar 47.000 a 111.000 empleos directos, por diferentes inconvenientes con respecto a los recursos, la infraestructura, las vías, el proyecto no se llevó a feliz término, por lo tanto no se alcanzó la producción estimada y se adjudicó la planta a la UIS.

Para efectos del presente proyecto se busca evaluar la pre factibilidad en la zona objeto de estudio tomando esta planta como punto de partida pero aprovechando el bagazo de la caña panelera disponible en la región para desarrollar el concepto de bioetanol de segunda generación.

---

<sup>86</sup> Bioetanol en el sector Azucarero Colombiano. <http://es.slideshare.net/martinezjohan/bioetanol-en-el-sector-azucarero-colombiano-una-vision-integral>.

Para determinar el potencial de la región se debe conocer el rendimiento de la materia prima.

Según Corpoica se obtiene un rendimiento promedio de 120 toneladas de caña por hectárea y en algunos casos se alcanza hasta 200 toneladas por hectárea. La comunidad agrícola en su mayoría tiene un área de producción a las 20 hectáreas, y estas son empleadas en un 50% al cultivo de la caña panelera.<sup>87</sup> Para el país es importante producir Alcohol Carburante, para disminuir las emisiones contaminantes de la atmósfera, solventar las deficiencias de hidrocarburos, aumentar el empleo rural y estabilizar el negocio panelero.

En la siguiente tabla se puede observar el área cultivada en caña panelera en los municipios de la zona objeto de estudio.

**Tabla 16. Hoya El Rio Suarez: Municipios de Santander y su área cultivada en Caña Panelera. Hectáreas de cultivo.**

CAÑA PANELERA							
MUNICIPIOS/ HECTÁREA DE CULTIVO	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011
Barbosa	600	535	470	490	570	500	540
Chipata	550	900	600	800	599	599	639
Guavata	58	58	100	150	15	34	67
Guepsa	1.450	1.300	1.700	1.800	990	950	2.400
Puente Nacional	200	198	197	196	110	163	163
San Benito	1.200	2.200	2.100	1.830	1.910	2.000	2.598
Suaita	3.850	2.400	1.735	1.070	600	880	905
Vélez	800	810	857	837	797	787	805

Fuente: Cifras del Instituto Colombiano de Desarrollo Rural. INCODER<sup>88</sup>

Analizando la tabla 18, se puede observar que para el año 2011 en el departamento de Santander se contaba con 8.117 hectáreas cultivadas de caña panelera que eventualmente podría ser utilizada para la obtención de bioetanol de segunda generación a partir del bagazo; ya que por cada hectárea se producen 80

<sup>87</sup> Universidad Pontificia Bolivariana. Disponible en Internet: [http://agrprocesstech\\_lab.upbbga.edu.co/panela.html](http://agrprocesstech_lab.upbbga.edu.co/panela.html)

<sup>88</sup> INCODER. Instituto Colombiano de Desarrollo Rural. Disponible en Internet: [http://www.incoder.gov.co/ADR\\_Hoya\\_del\\_rio\\_Suarez/ADR\\_Hoya\\_del\\_rio\\_Suarez.aspx](http://www.incoder.gov.co/ADR_Hoya_del_rio_Suarez/ADR_Hoya_del_rio_Suarez.aspx)

toneladas de caña panelera<sup>89</sup>, esto quiere decir que si se tienen 8.117 hectáreas cultivadas se podrían obtener 649.360 toneladas de caña, partiendo de que la relación de cantidad de bagazo por tonelada de caña son 110 toneladas equivalen a 31 toneladas de bagazo por ende se puede obtener 183.001 toneladas de bagazo de caña.

**Tabla 17. Potencial de producción. Zona objeto de estudio.**

Bagazo de Caña Panelera				
Zona de Estudio	Año	Hectáreas Cultivadas	Potencial de Bagazo en Toneladas	Potencial de Producción de Bioetanol en Litros
Hoya del Río Suarez	2011	8.117	183.001	51'719.742

Fuente: Elaboración de los Autores del Proyecto.

Con esta disponibilidad existente en la región objeto de estudio se puede obtener un potencial de producción de 51'719.742, como lo muestra la tabla 19.

**Tabla 18. Cubrimiento de la demanda.**

DEMANDA	
Demanda Gasolina 2014 [L/año]	5'168.000.000
8% bioetanol [L/año]	413.440.000
Producción Capacidad Instalada [L/año]	51'719.742
Porcentaje mercado [%]	<b>12.50%</b>

Fuente: Elaboración de los Autores del Proyecto.

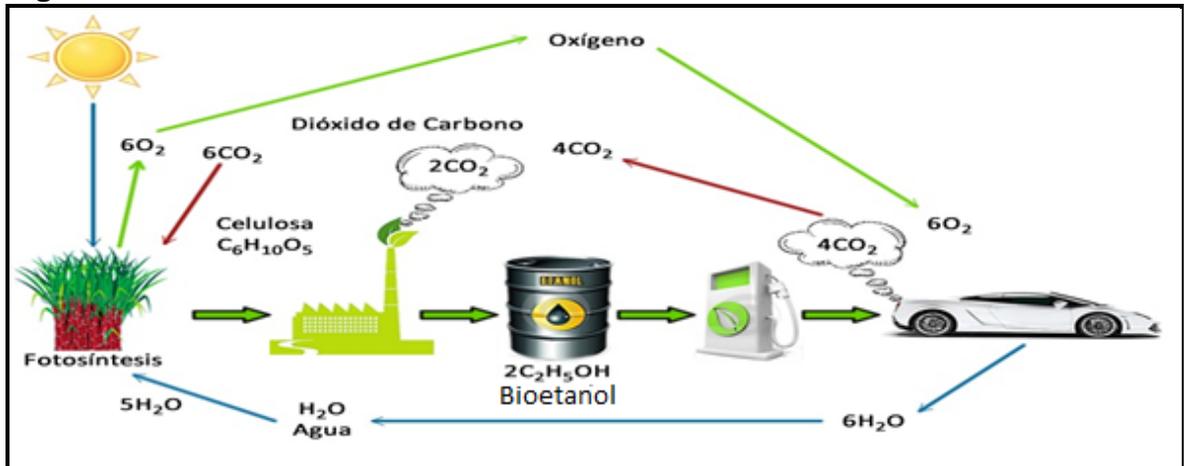
Así mismo, con ese potencial de producción de bioetanol se puede cubrir un **12,50%** de mercado para el año 2014 relacionando la demanda de gasolina para el presente año como se puede observar en la tabla 20.

**6.2.3 Identificación de los productos.** En este estudio se tomó como producto final el bioetanol denominado de segunda generación, teniendo en cuenta la naturaleza de la materia prima se puede incluir el concepto de biorrefinería en donde se permite obtener otros productos de alto valor agregado tales como lignina y furfural.

<sup>89</sup> Bioetanol de caña de azúcar energía para el desarrollo sostenible disponible en internet en : <http://www.bioetanoldecana.org/es/download/bioetanol.pdf>

**6.2.4 Producto principal.** El producto principal es el bioetanol combustible de segunda generación.

**Figura 4. Bioetanol.**



Fuente: Federación Nacional de Biocombustibles. Disponible en Internet: <http://www.fedebiocombustibles.com/v3/nota-web-id-923.htm>.

**6.2.5 Subproductos.** A continuación se enumeraran los productos que están asociados a biorefinería y se dará un breve concepto de ellos.

- **Lignina.** La lignina es uno de los biopolímeros más abundantes en las plantas y junto con la celulosa y la hemicelulosa conforma la pared celular de las mismas en una disposición regulada a nivel nano-estructural, dando como resultado redes de lignina-hidratos de carbono.<sup>90</sup> La lignina de uso comercial en estado sólido puede ser utilizada de varias formas. Ésta puede ser utilizada como fuente energética a través de la combustión generando energía para algún uso específico, y en algunos casos se puede utilizar como adhesivos y biopolímeros.
- **Furfural.** Es un producto derivado de xilosa, es un aldehído utilizado en la industria del plástico y del vidrio, es base química para fungicidas e insecticidas. Es un compuesto farmacéutico de gran valor comercial, polimeriza con urea, fenol, cetonas y consigo mismo.<sup>91</sup>

<sup>90</sup> LIGNINA, ESTRUCTURA Y APLICACIONES: Métodos de despolimerización para la obtención de derivados aromáticos de interés industrial. M. CHAVES; MARCELO E. DOMINE. Universidad Politécnica de Valencia. Pág. 16. Disponible en Internet en: [http://www.exeedu.com/publishing.cl/av\\_cienc\\_ing/2013/Vol4/Nro4/3-ACI1184-13-full.pdf](http://www.exeedu.com/publishing.cl/av_cienc_ing/2013/Vol4/Nro4/3-ACI1184-13-full.pdf)

<sup>91</sup> Estudio exploratorio de producción de bioetanol y de coproductos de biorefinería a partir de residuos de eucalipto. ROBERTO CARLOS SOTOMAYOR ARAVENA. Universidad de Chile. Pág. 43. Disponible en Internet en: [http://www.tesis.uchile.cl/bitstream/handle/2250/103937/sotomayor\\_ra.pdf?sequence=3](http://www.tesis.uchile.cl/bitstream/handle/2250/103937/sotomayor_ra.pdf?sequence=3)

## 6.2.6 Ficha del bioetanol.

Tabla 19. Ficha Técnica

<b>FICHA TÉCNICA DEL BIOETANOL</b>			
<b>PROPIEDADES FÍSICO QUÍMICAS</b>	<b>PARÁMETRO</b>	<b>UNIDAD</b>	<b>BIOETANOL</b>
	Poder calorífico	kJ/litro	22.350
	Densidad	kg/ Litro	0,792
	Octanaje ROM		102-130
	Octanaje MOM		89-96
	Calor Latente de Vaporización	kJ/kg	842-930
	Presión de Vapor	Kpa	15-17
	Temperatura de ignición	°C	420
	Solubilidad en Agua	% en Volumen	100
	Temperatura de Ebullición	°C	78
	Relación Aire/ Combustible		9
	<b>VENTAJAS</b>		<b>DESVENTAJAS</b>
Es una fuente de combustibles renovable		Alta volatilidad	
Reduce dependencia del petróleo extranjero		Falta de popularidad	
Mejora la calidad del Aire en zonas urbanas.		Se puede utilizar como combustible puro (E100) pero haciendo modificaciones al motor	
Es una fuente más limpia que los combustibles fósiles		Los cultivos de alimentos de destinan a cultivos energéticos.	
<b>USOS DEL BIOETANOL</b>	<b>USO INDUSTRIAL</b>		
	<b>USO COMO COMBUSTIBLE</b>		
	Fabricación del ETBE ( Aditivo aumentador de Octanos)		
	Combustible Mezcla ( Bioetanol-Gasolina)		
	Combustible Directo ( Motores especializados que funcionan con Bioetanol)		
Mezcla directa ( Bioetanol-Gasolina)			

Fuente: Bioetanol de Caña.<sup>92</sup>

El bioetanol es un compuesto orgánico líquido, de naturaleza diferente a los hidrocarburos, que tiene en su molécula un grupo hidroxilo (OH) enlazado a un

<sup>92</sup> Disponible en Internet en: [www.bioetanoldecana.org/es/download/cap2.pdf](http://www.bioetanoldecana.org/es/download/cap2.pdf)

átomo de carbono, se entiende como alcohol carburante al Etanol Anhidro obtenido a partir de biomasa.<sup>93</sup>

El bioetanol de segunda generación es producido y obtenido a partir de materias primas que no son consideradas como fuentes alimenticias, y en la mayoría de los casos no influyen directamente en la cadena productiva si no que son resultante de determinados procesos, en este caso en particular el bagazo de caña; para lo cual se utilizan tecnologías que todavía se encuentran en etapa de investigación y desarrollo y con una barrera tecnológica muy importante, los costos de producción son aún muy elevados.<sup>94</sup>

**6.2.7 Usos del producto principal.** El mercado del bioetanol puede subdividirse en tres sectores, de acuerdo a los usos que la industria lo aplique como: combustible, uso industrial y bebidas. El uso como combustible representa el 61% de la producción mundial, ya sea para mezclar o reemplazar petróleo y derivados, alrededor del 23% se destina a la industria procesadora (cosméticos, farmacéutica, química, entre otras), y el 16% restante se destina a la industria de bebidas.<sup>95</sup>

La producción de alcohol carburante destinada al uso como combustible, por lo general se encuentra respaldada por el impacto positivo del uso del bioetanol sobre el medio ambiente ya que se emplea como aditivo a la gasolina en proporciones de E10 que es la más común, E85 y E95 en países como Brasil y Estados Unidos. Esto quiere decir que la composición de la gasolina mayormente distribuida es, un 10% de la composición en etanol o alcohol carburante como es llamado a veces, y en un 90% del combustible fósil. Además estos países cuenta en el mercado con vehículos “Flex Fuel” que son vehículos que pueden utilizar como combustible tanto gasolina convencional derivada del petróleo como bioetanol en mezclas de hasta un 85% (E85). Por tanto, son vehículos totalmente polivalentes, que ofrecen la posibilidad de utilizar energía renovable en su máximo estado de mezcla sin la necesidad de consumir más energía. En Colombia según reglamentación del gobierno nacional la mezcla es E8.<sup>96</sup>

---

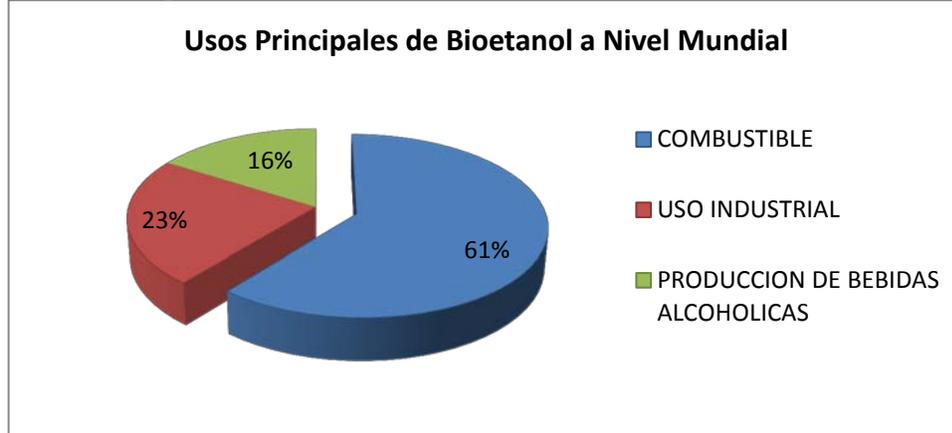
<sup>93</sup> resolución 18 0687 de 2003, Ministerio de Minas y Energía. Definiciones. Disponible en internet en: <http://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/normas/Norma1.jsp?i=21978>.

<sup>94</sup> Situación de los biocombustibles de segunda y tercera generación en América Latina y Caribe Disponible en internet en :<http://www.bivica.org/upload/biocombustibles-situacion.pdf>

<sup>95</sup> Cadena Agroindustrial. Etanol. Disponible en Internet en: [http://virtual.uptc.edu.co/drupal/files/021\\_agroindustrias\\_biocombustibles.pdf](http://virtual.uptc.edu.co/drupal/files/021_agroindustrias_biocombustibles.pdf).

<sup>96</sup> Abengoa Bioenergía Disponible en internet en: [http://www.abengoabioenergy.com/export/sites/abg\\_bioenergy/resources/pdf/acerca\\_de/es/Informe\\_Anual\\_2011\\_1.pdf](http://www.abengoabioenergy.com/export/sites/abg_bioenergy/resources/pdf/acerca_de/es/Informe_Anual_2011_1.pdf)

**Grafico 18. Principales usos del etanol.**



Fuente: Boletín Informativo de Agroindustria de biocombustibles.

Para el presente estudio de pre-factibilidad se utilizara como porción de mercado el 61% correspondiente al bioetanol utilizado como combustible y no se tendrá en cuenta para efectos de análisis el 39% complementario.

### 6.3 DEMANDA

La demanda es el proceso mediante el cual se logran determinar las condiciones que afectan el consumo de un bien o servicio.<sup>97</sup>

**6.3.1 Mercado.** En Colombia, según el ministerio de minas y energía, existen seis marcas registradas de bioetanol en el país pertenecientes a Rio Paila Castila S.A y Manuelita S.A; es por ello que toman importancia en la medida que son la herramienta adecuada para distinguir productos en el mercado colombiano, ya que facilita a los consumidores y distribuidores asociar un producto determinado, como el bioetanol.

A continuación se mencionan las marcas de bioetanol registradas en Colombia.

<sup>97</sup> MIRANDA Miranda Juan José. Gestión de proyectos. Bogotá: MM Editores. 2005. p.90

**Tabla 20. Marcas de bioetanol registradas en Colombia.**

MARCA	TITULAR
Castilla	Rio Paila Castilla SA
Alcohol Rio paila	Rio Paila Castilla SA
Manuelita	Manuelita SA
Biocas	Rio Paila Castilla SA
BioRio	Rio Paila Castilla SA
Agrocom	Rio Paila Castilla SA

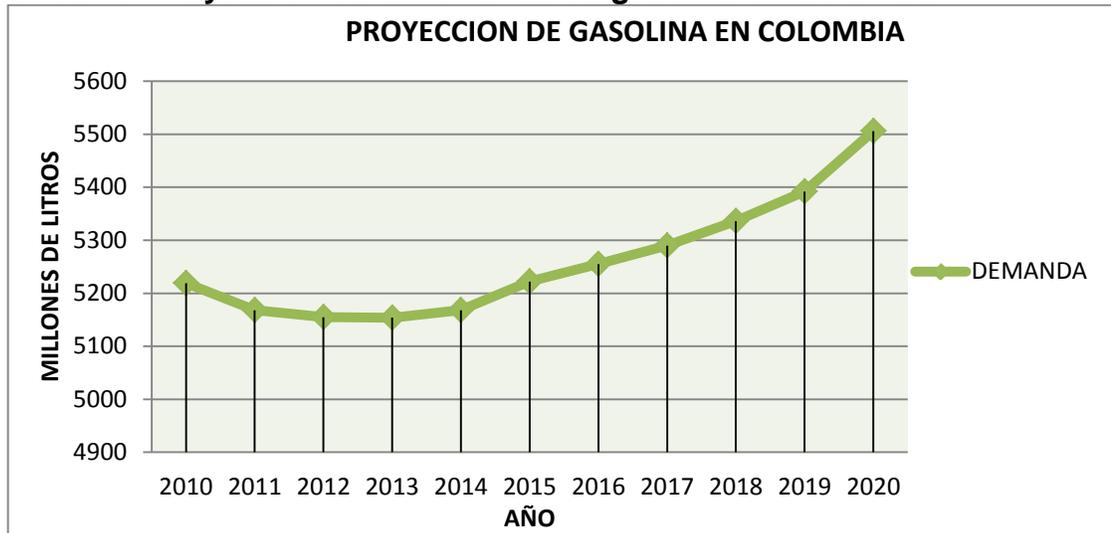
Fuente: Boletín “Bioetanol, Biotecnología Aplicada”. Superintendencia de Industria y comercio.

Al analizar el mercado del bioetanol combustible en Colombia se debe conocer la demanda de gasolina, ya que la demanda de bioetanol combustible depende de la demanda existente de gasolina.

Actualmente, en Colombia se mezcla E8, con excepción en la zona de frontera con Venezuela, de donde llegan los combustibles fósiles en condiciones especiales de precios.<sup>98</sup>

En la gráfica siguiente se puede observar la proyección de la demanda nacional de biocombustibles proyectada por la UPME, unidad de planeación minero energética.

**Gráfico 19. Proyección de la Demanda de gasolina en Colombia.**



Fuente: Cifras de la Unidad de Planeación Minero Energética. UPME.

<sup>98</sup> Federación Nacional de Biocombustibles. Disponible en Internet en: <http://www.fedebiocombustibles.com/v3/nota-web-id-923.htm>.

Según la Federación Nacional de Biocombustibles, en Colombia se espera obtener en el 2.020 una mezcla de etanol del 20%. Con base en la gráfica anterior se puede observar que la proyección es de 5.506 millones de litros, partiendo de este valor se necesitaría incrementar la producción de bioetanol en 1.101.200.000

**6.3.2 Segmentación del mercado.** En cuanto a su potencial industrial y comercial, para la producción de bioetanol en Santander no se necesita tener más hectáreas cultivadas ya que se puede aprovechar el cultivo existente en el departamento.

En el año 2007, el bioetanol representó el 94% de la producción mundial de biocombustibles, lo que permite el reemplazo del 32% de la producción global de petróleo.<sup>99</sup>

El mercado va dirigido a la industria automotriz la cual representa en Bucaramanga un total de **165.365** vehículos y para el área metropolitana un total de **478.880** vehículos para el año 2013; cabe resaltar que para este mercado se requiere la mezcla de bioetanol en un 8%.<sup>100</sup> El bioetanol de segunda generación participara en el mercado nacional abarcando un 12,50% de la necesidad anual de bioetanol del presente año, el restante será bastecido por bioetanol tradicional o de primera generación.

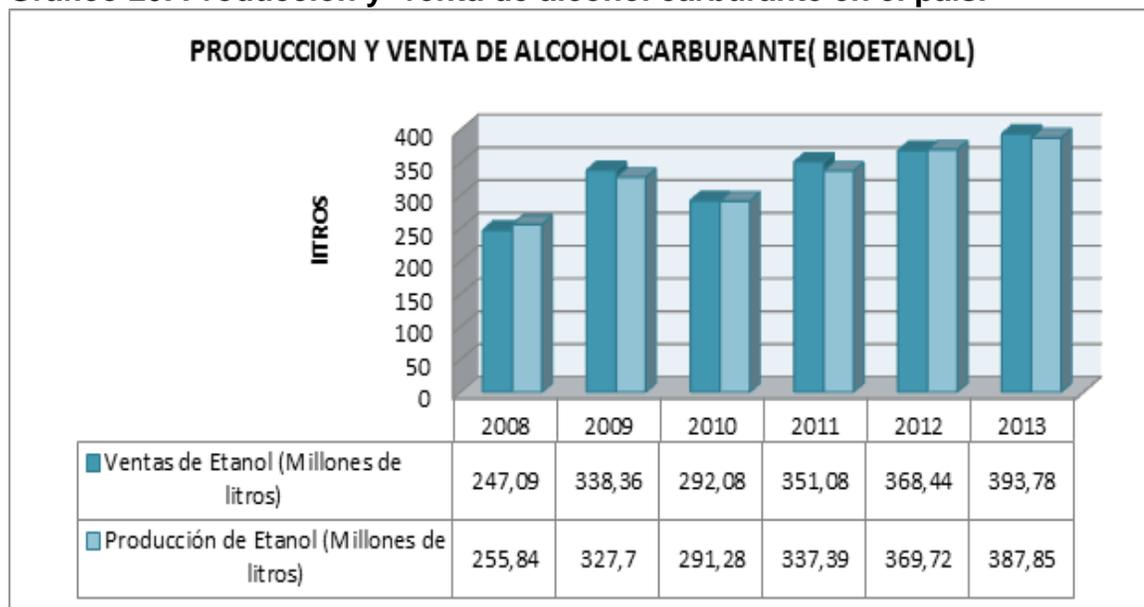
Esto muestra un posicionamiento bastante fuerte que no puede ser apartado del análisis futuro del bioetanol ya que plantea un escenario comercial e industrial con gran potencial de crecimiento. En el caso de Colombia, se tiene una industria de biocombustibles en crecimiento y para pensar en producir a gran escala para competir internacionalmente primero se debe focalizar en cubrir la demanda interna de bioetanol. En la siguiente tabla se puede observar la producción y venta de bioetanol desde los años en que empezó la industria su crecimiento.

---

<sup>99</sup> Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Agronomía Disponible en internet en: [http://www.google.com.co/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&ved=0CBwQFjAA&url=http%3A%2F%2Fwww.bdigital.unal.edu.co%2F35327%2F1%2F35621-141248-1-PB.doc&ei=y7XaU\\_iKIsS0yATHloGYCQ&usg=AFQjCNFGHaFDMPIJr73hI5smMTuIIIRANKQ&bvm=bv.72185853,d.aWw](http://www.google.com.co/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&ved=0CBwQFjAA&url=http%3A%2F%2Fwww.bdigital.unal.edu.co%2F35327%2F1%2F35621-141248-1-PB.doc&ei=y7XaU_iKIsS0yATHloGYCQ&usg=AFQjCNFGHaFDMPIJr73hI5smMTuIIIRANKQ&bvm=bv.72185853,d.aWw)

<sup>100</sup> Dirección de Transito del Área. Fondo de Prevención Vial, Programa Bucaramanga ¿Cómo Vamos?. Disponible en internet en: <http://www.vanguardia.com/santander/bucaramanga/infografia-228398-conozca-los-numeros-del-parque-automotor-de-bucaramanga>.

**Grafico 20. Producción y venta de alcohol carburante en el país.**



Fuente: Datos estadísticos de la Federación Nacional de Biocombustibles.

En la siguiente tabla se muestra las plantas de producción en etanol en Colombia a base de caña de azúcar que actualmente están en funcionamiento y su capacidad instalada.

**Tabla 21. Plantas de Etanol en Colombia y su Capacidad Instalada.**

REGIÓN	INVERSIONISTA	CAPACIDAD INSTALADA (LITROS/DIA)	ÁREA SEMBRADA (HA)
Cauca, Miranda	INCAUCA	300.000	10.781
Valle, Palmira	PROVIDENCIA	300.000	8.984
Valle, Palmira	MANUELITA	250.000	8.984
Valle, Candelaria	MAYAGUEZ	350.000	5.390
Risaralda, La Virginia	RISARALDA	150.000	3.593
<b>TOTAL</b>		<b>1.250.000</b>	<b>37.732</b>

Fuente: Cifras de la Federación Colombiana Biocombustibles.FEDEBIOCOMBUSTIBLES.

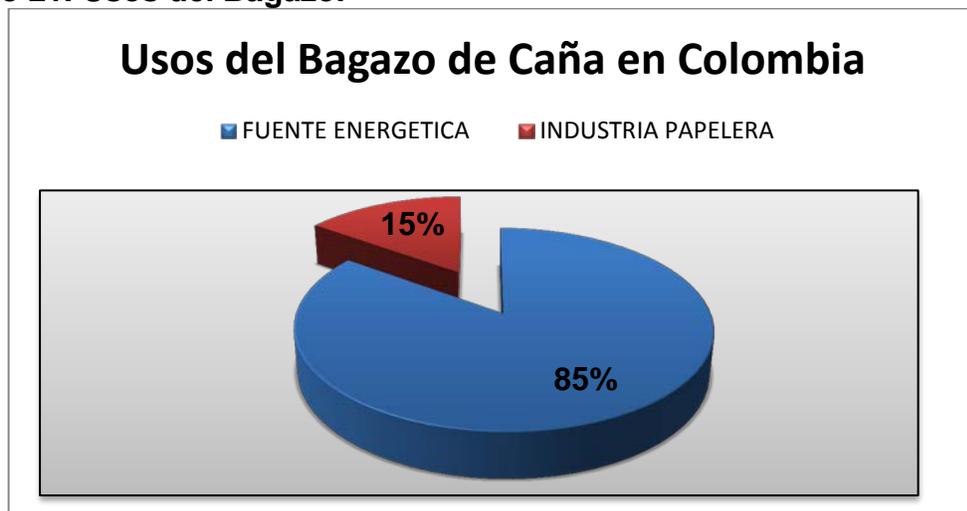
La capacidad instalada es de 1.250.000 litros por día, esta cifra puede ir en aumento gracias a la ampliación de plantas ya existentes y a la construcción de nuevas plantas de bioetanol, todo esto dentro del marco legal del alza del porcentaje de etanol en el combustible fósil.

