

**ETANOL COMO CARBURANTE UNA ALTERNATIVA ENERGETICA  
ECONOMICA DE BAJO IMPACTO AMBIENTAL**

**ING. WILLIAM PITTA MENESES**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
ESCUELA DE INGENIERIA DE PETROLEOS  
ESPECIALIZACIÓN EN GERENCIA DE HIDROCARBUROS  
BUCARAMANGA**

**2005**

**ETANOL COMO CARBURANTE UNA ALTERNATIVA ENERGETICA  
ECONOMICA DE BAJO IMPACTO AMBIENTAL**

**ING. WILLIAM PITTA MENESES**

Trabajo de Grado presentado como requisito para optar al  
Título de ESPECIALISTA EN GERENCIA DE HIDROCARBUROS.

**Director**

**ING. NICOLÁS SANTOS SANTOS**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
ESCUELA DE INGENIERÍA DE PETROLEOS  
ESPECIALIZACIÓN EN GERENCIA DE HIDROCARBUROS  
BUCARAMANGA**

**2005**

## **DEDICATORIA**

A mi esposa Johanna Idaly, A mis hijos, Andrés Felipe y Paula Natalia, pilares fundamentales de mi vida, a quienes dedico todos mis triunfos y con quienes comparto todos mis momentos de alegría.

A todas las personas que de una u otra forma aportaron su granito de arena para llevar a feliz término esta monografía.

## **AGRADECIMIENTOS**

El autor expresa sus agradecimientos a:

Nicolás Santos Santos, Ingeniero de Petróleos y Profesor de la Escuela de Petróleos de la Universidad Industrial de Santander, por sus valiosas orientaciones como director de esta monografía.

Frank Martínez, Ingeniero de Petróleos, Gerente General de Centroriente S.A. por su apoyo incondicional para el logro de mis metas profesionales.

Universidad Industrial de Santander, por su colaboración en la documentación recopilada para llevar a feliz término este proyecto.

## CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCIÓN	1
1. GENERALIDADES	5
1.1 BIOMASA	5
1.2 BIOCOMBUSTIBLES	6
1.3 COMBUSTIBLES ALTERNATIVOS	7
1.4 ALCOHOL ETILICO O ETANOL	11
1.5 FUENTES DE MATERIA PRIMA PARA LA PRODUCCIÓN DE ETANOL	12
1.6 METODOS DE OBTENCIÓN DE ETANOL	14
1.6.1 Método “Dry Milling” Molienda Seca	15
1.6.2 Método “Wet Milling” Molienda Húmeda	17
1.6.3 Hidrólisis ácida	18
1.6.4 Fermentación directa	19
1.7 AGROINDUSTRIA DE LA CAÑA DE AZÚCAR EN COLOMBIA	22
1.8 PRODUCCIÓN DE ETANOL A PARTIR DE LA CAÑA DE AZÚCAR	27
1.8.1 Producción de etanol a partir de melazas o mieles finales	28
1.9 ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DE UN ALCOHOL	39
1.10 PRINCIPALES PAISES PRODUCTORES DE ETANOL	41
2. ETANOL COMO CARBURANTE	47
2.1 EVOLUCIÓN DE LAS GASOLINAS EN COLOMBIA	47

2.2 CALIDAD DE LAS GASOLINAS COLOMBIANAS	50
2.3 PROYECCIÓN DE LAS GASOLINAS COLOMBIANAS	52
2.4 INCORPORACIÓN DE ETANOL A LAS GASOLINAS	54
2.4.1 Ventajas técnicas	60
2.4.2 Desventajas técnicas	61
2.4.3 Características del alcohol	62
2.5 VEHÍCULOS DE COMBUSTIBLE FLEXIBLE “FLEX-FUEL”	63
3. ETANOL Y MEDIO AMBIENTE	64
3.1 CALIDAD DE LAS EMISIONES VEHICULARES	66
3.1.1 Factores que influyen en la calidad de emisiones	67
3.2 INCIDENCIA DEL ETANOL EN LAS EMISIONES VEHICULARES	68
3.2.1 Impacto del etanol sobre las emisiones de CO	69
3.2.2 Impacto del etanol en las emisiones de HC	72
3.2.3 Impacto del etanol en las emisiones de NO <sub>x</sub>	72
3.2.4 Impacto del etanol en la emisión de CO <sub>2</sub>	75
3.3 IMPACTOS ASOCIADOS A LOS PROCESOS DE PRODUCCIÓN	76
4. ETANOL EN COLOMBIA	85
4.1 PROYECTO DE ALCOHOL CARBURANTE EN COLOMBIA	86
4.2 MARCO LEGAL Y JURIDICO	88
4.2.1 Resolución No. 447 de Abril 14 de 2003 del Ministerio de Minas y Energía, y Ministerio del Medio Ambiente	88
4.2.2 Resolución No. 180687 de Junio 17 de 2003 del Ministerio de Minas y Energía	89