**6.3.3 Materia Prima: El bagazo de Caña en Colombia.** Uno de los subproductos de la industria Azucarera del país es el bagazo de la caña, materia prima utilizada para el presente estudio. Este subproducto ha venido aumentando su importancia en los últimos tanto a nivel nacional como a nivel mundial.

Luego de considerarse prácticamente un desecho agrícola o un residuo sin valor comercial hasta hace unos cuantos años, se ha convertido en un subproducto muy valorado, tanto por su contenido de celulosa para la fabricación de papel, plásticos, como por su valor energético como combustible.

En la actualidad, la industria papelera mundial consume cerca del 5% del bagazo generado por las industrias que producen azúcar a partir de caña. En Colombia, como se puede ver en la gráfica 21, de las seis millones de toneladas de bagazo producidas al año por los ingenios, un 85% es utilizado como fuente energética al ser incinerado para aprovechar directamente su calor o producir vapor en calderas y el restante 15% es materia prima de una industria productora de papeles local.<sup>101</sup>

**Gráfico 21. Usos del Bagazo.**



Fuente: Elaboración de los Autores del Proyecto con base en datos de ASOCAÑA.

De esta manera, el bagazo ha llegado a ser el combustible principal de las calderas de los ingenios, con el fin de generar su propia energía para sus procesos productivos y para la comercialización de excedentes, esta idea se ha

<sup>101</sup> ENERGÍA: La Nueva Agenda del Sector Azucarero. Informe ASOCAÑA. Sector Azucarero Colombiano. Disponible en Internet en: <http://www.asocana.org/StaticContentFull.aspx?SCid=167>.

venido reforzando a nivel mundial con el concepto de cogeneración, ya que se utiliza el bagazo para producir energía eléctrica ya sea para alimentar la propia planta o para alimentar un subestación eléctrica.

#### 6.4 PROYECCIÓN DE OFERTA Y DEMANDA (POTENCIAL).

Con base en las proyecciones estimadas dadas por la federación nacional de biocombustibles, en Colombia se debe continuar con el programa de biocombustibles pero mejorando la eficiencia productiva para poder competir con los combustibles tradicionales.

**Tabla 22. Proyecciones bioetanol. Producción y consumo.**

	2.005	2.007	2.008	2.009	2.010	2.015	2.020
<b>Total Ha/Miles</b>	22	42	42	121	233	433	770
<b>Total Producción Miles Litros/Día</b>	550	1.070	1.070	2.420	4.650	8.650	15.400
<b>% Mezcla</b>	10	10	10	10	15	25	25
<b>Consumo Nacional Miles Litros/Día</b>	1.370	1.370	1.430	1.500	2.390	4.410	4.850
<b>Número de Plantas</b>	2	6	6	11	19	32	55
<b>Exportación Miles Litros/Día</b>	-	-	-	920	2.260	4.220	10.550

Fuente: Cifras de la Federación Nacional de Biocombustibles.

De acuerdo a los datos anteriores, una alternativa para Colombia puede ser focalizarse por los biocombustibles de segunda generación ya que se plantean como una buena alternativa conociendo el potencial de la región de la hoya del río Suarez en cuanto a hectáreas sembradas de caña panelera (8.117 Ha).<sup>102</sup>

Sin embargo, para la producción y obtención de bioetanol de segunda generación existen varias etapas de proceso, y en cada etapa encontramos varias

<sup>102</sup> Ministerio del medio ambiente Disponible en Internet en: [Http://www.minambiente.gov.co/documentos/3822\\_220709\\_taller\\_rh\\_biocombustibles\\_161009.pdf](http://www.minambiente.gov.co/documentos/3822_220709_taller_rh_biocombustibles_161009.pdf)

tecnologías; para lograr que sea una industria sostenible debemos realizar un análisis técnico, económico y ambiental, que más adelante abordaremos con el fin de plantear algunas recomendaciones o sugerencias del tema en cuestión.

## **6.5 OFERTA**

El estudio de la oferta tiene por objeto identificar la forma como se han atendido y como se atenderán en un futuro.<sup>103</sup>

**6.5.1 Insumos.** En esta industria de biocombustibles en particular, en Colombia los ingenios azucareros destinan gran parte de su producción para la obtención de azúcar y mieles, y una porción menor la destinan para producir bioetanol, funcionando como una industria complementaria. El insumo principal en este caso es la caña de azúcar, ya que es un proceso de obtención de primera generación.

Para este caso, que es la obtención de bioetanol de segunda generación, el insumo principal es el bagazo de caña, o comúnmente el desecho, el cual es considerado como un desecho agrícola sin valor alimenticio y en algunos casos no representaría un costo elevado pero se tendrá en cuenta para el estudio.

### **6.5.2 Proveedores.**

- **Bioetanol**

En Colombia todo el producido de bioetanol combustible se obtiene a través de procesos de primera generaciones la tabla 23, se puede observar la empresas proveedoras de bioetanol en Colombia, con su capacidad instalada y su ubicación, todas estas plantas utilizan la caña de azúcar como su insumo principal. Cabe aclarar que todavía no se produce bioetanol de segunda generación a escala comercial, y hasta el momento se han adelantado estudios sobre su producción y sostenibilidad.

---

<sup>103</sup> MIRANDA, Juan José. Gestión de proyectos. Bogotá: MM Editores.2005. p 101

**Tabla 23. Proveedores de bioetanol.**

REGION	INVERSIONISTA
Cauca, Miranda	INCAUCA
Valle, Palmira	PROVIDENCIA
Valle, Palmira	MANUELITA
Valle, Candelaria	MAYAGUEZ
Risaralda, La Virginia	RISARALDA

Fuente: Cifras de la Federación Nacional de Biocombustibles.

- **Bagazo de caña**

Para el desarrollo del presente estudio se proveerá el proceso productivo con el bagazo resultante de la planta de primera generación ubicada en dicha región aprovechando el potencial de cultivo o dado el caso se podría comprar este residuo a cultivadores de la región.

**6.5.3. Distribución.** Con la implementación de oxigenantes (Bioetanol) a la gasolina se adiciona un nuevo participante en el mercado, el productor de etanol. Según establece la ley 693 de 2001<sup>104</sup>, los productores de alcohol venderán el alcohol anhidro únicamente a los distribuidores mayoristas quienes lo mezclarán con la gasolina (E10). Según el ministerio de minas y energía actualmente operan los siguientes distribuidores mayoristas, que después de ser mezclado los transportarán a las plantas minoristas o estaciones de servicio.

- Areda Marina Fuel Oil C.I. Ltda
- Brío de Colombia S.A
- Carbones del Cerrejón LLC
- Consorcio Guajira
- Green Oil Ltda.
- ExxonMobil de Colombia S.A
- Petrocomercial C.I S.A
- Petróleos del Milenio C.I
- Shell Colombia S.A
- Texas Petroleum Co
- Terpel

---

<sup>104</sup> Ministerio de Minas y Energía. Ley 693 de Septiembre 19 de 2001. Disponible en internet en: <http://www.minminas.gov.co/minminas/downloads/archivosSoporteRevistas/3660.pdf>.

**6.5.4 Demanda real vs Oferta real.** En la siguiente tabla se realiza una comparación entre la demanda real y el consumo aparente del bioetanol combustible en Colombia.

**Tabla 24. Demanda real vs oferta real de Bioetanol Combustible.**

AÑOS	DEMANDA REAL ( MILLONES DE LITROS)	OFERTA REAL ( MILLONES DE LITROS)
2.008	247	255
2.009	338	327
2.010	292	291
2.011	351	337
2.012	368	369
2.013	393	387

Fuente: Autoría propia.

Observando la tabla se concluye que existió un déficit de bioetanol combustible en los años 2009 de (10.660.000 litros), 2010 de (800.000 Litros), 2.011 de (13.690.000) y 2.013 de (13.690.000 Litros).

Con la obtención de bioetanol combustible de segunda generación que se plantea, se estaría contribuyendo a suplir este déficit de biocombustible, optando por una opción de combustible renovable y con menos emisiones contaminantes.

## 6.6 PRECIO

En Colombia el Ministerio de Minas y Energía (MME) es el ente responsable de la regulación de precios de los biocombustibles.<sup>105</sup>

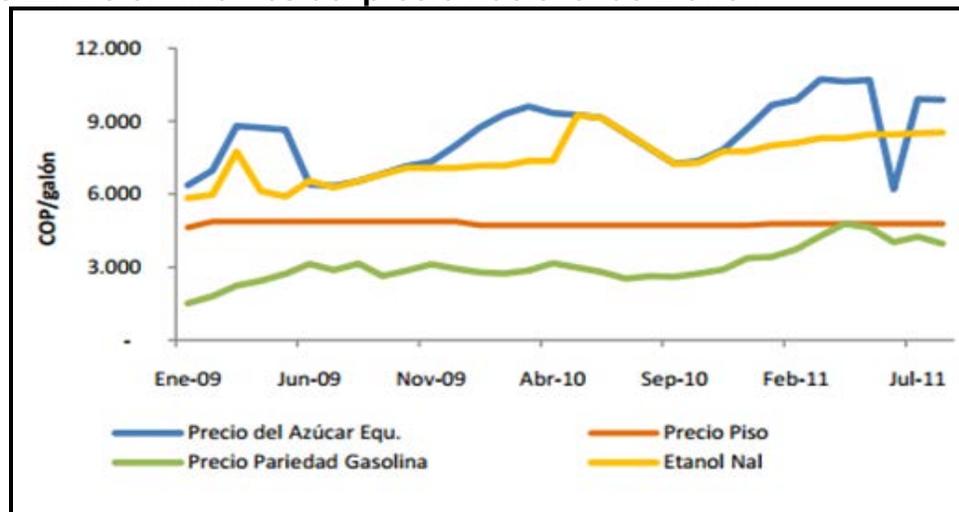
El precio nacional del bioetanol en Colombia, al igual que en el resto del mundo, está influenciado por las cotizaciones del azúcar particularmente del azúcar refinado cotizado en la bolsa de Londres<sup>106</sup>. Para lograr estabilizar los precios del bioetanol en Colombia, se tiene que analizar diferentes variables que pueden influir al momento de producir y comercializar bioetanol, como la demanda de combustible fósil, en este caso de la gasolina motor, las fluctuaciones de los precios del azúcar y las variaciones en la mezcla de bioetanol.

<sup>105</sup> Tendencia Económica. Informe Mensual de Fedesarrollo. 126 Diciembre de 2012. Disponible en Internet en: <http://www.fedesarrollo.org.co/wp-content/uploads/2012/02/T-E-No-126.pdf>

<sup>106</sup> Entorno Verde. ECOPETROL. Publicación del departamento de Biocombustibles, Volumen 1, septiembre 2011. Disponible en Internet en: [http://www.ecopetrol.com.co/documentos/58785\\_Entorno\\_Verde\\_Vol.\\_1.pdf](http://www.ecopetrol.com.co/documentos/58785_Entorno_Verde_Vol._1.pdf)

Según el Ministerio de Minas y Energías<sup>107</sup>, se ha diseñado una estructura para determinar el precio final del bioetanol, la cual se fija de acuerdo al mayor valor de tres cotizaciones: el precio del azúcar (equivalente en etanol), el precio de la gasolina y un precio piso que el Ministerio de Minas y Energía ha fijado tratando de estimar el precio mínimo al cual un ingenio puede producir etanol sin incurrir en pérdidas. Como lo muestra la gráfica 22, en la cual vemos reflejada todas las variables que hacen parte del proceso de fijación del precio del bioetanol en Colombia.

**Gráfico 22. Determinantes del precio Nacional de Etanol.**



Fuente: Entorno Verde. Publicación del departamento de biocombustibles. ECOPETROL.<sup>108</sup>

Adicionalmente, el Gobierno ha determinado que el precio seleccionado en ningún momento puede ser mayor al precio que la gasolina motor oxigenada en Bogotá tuvo en el mes inmediatamente anterior.

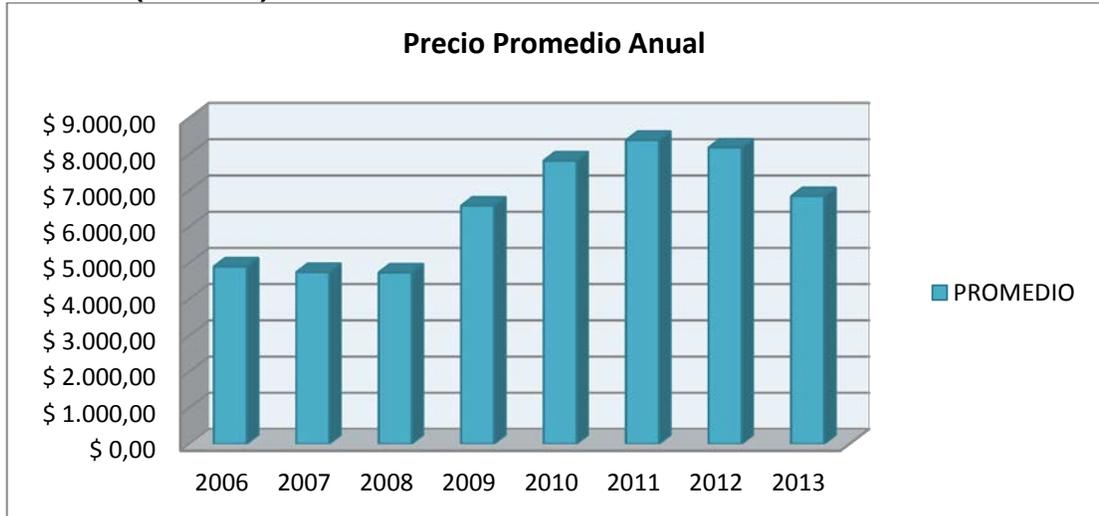
**6.6.1 Precio del Bioetanol.** A continuación se describe el comportamiento histórico y actual del precio del bioetanol en Colombia.

**6.6.1.1 Comportamiento histórico de precios mensuales de bioetanol en Colombia.** En Colombia el comportamiento histórico del precio del bioetanol del año 2006 al 2014 (Julio 14) se ve reflejado en la siguiente tabla, con su respectivo promedio de crecimiento.

<sup>107</sup> Ministerio de minas y Energía. Normatividad. Disponible en Internet en: [http://www.minminas.gov.co/minminas/kernel/usuario\\_externo\\_normatividad/index.jsp](http://www.minminas.gov.co/minminas/kernel/usuario_externo_normatividad/index.jsp)

<sup>108</sup> Publicación Entorno Verde, Ecopetrol. Septiembre. Disponible en Internet en: [http://www.ecopetrol.com.co/documentos/58785\\_Entorno\\_Verde\\_Vol.\\_1.pdf](http://www.ecopetrol.com.co/documentos/58785_Entorno_Verde_Vol._1.pdf)

**Grafico 23. Comportamiento Histórico promedio de precios de bioetanol en Colombia. (\$/Galón).**



Fuente: Datos estadísticos de Asocaña y el Ministerio de Minas y Energía.

**6.6.1.2 Comportamiento actual del precio de Bioetanol.** El comportamiento del precio actual del bioetanol se puede observar en la siguiente tabla.

**Tabla 25. Comportamiento actual del precio del bioetanol.**

2014		
Fecha	Alcohol Carburante (\$/Galón)	Variación (\$)
ene-14	6.670,44	0
feb-14	6.553,99	-116,45
mar-14	6.553,99	0
abr-14	6.689,32	135,33
may-14	6.476,69	-212,63
jun-14	6.224,59	-252,1
jul-14	6.185,19	-39,4

Fuente: Datos Ministerio de Minas y Energía.

## 7. ESTUDIO TÉCNICO

El estudio técnico supone la determinación del tamaño más conveniente, la identificación de la localización final apropiada, procesos, equipos y tecnología utilizada.

### 7.1 ACTIVIDADES

- Verificar la posibilidad técnica de la producción de Bioetanol Combustible de Segunda Generación.
- Analizar y determinar el tamaño, la localización optima, los equipos, y los insumos necesarios para la producción de Bioetanol Combustible, las operaciones de la planta con su respectiva descripción del proceso productivo.

### 7.2 FICHA TÉCNICA DEL BIOETANOL.

Tabla 26. Ficha Técnica Del Bioetanol

FICHA TÉCNICA DEL BIOETANOL			
PROPIEDADES FÍSICO QUÍMICAS	PARAMETRO	UNIDAD	BIOETANOL
	Poder calorífico	kJ/Litro	22.350
	Densidad	kg/ Litro	0,792
	Octanaje ROM		102-130
	Octanaje MOM		89-96
	Calor Latente de Vaporización	kJ/kg	842-930
	Presión de Vapor	kpa	15-17
	Temperatura de ignición	°C	420
	Solubilidad en Agua	% en Volumen	100
	Temperatura de Ebullición	°C	78
	Relación Aire/ Combustible		9

Fuente: Bioetanol de caña de azúcar para el desarrollo sostenible.<sup>109</sup>

<sup>109</sup> Bioetanol de caña de azúcar para el desarrollo sostenible capítulo 2. "etanol como combustible vehicular. Pág. 42 Disponible en Internet en: [www.bioetanoldecana.org/es/download/cap2.pdf](http://www.bioetanoldecana.org/es/download/cap2.pdf)

### 7.3 CARACTERIZACIÓN DEL BIOETANOL.

El bioetanol, también llamado alcohol carburante, es un líquido claro, incoloro que puede ser producido por la fermentación de prácticamente cualquier fuente de azúcar o almidón, las fuentes que más se utilizan son la caña de azúcar, maíz, trigo y remolacha azucarera, esto depende de la disponibilidad de cultivos que tenga cada país. La biomasa celulósica (desechos agrícolas y desechos orgánicos) también se pueden utilizar para producir bioetanol a través de técnicas de procesamiento avanzadas, lo que se conoce como bioetanol de segunda generación.

Las características del bioetanol combustible posibilitan una combustión más limpia y mejor desempeño de los motores utilizados normalmente, lo que contribuye a reducir las emisiones que contaminan el medio ambiente, ya que por cada kg de petróleo quemado es expulsado 7.1 kg de CO<sub>2</sub>, mientras que por cada kg de bioetanol quemado se reduce en un 6.2 kg menos la emisión de CO<sub>2</sub>.<sup>110</sup> En estos casos, actúa como un verdadero aditivo para el combustible normal, mejorando sus propiedades. Además, el bioetanol tiene un alto octanaje que permite relaciones de compresión más altas, ya que aumenta la eficiencia y el rendimiento del motor.

No obstante, es un biocombustible el cual no se ha popularizado en el mercado Colombiano y su uso se limita como un oxigenante de la gasolina.

En este campo, se puede observar un país como Brasil que ha venido trabajando constantemente en el bioetanol como biocombustible alternativo, en el cual se han obtenido grandes avances en cuanto a emisiones contaminantes y al uso de residuos agrícolas y forestales como materia prima, tales como el bagazo de la caña. Uno de los avances recientes más importantes es el desarrollo de "vehículos de combustible flexible (FFV) que son capaces de operar en un rango de porcentaje de gasolina y bioetanol hasta E85."<sup>111</sup>

En Colombia, más exactamente en el municipio de Barbosa, la hoya del Rio Suarez, conocida ampliamente por sus cultivos de caña panelera, ubicada en el Departamento de Santander, será la zona escogida para el aprovechamiento y la

---

<sup>110</sup> Las cifras del sector azucarero colombiano y la producción de bioetanol a base de caña de azúcar. ASOCAÑA Disponible en internet en : <http://www.asocana.org/documentos/552014-595FC3D1-00FF00,000A000,878787,C3C3C3,0F0F0F,B4B4B4,FF00FF,2D2D2D.pdf>

<sup>111</sup> Bioethanol Fact Sheet. Disponible en Internet en: <http://www.sts-technology.com/docs/Bioethanol-Fact-Sheet-Final.pdf>

recepción de la materia prima utilizada, debido a su potencial de cultivo y ubicación estratégica, ya que cuenta con 8117 hectáreas para el año 2011<sup>112</sup> y se puede obtener una capacidad instalada de **51'719.742 L/Año** los cuales se pueden utilizar para minimizar los costos de producción.

El contar con el bagazo de la caña panelera como materia prima, el cual se cataloga como un residuo agrícola y fuente de biomasa, proporciona una serie de ventajas al bioetanol combustible comparándolo con los combustibles derivados del petróleo como se puede observar en la tabla 30.

**Tabla 27. Ventajas del bioetanol Combustible.**

<b>VENTAJAS</b>
Reduce dependencia del petróleo extranjero
Mejora la calidad del Aire en zonas urbanas, reduciendo en un 74% las emisiones de gases de efecto invernadero <sup>113</sup>
Es una fuente más limpia que los combustibles fósiles
Es un combustible líquido y puede ser manejado tan fácilmente como la gasolina y el diésel.
Notablemente genera menos emisiones de monóxido de carbono.

Fuente: Ventajas de bioetanol utilizado como combustible.<sup>114</sup>

A parte de las ventajas anteriormente mencionadas cabe resaltar que se aprovechar un residuo agrícola (bagazo de caña ) esto quiere decir que no es necesario aumentar el cultivo de caña, con base en el análisis bibliométrico realizado se obtiene un mayor rendimiento en bioetanol por tonelada de bagazo respecto a la caña, ya que por cada tonelada de caña de azúcar se producen 84.5L de bioetanol y por cada tonelada de bagazo de caña se producen 282.62L de bioetanol, y además se pueden obtener coproductos como la lignina y el furfural con alto valor agregado.

<sup>112</sup> Instituto Colombiano de desarrollo rural ADR hoya del rio Suarez Disponible en internet en: [http://www.incoder.gov.co/ADR\\_Hoya\\_del\\_rio\\_Suarez/ADR\\_Hoya\\_del\\_rio\\_Suarez.aspx](http://www.incoder.gov.co/ADR_Hoya_del_rio_Suarez/ADR_Hoya_del_rio_Suarez.aspx)

<sup>113</sup> Las cifras del sector azucarero colombiano y la producción de bioetanol a base de caña de azúcar. ASOCAÑA Disponible en internet en : <http://www.asocana.org/documentos/552014-595FC3D1-00FF00,000A000,878787,C3C3C3,0F0F0F,B4B4B4,FF00FF,2D2D2D.pdf>

<sup>114</sup> <http://www.biodisol.com/biocombustibles/cuales-son-las-ventajas-y-las-desventajas-de-usar-etanol-en-lugar-de-gasolina-o-nafta-biocombustibles-bioetanol/>.

- **Ventajas del bioetanol de segunda generación con respecto al de primera:**
  - ✓ Menor nivel de impactos ambientales, en lo que se refiere a emisiones de CO<sub>2</sub>.
  - ✓ Un mayor rendimiento en combustible por hectárea, debido a que es posible aprovechar la Biomasa disponible.
  - ✓ El gran potencial disponible de materia prima, y en particular, de residuos o desechos de las industrias y ciudades.
  - ✓ No compite por el suelo destinado a alimentos.
  
- **Desventajas del bioetanol de segunda generación con respecto al de primera:**
  - ✓ La necesidad de inversiones elevadas para una planta de bioetanol con respecto a plantas productoras de combustibles tradicionales y biocombustibles de primera generación. Esto, debido a que es una tecnología nueva, la cual no está ampliamente desarrollada a nivel mundial y está en etapa experimental.
  - ✓ Los problemas logísticos relacionados con el abastecimiento de materias primas, ya que el de primera aprovecha la logística de transporte de los alimentos.

## 7.4 LOCALIZACIÓN DEL PROYECTO

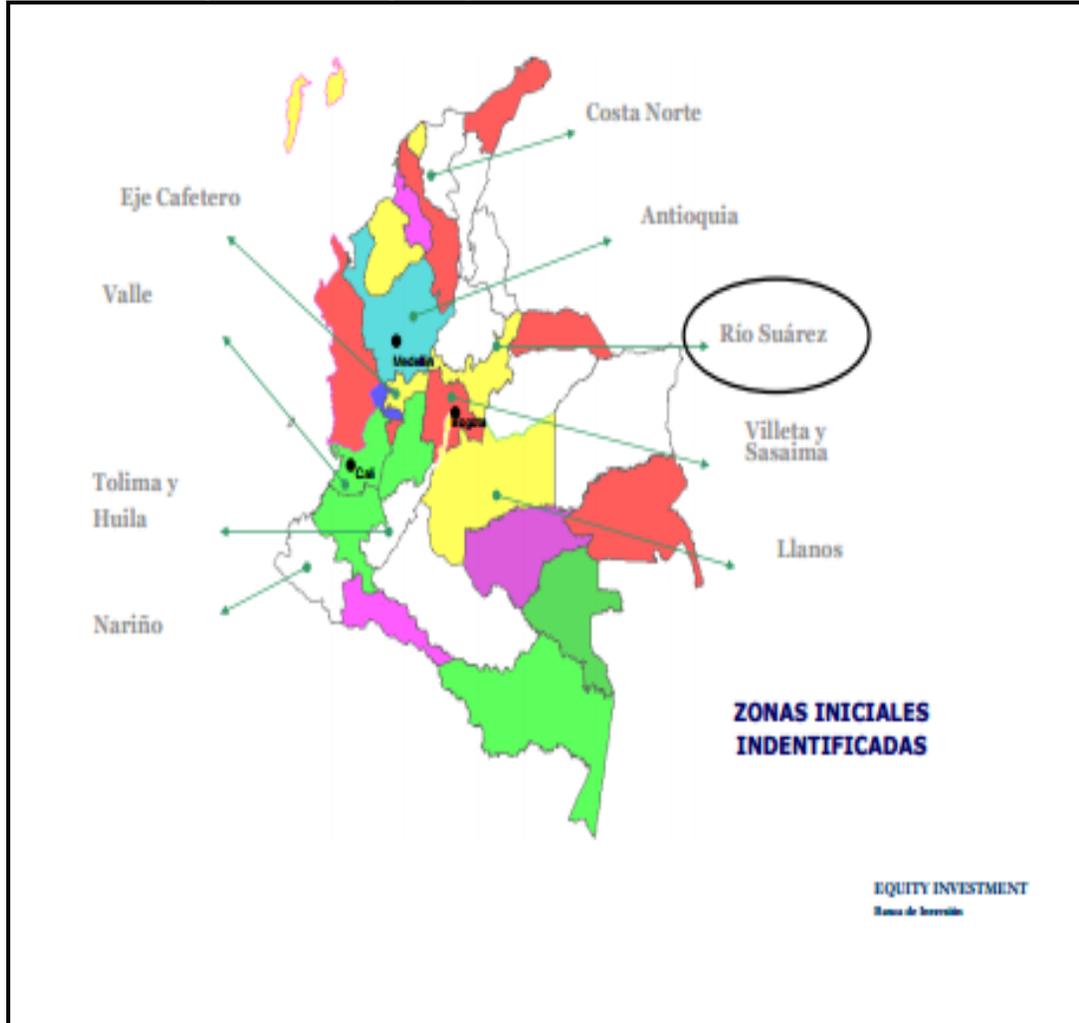
El área total cultivada de caña de azúcar en Colombia asciende a 203.919ha para el 2009<sup>115</sup>, con el fin de delimitar la localización del proyecto de bioetanol combustible se tuvo en cuenta el hecho de que la producción está concentrada básicamente en los Departamentos de Santander, Antioquia, Cundinamarca y Boyacá, los cuales abarcan el 50%<sup>116</sup> del total producido. El departamento escogido es Santander, en el municipio de Barbosa en la Región conocida como la Hoya del Suarez. Según la figura 5, en la cual se puede observar las zonas potenciales para producir bioetanol en Colombia.

---

<sup>115</sup> “Análisis de la productividad en la agroindustria azucarera y perspectivas para aumentarla”. Disponible en Internet: [http://www.cenicana.org/pdf/documentos\\_no\\_seriados/libro\\_el\\_cultivo\\_cana/libro\\_p373-394.pdf](http://www.cenicana.org/pdf/documentos_no_seriados/libro_el_cultivo_cana/libro_p373-394.pdf).

<sup>116</sup> El cultivo de la caña panelera y la agroindustria panelera en el departamento de Santander. Amílcar Mojica Pimiento, Joaquín Paredes Vega. Disponible en internet en: [http://www.banrep.gov.co/documentos/publicaciones/regional/ESER/bucaramanga/2004\\_diciembre.pdf](http://www.banrep.gov.co/documentos/publicaciones/regional/ESER/bucaramanga/2004_diciembre.pdf)

Figura 5. Zonas potenciales para producir bioetanol en Colombia.



Fuente: Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural.<sup>117</sup>

**7.4.1. Micro Localización.** Se selecciona la zona rural del municipio de Barbosa para el funcionamiento del proyecto en estudio, ya que este municipio se encuentra ubicado en el epicentro de la región de la Hoya del Río Suárez como se puede observar en la figura 6, lo que facilita la recepción de materias primas provenientes de los cultivos ya que en esta zona se realizó un proyecto para el montaje de una planta de bioetanol combustible de primera generación el cual nos permite hacer una integración de procesos y por ende debido a su posición estratégica se manejan reducción de costos del producto final.

<sup>117</sup> Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, República de Colombia. (2008). Centro regional de estudios económicos Bucaramanga. Documento de trabajo El cultivo de la caña panelera y la agroindustria panelera en el departamento de Santander. Consultado: <http://www.minagricultura.gov.co/02componentes/05biocombustible.aspx>.

**Figura 6. Municipios de la Hoya del Rio Suarez.**

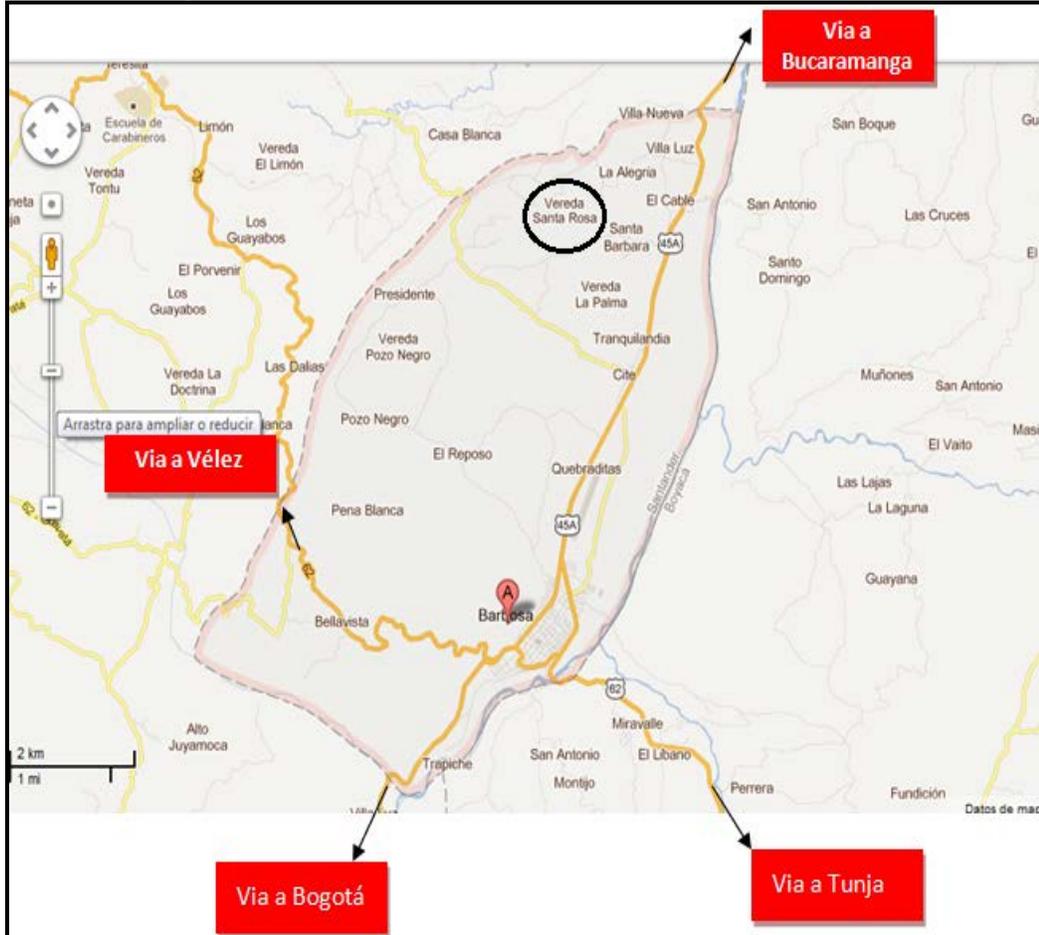


Fuente: Instituto Colombiano de Desarrollo Rural. INCODER. ADR de la Hoya del Rio Suarez.<sup>118</sup>

En este orden de ideas la planta estará ubicada en el corregimiento de Cite, vereda Santa Rosa, parque Tecnológico del Bocadillo y la Panela, a 700M de la vía principal entre Barbosa y Bucaramanga como se puede observar en la figura 7.

<sup>118</sup> INCODER. Disponible en Internet: [http://www.incoder.gov.co/documentos/Estrategia%20de%20Desarrollo%20Rural/Pertiles%20Territoriales/ADR\\_HOYA%20RIO%20SUAREZ/Perfil%20Territorial/CARACTERIZACION%20SOCIO-DEMOGRAFICA%20HOYA%20DEL%20RIO%20SUAREZ.pdf](http://www.incoder.gov.co/documentos/Estrategia%20de%20Desarrollo%20Rural/Pertiles%20Territoriales/ADR_HOYA%20RIO%20SUAREZ/Perfil%20Territorial/CARACTERIZACION%20SOCIO-DEMOGRAFICA%20HOYA%20DEL%20RIO%20SUAREZ.pdf)

Figura 7. Municipio de Barbosa. Vereda Santa Rosa.



Fuente: Google Maps.<sup>119</sup>

## 7.5 TAMAÑO DEL PROYECTO.

El tamaño del proyecto se establece de acuerdo a la producción en un periodo de tiempo determinado, debe estar condicionado a la demanda existente y a la cantidad de insumos disponibles, y es necesario contar con buen manejo del capital de trabajo e ingresos. Para el análisis de flujos financieros se supone que el total de los productos será vendido.

<sup>119</sup> Alcaldía de Barbosa Santander. Disponible en Internet en: [http://www.barbosa-santander.gov.co/mapas\\_municipio.shtml?apc=bcxx-1-&x=1369984](http://www.barbosa-santander.gov.co/mapas_municipio.shtml?apc=bcxx-1-&x=1369984).

## 7.5.1 Capacidad del Proyecto.

**7.5.1.1 Capacidad Instalada.** Corresponde a la capacidad técnica máxima tolerable de producción.<sup>120</sup>

Partiendo de la información obtenido en el Estudio de Mercados, se puede observar que para el año 2011 en el departamento de Santander se contaba con **8.117**<sup>121</sup> hectáreas cultivadas de caña panelera que eventualmente podría ser utilizada para la obtención de bioetanol de segunda generación a partir del bagazo; ya que por cada hectárea se producen **80** toneladas de caña panelera<sup>122</sup>, esto quiere decir que si se tienen **8.117** hectáreas cultivadas se podrían obtener **649.360** toneladas de caña, partiendo de que la relación de cantidad de bagazo por tonelada de caña son **110** toneladas equivalen a **31** toneladas de bagazo por ende se puede obtener **183.001** toneladas de bagazo de caña en el año.

En este orden de ideas, se tienen **183.001** Toneladas de bagazo de caña disponible en el año para la obtención de bioetanol combustible en la Hoya del Rio Suarez, lugar de la localización del proyecto; dado un rendimiento teórico del bioetanol de **282.62 L/T**<sup>123</sup>, se obtendrían **51'719.742 L/Año**, y la **Capacidad Instalada** sería **152.565 L/Día**. La base de cálculo será un año de **339 días** de producción.

Según recomendaciones técnicas, no se debe iniciar la producción trabajando con la capacidad instalada, esta deberá ir aumentando en periodos cortos de tiempo. En la medida en que se incursiona al mercado de los biocombustibles, se irá incrementando la capacidad utilizada hasta llegar al tope dado por la capacidad instalada.<sup>124</sup>

Con la capacidad instalada se cubrirá un **12.50%** del mercado nacional al año, manteniendo un mezcla de E8, con una Producción de **51'719.742 L/Año**, como se puede observar en la tabla 30.

---

<sup>120</sup> Gestión de Proyectos. "Evaluación Financiera, Económica, Social y Ambiental. MIRANDA Juan José. 5ª. Ed. Bogotá. Pág. 385.

<sup>121</sup> Instituto Colombiano de desarrollo rural ADR hoyo del rio Suarez Disponible en internet en: [http://www.incoder.gov.co/ADR\\_Hoya\\_del\\_rio\\_Suarez/ADR\\_Hoya\\_del\\_rio\\_Suarez.aspx](http://www.incoder.gov.co/ADR_Hoya_del_rio_Suarez/ADR_Hoya_del_rio_Suarez.aspx)

<sup>122</sup> Bioetanol de caña de azúcar energía para el desarrollo sostenible disponible en internet en : <http://www.bioetanoldecana.org/es/download/bioetanol.pdf>

<sup>123</sup> Evaluating the composition and processing potential of novel sources of Brazilian biomass for sustainable bio renewables production. Disponible en Internet en: <http://www.biotechnologyforbiofuels.com/content/7/1/10>

<sup>124</sup> Gestión de Proyectos Juan José Miranda Pág. 129

**Tabla 28. Cubrimiento de la demanda. Capacidad Instalada**

<b>DEMANDA</b>	
Demanda Gasolina 2014 [L/año]	5'168.000.000
8% bioetanol [L/año]	413.440.000
Producción Capacidad Instalada [L/año]	51'719.742
Porcentaje mercado [%]	<b>12.50%</b>

Fuente: Estudio de Mercados

Teniendo en cuenta que se tiene una demanda de gasolina de 5.168.000.000 L/año, la necesidad de producir bioetanol combustible será de 413.440.000 L/año, para el año 2014

**7.5.1.2 Capacidad Utilizada.** Es el porcentaje de la Capacidad Instalada que efectivamente se emplea.<sup>125</sup>

Para el desarrollo de este proyecto se trabajara con un 80% de aprovechamiento de la capacidad instalada, con el fin de no generar costos de sobreproducción durante el proceso. Respecto al porcentaje anterior la capacidad utilizada será de **122.053 L/Día** y **41'375.793 L/Año** y se necesitaría **146.400 Ton/Año** de Bagazo de caña.

- **Proyecciones para la capacidad del proyecto:** El proceso iniciará producción con una capacidad de **122.053 L/Día** para el primer año; para los cuatro siguientes años aumentara a razón de **3%** con el fin de que al quinto año que es el periodo de evaluación haya un aprovechamiento del **92%** de la capacidad instalada.

---

<sup>125</sup> Gestión de Proyectos. "Evaluación Financiera, Económica, Social y Ambiental. MIRANDA Juan José. 5ª. Ed. Bogotá. Pág. 385.

**Tabla 29. Proyección de la capacidad Utilizada del proceso.**

Periodo de Evaluación		
5 Años		
Tiempo	Capacidad Litros/Día	Capacidad Litros/Año
<b>Año 1</b>	<b>122.053</b>	<b>41'375.793</b>
Año 2	125.714	43'617.066
Año 3	129.485	44'895.578
Año 4	133.369	46'242'445
<b>Año 5</b>	<b>137.370</b>	<b>47'629.718</b>

Fuente: Elaboración Propia.

Con esta capacidad utilizada se cubrirá un **10.00%** del mercado nacional al año, manteniendo un mezcla de E8, con una Producción de **41'375.793 L/Año**, como se puede observar en la tabla 32.

**Tabla 30. Cubrimiento de la demanda. Capacidad Utilizada**

DEMANDA	
Demanda Gasolina 2014 [L/año]	5'168.000.000
8% bioetanol [L/año]	413.440.000
Producción planta bioetanol [L/año]	41'375.793
Porcentaje mercado [%]	<b>10.00%</b>

Fuente: Estudio de Mercados

Así mismo la planta operara las **24** horas del día de **lunes a sábado**, y **12** horas los domingos.

La planta operaría **339** días al año, esto equivale a **8.136** horas y los **26** días restantes se realizan revisiones y mantenciones de los equipos y maquinaria, lo que se representa una producción de la siguiente manera:

**Tabla 31. Estimación de la Producción.**

Horas Trabajadas	Tiempo	Bioetanol ( Litros)
24	<b>Día</b>	<b>125.381</b>
<b>156</b>	Semana	814.976
<b>678</b>	Mes	3.259.906
8.136	<b>Año</b>	<b>41.375.793</b>

Fuente: Elaboración Propia

## 7.6 ABASTECIMIENTO

A continuación se describe el abastecimiento de la planta relacionando el insumo principal.

**7.6.1 Materia Prima.** Las materias primas que se utilizan para producir bioetanol de segunda generación, no poseen valor alimenticio alguno, esta es una diferencia importante con relación a la primera generación. Este material puede ser catalogado en tres grupos distintos:

- Residuos forestales (astillas, aserrín, etc.)
- Residuos agrícolas (rastrajo de maíz, trigo, caña de azúcar, sorgo, remolacha, etc.)
- Residuos municipales (cartones, papel, desperdicio de alimentos, etc.)

El insumo principal utilizado para la producción de bioetanol combustible es el Bagazo de la Caña Panelera, el cual es considerado como un residuo agrícola resultante del procesamiento de la caña.

### 7.6.1.1 Requerimientos de Insumos.

- **Servicios:** Teniendo en cuenta los niveles del consumo en la producción de agua y energía se estiman valores para estos servicios.

Teniendo en cuenta que por cada litro de bioetanol se gastan **4** litros de agua,<sup>126</sup> y que la capacidad de la planta es de **121.336 L/Día**; se tiene un gasto de **485.344 L (Agua)/Día**, considerando que la tarifa en Santander para la zona industrial es de **\$1.882,21(m<sup>3</sup>)<sup>127</sup>**, se tendría un costo anual de **\$ 306.908.244**.

**Tabla 32. Costos por concepto de servicios.**

INSUMOS	MENSUAL
Electricidad	\$ 363.484.202,00
Agua	\$ 25.575.687

<sup>126</sup> Documental Historia del Etanol. Parte 1. Hispan TV. Disponible en Internet: [https://www.youtube.com/watch?v=MRC\\_sJIOPJA](https://www.youtube.com/watch?v=MRC_sJIOPJA).

<sup>127</sup> Acueducto Metropolitano de Bucaramanga. Disponible en Internet en: <http://www.amb.com.co/>.

A continuación se calcula la cantidad de materia prima necesaria para la producción del primer año.

**Tabla 33. Cantidad de Bagazo**

<b>MATERIA PRIMA</b>		
<b>TIEMPO</b>	<b>Capacidad Litros/Año</b>	<b>Cantidad de Bagazo Procesada ( Toneladas)/Año</b>
Año 1	<b>41'375.793</b>	<b>146.400</b>
Año 2	43'617.066	150.792
Año 3	44'895.578	155.315
Año 4	46'242'445	159.974
Año 5	47'629.718	<b>164.773</b>

Fuente: Elaboración Propia.

## 7.7 PRECIO DE LA MATERIA PRIMA

Para el desarrollo de este proyecto se utiliza como materia prima principal el Bagazo de la caña Panelera originada en los cultivos de la Hoya del Rio Suarez en el Departamento de Santander. En la planta, ubicada en Barbosa, para la transformación de la caña Panelera en bioetanol de primera generación, se genera un residuo agrícola, el cual es el bagazo, y este será el utilizado como materia prima para la producción de bioetanol de segunda generación, generando el concepto de integración de procesos.

Cabe resaltar, que el bagazo es considerado como un residuo o desecho agrícola, y para algunos estudios no se considera un valor económico para dicho residuo.

Sin embargo, como se puede observar en la tabla 34, en el mercado colombiano está estipulado un precio para el bagazo de la caña.

**Tabla 34. Precio de compra del Bagazo Seco. Año 2011.**

<b>PRECIO DEL BAGAZO SECO</b>	
<b>Unidades( Kg)</b>	<b>Precio (COP)</b>
1	90
100	9.000
1.000	90.000

Fuente: Corpoica y Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural.<sup>128</sup>

<sup>128</sup> Enriquecimiento Proteico del Bagazo. CORPOICA. ministerio de agricultura y desarrollo rural. Disponible en Internet: <http://corpomail.corpoica.org.co/BACFILES/BACDIGITAL/56688/56688.pdf>.

En la tabla 37, se proyecta en costo de la materia prima en los años de evaluación del proyecto.

**Tabla 35. Costo de Materia prima**

<b>MATERIA PRIMA</b>		
<b>TIEMPO</b>	<b>Cantidad de Bagazo Procesada ( Toneladas)/Año</b>	<b>PRECIO</b>
Año 1	<b>146.400</b>	<b>90.000</b>
Año 2	150.792	92.700
Año 3	155.315	95.481
Año 4	159.974	98.345
Año 5	<b>164.773</b>	<b>101.295</b>

Fuente: Elaboración de los Autores del Proyecto

## **7.8 MANO DE OBRA.**

Se determina la mano de obra directa e indirecta que se requiere para el desarrollo de las actividades en el proceso de producción.

**7.8.1 Mano de Obra en Producción.** En primera instancia se determina los operarios de producción involucrados en el proceso, como se puede observar en la tabla 38. La cual se calcula con la siguiente formula.

- **Mano de Obra** = (tiempo de operación/8horas)\* # de repeticiones que se realiza la operación<sup>129</sup>

<sup>129</sup> Evaluación del proyecto de inversión en el negocio de la industria de la tortilla. Estudio técnico capítulo 5 disponible en internet en: [http://catarina.udlap.mx/u\\_dl\\_a/tales/documentos/mepi/cruz\\_z\\_c/capitulo5.pdf](http://catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/mepi/cruz_z_c/capitulo5.pdf)

**Tabla 36. Calculo de la Mano de Obra Necesaria en Producción.**

<b>PASO N°</b>	<b>ETAPAS DEL PROCESO</b>	<b>Tiempo(Horas)</b>	<b>Mano de Obra Necesaria</b>
1	Carga del hidrolizador ácido	0.25	0,03
2	Calentamiento del hidrolizador ácido	0.5	0,06
3	Hidrólisis ácida	0.66	0,08
4	Enfriamiento del hidrolizador ácido	0.25	0,03
5	Descarga del hidrolizador ácido	0.25	0,03
6	Condensación de furfural	0.66	0,08
7	Lavado - Filtración	0.16	0,02
8	Carga del hidrolizador básico	0.25	0,03
9	Calentamiento del hidrolizador básico	0.5	0,06
10	Hidrólisis básica	1	0,125
11	Enfriamiento del hidrolizador básico	0.25	0,03
12	Descarga del hidrolizador básico	0.25	0,03
13	Recuperación de Etanol	0.16	0,02
14	Filtración	0.16	0,02
15	Carga del hidrolizador enzimático	0.25	0,03
16	Hidrólisis enzimática	24	3
17	Descarga del hidrolizador enzimático	0.25	0,03
18	Filtración	0.16	0,02
19	Dilución de la miel	2	0,25
20	Prefermentación	4	0,5
21	Siembra del fermentador	1	0,125
22	Llenado del fermentador	8	1
23	Agotamiento del fermentador	12	1,5
24	Destilación del fermentador	6	0,75
25	Limpieza del fermentador	1	0,125
26	Revisar la calidad del producto	0.5	0,06
27	Almacenamiento	0.5	0,06
<b>MANO DE OBRA NECESARIA</b>			<b>8,095</b>

Fuente: Elaboración de los Autores del Proyecto.

**7.8.2 Mano de obra directa.** La mano de obra directa está conformada por 41 personas como se muestra en la siguiente tabla.

De acuerdo a los cálculos realizados en la tabla anterior se puede determinar que la mano de obra necesaria en producción es de 8 operarios por turno, esto quiere decir que habrá 24 operarios en producción al día.

**Tabla 37. Mano de Obra Directa.**

<b>CARGO</b>	<b># DE PERSONAS</b>
Jefe de Producción	3
Supervisor de Planta de Producción	3
Jefe de Mantenimiento	3
Operarios de Producción	24
Electricista	4
Asistente Mecánico	4

Fuente: Elaboración de los Autores del Proyecto.

**7.8.3 Mano de Obra Indirecta.** La mano de obra indirecta está conformada por 30 personas y los respectivos cargos como se observa en la tabla 38.

**Tabla 38. Mano de Obra Indirecta**

<b>CARGO</b>	<b># DE PERSONAS</b>
Gerente de Planta	1
Ingeniero Ambiental	4
Ingeniero Químico	4
Supervisor de Calidad	3
Asistente de Gerencia	2
Contador	3
Jefe de Ventas	2
Asesores Comerciales	10
Sub Gerente de Planta	1

Fuente: Elaboración de los Autores del Proyecto.

## **7.9 ANÁLISIS DE PROCESO**

La información presentada a continuación en la descripción del proceso corresponde a datos experimentales sobre la obtención de bioetanol combustible de segunda generación, de la Universidad Central Martha Abreu de las Villas, en Cuba.

Se analiza el proceso relacionado con la Producción del Bioetanol Combustible de Segunda Generación.

**7.9.1 Etapas de Proceso.** El proceso consiste en cuatro etapas principales: **Pre-tratamiento, Hidrólisis Enzimática, Fermentación y Destilación.** La materia prima empleada es el bagazo de la caña panelera obtenido de una fábrica de azúcar o en este caso de panela, de la cual una parte considerable es utilizada como combustible en la caldera y la sobrante puede tener varios usos entre los que se encuentra la producción de bioetanol, en este caso de segunda generación. A continuación se describen las etapas que conforman el proceso de obtención de bioetanol.

**Tabla 39. Etapas De Proceso**

ETAPAS DE PROCESO		Reactivos
<b>Pre-tratamiento</b>  <b>Primera Etapa</b>	<p>En el Pre-Tratamiento se pueden apreciar dos etapas: un Pre-Tratamiento Básico y un Pre-Tratamiento Acido. La función principal de esta etapa es separar la estructura de la fibra de lignocelulosa la cual es un componente del bagazo, para facilitar el ataque enzimático.</p> <p>Durante el pre tratamiento básico se produce: el fraccionamiento de la biomasa en sus componentes principales (celulosa, hemicelulosa y lignina). En el pre tratamiento ácido se obtiene un líquido rico en xilosa, un producto con un valor agregado que mejora la economía del proceso.<sup>130</sup></p> <p>En esta primera etapa, los niveles de temperatura deben ser altos, esto con el fin de lograr el mayor rendimiento aceptable en glucosa, lo que ocasiona a su vez una mayor descomposición de los azúcares procedentes de la hemicelulosa, produciendo compuestos como el furfural.<sup>131</sup> Después se aplica un lavado etapa de</p>	<p>✓ <b>Ácido sulfúrico</b> al <b>1,25%</b> en base a la fibra seca.</p> <p>✓ Presencia de vapor a <b>175 °C y 9 atm.</b></p> <p>✓ Relación sólido líquido de <b>1:4 Kg/L.</b></p> <p>✓ Tiempo de residencia de esta etapa es de <b>40 minutos.</b></p>

<sup>130</sup> Aguilar, N. (2010) "Kinetic model of Hydrolysis of Sugarcane Waste". Ciencia e Ingeniería Neogranadina, 20, (2), pp. 5-18.

<sup>131</sup> Lenihan, P., Orozco, A., O'Neill, E., Ahmad, M. N. M., Rooney, D. W. & Walker, G. M. (2010) "Dilute acid hydrolysis of lignocellulosic biomass.". Chemical Engineering Journal, 156, pp. 395-403.

ETAPAS DE PROCESO		Reactivos
	lavado.	
<b>Pre-tratamiento Segunda Etapa</b>	<p>Posterior a la etapa de lavado, se obtiene además, una corriente sólida con gran contenido en glucosa en forma de celulosa y lista para pasar a la <b>segunda etapa de pre-tratamiento</b> que también cuenta con la acción del vapor.</p> <p>Posteriormente se realiza una filtración, en la que se obtiene una segunda masa sólida con una cantidad pequeña de lignina y una corriente líquida con un gran contenido de ésta. El objetivo de esta segunda etapa de pre-tratamiento es hacer al material lignocelulósico más susceptible para la posterior etapa.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ <b>Hidróxido de Sodio</b> al <b>3%</b> en base a fibra seca.</li> <li>✓ Etanol al <b>30 % v/v</b>.</li> <li>✓ Temperatura de <b>185°C</b>.</li> <li>✓ Relación sólido- líquido de <b>1:7 Kg/L</b>.</li> <li>✓ Tiempo de residencia de <b>60 minutos</b> y solo se pierde un <b>1% del etanol</b></li> </ul>
<b>Hidrolisis Enzimática</b>	<p>Seguidamente se somete esta biomasa a la etapa de <b>hidrólisis enzimática</b>, mediante la acción de las enzimas celulosas por un término de <b>24-48 h</b>.</p> <p>Luego se filtra para emplear este líquido rico en glucosa como agente disolutor de la miel final que se obtiene como co-producto en la producción de azúcar de caña; esta miel contiene un contenido de azúcares fermentables de 520 g/L</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Esta fase se lleva a cabo a <b>45 °C</b>.</li> <li>✓ se emplea <b>30 FPU/g</b> de enzimas celulolíticas.</li> <li>✓ La xilanasa empleada es <b>10 FPU/g de celulosas</b>.</li> <li>✓ Se trabaja a un <b>pH de 4,8</b>.</li> <li>✓ Velocidad de agitación de <b>150 rpm</b>.</li> <li>✓ Glucosa obtenida en esta etapa es de <b>72,33 g/L</b></li> </ul>
	Seguidamente se pasa a la etapa de pre-fermentación, que tiene como objetivo fundamental el crecimiento de	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ La concentración de azúcares óptima es de <b>120 g/L</b>.</li> </ul>

ETAPAS DE PROCESO		Reactivos
<b>Fermentación</b>	la levadura <sup>132</sup> que posteriormente se empleará en la fermentación alcohólica, en esta etapa biológica del proceso, dependiendo de las condiciones y de las materias primas utilizadas, se requiere de la presencia de microorganismos para fermentar el azúcar en alcohol.	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Se obtiene etanol con una concentración de <b>31,8 g/L.</b></li> <li>✓ Tiene un tiempo de duración de <b>12 horas</b> e incluye <b>2 h</b> para la limpieza y desinfección</li> </ul>
<b>Destilación</b>	Hasta el momento se ha explicado la variante de hidrólisis y fermentación separadas (HFS). El bioetanol obtenido a partir de la etapa anterior de fermentación requiere aún más la separación y purificación de etanol a través de un proceso de destilación. Esta es la última etapa de procesamiento.	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Bioetanol con una calidad del <b>96,3 °GL</b></li> </ul>

A continuación se relacionan las etapas de proceso con sus respectivos equipos, tiempos de procesamiento y flujo.