4.2.3 Resolución No. No. 180836 de Julio 25 de 2003 del Ministerio de Minas y Energía	89
4.2.4 Resolución No. 181710 de Diciembre 23 de 2003 del Ministerio de Minas y Energía	90
4.3 JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO	90
4.4 MERCADO POTENCIAL DE ETANOL EN COLOMBIA	93
4.5 ZONAS POTENCIALES PARA LA UBICACIÓN DE DESTILERÍAS	94
4.6 DISPONIBILIDAD DE MATERIA PRIMA	96
4.7 SELECCIÓN DE TECNOLOGIAS PARA EL PROYECTO	99
4.7.1 Biostil-Chematur Engineering	99
4.7.2 Vogelbusch	100
4.7.3 Praj + Delta T	100
4.7.4 Speichim	101
4.7.5 Zanini International	101
4.7.6 Tomsa S.A	101
4.7.7 Codistil	101
4.8 ESTRUCTURA DE PRECIOS Y DISTRIBUCIÓN DE GASOLINAS	103
4.9 PROYECTO HOYA DEL RÍO SUÁREZ	106
4.9.1 Análisis económico del proyecto	109
5. CONCLUSIONES	127
BIBLIOGRAFÍA	132
ANEXOS	134

## LISTA DE TABLAS

	<b>Pág.</b>
Tabla 1. Especificaciones técnicas de un alcohol anhidro	41
Tabla 2. Producción mundial de etanol	44
Tabla 3. Consumo mundial de etanol	45
Tabla 4. Exportaciones mundiales de etanol	46
Tabla 5. Parámetros que caracterizan la calidad de las gasolinas	51
Tabla 6. Especificaciones técnicas para las gasolinas a partir del 2005	52
Tabla 7. Propiedades físico-químicas de los combustibles	54
Tabla 8. Compañías de manufactura y modelos FFV's-E85	63
Tabla 9. Impactos asociados a la etapa de producción de etanol	81
Tabla 10. Consumo promedio de gasolinas en Colombia	94
Tabla 11. Compañías de tecnología en plantas de etanol	102
Tabla 12. Distribución del capital de inversión	108
Tabla 13. Requerimientos del complejo agroindustrial	108
Tabla 14. Parámetros macroeconómicos de proyección	114
Tabla 15. Balance de Ingresos-Egresos del año 2005	125

## LISTA DE FIGURAS

	<b>Pág.</b>
Figura 1. Dispensador de combustible oxigenado con MTBE	10
Figura 2. Estación de servicio con gasolina oxigenada con etanol	10
Figura 3. Productos ricos en sacarosa	13
Figura 4. Productos ricos en almidón	13
Figura 5. Materiales ricos en celulosa	14
Figura 6. Producción de etanol con el método "Dry Milling"	16
Figura 7. Producción de etanol con el método "Wet Milling"	17
Figura 8. Producción de etanol por hidrólisis ácida	18
Figura 9. Cadena productiva de etanol	21
Figura 10. Cultivo de caña de azúcar	23
Figura 11. Derivados químicos y componentes de la caña de azúcar	25
Figura 12. Lavado de la caña	29
Figura 13. Picadora	30
Figura 14. Molinos	31
Figura 15. Tanque clarificador	32
Figura 16. Evaporadores de cuádruple efecto	32
Figura 17. Evaporadores de simple efecto "tachos"	33
Figura 18. Centrifuga	34
Figura 19. Tanques de fermentación	36
Figura 20. Torre de destilación	37