<sup>132</sup> Albornas, Y., Verelst, H., González, E. & Pedraza, J. (2010a) "Simulation of the Batch Fermentation Stage in the Process to Obtain Ethanol from Final Molasse". Chemical Engineering Transactions, 21, pp. 931 - 936. ISSN: 1974-9791.

**Tabla 40. Descripción de proceso.**

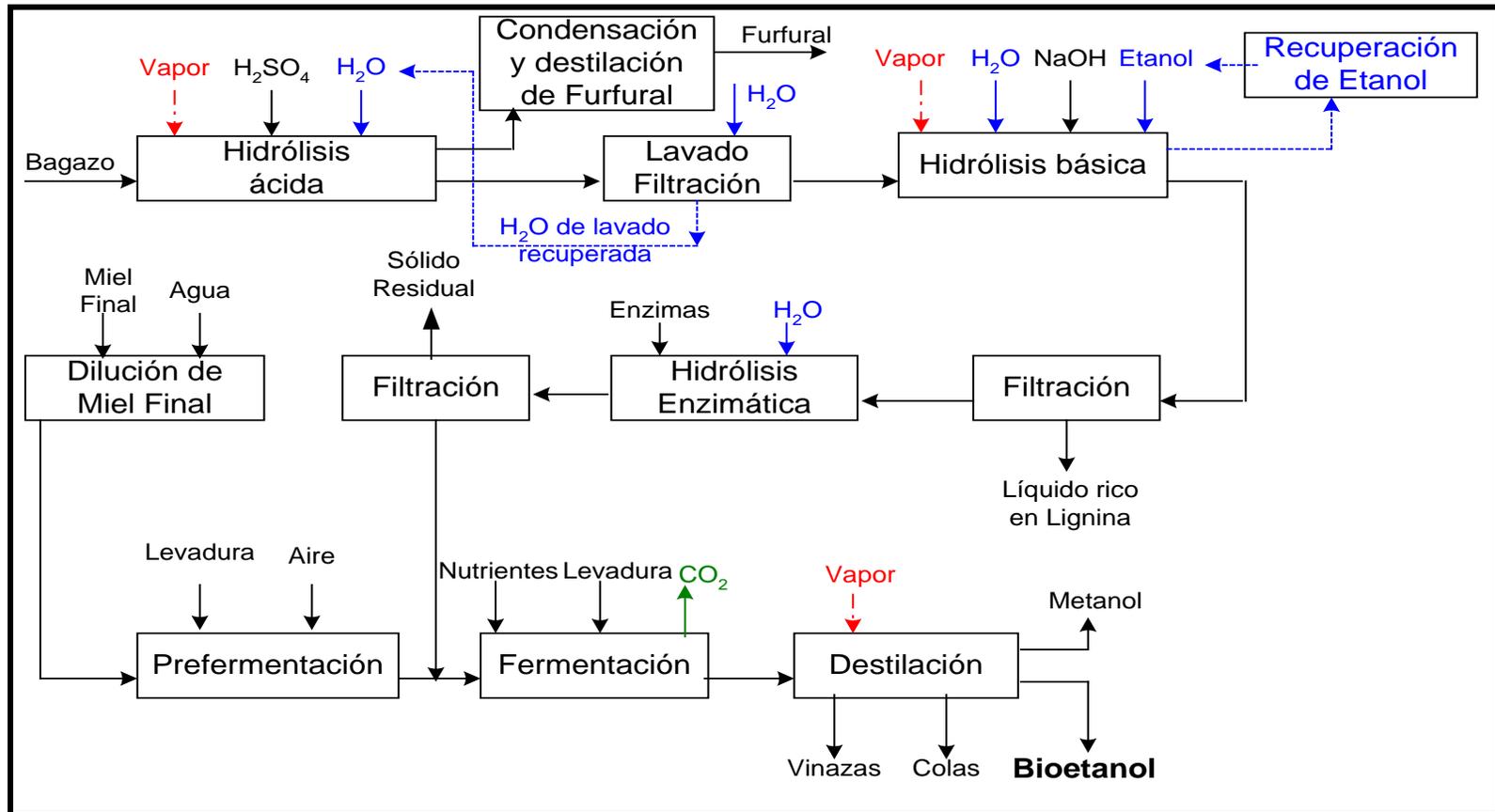
<b>Etapas de proceso</b>	<b># De Equipos</b>	<b>Tiempo Total de Procesamiento (h)</b>	<b>V (m<sup>3</sup>)</b>
<b>Pre-Tratamiento Acido</b>	3	2,54	99
<b>Pre-Tratamiento Básico</b>	6	2,76	57
<b>Hidrolisis Enzimática</b>	28	29,0	143
<b>Pre-Fermentación</b>	2	4,28	10
<b>Fermentación</b>	12	30,0	85

Fuente: Elaboración de los Autores del Proyecto.

**7.9.2 Descripción Del Proceso De Producción.** Se determinarán las actividades para el proceso de producción, organizadas secuencialmente con tiempos estimados de duración, capacidad de la maquinaria y personas encargadas de cada actividad; mediante unos diagramas de flujo del proceso.

A continuación en la figura 8 y 9, se puede observar el diagrama de bloques de proceso y el diagrama de flujo donde se puede observar las principales etapas del proceso productivo. De igual forma se pueden apreciar las fases del proceso de las que se deriva cada subproducto.

Figura 8. Diagramas de Bloques de Proceso



Fuente: Albernas, Y., Corsano, G., González, M. & González, E. (2012b) "Los procesos batch y el fenómeno de espera visto en el Bioetanol de bagazo" En: IV Taller Científico Territorial de Protección Ambiental (ECOELIA 2012). Colombia, Las Tunas, Cuba, Abril 20-21 ISBN: 978-959-16-1697-7.

Tabla 41. Diagrama de Análisis de Procesos

P A S O #	ETAPAS DEL PROCEDIMIENTO	OPERA CIÓN	TRANSP ORTE	ALMAC ENAJE	INSPEC CIÓN	DEMOR A	TIEMPO(Min)
		●	➔	▲	■	◐	
1	Carga del hidrolizador ácido	X					15
2	Calentamiento del hidrolizador ácido	X					30
3	Hidrólisis ácida	X					40
4	Enfriamiento del hidrolizador ácido	X					15
5	Descarga del hidrolizador ácido	X					15
6	Condensación de furfural	X					40
7	Lavado - Filtración	X					10
8	Carga del hidrolizador básico	X					15
9	Calentamiento del hidrolizador básico	X					30
10	Hidrólisis básica	X					60
11	Enfriamiento del hidrolizador básico	X					15
12	Descarga del hidrolizador básico	X					15
13	Recuperación de Etanol	X					10
14	Filtración	X					10
15	Carga del hidrolizador enzimático	X					15
16	Hidrólisis enzimática	X					1440
17	Descarga del hidrolizador enzimático	X					15
18	Filtración	X					10
19	Dilución de la miel	X					120
20	Prefermentación	X					240
21	Siembra del fermentador	X					60
22	Llenado del fermentador	X					480
23	Agotamiento del fermentador	X					720
24	Destilación del fermentador	X					360
25	Limpieza del fermentador	X					60
26	Revisar la calidad del producto				X		30
27	Almacenamiento			X			60
DEPENDENCIA		DEPARTAMENTO DE PRODUCCIÓN			N° TOTAL DE OPERACIONES		25
					N° TOTAL DE TRANSPORTES		0
					N° TOTAL DE ALMACENAMIENTO		1
FECHA					N° TOTAL DE INSPECCIONES		1
					N° TOTAL DEMORAS		0
					TIEMPO TOTAL		3900(MIN) 65(HORAS) 2.7 (días)

Fuente: Elaboración de los Autores del Proyecto

En la tabla 44 se observa el diagrama de análisis de procesos, donde detalla que para el proceso se requiere de 27 operaciones, una inspección y finalmente un almacenamiento. El proceso dura un tiempo total de 65 horas.

**7.9.3 Maquinaria y Equipo.** La maquinaria y los equipos necesarios para cada proceso tendrán una capacidad de procesamiento de **125.381 L/Día** y son descritos a continuación.

**Tabla 42. Maquinaria y Equipos.**

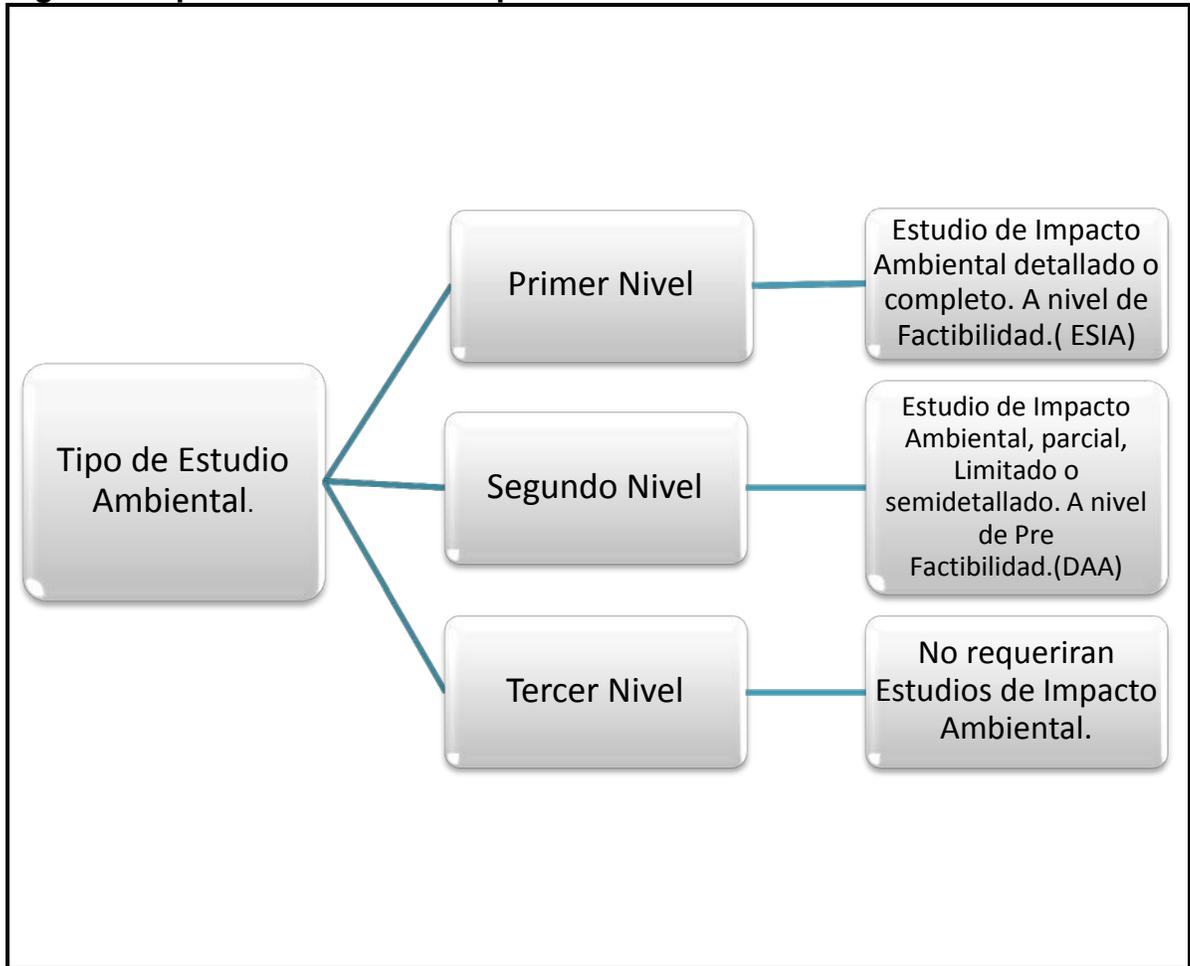
<b>MAQUINARIA Y EQUIPO</b>		
<b>Tipo</b>	<b>Equipo</b>	<b>Cantidad</b>
Lavado	Filtro Rotatorio	1
Molienda	Molino Bolas Vibratorias	2
Impregnar con Acido	Reactor	1
Explosión a Vapor	Reactor	2
Filtro Solido/Liquido	Filtro Rotatorio	2
SSF	Fermentador	3
Filtro	Filtro Prensa	2
Destilador	Destilador	2
Deshidratador	Reactor	2
Purevision	Reactor	1
Deshidratador	Reactor	2
Filtro Membrana	Filtro	1
Neutr. Y Detox.	Reactor	1
Centrifuga	Centrifuga	1
Pre Inoculo	Reactor	1
Silo Materia Prima	Silo Almacenamiento	2
Tanque Ca(OH) <sub>2</sub>	Tanque Almacenamiento	1
Silo Agua	Silo Almacenamiento	1
Tanque Etanol	Tanque Almacenamiento	2
Tanque Lignina	Tanque Almacenamiento	1
Silo Riles y RISEs	Silo Almacenamiento	1
Tanque Levadura	Tanque Almacenamiento	1
Tanque Enzima	Tanque Almacenamiento	1
Tanque Nutrientes	Tanque Almacenamiento	2
Tanque CO <sub>2</sub>	Tanque Almacenamiento	1
<b>Total Equipos</b>		<b>37</b>

Fuente: Elaboración de los Autores del Proyecto.

## 8. ESTUDIO AMBIENTAL

Teniendo en cuenta las pautas establecidas por el ministerio de medio ambiente para la realización de estudios ambientales, se determina el tipo de análisis que se realiza dependiendo el tipo de proyecto a llevar a cabo.<sup>133</sup>

**Figura 9. Tipos de Estudio de Impacto Ambiental.**



Fuente: Manual de Evaluación de Impacto ambiental en los Proyectos.<sup>134</sup>

- (ESIA). Estudio de Impacto Ambiental.
- (DAA). Diagnóstico Ambiental de Alternativas.

<sup>133</sup> Decreto 1220 de 2005 que reglamenta la ley 99 de 1993: Artículos 8 Y 9. Ministerio de Ambiente y demás autoridades ambientales.

<sup>134</sup> Disponible en internet en: [http://evaluaciondelimpactoambiental.bligoo.com.co/media/users/20/1033390/files/255491/1\\_Manual\\_EIA.pdf](http://evaluaciondelimpactoambiental.bligoo.com.co/media/users/20/1033390/files/255491/1_Manual_EIA.pdf)

## 8.1 DESARROLLO DE ESTUDIO AMBIENTAL

Para este proyecto, se desarrolló un estudio ambiental de segundo nivel, el cual comprende un Diagnóstico Ambiental de Alternativas (DAA), ya que es un proyecto que se encuentra en un nivel de Pre Factibilidad. A continuación se presenta los elementos del medio a tener en cuenta para este diagnóstico ambiental.

**Tabla 43. Estudio Ambiental.**

Elemento del medio	Impacto potencial	Parámetros de contraste	Medidas correctoras
Calidad del Aire	Se produce emisión de partículas y gases producto de los procesos de transformación procedentes de las etapas de fermentación y combustión presentes en la planta.(CO <sub>2</sub> )	Estimación de las emisiones realizadas por la fuente contaminante	Buscar una fuente para fijación de CO <sub>2</sub> .
Ruidos	Funcionamiento continuo de los equipos y la maquinaria presentes en la planta	Establecimiento de los niveles de ruido generados por maquinaria y hombres, y la sensibilidad del medio ambiente frente a estos.	Realizar actividades sustitutas con menos ruido.  Aplicar protectores auditivos dado el caso.
Suelos	Perdida de suelos, debido a las características que debe cumplir el terreno, alteración de características edafológicas.	Conocimiento de parámetros físicos y químicos causantes de alteración biológica.	

Elemento del medio	Impacto potencial	Parámetros de contraste	Medidas correctoras
Hidrología superficial	Afectación en la calidad de fuentes hídricas, debido a la utilización de grandes cantidades de agua a lo largo del proceso	Causado por vinazas de la destilación turbidez, pH, contaminantes orgánicos e inorgánicos	No realizar vertidos de limpieza de motores y preparar planes de emergencia ante vertidos realizados accidentalmente  Vincular estos residuos químicos con el proceso.

## 8.2 LEGISLACIÓN AMBIENTAL

Producir combustible a partir de biomasa vegetal es una de las alternativas que se han fijado a nivel mundial para disminuir los acelerados cambios climáticos, a través de protocolos firmados por distintos países donde está incluido Colombia como lo es el protocolo de Kyoto se quiere aportar a los evidentes daños generados por uso de combustibles fósiles.<sup>135</sup>

Con el fin de generar menos dependencia del petróleo hoy en día se está dando la viabilidad del uso del bioetanol como carburante para enfrentar la crisis energética pero a su vez se utiliza como una buena alternativa en la disminución de impactos negativos al ambiente generados por el consumo de derivados del petróleo.

Son muchas las necesidades en Colombia, entre las que se tiene la legislación, la autosuficiencia del combustible fósil, entre otras; que llevan a sustituir o a buscar producciones más limpias que mejoren la calidad del aire. Por ello es importante evaluar desde el punto de vista ambiental el proceso de producción de etanol a partir de recursos como la caña de azúcar.

<sup>135</sup> Biocombustibles Líquidos: Biodiesel y bioetanol. Disponible en internet: [http://www.madrimasd.org/informacionidi/biblioteca/publicacion/doc/vt/vt4\\_biocarburantes\\_liquidos\\_biodiesel\\_y\\_bioetanol.pdf](http://www.madrimasd.org/informacionidi/biblioteca/publicacion/doc/vt/vt4_biocarburantes_liquidos_biodiesel_y_bioetanol.pdf)

### 8.3 ANÁLISIS AMBIENTAL: PRODUCCIÓN + LIMPIA.

La filosofía de la PL empezó a mediados de los ochenta y hoy en día forma parte de la política medioambiental de la mayoría de los países desarrollados, y cada vez más de algunos países en desarrollo. Es una estrategia de gestión empresarial preventiva aplicada a productos, procesos y organización del trabajo, cuyo objetivo es minimizar emisiones tóxicas y de residuos, reduciendo así los riesgos para la salud humana y ambiental, y elevando simultáneamente la competitividad.<sup>136</sup>

Para dar cumplimiento a los estándares de producción limpia es de gran importancia evaluar el proceso industrial que permitir establecer las medidas de prevención y minimización de la contaminación.

El bioetanol es un componente que se encuentra libre de compuestos como el benceno, azufre, compuestos aromáticos que son muy negativos en los procesos de combustión para el medio ambiente. Al utilizar el 10% de bioetanol en la gasolina se puede llegar a lograr una reducción de emisión de CO<sub>2</sub> entre el 22% y 50% en vehículos carburantes y reducción menor en vehículos de inyección.<sup>137</sup>

El bioetanol tiene el potencial de ser "carbono neutral" sobre la base del ciclo de vida; todo el carbono emitido durante el procesamiento y el uso del combustible que se está equilibrada por la absorción de la atmósfera durante el crecimiento del cultivo de combustible. Sin embargo, en la práctica el proceso de crecimiento de los cultivos se requiere la entrada de los combustibles fósiles para los fertilizantes, la cosecha, el procesamiento y distribución. El alcance real de total de gas de efecto invernadero del ciclo de vida (GEI), por lo tanto es fuertemente dependiente de la cosecha.<sup>138</sup>

Pero como no todo siempre es positivo, también se cuenta que en la producción de este biocombustible se generan residuos contaminantes, a parte de los que ya se generan en el proceso de la obtención de la materia prima.

---

<sup>136</sup> ARTICULO PRODUCCIÓN LIMPIA: Alternativa de solución frente al problema de la contaminación y opción estratégica para el desarrollo eco-eficiente de las organizaciones. Universidad Nacional de Colombia. Disponible en Internet: <http://www.virtual.unal.edu.co/cursos/economicas/2008551/lecciones/descargas/produccionlimpia.doc>

<sup>137</sup> Fedesarrollo. Disponible en Internet en: <http://www.fedesarrollo.org.co/wp-content/uploads/2011/08/Evaluaci%C3%B3n-de-la-pol%C3%ADtica-de-Biocombustibles-en-Colombia.pdf>

<sup>138</sup> Perspectivas del bioetanol en la UE hasta el 2020. Disponible en internet en: <http://www.agrodigital.com/Documentos/bioetanolab13.pdf>

En la tabla 47, se anuncian una serie de elementos ambientales como el suelo, el agua, que se deben tener en cuenta al momento de evaluar los posibles impactos causados en este caso por la obtención de bioetanol combustible, y se plantea una evaluación de elementos ambientales con respecto al tiempo.

**Tabla 44. Impactos causados por la obtención de bioetanol combustible**

ELEMENTO AMBIENTAL	IMPACTO MITIGADO	DEFINICIÓN / OCURRENCIA	IMPACTO REVERSIBLE EN PLAZO				OBSERVACIONES
			CORTO	MEDIO	LARGO	NO REFERENCIAL	
GEOFORMA							
	Alteración de la capa orgánica	Modificación de las propiedades físicas, químicas y biológicas (calidad y cantidad) de capa material fértil que recubre la superficie del suelo.			x		. Este caso aplica en el momento de ampliación de la planta para adaptar la nueva maquinaria. También aplicaría en un futuro para posteriores ampliaciones para aumentar la capacidad instalada..
SUELO	Modificación de las propiedades físicas y químicas.	Modificación de las propiedades de los suelos producto de la remoción del material vegetal, que actúa como cobertura, dejándolo a exposición directa de los factores climáticos.			x		Se presenta la remoción de material vegetal ya sea por quema, tala o roza. Esta parte no afecta directamente el funcionamiento de la planta ya que la materia prima (bagazo de la caña), se dispone en las instalaciones de la planta.
	Modificación de la calidad física de los suelos	Deterioro de las características físicas tales como: permeabilidad, porosidad y textura del suelo.				x	Además se presenta por la desecación de áreas inundables y por la sedimentación.
	Contaminación	Por inadecuada disposición del material orgánico y los residuos sólidos producidos en los procesos productivos de la planta que deterioran la calidad del suelo y el subsuelo.		x			Lo ideal sería implementar un programa de manejo de posibles residuos sólidos..
	Modificación en el drenaje.	Modificación del patrón de compartimiento del drenaje externo por el escurrimiento superficial y el drenaje interno por infiltración y la percolación, generado por el movimiento de tierras.				x	En el proceso productivo de bioetanol combustible de segunda generación se necesita grandes cantidades de agua.
AGUA SUPERFICIAL	Cambios de calidad del agua	Alteración de los límites admisibles de los parámetros físicos químicos para que este recurso sea utilizado para consumo doméstico, riego o recreación fluctuaciones fuertes de los parámetros como oxígeno disuelto, exceso de nutrientes, lodos, alcalinización del agua debido al vertimiento.		x			Se hace necesario implementar controles para el manejo del recurso hídrico ya que es parte fundamental del proceso productivo.

ELEMENTO AMBIENTAL	IMPACTO MITIGADO	DEFINICIÓN / OCURRENCIA	IMPACTO REVERSIBLE EN PLAZO				OBSERVACIONES
			CORTO	MEDIO	LARGO	NO REFERENCIAL	
	Afectación ronda hídrica	Ocupación o contaminación de estas áreas por residuos sólidos y líquidos o por desecación.				x	Es uno de los impactos más importantes a revisar.
	Cambios en la dinámica hídrica alteración de cauces y caudales	Modificaciones en el régimen hidráulico natural por alteraciones del caudal durante la ejecución de las obras, desestabilización o cambios en las margenes de los cauces, hundimientos de los lugares de ribera, aportes de materiales, socavaciones, represamientos, cambios en el patrón de drenaje y cambios en el flujo del agua por disposición accidental o intencional de materiales sobrantes, modifican los cauces y caudales.				x	
	Turbiedad y sedimentación de cauces y cuerpos de agua	El lavado de material pétreo, el movimiento de tierras, gravas y arenas; la trituración de materiales y la incorrecta disposición de residuos sólidos originan aguas residuales cargadas de material fino que cambian la coloración de las aguas, incrementan los sedimentos y aumentan el material articulado disuelto como suspensión.			x		
	Alteración por lubricantes y combustibles.	Aporte de residuos líquidos de origen industrial como grasas, aceites, ácidos, anticorrosivos, combustibles y lubricantes utilizados durante el proceso productivo por parte de la maquinaria industrial allí presente, además de productos químicos utilizados. Su efecto es altamente nocivo e irreversible. Cuando es por sustancias tóxicas pueden causar la muerte a la fauna acuática o a personas que tienen como fuente esta agua.		x			Mitigar la utilización continuada de lubricantes y combustibles para la maquinaria presente en el proceso productivo.

Fuente: elaboración de los autores del proyecto.

Continuando con el análisis, según la tabla anterior se deduce que la ampliación de la tierra para cultivación de la materia prima, el cambio en la estructura productiva, cambio en la biodiversidad de los sistemas de producción son impactos fuertes en los recursos para la alimentación y la agricultura. En Colombia hay poca planificación ambiental territorial, que va a causar una presión sobre los ecosistemas naturales y va a desviar el uso sostenible de la agro diversidad y la producción de alimentos para el país.

Iniciando desde la siembra de la materia prima se va encontrar un recurso que se va a ver seriamente afectado y es el agua, debido a la utilización de agroquímicos que generan nitratos y la utilización del recurso en el riego y lavado de del bagazo de la caña. Pero por otro lado si en este proceso se cuenta con canales de riego y drenajes, es positivo porque no permite que el agua se empoce y el arado, surcado de la tierra permite que los suelos se aireen y mejore la capacidad de filtración.

Entre 2005 y 2012 las emisiones de CO<sub>2</sub> del bioetanol de maíz de Estados Unidos (el más producido en todo el mundo) se han reducido un 26,2% con respecto a las de gasolina.<sup>139</sup> Esto es importante ya que para el caso del aire, se tiene como impacto negativo la generación de CO<sub>2</sub>, debido a la quema de la caña, por otro lado las actividades de molienda, lavado y centrifugado como actividades de la producción generan ruido. La generación de olores emitidos por la descomposición de la cachaza es considerada como negativa pero no de alto potencial y si por el contrario se tiene como situación positiva que la siembra de la caña genera un impacto positivo en la calidad del medio debido a que sus características permiten fijar el dióxido de carbono.

La erosión es un factor importante a considerar dentro de las actividades de recolección de maleza y quema por ser un impacto negativo que reduce la capa vegetal y en procesos de cultivo encontramos favorecimiento en los procesos erosivos debido a la alimentación orgánica que se realiza.

Para la producción del bioetanol a partir de la caña genera grandes cantidades de bagazo el cual puede ser útil en el empleo de combustible calórico. Este combustible permite producir el vapor requerido para la transformación de la caña a bioetanol. A parte este bagazo se va a utilizar como materia prima principal para la obtención de bioetanol de segunda generación

---

<sup>139</sup> Biocarburantes. Energías Renovables. Disponible en internet en: <http://www.energias-renovables.com/articulo/sube-la-emision-de-co2-de-los-20140203>

Y finalmente se debe tener en cuenta que de los procesos de obtención de biocombustibles se van a generar desechos demasiado contaminantes que afectan el medio ambiente, como los son las vinazas, las cual contienen una alta carga de solidos disueltos de materia orgánica que en gran parte son recalcitrantes y generan una alta demanda de Bioquímica (DBO) y Química de oxígeno (DQO).

#### **8.4 APORTES AMBIENTALES AL DESARROLLO SOSTENIBLE.**

Para contribuir al desarrollo sostenible ambiental, la planta de bioetanol trabajará continuamente para cumplir con los siguientes aportes:

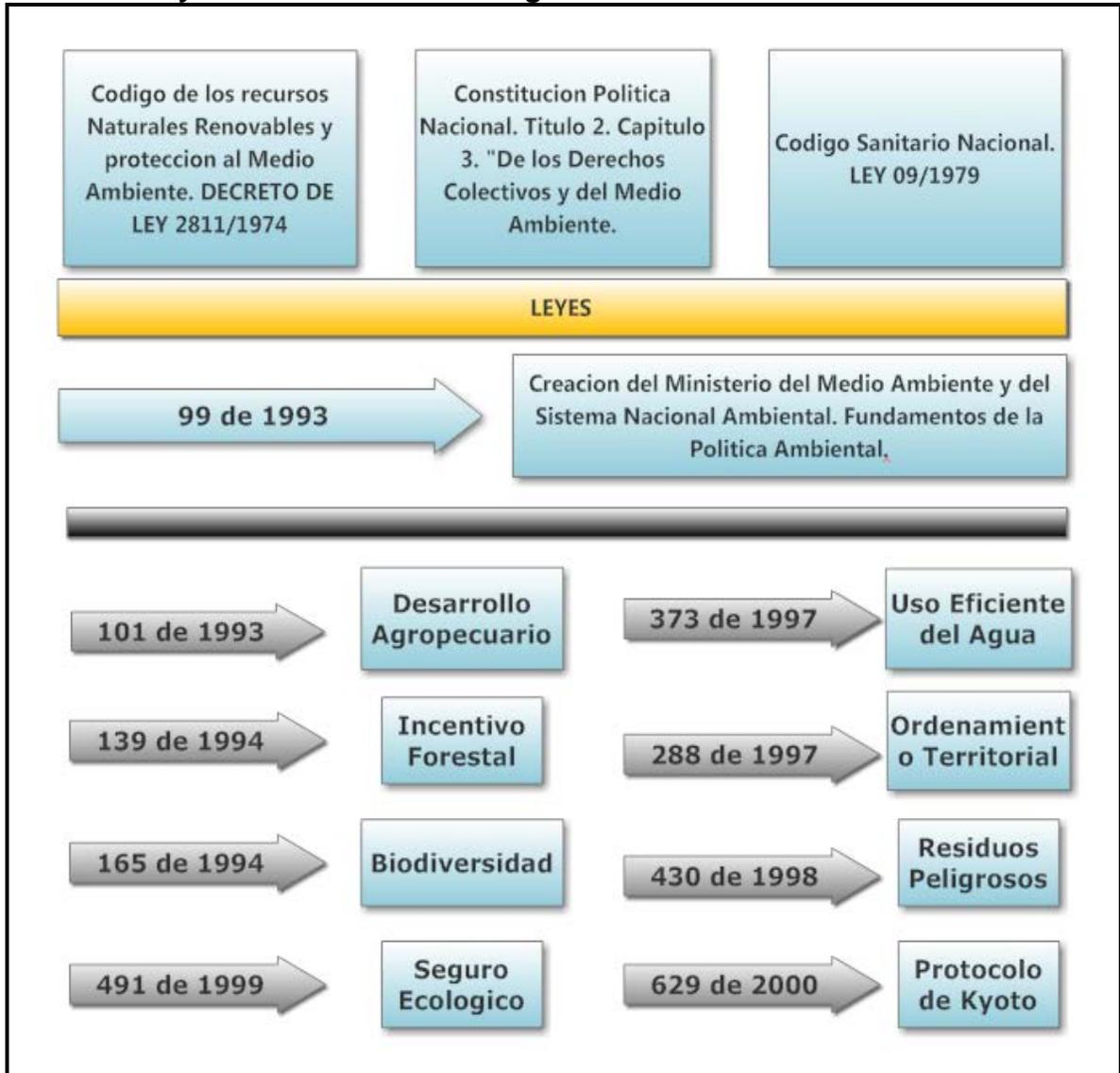
- Implementación de tecnologías limpias (tecnologías ecológicas) para prevenir impactos ambientales y aumentar la competitividad del subsector.
- Montaje de sistemas de tratamientos y equipos para controlar vertimientos líquidos y emisiones atmosféricas.
- Uso racional de los recursos naturales renovables y protección de la biodiversidad para incrementar la dinámica de las poblaciones naturales en las plantaciones.
- Aplicación masiva y reutilización de todos los subproductos en los cultivos y en otros usos, sin generación de desechos.

En conclusión la planta estará comprometida mediante la aplicación de tecnologías apropiadas y prácticas de trabajo, a reducir al máximo el impacto que puedan causar sus actividades sobre el medio ambiente, y las poblaciones; controlando las emisiones atmosféricas, disponiendo adecuadamente de los residuos sólidos y los efluentes líquidos de tal forma que no se afecten significativamente las corrientes hídricas a las cuales se viertan.

## 9. ESTUDIO LEGAL

El marco jurídico general sobre el cual se debe regir la gestión ambiental en la Agroindustria de la caña está compuesto por leyes como se observa en la tabla 48

**Tabla 45. Leyes dentro del marco Legal.**



Fuente: Guía ambiental para el subsector de la caña de azúcar Asocaña.

## 9.1 REQUISITOS DE CALIDAD DEL PRODUCTO

Según la resolución 2200 del año 2005, para Colombia se exigen unos requisitos de calidad referentes a la producción de bioetanol, dicho requisitos se pueden observar en la tabla 49

**Tabla 46. Resolución 2200 de 2005, requisitos de calidad del etanol anhidro combustible utilizado como componente oxigenante de gasolinas.**

REQUISITO	UNIDAD	ESPECIFICACIÓN	MÉTODO DE ENSAYO
Color	-< /p>	Incoloro	Visual
Aspecto	---	Limpio, claro, sin color y libre de impurezas y de materiales en suspensión y precipitados	Visual
Acidez total (como ácido acético), máximo	mg/l	56	ASTM D1613 ABNT/ NBR 9866 MB 2606
Acidez total (como ácido acético), máximo	% masa	0,007	ASTM D1613 ABNT/ NBR 9866 MB 2606
Conductividad eléctrica máxima	μS/m	500	ASTM D1125 ABNT/ NBR 10547 MB 2788
Densidad a 20°C máximo	Kg/m <sup>3</sup>	791,5	ASTM D4052 ASTM D891 ABNT/ NBR 5992 MB 1533
% etanol, mínimo	%Vol	99,5	ASTM D5501
% alcohólico a 20°C mínimo	°INPM	99,2	ABNT/ NBR 5992 MB 1533
Material no volátil a 105°C, máximo	Mg/l	30	ABNT/ NBR 2123
Alcalinidad	---	Negativo	ABNT/ NBR 9866

Fuente: Estrategias de energía sostenible y biocombustibles para Colombia.<sup>140</sup>

<sup>140</sup> <http://www.minminas.gov.co/minminas/downloads/archivosEventos/8296.pdf>.

## **9.2 NORMATIVIDAD EN COLOMBIA**

A continuación se presentan las principales normas que rigen los Biocombustibles en Colombia, clasificadas por orden de jerarquía, pasando por leyes, decretos, resoluciones y determinados documentos y normas técnicas colombianas pertinentes al tema en cuestión.

- Ley 693 de 2001: Por la cual se dictan normas sobre el uso de alcoholes carburantes, se crean estímulos para su producción, comercialización y consumo, y se dictan otras disposiciones. Esta ley establece la obligatoriedad de componentes oxigenados para su uso en los combustibles en ciudades de más de 500.000 habitantes. Se define un plazo de 5 años para implementar la norma de manera progresiva. IMPULSO (ALCOHOL CARBURANTE).
- Ley 788 de 2002: Que en los artículos 31 y 88, se declaró exento del Impuesto sobre las Ventas (IVA) al alcohol carburante con destino a la mezcla con el combustible motor y se exoneró del pago del Impuesto Global y de la sobretasa al porcentaje de alcohol carburante que se utilice con el mismo.
- Ley 939 de 2004: por medio de la cual se subsanan los vicios de procedimiento en que incurrió en el trámite de la Ley 818 de 2003 y se estimula la producción y comercialización de biocombustibles de origen vegetal o animal para uso en Motores diésel y se dictan otras disposiciones.
- Ley 1151 de 2007: por la cual se expide el plan Nacional De Desarrollo 2006-2010, y encarga de la coordinación, puesta en marcha y desarrollo de los Biocombustibles en Colombia Ministerio De Minas y Energía.

### **9.2.1 Decretos**

- Decreto 2629 de 2007: por medio del cual se dictan disposiciones para promover el uso de biocombustibles en el país, así como medidas aplicables a los vehículos y demás artefactos a motor que utilicen combustibles para su funcionamiento.
- Decreto 1135 de 2009: Por el cual se modifica el Decreto 2629 de 2007, en relación con el uso de alcoholes carburantes en el país y con las medidas aplicables a los vehículos automotores que utilicen gasolinas para su funcionamiento.
- Decreto 4892 de 2011: Por el cual se dictan disposiciones aplicables al uso de alcoholes carburantes y biocombustibles para vehículos automotores.

## 9.2.2 Resoluciones

- Resolución 180687 de 2003: Por la cual se expide la regulación técnica prevista en la Ley 693 de 2001, en relación con la producción, acopio, distribución y puntos de mezcla de los alcoholes carburantes y su uso en los combustibles nacionales e importados
- Resolución 1565 de 2004: Por la cual se modifica parcialmente la Resolución 898 del 23 de agosto de 1995, que regula los criterios ambientales de calidad de los combustibles líquidos y sólidos utilizados en hornos y calderas de uso comercial e industrial y en motores de combustión interna.
- Resolución 181069 de 2005: Por la cual se modifica la Resolución 18 0687 del 17 de junio de 2003 y se establecen otras disposiciones.
- Resolución 2200 de 2005: Por la cual se modifica parcialmente la Resolución 1565 del 27 de diciembre de 2004. Calidad (ALCOHOL CARBURANTE).
- Resolución 180334 de 2005: TRANSPORTE (ALCOHOL CARBURANTE).
- Resolución 180822 de 2006: Por la cual se modifica parcialmente el Artículo 2 de la Resolución 18 1088 de 2005, modificado por la Resolución 181760 de 2005. PRECIOS (ALCOHOL CARBURANTE).
- Resolución 180671 de 2007: Por la cual se adicionan las resoluciones 18 0687 del 17 de junio de 2003 y 18 1088 del 23 de agosto de 2005 y se establecen otras disposiciones. REGLAMENTO TÉCNICO Y TRANSPORTE (ALCOHOL CARBURANTE).
- Resolución 180769 de 2007: se establecen disposiciones relacionadas con las estructuras de precios de la Gasolina Motor Corriente y del ACPM. MARGENES (ALCOHOL CARBURANTE Y BIODIESEL).
- Resolución 181232 de 2008: Por la cual se modifica parcialmente el Artículo 2º de la Resolución 18 1088 de 2005, en relación con el ingreso al productor del alcohol carburante a distribuir en el país.
- Resolución 180294 de 2009: Por la cual se fijan las tarifas máximas de transporte de biocombustible para las plantas de abastecimiento ubicadas en el Sur y Occidente del país.
- Resolución 90932 de 2013: Por la cual se establece el porcentaje de mezcla de alcohol carburante con las gasolinas en algunas plantas de abastecimiento mayorista (E10).

### **9.2.3 Circulares**

- Circular 18 048 de 2006: Asunto. Seguimiento calidad de combustibles, programa gasolina – etanol.

Para productores de alcohol carburante, distribuidores mayoristas y minoristas de gasolina.

### **9.2.4 Normas técnicas colombianas**

- NTC 5389 DE 2005: "Etanol Anhidro Desnaturalizado y su mezcla con gasolina motor. ALMACENAMIENTO
- NTC ISO 14040 de 2007: "Gestión Ambiental. Análisis de Ciclo de Vida. Principios y Marco de Referencia".

### **9.2.4 Recurso hídrico**

- Decreto 475 de 2008: Por el cual se expiden normas técnicas de calidad del agua potable.

### **9.2.5 Aire**

- Resolución 909 de 2008: Por la cual se establecen las normas y estándares de emisión admisibles de contaminantes a la atmósfera por fuentes fijas y se dictan otras disposiciones.

## 10. EVALUACIÓN FINANCIERA

La evaluación financiera pretende ser una herramienta para ultimar la formulación del estudio de pre factibilidad que se ha realizado hasta el momento. La evaluación estará orientada a identificar los flujos que genera el proyecto, a partir de los ingresos y egresos que surgen de los aspectos de mercadeo, técnicos, y operativos del estudio de pre inversión.

Al conocer los datos se aplicaran criterios de evaluación tales como VPN, TIR, PRI llegando así a facilitar la toma de decisiones y contribuir económicamente con la viabilidad del proyecto.

Por consiguiente este estudio analizará factores relevantes a la evaluación financiera para el proceso de producción de Bioetanol Combustible de Segunda Generación, presentando los respectivos gastos, presupuestos y estados financieros los cuales serán proyectados a 5 años.

### 10.1 SUPUESTOS

Los supuestos hacen referencia a los indicadores económicos de Colombia que se deben tener en cuenta al momento de realizar la evaluación financiera para la el proyecto.

**Tabla 47. Supuestos para la Evaluación Financiera**

Obtención de Bioetanol Combustible de Segunda Generación					
Supuestos Proyecciones					
	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5
Meses	12	12	12	12	12
IPC	3%	3%	3%	3%	3%
TRM	\$ 2.030				
Aumento de Salarios	3%	3%	3%	3%	3%
Salario Mínimo Legal Mensual (\$)	\$ 616.000,00	\$634.480	\$653.514	\$673.119	\$693.312
Auxilio de Transporte	\$ 72.000,00	\$74.160	\$76.384	\$78.675	\$81.035
2 SMMLV	\$ 1.232.000,00	\$ 1.268.960	\$ 1.307.028	\$ 1.346.238	\$ 1.386.624
Aumento en	3%	3%	3%	3%	3%

Obtención de Bioetanol Combustible de Segunda Generación					
Supuestos Proyecciones					
Ventas					
Aumento en Costos Fijos	3%	3%	3%	3%	3%
Aumento en Costos variables	3%	3%	3%	3%	3%
Tasa Impuesto de Renta	33,00%	33,00%	33,00%	33,00%	33,00%

Fuente: Elaboración de los Autores del Proyecto.

- IPC. Índice de Precios al Consumidor. 1er Trimestre de 2015.<sup>141</sup>
- TRM. Tasa Representativa del Mercado. Año 2015.<sup>142</sup>
- Salario Mínimo Mensual Legal Vigente.<sup>143</sup>

## 10.2 PRESUPUESTO DE INVERSIONES

El presupuesto de inversiones se realiza con el fin de mostrar detalladamente cada uno de los elementos que integran la estructura financiera del proyecto, como: las inversiones necesarias para ponerlo en funcionamiento, los costos que concurren en la elaboración, administración, venta y financiación del producto, y el ingreso derivado de las ventas de los mismos.

Proyectando estos datos a los períodos que comprometen el horizonte del proyecto.

**10.2.1 Inversión Capital Fijo Depreciable.** Las inversiones fijas están constituidas por los bienes tangibles de la planta, que serán utilizadas durante toda su vida útil.

**10.2.1.1 Maquinaria y Equipo.** Este valor comprende las inversiones necesarias para la producción; equipos y maquinaria para el proceso.

<sup>141</sup> Revista Dinero. Proyección de la inflación del Banco de la república. Disponible en internet en: <http://www.dinero.com/economia/articulo/proyeccion-inflacion-del-banco-reublica/199431>

<sup>142</sup> Revista Dinero. Disponible en internet en: <http://www.dinero.com/economia/articulo/inflacion-para-colombia/194137>.

<sup>143</sup> Ministerio del Trabajo. Disponible en Internet en: <http://www.mintrabajo.gov.co/empleo/abece-del-salario-minimo.html>

**Tabla 48. Costo de Maquinaria y Equipo.**

<b>MAQUINARIA Y EQUIPO</b>			
<b>Tipo</b>	<b>Equipo</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Costo USD 2015</b>
Lavado	Filtro Rotatorio	1	\$178.267
Molienda	Molino Bolas Vibratorias	2	\$263.899
Impregnar con Acido	Reactor	1	\$778.836
Explosión a Vapor	Reactor	2	\$1.888.510
Filtro Solido/Liquido	Filtro Rotatorio	2	\$376.271
SSF	Fermentador	3	\$4.198.880
Filtro	Filtro Prensa	2	\$192.503
Destilador	Destilador	2	\$700.657
Deshidratador	Reactor	2	\$12.415
Purevision	Reactor	1	\$268.515
Deshidratador	Reactor	2	\$2.865
Filtro Membrana	Filtro	1	\$355.101
Neutr. Y Detox.	Reactor	1	\$189.568
Centrifuga	Centrifuga	1	\$164.308
Pre Inoculo	Reactor	1	\$1.433
Silo Materia Prima	Silo Almacenamiento	2	\$783.060
Tanque Ca(OH) <sub>2</sub>	Tanque Almacenamiento	1	\$29.605
Silo Agua	Silo Almacenamiento	1	\$678.847
Tanque Etanol	Tanque Almacenamiento	2	\$249.892
Tanque Lignina	Tanque Almacenamiento	1	\$75.127
Silo Riles y RISes	Silo Almacenamiento	1	\$619.672
Tanque Levadura	Tanque Almacenamiento	1	\$76.241
Tanque Enzima	Tanque Almacenamiento	1	\$126.379
Tanque Nutrientes	Tanque Almacenamiento	2	\$117.465
Tanque CO <sub>2</sub>	Tanque Almacenamiento	1	\$124.707
<b>TOTAL COSTO DE EQUIPOS</b>		<b>37</b>	<b>\$12.453.021</b>
\$25.279.633.281			<b>\$25.279.633.281</b>

Fuente: Elaboración de los Autores del Proyecto.

El costo total por concepto de Maquinaria y Equipo es de **\$ 25.279.633.281.**

**10.2.1.2 Equipos de Oficina, Muebles y Enseres.** Para el acondicionamiento de las oficinas serán necesarios los siguientes equipos:

**Tabla 49. Costos Muebles y Enseres.**

Muebles y Enseres			
Cantidad	Elemento	Valor Unitario	Valor Total
30	Escritorios de oficina	\$ 475.000,00	\$ 14.250.000,00
30	Sillas Ergonómicas	\$ 260.000,00	\$ 7.800.000,00
10	Archivadores	\$ 350.000,00	\$ 3.500.000,00
10	Papeleras	\$ 20.000,00	\$ 200.000,00
TOTAL			\$ 25.750.000,00

Fuente: Elaboración de los Autores del Proyecto.

El costo total por concepto de Muebles y Enseres es de **\$ 25.750.000.**

**Tabla 50. Costos Equipos de Oficina.**

Equipos de Oficina			
Cantidad	Elemento	Valor Unitario	Valor Total
40	Computadores	\$ 1.600.000,00	\$ 64.000.000,00
4	Impresora Multifuncional	\$ 350.000,00	\$ 1.400.000,00
2	Telefax	\$ 220.000,00	\$ 440.000,00
4	Celular	\$ 80.000,00	\$ 320.000,00
TOTAL			\$ 66.160.000,00

Fuente: Elaboración de los Autores del Proyecto.

E

l costo total por concepto de Equipos de Oficina es de **\$ 66.160.000.**

**10.2.1.3 Depreciación Capital Fijo.** Para la siguiente tabla se tuvieron en cuenta aspectos del capital fijo, Como la maquinaria y equipo, muebles y enseres, equipos de cómputo. Como la muestra la siguiente tabla.

**Tabla 51. Depreciación Maquinaria y Equipo de Producción.**

MAQUINARIA Y EQUIPO				
Tipo	Equipo	Cantidad	Vida Útil (Años)	Depreciación Anual USD
Lavado	Filtro Rotatorio	1	6	\$28.846
Molienda	Molino Bolas Vibratorias	2	6	\$42.702
Impregnar con Acido	Reactor	1	6	\$126.025
Explosión a Vapor	Reactor	2	6	\$305.584
Filtro Solido/Liquido	Filtro Rotatorio	2	6	\$60.885
SSF	Fermentador	3	6	\$679.430
Filtro	Filtro Prensa	2	6	\$31.149
Destilador	Destilador	2	6	\$113.375
Deshidratador	Reactor	2	6	\$2.009
Purevision	Reactor	1	6	\$43.449
Deshidratador	Reactor	2	6	\$464
Filtro Membrana	Filtro	1	6	\$57.460
Neutr. Y Detox.	Reactor	1	6	\$30.674
Centrifuga	Centrifuga	1	6	\$26.587
Pre Inoculo	Reactor	1	6	\$232
Silo Materia Prima	Silo Almacenamiento	2	10	\$76.025
Tanque Ca(OH) <sub>2</sub>	Tanque Almacenamiento	1	10	\$2.874
Silo Agua	Silo Almacenamiento	1	10	\$65.907
Tanque Etanol	Tanque Almacenamiento	2	10	\$24.261
Tanque Lignina	Tanque Almacenamiento	1	10	\$7.294
Silo Riles y RISes	Silo Almacenamiento	1	10	\$60.162
Tanque Levadura	Tanque Almacenamiento	1	10	\$7.402
Tanque Enzima	Tanque Almacenamiento	1	10	\$12.270
Tanque Nutrientes	Tanque Almacenamiento	2	10	\$11.404
Tanque CO <sub>2</sub>	Tanque Almacenamiento	1	10	\$12.108
		<b>37</b>	190	<b>\$1.828.580</b>
				<b>\$3.712.017.037</b>

Fuente: Elaboración de los Autores del Proyecto.

El costo total por depreciación de equipos es de **\$ 3.712.017.037**

La depreciación en Colombia está regida por los fundamentos del estatuto tributario contemplados en los artículos del 131 al 141, en el cual el más utilizado es el método de la línea recta.<sup>144</sup>

**Tabla 52. Depreciación Muebles y Equipos de Oficina.**

Muebles, Enseres y Equipos de Oficina			Vida Útil	Depreciación
Cantidad	Elemento	Valor Total	Años	Valor
30	Escritorios de oficina	\$ 14.250.000,00	6	\$ 2.375.000,00
30	Sillas Ergonómicas	\$ 7.800.000,00	6	\$ 1.300.000,00
10	Archivadores	\$ 3.500.000,00	6	\$ 583.333,33
10	Papeleras	\$ 200.000,00	6	\$ 33.333,33
<b>Subtotal</b>		<b>\$ 25.750.000,00</b>		<b>\$ 4.291.666,67</b>
40	Computadores	\$ 64.000.000,00	3	\$ 21.333.333,33
4	Impresora Multifuncional	\$ 1.400.000,00	3	\$ 466.666,67
2	Telefax	\$ 440.000,00	3	\$ 146.666,67
4	Celular	\$ 320.000,00	3	\$ 106.666,67
<b>Subtotal</b>		<b>\$ 66.160.000,00</b>		<b>\$ 22.053.333,33</b>
<b>TOTAL</b>				<b>\$ 26.345.000,00</b>

Fuente: Elaboración de los Autores del Proyecto.

El costo total por Depreciación de Muebles y Equipos de Oficina es de **\$ 26.345.000.**

**10.2.2 Inversión Capital Fijo no Depreciable.** Este costo está representado en la remodelación y adecuación de la planta de primera generación ya existente en el municipio de Barbosa para la inclusión del presente proyecto con el fin de obtener bioetanol lignocelulosico.

El costo por concepto de remodelación y adecuación es de **\$ 150.000.000.**

**10.2.3 Inversión Del Proyecto.** En la tabla 53. Se observa el monto de cada una de las inversiones que se deben realizar para la puesta en marcha del proyecto.

<sup>144</sup> Estatuto Tributario Nacional. Art 131-141. Disponible en internet en: <http://estatuto.co/>

**Tabla 53. Presupuesto de Inversiones.**

<b>INVERSION INICIAL</b>		
<b>Descripción</b>	<b>Parcial</b>	<b>Total</b>
<b>Capital fijo depreciable</b>		
Maquinaria y equipo	\$ 25.279.633.281	\$ 25.279.633.281
Muebles y enseres	\$ 25.750.000,00	\$ 25.750.000,00
Equipos de oficina	\$ 66.160.000	\$ 66.160.000,00
<b>Sub Total</b>		<b>\$ 25.371.543.281</b>
<b>Capital fijo no depreciable</b>		
Remodelación y construcción planta	\$ 150.000.000,00	\$ 150.000.000,00
<b>Descripción</b>	<b>Parcial</b>	<b>Total</b>
<b>Sub Total</b>		<b>\$ 150.000.000,00</b>
<b>Capital de trabajo</b>		
Materias primas e Insumos	\$ 30.666.325.263,00	\$ 32.666.325.263,00
Pagos de nomina	\$ 1.551.342.736,00	\$ 1.551.342.736,00
Servicios públicos	\$ 4.673.321.675,00	\$ 4.673.321.675,00
<b>Sub Total</b>		<b>\$ 36.890.989.674,00</b>
	<b>TOTAL INVERSIÓN INICIAL</b>	<b>\$ 64.412.532.955</b>

Fuente: Elaboración de los Autores del Proyecto.

Para el montaje y puesta en marcha del proyecto se requiere una inversión total en el primer año de **\$ 64.412.532.955**.

### **10.3 COSTOS DE PRODUCCIÓN.**

Dentro de los costos de producción se encuentran los directos e indirectos para la obtención de bioetanol y el funcionamiento de la planta, por lo tanto se tuvo en cuenta todo el proceso productivo, materia prima, personal administrativo y operativo, los servicios generales correspondientes.

**10.3.1 Costos Directos.** Está constituido por la materia prima, insumos y los costos de la mano de obra directa para el proceso de obtención de bioetanol.