Figura 21. Secadores	38
Figura 22. Zona de empaque	39
Figura 23. Fuentes de materia prima y usos del etanol a nivel mundial	43
Figura 24. Programa gasolina verde	49
Figura 25. Efectos del etanol sobre el IAD de la gasolina corriente	56
Figura 26. Efectos del etanol sobre el RVP de la gasolina corriente	57
Figura 27. Efectos del etanol sobre la potencia entregada	58
Figura 28. Efectos de etanol sobre el rendimiento del combustible	59
Figura 29. Residuos de la combustión	66
Figura 30. Emisiones de CO con gasolina corriente	70
Figura 31. Emisiones de CO con gasolina extra	71
Figura 32. Emisiones de HC con gasolina corriente	73
Figura 33. Emisiones de HC con gasolina extra	74
Figura 34. Ingenio Ríopaila	77
Figura 35. Zonas potenciales para la ubicación de las destilerías	96
Figura 36. Esquema actual de distribución de gasolinas	103
Figura 37. Cálculo tarifario actual	104
Figura 38. Esquema futuro de distribución de gasolinas	105
Figura 39. Fuentes de ingresos	112
Figura 40. Evolución del precio de etanol	115
Figura 41. Evolución de ingresos por venta de etanol	115
Figura 42. Evolución de otros ingresos	116
Figura 43. Evolución de los ingresos totales	117

Figura 44. Fuentes de egresos. Costos fijos	120
Figura 45. Evolución de los costos totales	121
Figura 46. Fuentes de egresos. Gastos fijos	122
Figura 47. Evolución de los gastos totales	123
Figura 48. Costos y gastos porcentuales por galón de etanol	124

## LISTA DE ANEXOS

	<b>Pág.</b>
Anexo A. Ley 693 del 19 de Septiembre de 2001 del Congreso de La República de Colombia	135
Anexo B. Resolución No. 447 de Abril 14 de 2003 del Ministerio de Minas y Energía, y el Ministerio del Medio Ambiente	139
Anexo C. Resolución No. 180687 de Junio 17 de 2003 del Ministerio de Minas y Energía	150
Anexo D. Resolución No. 180836 de Julio 25 de 2003 del Ministerio de Minas y Energía	162
Anexo E. Resolución No. 181710 de Diciembre 23 de 2003 del Ministerio de Minas y Energía	168

## GLOSARIO

**ALCOHOL:** en química orgánica es el nombre genérico de función o serie de compuestos que se caracterizan por la presencia de uno o varios oxhidrilos (OH) y por las propiedades que son peculiares a este grupo funcional. Un alcohol se clasifica de acuerdo con el número de oxhidrilos en monovalente, divalente y trivalente, y de acuerdo con el átomo de carbono al que este unido este, pueden ser primario, secundario y terciario; el etanol es un alcohol monovalente primario.

**AGROENERGIA:** Aprovechamiento de la biomasa, como fuente de energía renovable para la producción de combustibles limpios que promueven la reducción de la emisiones contaminantes causantes de la lluvia ácida y el efecto invernadero.

**ALCOHOL ABSOLUTO:** también denominado anhidro, es un etanol de 100% de pureza; por bidestilación (rectificación) se consigue concentrar el alcohol hasta un 95.6%, luego por destilación del alcohol con CaO o con benceno se consigue arrastra todo el H<sub>2</sub>O, obteniendo alcohol absoluto que ebulle a los 78°C.

**AROMATICOS:** hidrocarburos que tienen en su estructura al menos un anillo bencénico (benceno, tolueno, xilenos); aumentan octanaje.

**BIOCOMBUSTIBLES:** combustibles obtenidos de la biomasa para ser utilizados puros o mezclados con combustibles fósiles tradicionales para mejorar su calidad y sus emisiones ambientales.

**ENZIMAS:** son proteínas segregadas por organismos vegetales o animales, que actúan como catalizadores orgánicos, tienen constitución molecular a diferencia de los organismos que las producen: levaduras, bacterias y mohos; su característica más importante es su especialización reaccional, obran sobre un determinado substrato catalizando una sola reacción, de la cual se ha hecho derivar su nombre, clasificándolas en tres grandes grupos principales: hidrolasas, oxidasas y catalasas.

**FERMENTACIÓN:** proceso de descomposición de sustancias orgánicas por acción catalítica de fermentos (enzimas), segregados por organismos vivientes como las levaduras, las bacterias y los mohos. Mediante el proceso de fermentación se obtiene el etanol a partir del *saccharomyces cervisiae*, una levadura de gran aplicación en destilerías.