- **Materia Prima.** La cantidad y el valor de la materia prima, la cual es el insumo principal, es el total requerido para la producción de bioetanol combustible de segunda generación.

De acuerdo con la proyección de la cantidad necesaria de bagazo (Véase tabla 57) y la proyección del precio por tonelada (Véase tabla 58), los costos de materia prima serán los observados en la tabla 59.

**Tabla 54. Costo de Materia Prima.**

<b>MATERIA PRIMA</b>			
<b>TIEMPO</b>	<b>Cantidad de Bagazo Procesada (Toneladas)/Año</b>	<b>PRECIO</b>	<b>TOTAL</b>
Año 1	<b>146.400</b>	<b>90.000</b>	<b>\$13.176.000.000</b>
Año 2	150.792	92.700	\$ 13.978.418.400
Año 3	155.315	95.481	\$ 14.829.631.520
Año 4	159.974	98.345	\$15.732.643.030
Año 5	<b>164.773</b>	<b>101.295</b>	<b>\$16.690.681.040</b>

Fuente: Elaboración de los Autores del Proyecto.

El costo total por concepto de materia prima para el primer año es de \$ **13.176.000.000**

- **Insumos.** A continuación se describen los insumos necesarios para la producción de bioetanol con sus respectivos costos.

**Tabla 55. Costo de Insumos**

<b>INSUMOS</b>	
Ácido Sulfúrico	\$ 8.857.027.429,00
Insumos para operación( Aceites, Lubricantes)	\$ 359.466.284,46
Enzimas( Novozymes) <b>Pre-Tratamiento (0,5 dólares/galón Etanol)</b> <sup>145</sup>	\$ 10.293.666.000,00
S.Cerevisae ( <b>Fermentación</b> ) <b>Levadura</b>	\$ 258.588,00
<b>TOTAL</b>	<b>\$ 19.510.418.301,46</b>

Fuente: Elaboración de los Autores del Proyecto.

<sup>145</sup> Comparison of Three Commercial Cellulases for Production of Glucose from Acid-Treated Harwood 2008.

El costo total por concepto de Insumos es de **\$19.510.418.301**.

- **Mano de Obra Directa.** La mano de obra directa, son todos los operarios del departamento de producción.

**Tabla 56. Costo MOD**

MANO DE OBRA DIRECTA EN PRODUCCION		
CARGO	# DE PERSONAS	SALARIO
Operarios de Producción	48	\$ 90.639.987,20
Electricista	4	\$ 5.523.449,07
Asistente Mecánico	4	\$ 5.523.449,07
<b>TOTAL</b>		<b>\$ 101.686.885,33</b>

Fuente: Elaboración de los Autores del Proyecto.

El costo total por concepto de mano de obra directa es de **\$ 101.686.885 Mensual** y **\$ 1.220.242.624,00 Anuales**.

**10.3.2 Costo Indirectos de Fabricación.** Está constituido por los costos de la mano de obra indirecta y los servicios públicos.

- **Maño de Obra Indirecta.** La mano de obra indirecta integra los salarios de los trabajadores del departamento de apoyo en producción.

**Tabla 57. Costo MOI**

MANO DE OBRA INDIRECTA EN PRODUCCION		
CARGO	# DE PERSONAS	SALARIO
Jefe de Producción	3	\$ 10.963.338,40
Supervisor de Planta	3	\$ 9.638.753,60
Jefe de Mantenimiento	3	\$ 6.989.584,00
<b>TOTAL</b>		<b>\$ 27.591.676,00</b>

Fuente: Elaboración de los Autores del Proyecto.

El costo total por concepto de mano de obra indirecta es de **\$ 27.591.676 mensual** y **\$ 331.100.112,00 anuales**.

- **Servicios.** Teniendo en cuenta los niveles del consumo en la producción de agua y energía de la tabla 61 se estiman valores para estos servicios anualmente.

**Tabla 58. Costo de servicios.**

SERVICIOS	
Servicio	Valor Anual
Energía	\$ 4.361.810.424,00
Agua	\$ 311.511.251
Total	\$ 4.673.321.675.

Fuente: Elaboración de los Autores del Proyecto.

El costo anual por concepto de Servicios es de **\$ 4.673.321.675,00**.

#### 10.4 GASTOS DE ADMINISTRACIÓN.

Los gastos de administración están conformados por los sueldos del departamento de administración y gastos de oficina.

**Tabla 59. Gastos de administración.**

GASTOS DE ADMINISTRACION	
Concepto	Costo
Sueldo del personal	\$ 420.110.307,20
Gastos de oficina	\$ 91.910.000,00
<b>Total anual</b>	<b>\$ 512.020.307,20</b>

Fuente: Elaboración de los Autores del Proyecto.

El costo total por concepto de Gastos de Administración es de **\$ 512.020.307**.

- **Sueldos del Personal.**

**Tabla 60. Sueldos Administrativos.**

MANO DE OBRA INDIRECTA		
CARGO	# DE PERSONAS	SALARIO
Gerente de Planta	1	\$ 6.415.431,33
Ingeniero Ambiental	4	\$ 10.558.018,13
Ingeniero Químico	4	\$ 13.075.302,67
Supervisor de Calidad	3	\$ 6.030.550,20
Asistente de Gerencia	2	\$ 1.005.276,53

MANO DE OBRA INDIRECTA		
CARGO	# DE PERSONAS	SALARIO
Contador	3	\$ 2.010.183,40
Sub gerente de Planta	1	\$ 2.329.861,33
<b>TOTAL</b>		<b>\$ 35.009.192,27</b>

Fuente: Elaboración de los Autores del Proyecto.

Costo total por concepto de sueldos administrativos es de \$ **35.009.192** mensuales y \$ **420.110.307,20** anuales.

### 10.5 GASTOS DE VENTAS.

Estos gastos corresponden a la preparación y almacenamiento de los artículos para la venta, la promoción y publicidad y los sueldos del personal en ventas.

**Tabla 61. Gastos de Venta.**

GASTOS DE VENTAS	
Concepto	Costo
Sueldos	\$ 282.516.640,00
Comisión por ventas	\$ 0,00
Publicidad ( Exposiciones)	\$ 150.000.000,00
<b>Total anual</b>	<b>\$ 432.516.640,00</b>

Fuente: Elaboración de los Autores del Proyecto.

El costo total por concepto de Gasto de Ventas es de \$ **432.516.640**.

- **Sueldos del Personal**

**Tabla 62. Sueldos de Ventas.**

MANO DE OBRA INDIRECTA		
CARGO	# DE PERSONAS	SALARIO
Jefe de Ventas	2	\$ 4.659.722,67
Asesores comerciales	10	\$ 18.883.330,67
<b>TOTAL</b>		<b>\$ 23.543.053,33</b>

Fuente: Elaboración de los Autores del Proyecto.

El costo total por concepto de sueldos del personal de ventas es de **\$ 23.543.053**. Mensuales y **\$ 282.516.640,00** anuales.

## 10.6 OTROS COSTOS INDIRECTOS.

A continuación se relacionan los costos por conceptos de mantenimiento, seguros e impuestos.

**Tabla 63. Otros Costos Indirectos.**

<b>Otros Costos Indirectos</b>	
Mantenimiento(4% inversión)	\$ 2.576.782.391,57
Seguros( 1% inversión)	\$ 644.195.597,89
Impuestos ( 1% inversión)	\$ 644.195.597,89
<b>TOTAL</b>	<b>\$ 3.865.173.587,35</b>

Fuente: Elaboración de los Autores del Proyecto.

El costo total por concepto de gasto en otros costos indirectos es de **\$3.865.173.587** anual.

## 10.7 COSTOS TOTALES DE PRODUCCIÓN.

En la tabla 67 se describen los costos para la fabricación o producción del Bioetanol.

**Tabla 64. Costos de Producción.**

<b>PRESUPUESTO COSTOS DE FABRICACION</b>			
<b>1.COSTOS DE FABRICACION</b>			
<b>1.1 COSTOS DIRECTOS</b>	Precio Unitario	Cantidad	Precio Total
1.1.1 Materia Prima	\$ 90.000,00	\$ 146.400,00	\$ 13.176.000.000,00
1.1.2 Insumos	\$ 0,00	\$ 0,00	\$ 19.537.469.375,74
1.1.3 Mano de Obra Directa	\$ 0,00	\$ 0,00	\$ 1.220.242.624,00
<b>Total Costo Directo</b>			<b>\$ 33.933.711.999,74</b>
<b>1.2 COSTOS INDIRECTOS</b>			

1.2.1 Mano de Obra Indirecta	\$ 0,00	\$ 0,00	\$ 331.100.112,00
1.2.2 Servicios publicos	\$ 0,00	\$ 0,00	\$ 4.673.321.675,00
1.2.3 Otros Costos Indirectos	\$ 0,00	\$ 0,00	\$ 3.865.173.587,35
<b>Total Costo Indirecto</b>			<b>\$ 8.869.595.374,35</b>
<b>TOTAL COSTO DIRECTO + COSTO INDIRECTO</b>			<b>\$ 42.803.307.374,09</b>

Fuente: Elaboración de los Autores del Proyecto.

En la anterior tabla se observa que para el primer año de funcionamiento de la planta se requiere de un capital de **\$ 42.803.307.374** para cubrir los costos de producción.

El costo de la materia prima es directamente proporcional a la producción real para la planta.

**Para ver liquidación de Nomina Anexo A**

## **10.8 INCENTIVOS FINANCIEROS**

Debido a la envergadura de este tipo de proyectos que cuentan con una inversión inicial elevada, se contemplan como posibles inversores; en primer lugar al Gobierno Nacional, y en segundo lugar a inversionistas extranjeros o empresas extranjeras pertenecientes al sector de los biocombustibles.

**10.8.1 Gobierno Nacional.** El gobierno nacional promueve la producción de bioetanol y ofrece varios incentivos financieros con el fin de aumentar la producción de biocombustibles en el país.

- El gobierno a nacional ampara este tipo de proyectos de producción de biocombustibles a través de las Leyes 788 de 2002 y 939 de 2004 que están contenidas en el documentos COMPES 3510<sup>146</sup>, las cuales establecen exenciones tributarias con el propósito de fomentar la producción y el consumo de biocombustibles.

<sup>146</sup> Consejo Nacional de Política Económica y Social República de Colombia. COMPES 3510. LINEAMIENTOS DE POLÍTICA PARA PROMOVER LA PRODUCCION SOSTENIBLE DE BIOCMBUSTIBLES EN COLOMBIA. Disponible en Internet en: <http://www.fenalce.org/archivos/conpesbiocombustibles.pdf>

- Adicionalmente, el Decreto 383 de 2007, modificado parcialmente por el Decreto 4051 de 2007, establece estímulos para la implementación de zonas francas para proyectos agroindustriales en materia de biocombustibles. Como complemento de lo anterior, la Ley 1111 de 2006 establece una deducción del impuesto de renta del 40% de las inversiones en activos fijos reales productivos en proyectos agroindustriales, incluyendo leasing financiero.
- La Ley 788 de 2002 exime del Impuesto al Valor Agregado (IVA), del impuesto global y de la sobretasa al alcohol carburante que se mezcle con la gasolina motor<sup>147</sup>. Dicha exención aplica a todas las plantaciones que se desarrollen antes del año 2015.
- Zonas Francas Especiales: La zona donde se construya una planta de biocombustibles con inversiones equivalentes a 75.000 salarios mínimos mensuales y la generación de 400 empleos en la cadena agroindustrial, podrá ser considerada para obtener del Gobierno nacional el carácter de zona franca. Este privilegio permite exonerar de arancel los equipos y materias primas, así como reducir el impuesto de renta del 36% al 15%.<sup>148</sup> Cabe resaltar que en la actualidad ninguna planta de bioetanol funciona dentro de estas zonas francas, solo tres plantas de biodiesel están amparadas por esta norma.
- El Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural reconoce: 40% del valor del proyecto para pequeños productores y el 20% del valor del proyecto para medianos y grandes productores. Valor máximo anual para el establecimiento de plantaciones a través de alianzas estratégicas: 5000 smmlv. Valor máximo anual para el establecimiento de plantaciones: 1500 smmlv.
- Finalmente, a través del Fondo de Capital de Riesgo se apoyan iniciativas productivas agroindustriales en zonas donde no concorra con facilidad la inversión privada, de acuerdo con la disponibilidad presupuestal que cuente este Fondo. El Fondo de Capital de Riesgo fue creado por la Ley 1133 de 2006 y está reglamentado por el Decreto 2594 de 2007.

Son numerosos los factores que están motivando a los estados a incentivar y apoyar los proyectos de producción de bioetanol, los cuales van desde aspectos netamente económicos hasta consideraciones sobre salud, empleo, educación y medio ambiente. Lo más importante es la decisión de definir este enfoque como una política de estado.

---

<sup>147</sup> Ministerio de minas y Energía. Disponible en Internet en: <http://www.minminas.gov.co/minminas/downloads/archivosSoporteRevistas/4797.pdf>

<sup>148</sup> Mitos y realidades de los Biocombustibles en Colombia. FEDEBIOCOMBUSTIBLES. Disponible en internet en: [http://www.fedebiocombustibles.com/files/REVISTA%20MITOS%20Y%20REALIDADES\(2\).pdf](http://www.fedebiocombustibles.com/files/REVISTA%20MITOS%20Y%20REALIDADES(2).pdf)

**Figura 10. Motivaciones para el Estado**



Fuente: Aspectos estructurales y de entorno que enmarcan los proyectos e inversiones para la producción de bioetanol en Colombia.

**Figura 11. Motivaciones del Estado para el país.**



### **10.8 BALANCE GENERAL INICIAL.**

Para efectos de la evaluación financiera del proyecto, se analizó el balance general con financiación del 30% del capital de inversión. A continuación se presenta el balance General.

### 10.8.1 Balance General Inicial.

**Tabla 65. Balance general.**

<b>BALANCE GENERAL INICIAL</b>			
<b>Activo</b>		<b>Pasivo</b>	
<b>Activo circulante</b>		<b>Pasivo circulante</b>	
inversiones	\$ 6.224.664.411,00	Sueldos, deudores, impuestos	<b>\$ 4.587.728.808</b>
Inventarios	\$ 32.666.325.263,00		
Cuentas por cobrar		<b>Pasivo fijo</b>	
<b>Subtotal</b>	<b>\$ 38.890.989.674,00</b>	Préstamo A 5 Años	<b>\$ 14.738.139.129</b>
Activo fijo			
Equipo de producción	\$ 25.286.660.115,20		
Equipo de oficinas y ventas	\$ 91.910.000,00	<b>CAPITAL</b>	
Terreno y obra civil	\$ 150.000.000,00	Capital de Inversión	<b>\$ 45.093.691.852</b>
<b>Subtotal</b>	<b>\$ 25.528.570.115,20</b>		
Activo diferido			
<b>Total de activos</b>	<b>\$ 64.419.559.789</b>	<b>Pasivo + Capital</b>	<b>\$ 64.419.559.789</b>

Fuente: Elaboración de los Autores del Proyecto.

En este caso el capital de inversión puede ser proporcionado por Inversionistas Nacionales o Extranjeros en cooperación con empresas extranjeras, o por el Gobierno Colombiano.

## Pago del Monto de la Deuda.

Se realizó la tabla de amortización de la deuda donde se tuvo en cuenta el monto inicial de la deuda que eran **\$ 19.325.867.937** a un interés del 0.58 % mensual, a un plazo de 5 años y con cuotas fijas de \$ 328.310.734. Se utilizó el simulador de Consucredito. **(Ver Anexo B). Tabla de amortización de la deuda.**

## 10.9 INGRESOS POR VENTA

En la tabla 71 se puede observar la proyección de los ingresos para los primeros cinco años por concepto de bioetanol combustible.

**Tabla 66. Ingresos.**

PROYECCION PRECIO DE VENTA			
Año	Cantidad de Litros	Precio unitario en pesos	Ingresos total en pesos
1	41.375.793	1644,91	\$ 68.059.455.663,63
2	42.617.067	1644,91	\$ 70.101.239.333,54
3	43.895.579	1644,91	\$ 72.204.276.513,55
4	45.212.446	1644,91	\$ 74.370.404.808,95
5	46.568.820	1644,91	\$ 76.601.516.953,22

Fuente: Elaboración de los Autores del Proyecto.

Se estipulo un precio de venta de **\$ 1644,91**<sup>149</sup> por litro de bioetanol, con vigencia del 01/09/2014 a 30/09/2014. Dictaminado por el Ministerio de minas y Energía.

<sup>149</sup> FEDEBIOCOMBUSTIBLES. Disponible en Interne en: <http://www.fedebiocombustibles.com/v3/nota-web-id-487.htm>

## 10.9 FLUJO DE CAJA LIBRE.

Para efectos de la evaluación financiera del proyecto, se analizó el flujo de caja libre.

### 10.9.1 Flujo de Caja Libre.

FLUJO DE CAJA LIBRE							
	Año 0	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5	Año 6
Ingresos operacionales		\$ 68.079.873.500,33	\$ 70.122.269.705,34	\$ 72.225.937.796,50	\$ 74.392.715.930,39	\$ 76.624.497.408,31	\$ 78.923.232.330,56
(-)Costos operacionales desembolsables		\$ 42.816.148.366,30	\$ 44.528.794.300,95	\$ 46.309.946.072,99	\$ 48.162.343.915,91	\$ 50.088.837.672,55	\$ 52.092.391.179,45
(-)Gastos operacionales desembolsables		\$ 944.820.308,28	\$ 982.613.120,62	\$ 1.021.917.645,44	\$ 1.062.794.351,26	\$ 1.105.306.125,31	\$ 1.149.518.370,32
(=)EBITDA		\$ 24.318.904.825,75	\$ 24.610.862.283,77	\$ 24.894.074.078,07	\$ 25.167.577.663,23	\$ 25.430.353.610,45	\$ 25.681.322.780,79
(-)Costos y Gastos no desembolsables		\$ 8.006.132.349,36	\$ 8.006.132.349,36	\$ 8.006.132.349,36	\$ 8.006.132.349,36	\$ 8.006.132.349,36	\$ 3.712.017.036,75
(=)Utilidad operativa		\$ 16.312.772.476,38	\$ 16.604.729.934,41	\$ 16.887.941.728,71	\$ 17.161.445.313,86	\$ 17.424.221.261,09	\$ 21.969.305.744,04
(-)Provision para impuestos		\$ 5.546.342.641,97	\$ 5.645.608.177,70	\$ 5.741.900.187,76	\$ 5.834.891.406,71	\$ 5.924.235.228,77	\$ 7.469.563.952,97
(=)Utilidad operativa despues de impuestos		\$ 10.766.429.834,41	\$ 10.959.121.756,71	\$ 11.146.041.540,95	\$ 11.326.553.907,15	\$ 11.499.986.032,32	\$ 14.499.741.791,06
(+) Costos y Gastos no Desembolsables		\$ 8.006.132.349,36	\$ 8.006.132.349,36	\$ 8.006.132.349,36	\$ 8.006.132.349,36	\$ 8.006.132.349,36	\$ 3.712.017.036,75
(=)Flujo de caja bruto		\$ 18.772.562.183,78	\$ 18.965.254.106,07	\$ 19.152.173.890,31	\$ 19.332.686.256,51	\$ 19.506.118.381,68	\$ 18.211.758.827,82
(+)Variacion KTNO		\$ 0,00	\$ 1.633.316.263,15	\$ 1.714.982.076,31	\$ 1.800.731.180,12	\$ 1.890.767.739,13	\$ 6.377.665.087,13
(=)Flujo de caja libre	-\$ 64.419.559.789,20	\$ 18.772.562.183,78	\$ 20.598.570.369,22	\$ 20.867.155.966,62	\$ 21.133.417.436,64	\$ 21.396.886.120,81	\$ 24.589.423.914,94

Fuente: Elaboración de los Autores del Proyecto.

- **Valor de Continuidad o Valor Residual.**

El Valor de Continuidad es el valor que adoptaría la empresa en el futuro de Cumplirse su Plan de Desarrollo. Esta dado por la siguiente Formula.

$$V.P_{Año 5} = \frac{FCL_{Año 6}}{C.K. - Tasa de crecimiento}$$

<b>FCL Año 6</b>	24.589.423.915
<b>Costo de Capital (C.K)</b>	11,18%
<b>Tasa de crecimiento</b>	3%
<b>V.P año 5</b>	\$ 300.713.019.808,41

Teniendo en cuenta los cálculos anteriores de determino un valor residual a perpetuidad de **\$ 308.200.839.997.**

- **Costo de Capital ( C.K)**

La tasa de descuento o costo de capital es el precio que se paga por los fondos requeridos para pagar la inversión; representa una medida de la rentabilidad mínima que se exigirá al proyecto, según su riesgo, de manera tal que el retorno esperado permita cubrir la totalidad de la inversión inicial, los egresos de la operación, los intereses pagados y la rentabilidad que el inversionista le exige a su propio capital invertido.

<b>COSTO DE CAPITAL (C.K.)</b>		
Valor pasivos con costo =	\$ X	\$ 19.325.867.936,76
Valor patrimonio =	\$ Y	\$ 45.093.691.852,44
Valor pasivos con costo + patrimonio =	\$ X + \$ Y	\$ 64.419.559.789,20
Tasa de interés de pasivos =	B %	7,18%
Tasa de oportunidad capital (socios) =	C %	12%
Tasa de impuestos aplicable a la sociedad =	Tx %	33%
Tasa de interés pasivos después de impuestos =	B % * ( 1 - Tx %)	0,092568
Ponderación pasivos =	\$ X / ( \$ X + \$ Y )	0,3
Ponderación patrimonio =	\$ Y / ( \$ X + \$ Y )	0,7

Teniendo en cuenta el cálculo anterior se halla el costo de capital con la siguiente formula:

$$C.K. = (Tasa\ de\ pasivos\ despues\ de\ impuestos \times Ponderacion\ pasivos) + (Tasa\ de\ oportunidad\ capital \times Ponderacion\ patrimonio)$$

Como resultado nos da un costo de capital del **11,18%**.

- **Costo del Patrimonio.**

Es la tasa de retorno mínima exigida por los aportes de dicho patrimonio, a los recursos que se han invertido en la empresa. Aquí se compara la planta con respecto a Estados Unidos, aplicando la siguiente formula:

$$K_u = \frac{[1 + (Rf_{USA} + \beta_{sa}(PR_m + PR_{COL}))]}{(1 + I_{USA})} \times (1 + Dev) \times (1 + I_{COL}) - 1$$

<b>Rfusa</b>	3,17%
<b>PRm</b>	2,93%
<b>PRcol</b>	1,34%
<b>Bsd</b>	1,08%
<b>Icol</b>	2,44%
<b>Dev</b>	2,02%
<b>Iusa</b>	1,70%

La tasa del costo de patrimonio calculada fue de **2,95%**.

**Ver bases de cálculo en Anexo c.**

**10.9.1.1 Valoración.** Para el proyecto se estimará con una Tasa mínima de rendimiento (Costo de Capital. C.K) para los inversionistas del 11% anteriormente calculada.

Se procederá a calcular el valor actual neto (VNA), la (TIR) y el PRI. Como se muestra en la siguiente tabla.

**Tabla 67. Valoración.**

VALORACION	
INVERSION INICIAL	\$ 64.419.559.789
TASA DE DESCUENTO ( C.K)	11,18%
TIR	17.49%
VPN + VP (Valor de Continuidad)	\$ 310.373.211.387
PRI (Años)	3,07

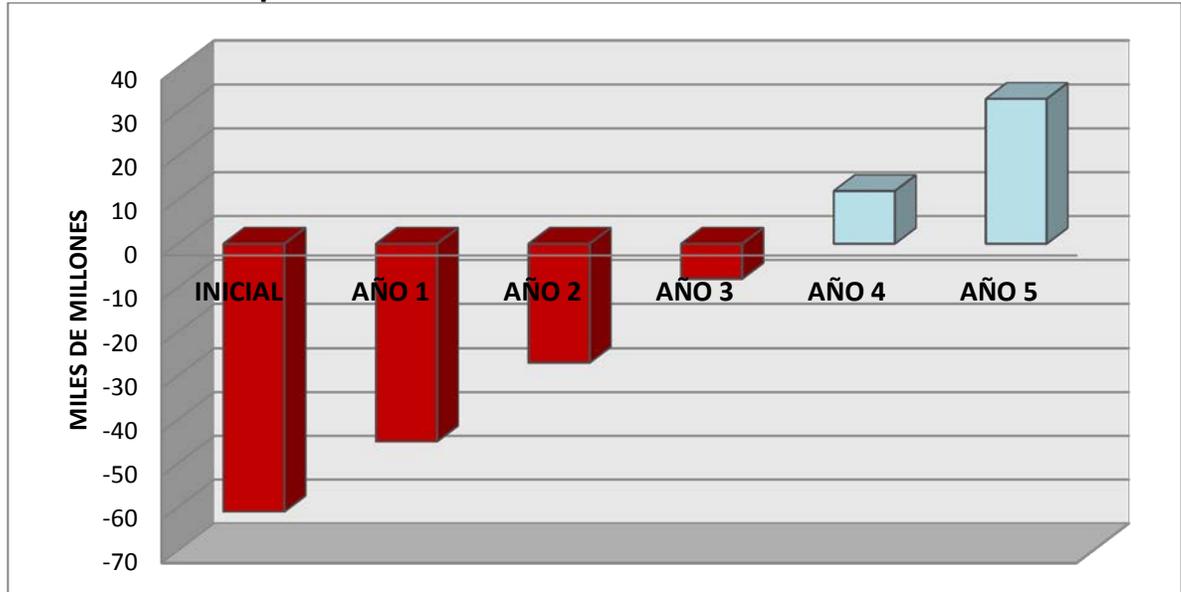
Fuente: Elaboración de los Autores del Proyecto.

La tasa interna de rentabilidad (TIR) es del **17.49%**, con la cual el valor actual neto (VAN) del capital para la inversión obtenido del préstamo es igual a cero.

En este caso la evaluación nos determina un Valor Presente Neto **positivo** equivalente a **\$ 310.373.211.387** y un Periodo de Recuperación de la Inversión de **3,07 años**.

**10.9.2.2 Grafica de Recuperación de la Inversión.** En la gráfica 19 se observa el periodo de recuperación de la inversión, la cual se elaboró a partir del flujo de caja libre, en donde se observa que la inversión será recuperada entre el año 3 y 4 de funcionamiento de la planta.

**Gráfico 24. Recuperación de la Inversión.**



Fuente: Elaboración de los Autores del Proyecto.

### 10.10 PUNTO DE EQUILIBRIO.

El punto de equilibrio indica el mínimo de ventas que se debe realizar para que los ingresos totales sean igual a los costos totales, en este punto la empresa no tiene ni ganancias ni pérdidas.

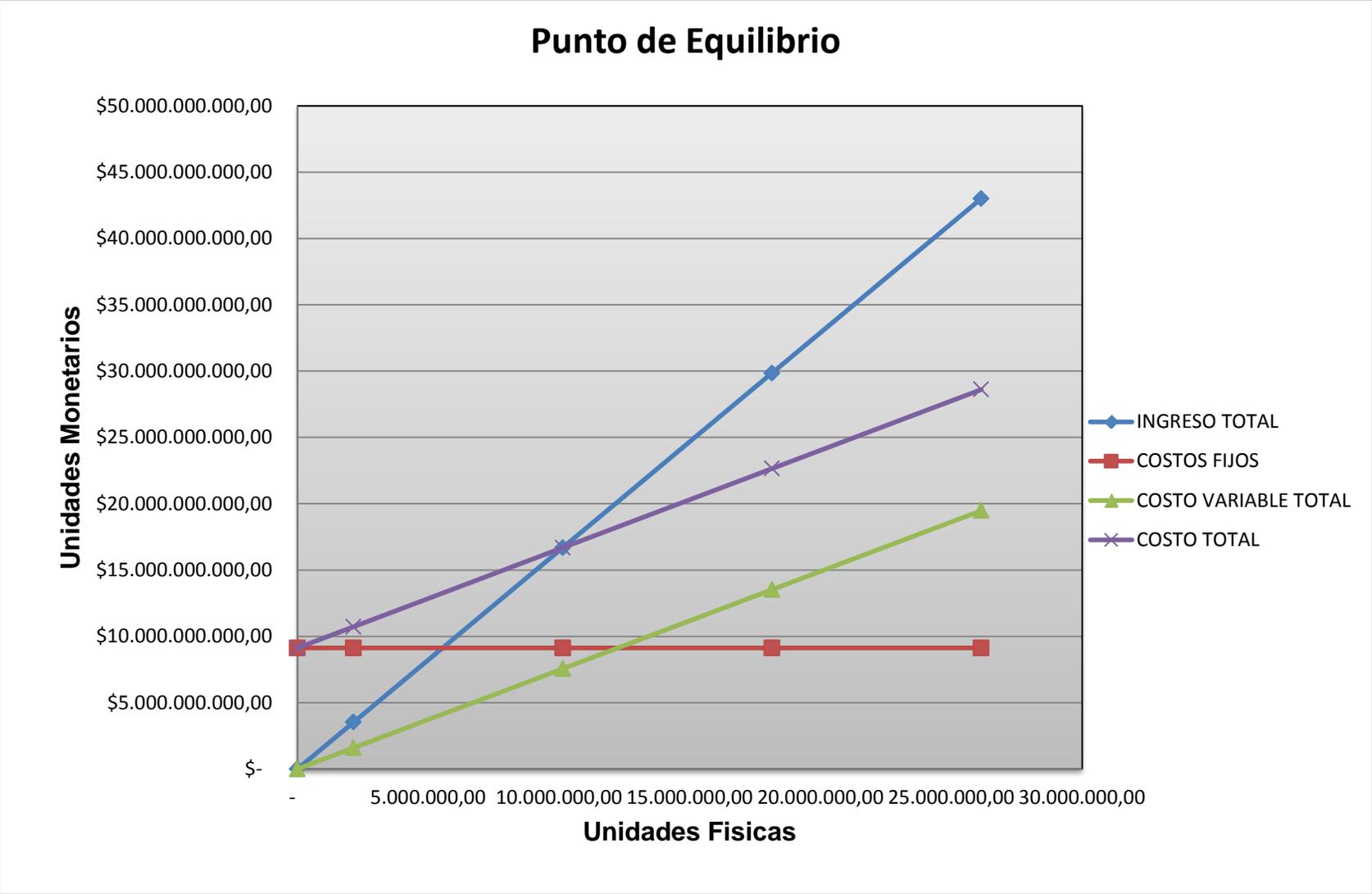
**Tabla 68. Punto de Equilibrio.**

PUNTO DE EQUILIBRIO	
COSTO DE VENTA UNITARIO	\$ 1.644,91
UNIDADES VENDIDAS	41.375.793
INGRESO TOTAL	\$ 68.059.455.663,63
COSTO FIJO TOTAL	\$ 9.125.106.128,28
COSTO VARIABLE TOTAL	\$ 30.836.418.301,46
COSTO VARIABLE UNITARIO=CVT/UNIDADES VENDIDAS	\$ 745,28
RENTABILIDAD	120,71%
CANTIDAD DE EQUILIBRIO=CFT/(PVU-CVU)	10.143.140,62
VALOR MONETARIO DE EQUILIBRIO	\$ 16.684.553.437,19

Fuente: Elaboración de los Autores del Proyecto.

El punto de equilibrio se encuentra cuando la planta produce **10.143.140,62 Litros**, lo que equivale a **\$16.684.553.437,19**.

Grafico 25. Punto de Equilibrio.



## 11. CONCLUSIONES

El presente estudio realizado evaluó y comprobó la viabilidad técnica del proceso de obtención de bioetanol combustible de segunda generación en el departamento de Santander, teniendo en cuenta su entorno, ubicación y sector en el mercado en el cual se desarrolla el estudio.

Según el estudio bibliométrico, de la caña de azúcar se puede obtener 84,5 Litros de bioetanol por tonelada de caña procesada, pero si se utilizara el bagazo como materia prima para producir bioetanol se podrían obtener teóricamente 282,62 L, debido a que la caña panelera tiene una composición fisicoquímica muy similar lo cual se podría manejar rendimientos similares.

Con el estudio de mercados se logró determinar una zona de alto potencial para la producción de bioetanol lignocelulosico, ya que se cuenta con 8.117 Ha equivalentes a 183.001 Ton de bagazo de caña, lo que generaría una producción de 51.719.753 Litros.

Se identificó la localización óptima para el desarrollo del proyecto, teniendo en cuenta la cercanía a los cultivos de la región, considerando la recepción de la materia prima cercana a los trapiches.

De acuerdo con la evaluación financiera realizada, se concluye que se requiere de una inversión inicial de **\$ 64.419.559.789**, para una planta con capacidad instalada de **51.719.753 Litros**.

Los altos costos de la inversión inicial asociado a tecnologías emergentes en etapas como pre tratamiento e hidrolisis, puede clasificar estos proyectos como de altos riesgo ya que la Evaluación Financiera arrojó una TIR menor del 20%.

## **12. RECOMENDACIONES.**

La composición del bagazo de caña permite integrar su esquema de procesamiento en términos de biorrefinería, en donde se puede obtener otros productos de valor agregado como el furfural proveniente de los azúcares C5 y la lignina la cual puede ser utilizada para la generación de energía.

Para posteriores estudios se recomienda analizar la producción de bioetanol de segunda generación para que funcione como planta anexa a una de primera generación para mitigar los altos costos.

## BIBLIOGRAFÍA

ACOSTA, A., Cala, D., Bendeck, J. 2003. El gran desafío a propósito de los Alcoholes carburantes. Editorial Edición Ltda., Bogotá D.C., Colombia 191 pp.

AGUILAR, N. (2010) "Kinetic model of Hydrolysis of Sugarcane Waste". Ciencia e Ingeniería Neogranadina, 20, (2), pp. 5-18.

Área de Desarrollo Rural, Hoya Del Rio Suarez. (Boletín informativo en línea). INCODER. Bogotá D.C. 19 p. (Citado el 14 de Abril de 2014). Disponible en Internet en: [http://www.incoder.gov.co/ADR\\_Hoya\\_del\\_rio\\_Suarez/ADR\\_Hoya\\_del\\_rio\\_Suarez.aspx](http://www.incoder.gov.co/ADR_Hoya_del_rio_Suarez/ADR_Hoya_del_rio_Suarez.aspx).

BNDES, CGEE, FAO y CEPAL. "Bioetanol de caña de azúcar Una energía para el desarrollo sostenible". (Online). Resumen Ejecutivo. P 32. Año 2008. Disponible en Internet en: [http://www.bioetanoldecana.org/es/download/resumo\\_executivo.pdf](http://www.bioetanoldecana.org/es/download/resumo_executivo.pdf)

BNDES, CGEE. "Bioetanol de caña de azúcar Energía para el desarrollo sostenible." (Online) .Rio de Janeiro. Año 2008. 320 p. ISBN: 978-85-87545-26-8. Disponible en Internet: <http://www.bioetanoldecana.org/es/download/bioetanol.pdf>

C. O. Briceño." Aspectos estructurales y de entorno que enmarcan los proyectos e inversiones para la producción de bioetanol en Colombia". (Online). 16 p. Año 2010.

Cifras Informativas del Sector Biocombustibles Etanol De Caña Anhidro. [Boletín informativo en Línea]. Federación Nacional De Biocombustibles. Bogotá D.C.2014. 10 p. (Citado el 08 de Abril de 2014). Disponible en Internet en: <http://www.fedebiocombustibles.com/v3/nota-web-id-487.htm>.

Estado Actual Del Proyecto. Alcohol Rio Suarez. Consultado el 10 de Abril de 2014. Disponible en Internet en: <http://alcolriosuarez.com/html/estado.html>.

Estrategia De Desarrollo De Biocombustibles: Implicaciones Para El Sector Agropecuario. Ministerio De Agricultura Y Desarrollo Rural. [Online] (Citado el 05 de Abril de 2014). Bogotá D.C. Septiembre del 2006. 16 p. Disponible en Internet en: [www.corpoica.org.co/sitioweb/Convenio/Documentos/EstrategiaDesarrolloBiocombustiblesColombia.pdf](http://www.corpoica.org.co/sitioweb/Convenio/Documentos/EstrategiaDesarrolloBiocombustiblesColombia.pdf).

GIRALDO PACHECO José Enrique. Fundamentos de las finanzas y análisis financiero. Primera edición. Sic Editorial 2010 274 p.  
Guía Ambiental para el subsector de la agroindustria de la caña de Azúcar. Ministerio de ambiente y desarrollo sostenible. (Boletín Informativo).

Handbook of Plant-Based Biofuels. Edited by Ashok Pandey. CRC Press Taylor & Francis Group. ISBN 13: 978-1-56022-175-3. P 298. Año 2009.

Historia De La Caña. . (Online). Procaña. Asociación Colombiana De Productores Y Proveedores De Caña De Azúcar. Consultado el 01 de Abril de 2014. Disponible en Internet en: <http://www.procana.org/historia.php>.

Información meteorológica y climatológica. Climas Y Cultivos. [Base de datos en línea]. Centro De Investigación De La Caña De Azúcar En Colombia. Cenicaña. (Citado el 07 de Abril de 2014). Disponible en Internet en: <http://www.cenicana.org/clima /index.php>.

Instituto Colombiano De Normas Técnicas. Normas colombianas para la presentación de trabajos de investigación. Sexta actualización. Santafé de Bogotá D.C.: ICONTEC, 2008.

J. Hill. Environmental costs and benefits of transportation biofuel production from food- and lignocellulose-based energy crops. A review, Agron. Sustain. Dev. 27. (2007) 1–12.

KAFAROV Viatcheslav, OJEDA Karina, SÁNCHEZ Eduardo. “Diseño de producción conjunta Biodiesel-Bioetanol”. Artículo. p 14. Año 2006.

Krishna, S.H., T. Reddy, J., y Chowdary, G.V. (2001). Simultaneous saccharification and fermentation of lignocellulosic wastes to ethanol using a thermotolerant yeast. Bioresource Technology.

L. Petrus, M.A. Noordermeer, Biomass to biofuels, a chemical perspective, Green Chem. 8 (2006) 861–867.

Legislación ambiental en Colombia. [Online]. (Citado el 27 de Marzo de 2014). Disponible en Internet en: <http://www.encolombia.com/medioambiente/hume-normas.htm>.

MARRUGO BATISTA Eyslen de Jesús. PALENCIA MOY Angie Liliana. “Evaluación de rutas de producción de Etanol de Segunda Generación mediante el análisis económico e integración de Procesos.

MEJIA ALFONSO. Sandra Liliana” La Política de Agro Combustibles y sus Conflictos Socio Ecológicos Distributivos en Colombia”. Tesis de grado para optar al título de Magister en Medio Ambiente y Desarrollo. Universidad Nacional de Colombia Maestría en Medio Ambiente y Desarrollo Instituto de Estudios Ambientales – IDEA. BOGOTA 2010. 169 P. (Citado el 14 de Abril de 2014). Disponible en Internet en: <http://www.bdigital.unal.edu.co/2559/>.

MIRANDA, Juan José. Gestión de Proyectos. Identificación – Formulación - Evaluación Financiera –Económica – Social – Ambiental. 5 Ed. Bogotá D.C.MM Editores, 2005 438 p. ISBN 958-96227-2-0

MONTOYA RODRÍGUEZ, María Isabel. QUINTERO SUAREZ, Julián Andrés. “Esquema Tecnológico Integral de la Producción de Bioetanol Carburante”. Universidad Nacional de Colombia, Sede Manizales. Año 2005.

NIEBEL Benjamín. Ingeniería Industrial. Editorial Alfa omega. Bogota. 2001.

Normatividad. Federación Nacional De Biocombustibles [Online].. (Citado el 27 de marzo de 2014) disponible en Internet en: <http://www.fedebiocombustibles.com/v3/main-pagina-id-2-titulo-normatividad.htm>.

Portal Estadístico Instituto colombiano de desarrollo rural Incoder. [Online].. (Consultado el 04 de Abril de 2014). Disponible en internet en: <http://www.incoder.gov.co/portal/default.aspx>.

PROEXPORT COLOMBIA. “Biocombustibles Perfil Sectorial.”(Boletín Informativo). Año 2012. P 14. Disponible en Internet en: [http://www.inviertaencolombia.com.co/images/Perfil\\_Biocombustibles\\_2012.pdf](http://www.inviertaencolombia.com.co/images/Perfil_Biocombustibles_2012.pdf)

Programa de alcohol carburante en Colombia. (Boletín Informativo en Línea). Unidad De Planeación Minero Energética. UPME. Bogotá D.C. 2005. 29 p. [Online].. (Citado el 02 de Abril de 2014). Disponible en Internet en: [www.upme.gov.co/Docs/cartilla=alcohol.pdf](http://www.upme.gov.co/Docs/cartilla=alcohol.pdf).

Programa De Biocombustibles En Colombia. (Boletín Informativo en Línea). Ministerio De Minas Y Energía. Bogotá D.C. Julio de 2007. 43 p. [Online]. (Citado el 02 de abril de 2014). Disponible en Internet en: <http://www.minminas.gov.co/minminas/downloads/UserFiles/File/hidrocarburos/Programa.pdf>.

Reith J.H., den Uil H., van Veen H., de Laat W.T.A.M., Niessen J.J., de Jong E., Elbersen H.W., Weusthuis R., van Dijken J.P., Raamsdonk L. (2002). Co-production of bioethanol, electricity and heat from biomass residues. En: 12th European Conference and Technology Exhibition on Biomass for Energy, Industry and Climate Protection. Amsterdam, The Netherlands.

RODRÍGUEZ Salcedo. Judith Biocombustibles En Colombia: Bioetanol. Profesora Universidad Nacional de Colombia Sede Palmira. Directora Grupo de Investigación GEAL (Grupo de Investigación en Eficiencia Energética y Energías Alternativas). Valle del cauca. (Citado el 10 de Abril de 2014.) Disponible en Internet en:

[www.docentes.unal.edu.co/jrodriguezs/docs/AGROCOMBUSTIBLES/BIOETANOL.doc](http://www.docentes.unal.edu.co/jrodriguezs/docs/AGROCOMBUSTIBLES/BIOETANOL.doc).

RONDERO Carlos, PALACIOS Lorena.” Aspectos Económicos, Sociales y Ambientales de la Industria de la Caña de Azúcar en Colombia”. Reseña Bibliográfica. Universidad Sergio Arboleda. Bogotá. Año 2010. P 88.

SANCHEZ RIANO, A.M.; MGUTIERREZ MORALES, A.I.; MUNOZ HERNANDEZ, J. A. Y RIVERA BARRERO, C. A. “Producción de bioetanol a partir de subproductos agroindustriales lignocelulósicos”. 30 paginas. Programa Ingeniería Agroindustrial, Facultad Ingeniería Agronómica, Universidad del Tolima. AÑO 2010. Consultado el 13 De Abril de 2014. Disponible en Internet en: *[dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/3628225.pdf](http://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/3628225.pdf)*.

SCHNEUER FINLAY, Diego Alejandro.” Estudio exploratorio para la producción de bioetanol y co-productos de biorefinería, a partir de rastrojos de maíz”. Universidad de Chile. Año 2010.

UPME. Ideam. Colciencias. UIS. Biomasa Fuente Renovable De Energía. Atlas del Potencial Energético de la biomasa residual en Colombia. Anexo A. (Citado el 11 De Abril de 2014.) Bogota D.C. 2010. 180 p. Disponible en Internet en: <http://www.si3ea.gov.co/Home/Biomasa/tabid/76/language/es-CO/Default.aspx>.

URBINA, Gabriel Baca. Evaluación de Proyectos. 5ta Edicion. Editorial McGraw Hill. .2006. Pag 392. ISBN 978-970-10-5687-5.

## ANEXOS

### Anexo A. Nomina.

OPERARIO			
	CONCEPTO	CANTIDAD	COP\$
	<b>SALARIO MINIMO</b>	<b>100%</b>	<b>\$ 1.232.000,00</b>
+	Contribución al sistema general de pensiones	12%	\$ 147.840,00
+	Contribución al sistema general de riesgos profesionales	0,52%	\$ 6.406,40
+	Subsidio de transporte para el año 2014		\$ 72.000,00
+	Subsidio Familiar (3% ICBF, 2% SENA, 4% Cajas de Compensación)	9%	\$ 110.880,00
=	<b>Costo Total mensual (Salario más seguridad Social)</b>		<b>\$ 1.569.126,40</b>
*12=	<b>Costo Total anual (Salario más seguridad social)</b>		<b>\$ 18.829.516,80</b>
+	Total Anual prima de servicios (1/2 Salario)		\$ 1.304.000,00
+	Total Anual Cesantías (1 salario más intereses de 12% anuales)		\$ 1.460.480,00
+	Vacaciones remuneradas (15 días hábiles)(No incluye Aux. de Transpor)	50%	\$ 616.000,00
=	<b>TOTAL ANUAL</b>		<b>\$ 22.209.996,80</b>
+	<b>Dotación anual</b>		<b>\$ 450.000,00</b>
/12	<b>TOTAL MENSUAL</b>		<b>\$ 1.888.333,07</b>
/30	<b>TOTAL DIARIO</b>		<b>\$ 62.944,44</b>
/8	<b>TOTAL HORA</b>		<b>\$ 7.868,05</b>

<b>JEFE DE PRODUCCION</b>			
	<b>CONCEPTO</b>	<b>CANTIDAD</b>	<b>COP\$</b>
	<b>SALARIO MINIMO</b>	<b>100%</b>	<b>\$ 2.464.000,00</b>
+	Contribución al sistema general de pensiones	12%	\$ 295.680,00
+	Contribucion al sistema general de riesgos profesionales	0,52%	\$ 12.812,80
+	Subsidio de transporte para el año 2014		\$ 72.000,00
+	Subsidio Familiar (3% ICBF, 2% SENA, 4% Cajas de Compensación)	9%	\$ 221.760,00
=	<b>Costo Total mensual (Salario más seguridad Social)</b>		<b>\$ 3.066.252,80</b>
*12=	<b>Costo Total anual (Salario más seguridad social)</b>		<b>\$ 36.795.033,60</b>
+	Total Anual prima de servicios (1/2 Salario)		\$ 2.536.000,00
+	Total Anual Cesantias (1 salario más intereses de 12% anuales)		\$ 2.840.320,00
+	Vacaciones remuneradas (15 días hábiles)(No incluye Aux. de Transpor)	50%	\$ 1.232.000,00
=	<b>TOTAL ANUAL</b>		<b>\$ 43.403.353,60</b>
+	<b>Dotación anual</b>		<b>\$ 450.000,00</b>
/12	<b>TOTAL MENSUAL</b>		<b>\$ 3.654.446,13</b>
/30	<b>TOTAL DIARIO</b>		<b>\$ 121.814,87</b>
/8	<b>TOTAL HORA</b>		<b>\$ 15.226,86</b>

SUPERVISOR PLANTA DE PRODUCCION			
	CONCEPTO	CANTIDAD	COP\$
	<b>SALARIO MINIMO</b>	<b>100%</b>	<b>\$ 2.156.000,00</b>
+	Contribución al sistema general de pensiones	12%	\$ 258.720,00
+	Contribucion al sistema general de riesgos profesionales	0,52%	\$ 11.211,20
+	Subsidio de transporte para el año 2014		\$ 72.000,00
+	Subsidio Familiar (3% ICBF, 2% SENA, 4% Cajas de Compensación)	9%	\$ 194.040,00
=	<b>Costo Total mensual (Salario más seguridad Social)</b>		<b>\$ 2.691.971,20</b>
*12=	<b>Costo Total anual (Salario más seguridad social)</b>		<b>\$ 32.303.654,40</b>
+	Total Anual prima de servicios (1/2 Salario)		\$ 2.228.000,00
+	Total Anual Cesantias (1 salario más intereses de 12% anuales)		\$ 2.495.360,00
+	Vacaciones remuneradas (15 días hábiles)(No incluye Aux. de Transpor)	50%	\$ 1.078.000,00
=	<b>TOTAL ANUAL</b>		<b>\$ 38.105.014,40</b>
+	<b>Dotación anual</b>		<b>\$ 450.000,00</b>
/12	<b>TOTAL MENSUAL</b>		<b>\$ 3.212.917,87</b>
/30	<b>TOTAL DIARIO</b>		<b>\$ 107.097,26</b>
/8	<b>TOTAL HORA</b>		<b>\$ 13.387,16</b>

<b>JEFE DE MANTENIMIENTO</b>			
	<b>CONCEPTO</b>	<b>CANTIDAD</b>	<b>COP\$</b>
	<b>SALARIO MINIMO</b>	<b>100%</b>	<b>\$ 1.540.000,00</b>
+	Contribución al sistema general de pensiones	12%	\$ 184.800,00
+	Contribucion al sistema general de riesgos profesionales	0,52%	\$ 8.008,00
+	Subsidio de transporte para el año 2014		\$ 72.000,00
+	Subsidio Familiar (3% ICBF, 2% SENA, 4% Cajas de Compensación)	9%	\$ 138.600,00
=	<b>Costo Total mensual (Salario más seguridad Social)</b>		<b>\$ 1.943.408,00</b>
*12=	<b>Costo Total anual (Salario más seguridad social)</b>		<b>\$ 23.320.896,00</b>
+	Total Anual prima de servicios (1/2 Salario)		\$ 1.612.000,00
+	Total Anual Cesantias (1 salario más intereses de 12% anuales)		\$ 1.805.440,00
+	Vacaciones remuneradas (15 dias hábiles)(No incluye Aux. de Transpor)	50%	\$ 770.000,00
=	<b>TOTAL ANUAL</b>		<b>\$ 27.508.336,00</b>
+	<b>Dotación anual</b>		<b>\$ 450.000,00</b>
/12	<b>TOTAL MENSUAL</b>		<b>\$ 2.329.861,33</b>
/30	<b>TOTAL DIARIO</b>		<b>\$ 77.662,04</b>
/8	<b>TOTAL HORA</b>		<b>\$ 9.707,76</b>

<b>ELECTRICISTA</b>			
	<b>CONCEPTO</b>	<b>CANTIDAD</b>	<b>COP\$</b>
	<b>SALARIO MINIMO</b>	<b>100%</b>	<b>\$ 878.000,00</b>
+	Contribución al sistema general de pensiones	12%	\$ 105.360,00
+	Contribucion al sistema general de riesgos profesionales	0,52%	\$ 4.565,60
+	Subsidio de transporte para el año 2014		\$ 72.000,00
+	Subsidio Familiar (3% ICBF, 2% SENA, 4% Cajas de Compensación)	9%	\$ 79.020,00
=	<b>Costo Total mensual (Salario más seguridad Social)</b>		<b>\$ 1.138.945,60</b>
*12=	<b>Costo Total anual (Salario más seguridad social)</b>		<b>\$ 13.667.347,20</b>
+	Total Anual prima de servicios (1/2 Salario)		\$ 950.000,00
+	Total Anual Cesantias (1 salario más intereses de 12% anuales)		\$ 1.064.000,00
+	Vacaciones remuneradas (15 días hábiles)(No incluye Aux. de Transpor)	50%	\$ 439.000,00
=	<b>TOTAL ANUAL</b>		<b>\$ 16.120.347,20</b>
+	<b>Dotación anual</b>		<b>\$ 450.000,00</b>
/12	<b>TOTAL MENSUAL</b>		<b>\$ 1.380.862,27</b>
/30	<b>TOTAL DIARIO</b>		<b>\$ 46.028,74</b>
/8	<b>TOTAL HORA</b>		<b>\$ 5.753,59</b>

ASISTENTE MECANICO			
	CONCEPTO	CANTIDAD	COP\$
	<b>SALARIO MINIMO</b>	<b>100%</b>	<b>\$ 878.000,00</b>
+	Contribución al sistema general de pensiones	12%	\$ 105.360,00
+	Contribucion al sistema general de riesgos profesionales	0,52%	\$ 4.565,60
+	Subsidio de transporte para el año 2014		\$ 72.000,00
+	Subsidio Familiar (3% ICBF, 2% SENA, 4% Cajas de Compensación)	9%	\$ 79.020,00
=	<b>Costo Total mensual (Salario más seguridad Social)</b>		<b>\$ 1.138.945,60</b>
*12=	<b>Costo Total anual (Salario más seguridad social)</b>		<b>\$ 13.667.347,20</b>
+	Total Anual prima de servicios (1/2 Salario)		\$ 950.000,00
+	Total Anual Cesantias (1 salario más intereses de 12% anuales)		\$ 1.064.000,00
+	Vacaciones remuneradas (15 días hábiles)(No incluye Aux. de Transpor)	50%	\$ 439.000,00
=	<b>TOTAL ANUAL</b>		<b>\$ 16.120.347,20</b>
+	<b>Dotación anual</b>		<b>\$ 450.000,00</b>
/12	<b>TOTAL MENSUAL</b>		<b>\$ 1.380.862,27</b>
/30	<b>TOTAL DIARIO</b>		<b>\$ 46.028,74</b>
/8	<b>TOTAL HORA</b>		<b>\$ 5.753,59</b>

GERENTE DE PLANTA			
	CONCEPTO	CANTIDAD	COP\$
	<b>SALARIO MINIMO</b>	<b>100%</b>	<b>\$ 4.390.000,00</b>
+	Contribución al sistema general de pensiones	12%	\$ 526.800,00
+	Contribucion al sistema general de riesgos profesionales	0,52%	\$ 22.828,00
+	Subsidio de transporte para el año 2014		\$ 72.000,00
+	Subsidio Familiar (3% ICBF, 2% SENA, 4% Cajas de Compensación)	9%	\$ 395.100,00
=	<b>Costo Total mensual (Salario más seguridad Social)</b>		<b>\$ 5.406.728,00</b>
*12=	<b>Costo Total anual (Salario más seguridad social)</b>		<b>\$ 64.880.736,00</b>
+	Total Anual prima de servicios (1/2 Salario)		\$ 4.462.000,00
+	Total Anual Cesantias (1 salario más intereses de 12% anuales)		\$ 4.997.440,00
+	Vacaciones remuneradas (15 días hábiles)(No incluye Aux. de Transpor)	50%	\$ 2.195.000,00
=	<b>TOTAL ANUAL</b>		<b>\$ 76.535.176,00</b>
+	<b>Dotación anual</b>		<b>\$ 450.000,00</b>
/12	<b>TOTAL MENSUAL</b>		<b>\$ 6.415.431,33</b>
/30	<b>TOTAL DIARIO</b>		<b>\$ 213.847,71</b>
/8	<b>TOTAL HORA</b>		<b>\$ 26.730,96</b>