**GLUTEN:** complejo de proteínas de color blanco grisáceo presente en los cereales como el trigo, el maíz y el centeno, que se forma cuando se combinan con agua las proteínas gluteína y gliadina y transmiten su peculiar elasticidad a la masa para preparar el pan permitiendo que se expanda por acción del dióxido de carbono liberado por acción de las levaduras durante la cocción.

**GASOLINA:** mezcla de hidrocarburos en el rango C5 a C12, proveniente de los procesos de refinación del petróleo.

**INDICE ANTIDETONANTE:** promedio aritmético entre el RON y el MON

**INGENIO:** nombre de las grandes extensiones sembradas con caña de azúcar, incluidas las plantas de producción, donde se procesan los jugos de la gramínea para producir panela o azúcar.

**LIGNINA:** sustancia polimérica compleja presente en la pared celular vegetal que le transmite rigidez a los tallos. Fuente de materia prima para la producción de plásticos y una sustancia adecuada para el cultivo de levadura de cerveza.

**MON:** número de octano motor, determinado con la máquina a 900 r.p.m para simular conducción a alta velocidad (autopista) o con alta carga.

**OCTANAJE:** número que determina la capacidad antidetonante de un combustible, para permitir un mayor recorrido del pistón.

**PRESIÓN DE VAPOR REID (RVP):** presión ejercida por un vapor con su líquido en equilibrio a 25 °C. Es una medida de la facilidad de evaporación de las fracciones livianas de una gasolina.

**RON:** número de octano de investigación, determinado con la máquina a 600 r.p.m para simular la conducción a baja velocidad (dentro de ciudades).

**RFG:** sigla en inglés de la gasolina reformulada, producida en los EE.UU. desde 1.992 para cumplir los acuerdos pactados en el acta de aire limpio federal que especifica la obligatoriedad de utilizar aditivos oxigenados en las gasolinas de invierno en áreas con altos niveles de monóxido de carbono.

**TITULO: ETANOL COMO CARBURANTE UNA ALTERNATIVA ENERGETICA ECONOMICA DE BAJO IMPACTO AMBIENTAL \***

**AUTOR: ING. WILLIAM PITTA MENESES\*\***

**PALABRAS CLAVES**

**Etanol  
Caña de azúcar  
Emisiones de CO, CO<sub>2</sub>  
Efecto invernadero  
Balanza energética**

**DESCRIPCIÓN Y CONTENIDO**

El objetivo de esta monografía es establecer las ventajas de la utilización del Etanol como carburante en Colombia, mediante la identificación y descripción de las características técnicas, económicas y ambientales que esta nueva alternativa energética ofrece.

Los altos costos de la gasolina, su importación a mediano plazo, el impacto ambiental generado por los residuos de su combustión, y la necesidad inmediata de compensar la balanza energética entre los productos refinados por ECOPETROL, con la demanda de combustibles líquidos como la gasolina y el ACPM que requiere el país, constituyen la causa fundamental para que en Colombia, el gobierno nacional mediante la ley 693 del 19 de Septiembre de 2001, aprobará la utilización de alcohol como carburante de las gasolinas a partir de Septiembre 27 del año 2005. La producción y distribución de Etanol a partir de la caña de azúcar en Colombia permite: La oferta de gasolinas, la reducción de emisiones de CO y CO<sub>2</sub> causantes de la lluvia ácida y el efecto invernadero, la generación de más de 150,000 empleos directos e indirectos, la reactivación y tecnificación del campo, reducir la utilización de compuestos oxigenantes contaminantes como el MTBE, aumento de 3 a 4 Octanos de la gasolina corriente, y un ahorro de divisas para el país equivalente a USD \$150 Millones por la sustitución de 4.7 Millones de barriles de gasolina. La producción de Etanol establece el desarrollo de una nueva industria con perspectivas positivas para la conservación del medio ambiente y facilitan la inversión de la industria privada nacional y extranjera en la construcción ó ampliación de refinerías para su procesamiento.

Esta monografía, le permite a un gerente ó inversionista relacionado con el entorno de los combustibles la conceptualización y evaluación de este tipo de proyectos que involucra una nueva fuente de energía renovable para nuestro país. Como fuente de información se utilizaron Proyectos de grado, Memorias de Seminarios sobre el proyecto Etanol en Colombia, Proyectos de implementación en otros países, Normas y Artículos de Internet relacionados con Etanol.