<b>INGENIERO AMBIENTAL</b>			
	<b>CONCEPTO</b>	<b>CANTIDAD</b>	<b>COP\$</b>
	<b>SALARIO MINIMO</b>	<b>100%</b>	<b>\$ 1.756.000,00</b>
+	Contribución al sistema general de pensiones	12%	\$ 210.720,00
+	Contribucion al sistema general de riesgos profesionales	0,52%	\$ 9.131,20
+	Subsidio de transporte para el año 2014		\$ 72.000,00
+	Subsidio Familiar (3% ICBF, 2% SENA, 4% Cajas de Compensación)	9%	\$ 158.040,00
=	<b>Costo Total mensual (Salario más seguridad Social)</b>		<b>\$ 2.205.891,20</b>
*12=	<b>Costo Total anual (Salario más seguridad social)</b>		<b>\$ 26.470.694,40</b>
+	Total Anual prima de servicios (1/2 Salario)		\$ 1.828.000,00
+	Total Anual Cesantias (1 salario más intereses de 12% anuales)		\$ 2.047.360,00
+	Vacaciones remuneradas (15 dias hábiles)(No incluye Aux. de Transpor)	50%	\$ 878.000,00
=	<b>TOTAL ANUAL</b>		<b>\$ 31.224.054,40</b>
+	<b>Dotación anual</b>		<b>\$ 450.000,00</b>
/12	<b>TOTAL MENSUAL</b>		<b>\$ 2.639.504,53</b>
/30	<b>TOTAL DIARIO</b>		<b>\$ 87.983,48</b>
/8	<b>TOTAL HORA</b>		<b>\$ 10.997,94</b>

INGENIERO QUIMICO			
	CONCEPTO	CANTIDAD	COP\$
	<b>SALARIO MINIMO</b>	<b>100%</b>	<b>\$ 2.195.000,00</b>
+	Contribución al sistema general de pensiones	12%	\$ 263.400,00
+	Contribucion al sistema general de riesgos profesionales	0,52%	\$ 11.414,00
+	Subsidio de transporte para el año 2014		\$ 72.000,00
+	Subsidio Familiar (3% ICBF, 2% SENA, 4% Cajas de Compensación)	9%	\$ 197.550,00
=	<b>Costo Total mensual (Salario más seguridad Social)</b>		<b>\$ 2.739.364,00</b>
*12=	<b>Costo Total anual (Salario más seguridad social)</b>		<b>\$ 32.872.368,00</b>
+	Total Anual prima de servicios (1/2 Salario)		\$ 2.267.000,00
+	Total Anual Cesantias (1 salario más intereses de 12% anuales)		\$ 2.539.040,00
+	Vacaciones remuneradas (15 dias hábiles)(No incluye Aux. de Transpor)	50%	\$ 1.097.500,00
=	<b>TOTAL ANUAL</b>		<b>\$ 38.775.908,00</b>
+	<b>Dotación anual</b>		<b>\$ 450.000,00</b>
/12	<b>TOTAL MENSUAL</b>		<b>\$ 3.268.825,67</b>
/30	<b>TOTAL DIARIO</b>		<b>\$ 108.960,86</b>
/8	<b>TOTAL HORA</b>		<b>\$ 13.620,11</b>

SUPERVISOR DE CALIDAD			
	CONCEPTO	CANTIDAD	COP\$
	<b>SALARIO MINIMO</b>	<b>100%</b>	<b>\$ 1.317.000,00</b>
+	Contribución al sistema general de pensiones	12%	\$ 158.040,00
+	Contribucion al sistema general de riesgos profesionales	0,52%	\$ 6.848,40
+	Subsidio de transporte para el año 2014		\$ 72.000,00
+	Subsidio Familiar (3% ICBF, 2% SENA, 4% Cajas de Compensación)	9%	\$ 118.530,00
=	<b>Costo Total mensual (Salario más seguridad Social)</b>		<b>\$ 1.672.418,40</b>
*12=	<b>Costo Total anual (Salario más seguridad social)</b>		<b>\$ 20.069.020,80</b>
+	Total Anual prima de servicios (1/2 Salario)		\$ 1.389.000,00
+	Total Anual Cesantias (1 salario más intereses de 12% anuales)		\$ 1.555.680,00
+	Vacaciones remuneradas (15 días hábiles)(No incluye Aux. de Transpor)	50%	\$ 658.500,00
=	<b>TOTAL ANUAL</b>		<b>\$ 23.672.200,80</b>
+	<b>Dotación anual</b>		<b>\$ 450.000,00</b>
/12	<b>TOTAL MENSUAL</b>		<b>\$ 2.010.183,40</b>
/30	<b>TOTAL DIARIO</b>		<b>\$ 67.006,11</b>
/8	<b>TOTAL HORA</b>		<b>\$ 8.375,76</b>

CONTADOR			
	CONCEPTO	CANTIDAD	COP\$
	<b>SALARIO MINIMO</b>	<b>100%</b>	<b>\$ 1.317.000,00</b>
+	Contribución al sistema general de pensiones	12%	\$ 158.040,00
+	Contribucion al sistema general de riesgos profesionales	0,52%	\$ 6.848,40
+	Subsidio de transporte para el año 2014		\$ 72.000,00
+	Subsidio Familiar (3% ICBF, 2% SENA, 4% Cajas de Compensación)	9%	\$ 118.530,00
=	<b>Costo Total mensual (Salario más seguridad Social)</b>		<b>\$ 1.672.418,40</b>
*12=	<b>Costo Total anual (Salario más seguridad social)</b>		<b>\$ 20.069.020,80</b>
+	Total Anual prima de servicios (1/2 Salario)		\$ 1.389.000,00
+	Total Anual Cesantias (1 salario más intereses de 12% anuales)		\$ 1.555.680,00
+	Vacaciones remuneradas (15 dias hábiles)(No incluye Aux. de Transpor)	50%	\$ 658.500,00
=	<b>TOTAL ANUAL</b>		<b>\$ 23.672.200,80</b>
+	<b>Dotación anual</b>		<b>\$ 450.000,00</b>
/12	<b>TOTAL MENSUAL</b>		<b>\$ 2.010.183,40</b>
/30	<b>TOTAL DIARIO</b>		<b>\$ 67.006,11</b>
/8	<b>TOTAL HORA</b>		<b>\$ 8.375,76</b>

Jefe de Ventas			
	CONCEPTO	CANTIDAD	COP\$
	<b>SALARIO MINIMO</b>	<b>100%</b>	<b>\$ 1.540.000,00</b>
+	Contribución al sistema general de pensiones	12%	\$ 184.800,00
+	Contribución al sistema general de riesgos profesionales	0,52%	\$ 8.008,00
+	Subsidio de transporte para el año 2014		\$ 72.000,00
+	Subsidio Familiar (3% ICBF, 2% SENA, 4% Cajas de Compensación)	9%	\$ 138.600,00
=	<b>Costo Total mensual (Salario más seguridad Social)</b>		<b>\$ 1.943.408,00</b>
*12=	<b>Costo Total anual (Salario más seguridad social)</b>		<b>\$ 23.320.896,00</b>
+	Total Anual prima de servicios (1/2 Salario)		\$ 1.612.000,00
+	Total Anual Cesantias (1 salario más intereses de 12% anuales)		\$ 1.805.440,00
+	Vacaciones remuneradas (15 días hábiles)(No incluye Aux. de Transpor)	50%	\$ 770.000,00
=	<b>TOTAL ANUAL</b>		<b>\$ 27.508.336,00</b>
+	<b>Dotación anual</b>		<b>\$ 450.000,00</b>
/12	<b>TOTAL MENSUAL</b>		<b>\$ 2.329.861,33</b>
/30	<b>TOTAL DIARIO</b>		<b>\$ 77.662,04</b>
/8	<b>TOTAL HORA</b>		<b>\$ 9.707,76</b>

## Anexo B. Amortización de la Deuda.

Tipo de crédito: Libre destino

Plazo: 60 Meses

Tasa Anual: 7.18%

Tasa Mensual: 0.58%

Cuota: \$382,310,734.01

Cuota por Millon: \$19,782.33

No. Cuota	Valor Cuota	Interés	Abono Capital	Saldo
				\$19,325,867,937.00
1	\$382,310,734.01	\$112,090,034.03	\$270,220,699.97	\$19,055,647,237.03
2	\$382,310,734.01	\$110,522,753.97	\$271,787,980.04	\$18,783,859,256.99
3	\$382,310,734.01	\$108,946,383.69	\$273,364,350.32	\$18,510,494,906.67
4	\$382,310,734.01	\$107,360,870.46	\$274,949,863.55	\$18,235,545,043.12
5	\$382,310,734.01	\$105,766,161.25	\$276,544,572.76	\$17,959,000,470.36
6	\$382,310,734.01	\$104,162,202.73	\$278,148,531.28	\$17,680,851,939.08
7	\$382,310,734.01	\$102,548,941.25	\$279,761,792.76	\$17,401,090,146.32
8	\$382,310,734.01	\$100,926,322.85	\$281,384,411.16	\$17,119,705,735.16
9	\$382,310,734.01	\$99,294,293.26	\$283,016,440.75	\$16,836,689,294.41
10	\$382,310,734.01	\$97,652,797.91	\$284,657,936.10	\$16,552,031,358.31
11	\$382,310,734.01	\$96,001,781.88	\$286,308,952.13	\$16,265,722,406.18
12	\$382,310,734.01	\$94,341,189.96	\$287,969,544.05	\$15,977,752,862.13
13	\$382,310,734.01	\$92,670,966.60	\$289,639,767.41	\$15,688,113,094.72
14	\$382,310,734.01	\$90,991,055.95	\$291,319,678.06	\$15,396,793,416.66
15	\$382,310,734.01	\$89,301,401.82	\$293,009,332.19	\$15,103,784,084.47
16	\$382,310,734.01	\$87,601,947.69	\$294,708,786.32	\$14,809,075,298.15
17	\$382,310,734.01	\$85,892,636.73	\$296,418,097.28	\$14,512,657,200.87

18	\$382,310,734.01	\$84,173,411.77	\$298,137,322.24	\$14,214,519,878.63
19	\$382,310,734.01	\$82,444,215.30	\$299,866,518.71	\$13,914,653,359.92
20	\$382,310,734.01	\$80,704,989.49	\$301,605,744.52	\$13,613,047,615.40
21	\$382,310,734.01	\$78,955,676.17	\$303,355,057.84	\$13,309,692,557.56
22	\$382,310,734.01	\$77,196,216.83	\$305,114,517.18	\$13,004,578,040.38
23	\$382,310,734.01	\$75,426,552.63	\$306,884,181.38	\$12,697,693,859.00
24	\$382,310,734.01	\$73,646,624.38	\$308,664,109.63	\$12,389,029,749.37
25	\$382,310,734.01	\$71,856,372.55	\$310,454,361.46	\$12,078,575,387.91
26	\$382,310,734.01	\$70,055,737.25	\$312,254,996.76	\$11,766,320,391.15
27	\$382,310,734.01	\$68,244,658.27	\$314,066,075.74	\$11,452,254,315.41
28	\$382,310,734.01	\$66,423,075.03	\$315,887,658.98	\$11,136,366,656.43
29	\$382,310,734.01	\$64,590,926.61	\$317,719,807.40	\$10,818,646,849.03
30	\$382,310,734.01	\$62,748,151.72	\$319,562,582.29	\$10,499,084,266.74
31	\$382,310,734.01	\$60,894,688.75	\$321,416,045.26	\$10,177,668,221.48
32	\$382,310,734.01	\$59,030,475.68	\$323,280,258.33	\$9,854,387,963.15
33	\$382,310,734.01	\$57,155,450.19	\$325,155,283.82	\$9,529,232,679.33
34	\$382,310,734.01	\$55,269,549.54	\$327,041,184.47	\$9,202,191,494.86
35	\$382,310,734.01	\$53,372,710.67	\$328,938,023.34	\$8,873,253,471.52
36	\$382,310,734.01	\$51,464,870.13	\$330,845,863.88	\$8,542,407,607.64
37	\$382,310,734.01	\$49,545,964.12	\$332,764,769.89	\$8,209,642,837.75
38	\$382,310,734.01	\$47,615,928.46	\$334,694,805.55	\$7,874,948,032.20
39	\$382,310,734.01	\$45,674,698.59	\$336,636,035.42	\$7,538,311,996.78
40	\$382,310,734.01	\$43,722,209.58	\$338,588,524.43	\$7,199,723,472.35
41	\$382,310,734.01	\$41,758,396.14	\$340,552,337.87	\$6,859,171,134.48
42	\$382,310,734.01	\$39,783,192.58	\$342,527,541.43	\$6,516,643,593.05
43	\$382,310,734.01	\$37,796,532.84	\$344,514,201.17	\$6,172,129,391.88

44	\$382,310,734.01	\$35,798,350.47	\$346,512,383.54	\$5,825,617,008.34
45	\$382,310,734.01	\$33,788,578.65	\$348,522,155.36	\$5,477,094,852.98
46	\$382,310,734.01	\$31,767,150.15	\$350,543,583.86	\$5,126,551,269.12
47	\$382,310,734.01	\$29,733,997.36	\$352,576,736.65	\$4,773,974,532.47
48	\$382,310,734.01	\$27,689,052.29	\$354,621,681.72	\$4,419,352,850.75
49	\$382,310,734.01	\$25,632,246.53	\$356,678,487.48	\$4,062,674,363.27
50	\$382,310,734.01	\$23,563,511.31	\$358,747,222.70	\$3,703,927,140.57
51	\$382,310,734.01	\$21,482,777.42	\$360,827,956.59	\$3,343,099,183.98
52	\$382,310,734.01	\$19,389,975.27	\$362,920,758.74	\$2,980,178,425.24
53	\$382,310,734.01	\$17,285,034.87	\$365,025,699.14	\$2,615,152,726.10
54	\$382,310,734.01	\$15,167,885.81	\$367,142,848.20	\$2,248,009,877.90
55	\$382,310,734.01	\$13,038,457.29	\$369,272,276.72	\$1,878,737,601.18
56	\$382,310,734.01	\$10,896,678.09	\$371,414,055.92	\$1,507,323,545.26
57	\$382,310,734.01	\$8,742,476.56	\$373,568,257.45	\$1,133,755,287.81
58	\$382,310,734.01	\$6,575,780.67	\$375,734,953.34	\$758,020,334.47
59	\$382,310,734.01	\$4,396,517.94	\$377,914,216.07	\$380,106,118.40
60	\$382,310,734.01	\$2,204,615.49	\$380,106,118.52	\$-0.12

### Anexo C. Índices Economicos.

Industry Name	Number of firms	Beta	D/E Ratio	Tax rate	Unlevered beta	Cash/Firm value	Unlevered beta corrected for cash
---------------	-----------------	------	-----------	----------	----------------	-----------------	-----------------------------------

Industry Name	Number of firms	Beta	D/E Ratio	Tax rate	Unlevered beta	Cash/Firm value	Unlevered beta corrected for cash
Advertising	57	1,41	15,99%	12,81%	1,24	14,27%	1,44
Aerospace/Defense	55	1,08	19,01%	10,70%	0,92	9,97%	1,03
Air Transport	71	1,01	94,72%	15,14%	0,56	11,16%	0,63
Apparel	884	1,08	31,01%	12,63%	0,85	10,68%	0,95
Auto & Truck	79	1,17	29,75%	13,20%	0,93	13,48%	1,08
Auto Parts	352	1,25	21,16%	15,16%	1,06	10,68%	1,19
Bank	426	0,86	107,86%	18,97%	0,46	30,72%	0,66
Banks (Regional)	64	0,67	129,98%	17,41%	0,33	26,44%	0,44
Beverage	35	0,83	9,32%	15,66%	0,77	5,13%	0,81
Beverage (Alcoholic)	124	0,84	6,55%	19,13%	0,79	7,08%	0,85
Biotechnology	119	1,21	5,26%	7,11%	1,15	6,87%	1,24
Broadcasting	58	1,31	13,96%	17,42%	1,18	6,69%	1,26
Brokerage & Investment Banking	344	1,10	70,41%	11,38%	0,67	20,42%	0,85
Building Materials	210	0,92	35,51%	13,25%	0,70	10,09%	0,78
Business & Consumer Services	130	0,93	10,03%	12,87%	0,85	11,35%	0,96
Cable TV	31	1,30	9,38%	12,79%	1,20	3,35%	1,25
Chemical (Basic)	563	1,02	39,60%	12,72%	0,76	9,00%	0,83
Chemical (Diversified)	43	1,38	32,11%	15,41%	1,09	5,32%	1,15
Chemical (Specialty)	408	1,02	27,38%	15,94%	0,83	7,09%	0,90
Coal & Related Energy	106	1,21	21,28%	14,82%	1,02	12,95%	1,18
Computer Services	415	1,07	11,27%	14,25%	0,97	8,68%	1,06
Computer Software	329	1,25	5,47%	10,78%	1,19	9,61%	1,31

Industry Name	Number of firms	Beta	D/E Ratio	Tax rate	Unlevered beta	Cash/Firm value	Unlevered beta corrected for cash
Computers/Peripherals	225	0,89	44,60%	13,53%	0,65	32,86%	0,96
Construction	357	0,96	34,96%	13,95%	0,74	5,52%	0,78
Diversified	259	0,95	55,63%	13,15%	0,64	11,50%	0,72
Educational Services	73	1,27	12,83%	8,79%	1,14	5,14%	1,20
Electrical Equipment	525	1,04	26,25%	13,93%	0,85	13,75%	0,98
Electronics	660	1,00	36,84%	10,96%	0,75	18,44%	0,92
Electronics (Consumer & Office)	115	1,14	45,48%	11,87%	0,82	19,56%	1,02
Engineering	691	1,21	76,92%	14,38%	0,73	19,98%	0,91
Entertainment	134	1,43	16,74%	10,31%	1,24	8,91%	1,36
Environmental & Waste Services	79	1,30	26,61%	13,45%	1,06	12,97%	1,21
Farming/Agriculture	245	0,98	41,04%	13,46%	0,72	10,76%	0,81
Financial Svcs.	306	0,89	103,07%	17,40%	0,48	7,10%	0,52
Financial Svcs. (Non-bank & Insurance)	102	0,95	96,77%	15,03%	0,52	12,29%	0,59
Food Processing	806	0,87	27,42%	13,32%	0,71	6,59%	0,76
Food Wholesalers	43	0,99	75,20%	13,34%	0,60	6,90%	0,64
Furn/Home Furnishings	204	0,94	24,48%	14,36%	0,78	19,69%	0,97
Healthcare Equipment	86	1,22	3,96%	9,64%	1,18	13,94%	1,37
Healthcare Facilities	69	0,60	20,80%	15,99%	0,51	3,61%	0,53
Healthcare Products	52	0,93	6,14%	12,53%	0,89	3,89%	0,92
Healthcare Services	88	0,94	19,63%	14,54%	0,80	11,83%	0,91
Healthcare Information and Technology	32	1,33	9,53%	6,46%	1,22	5,33%	1,29

Industry Name	Number of firms	Beta	D/E Ratio	Tax rate	Unlevered beta	Cash/Firm value	Unlevered beta corrected for cash
Heavy Construction	191	1,24	55,48%	14,53%	0,84	16,42%	1,00
Homebuilding	37	1,52	103,18%	15,61%	0,81	9,52%	0,90
Hotel/Gaming	365	0,99	12,25%	12,99%	0,89	6,41%	0,95
Household Products	216	0,88	7,51%	13,46%	0,83	4,67%	0,87
Information Services	43	1,23	6,65%	10,21%	1,16	3,86%	1,21
Insurance (General)	135	0,66	31,30%	10,57%	0,51	15,55%	0,61
Insurance (Life)	55	0,69	41,81%	12,63%	0,51	28,33%	0,71
Insurance (Prop/Cas.)	133	0,71	12,34%	8,18%	0,64	13,73%	0,74
Internet software and services	129	1,05	4,01%	9,75%	1,02	6,71%	1,09
Investment Co.	176	0,86	84,37%	6,70%	0,48	5,46%	0,51
<b>Machinery</b>	626	1,07	26,67%	14,61%	0,87	13,60%	1,00
Metals & Mining	318	1,36	31,41%	12,54%	1,07	7,50%	1,15
Office Equipment & Services	60	0,85	16,41%	14,53%	0,75	11,98%	0,85
Oil/Gas (Integrated)	26	1,21	25,91%	22,87%	1,01	5,16%	1,06
Oil/Gas (Production and Exploration)	132	1,50	18,61%	12,16%	1,29	5,10%	1,36
Oil/Gas Distribution	75	1,27	93,90%	12,90%	0,70	7,54%	0,75
Oilfield Svcs/Equip.	249	1,30	37,40%	13,87%	0,98	5,74%	1,04
Packaging & Container	280	0,91	45,94%	14,97%	0,66	9,00%	0,72
Paper/Forest Products	210	1,07	76,98%	10,62%	0,63	6,32%	0,67
Pharma & Drugs	526	0,95	9,11%	14,08%	0,88	6,81%	0,94
Power	396	0,87	77,12%	14,79%	0,52	5,16%	0,55
Precious Metals	104	1,38	18,50%	11,07%	1,18	4,94%	1,25

Industry Name	Number of firms	Beta	D/E Ratio	Tax rate	Unlevered beta	Cash/Firm value	Unlevered beta corrected for cash
Publishing & Newspapers	162	0,79	16,52%	13,85%	0,69	13,58%	0,80
R.E.I.T.	1	NA	0,00%	0,00%	NA	0,00%	NA
Railroad	13	0,83	23,48%	16,91%	0,69	5,47%	0,73
Real Estate	288	1,05	52,31%	13,42%	0,72	9,89%	0,80
Real Estate (Development)	518	1,13	61,68%	19,10%	0,75	13,33%	0,87
Real Estate (Operations & Services)	213	1,01	65,83%	14,24%	0,65	4,88%	0,68
Recreation	104	0,94	23,56%	13,36%	0,78	11,91%	0,88
Reinsurance	28	0,95	14,84%	10,43%	0,84	21,84%	1,07
Restaurant	70	0,82	7,14%	18,24%	0,78	6,52%	0,83
Retail (Automotive)	55	0,89	70,62%	14,96%	0,56	14,10%	0,65
Retail (Building Supply)	13	0,67	28,39%	18,27%	0,54	7,06%	0,58
Retail (Distributors)	413	0,94	53,54%	15,72%	0,65	9,97%	0,72
Retail (General)	142	0,89	17,59%	21,19%	0,79	8,67%	0,86
Retail (Grocery and Food)	50	0,82	12,42%	18,75%	0,75	7,79%	0,81
Retail (Internet)	9	1,85	59,01%	5,56%	1,19	2,30%	1,22
Retail (Special Lines)	139	1,15	13,21%	18,80%	1,04	8,46%	1,14
Rubber& Tires	68	1,05	54,22%	15,67%	0,72	6,53%	0,77
Semiconductor	376	1,07	13,13%	8,30%	0,96	10,17%	1,06
Semiconductor Equip	152	1,37	39,15%	5,70%	1,00	10,42%	1,12
Shipbuilding & Marine	222	1,06	81,40%	9,76%	0,61	13,63%	0,71
Shoe	62	1,04	19,21%	17,16%	0,89	14,19%	1,04
Steel	500	1,34	82,47%	13,10%	0,78	9,88%	0,86

Industry Name	Number of firms	Beta	D/E Ratio	Tax rate	Unlevered beta	Cash/Firm value	Unlevered beta corrected for cash
Telecom (Wireless)	67	0,83	22,83%	16,47%	0,70	5,29%	0,73
Telecom. Equipment	287	1,20	20,24%	9,12%	1,02	17,36%	1,23
Telecom. Services	119	0,90	31,77%	12,35%	0,71	6,61%	0,76
Thrift	26	1,05	115,95%	22,97%	0,55	3,44%	0,57
Tobacco	34	0,53	2,20%	15,77%	0,52	1,36%	0,52
Tranportation	130	0,94	60,66%	18,93%	0,63	9,01%	0,69
Trucking	80	0,73	30,09%	14,44%	0,58	9,56%	0,64
Utility (General)	11	0,69	236,91%	12,98%	0,23	4,17%	0,24
Utility (Water)	55	0,82	44,92%	17,13%	0,60	8,47%	0,66
Grand Total	18943	1,04	48,11%	13,60%	0,74	14,34%	0,86

Year	Annual Returns on Investments in			Compounded Value of \$ 100					
	S&P 500	3-month T.Bill	10-year T. Bond	Stocks	T.Bills	T.Bonds	Stocks - Bills	Stocks - Bonds	Historical risk premium
2002	-21,97%	1,66%	15,12%	\$ 98.027,82	\$ 1.675,96	\$ 4.129,65	-23,62%	-37,08%	4,53%
2003	28,36%	1,03%	0,38%	\$ 125.824,39	\$ 1.693,22	\$ 4.145,15	27,33%	27,98%	4,82%
2004	10,74%	1,23%	4,49%	\$ 139.341,42	\$ 1.714,00	\$ 4.331,30	9,52%	6,25%	4,84%
2005	4,83%	3,01%	2,87%	\$ 146.077,85	\$ 1.765,59	\$ 4.455,50	1,82%	1,97%	4,80%
2006	15,61%	4,68%	1,96%	\$ 168.884,34	\$ 1.848,18	\$ 4.542,87	10,94%	13,65%	4,91%
2007	5,48%	4,64%	10,21%	\$ 178.147,20	\$ 1.933,98	\$ 5.006,69	0,84%	-4,73%	4,79%
2008	-36,55%	1,59%	20,10%	\$ 113.030,22	\$ 1.964,64	\$ 6.013,10	-38,14%	-56,65%	3,88%
2009	25,94%	0,14%	-11,12%	\$ 142.344,87	\$ 1.967,29	\$ 5.344,65	25,80%	37,05%	4,29%
2010	14,82%	0,13%	8,46%	\$ 163.441,94	\$ 1.969,84	\$ 5.796,96	14,69%	6,36%	4,31%
2011	2,07%	0,03%	16,04%	\$ 166.818,28	\$ 1.970,44	\$ 6.726,52	2,04%	-13,97%	4,10%
2012	15,83%	0,05%	2,97%	\$ 193.219,24	\$ 1.971,42	\$ 6.926,40	15,78%	12,85%	4,20%

				Risk Premium		Standard Error			
Arithmetic Average			Stocks - T.Bills	Stocks - T.Bonds		Stocks - T.Bills		Stocks - T.Bonds	
2002-2012			8,71%	1,65%	5,64%	7,06%	3,08%	5,82%	8,11%

				Risk Premium		
Geometric Average			Stocks - T.Bills	Stocks - T.Bonds		
2002-2012			7,02%	1,64%	5,31%	
				5,38%	1,71%	prima de riesgo