---

\* Monografía

\*\* Escuela de Ingeniería de Petróleos. Especialización en Gerencia de Hidrocarburos. Ing. Nicolas Santos Santos

**TITLE: ETHANOL AS FUEL, AN ECONOMIC ENERGY ALTERNATIVE OF UNDER ENVIRONMENTAL IMPACT \***

**AUTHOR: ING. WILLIAM PITTA MENESES\*\***

**KEY WORDS**

**Ethanol  
Cane of sugar  
Emissions of CO, CO<sub>2</sub>  
Hothouse Effect  
Energy scale**

**DESCRIPTION AND CONTENT**

The objective of this monograph is to establish the advantages of the use of the Ethanol like fuel in Colombia, by means of the identification and description of the technical, economic and environmental characteristics that this new energy alternative offers.

The high costs of the gasoline, their import to medium term, the environmental impact generated by the residuals of its combustion, and the immediate necessity of compensating the energy scale among the products refined by ECOPETROL, with the demand of liquid fuels as the gasoline and the ACPM that it requires the country, constitutes the fundamental cause so that in Colombia, the national government by means of the law 693 of September 19 of 2001, will approve the use of alcohol as fuel of the gasolines, starting from September 27 of the year 2005. The production and distribution of Ethanol starting from the cane of sugar in Colombia allow: The offer of gasolines, the reduction of emissions of CO and causing CO<sub>2</sub> of the sour rain and the effect hothouse, the generation of more than 150,000 direct and indirect employments, the reactivation and tecnification of the field, to reduce the use of compound polluting to oxygenate as the MTBE, increase of 3 to 4 Octanes of the standard gasoline, and a saving of foreign currencies for the equivalent country to USD \$150 Millions for the substitution of 4.7 Million of gasoline barrels. The productions of Ethanol establish the development of a new industry with positive perspectives for the environment conservation and facilitate the investment of the foreign and national private industry in the construction or amplification of refineries for their processing.

This monograph, allows a manager or investor related with the environment of the fuels the conceptualization and evaluation of this type of projects that it involves a new source of renewable energy for our country. As source of information grade Projects were used, Memoirs of Seminars on the project Ethanol in Colombia, implementation Projects in other countries, Norms and Articles of Internet related with Ethanol.

---

\* Monografía

\*\* Escuela de Ingeniería de Petróleos. Especialización en Gerencia de Hidrocarburos. Ing. Nicolás Santos Santos

## INTRODUCCIÓN

El Etanol como oxigenante de las gasolinas ha sido utilizado por varios países con experiencias positivas dadas las ventajas técnicas, económicas y ambientales que esta fuente de energía renovable ofrece. En Colombia, el gobierno nacional establece su implementación como una alternativa viable para compensar la balanza energética entre los productos refinados por ECOPETROL y la demanda de combustibles líquidos como la Gasolina y el ACPM que requiere el país.

Mediante la ley 693 del 19 de Septiembre del 2001, el gobierno dictó normas sobre el uso de alcoholes carburantes, y estableció estímulos para su producción, comercialización y consumo. Los combustibles llamados a utilizar la mezcla son la gasolina y el ACPM, a partir de Septiembre 27 del año 2005, en la cantidad y calidad que establezca el Ministerio de Minas y Energía.

El Etanol, es un alcohol de alto octanaje, que se obtiene por fermentación del jugo de caña de azúcar, principalmente, aunque puede ser obtenido mediante procesos combinados de hidrólisis y fermentación, de materias primas como: el maíz, la yuca, la papa y el sorgo. Para su uso comercial e industrial siempre es desnaturizado, es decir se le adicionan pequeñas

cantidades de sustancias nocivas al organismo para evitar su uso como bebida alcohólica.

Colombia, dada su ubicación geográfica y sus grandes extensiones agrícolas proclives a la explotación de la caña de azúcar, como son el Valle del Cauca y la hoya del Río Suárez en Santander, se presenta con posibilidades ilimitadas para acometer el proyecto de producir etanol con fines energéticos e industriales. Con esta estrategia Colombia entrará en la era de la agroenergía a través de la utilización de combustibles limpios que promueven la reducción de las emisiones de gases contaminantes a partir de productos agrícolas como la caña de azúcar.

El etanol como combustible establece el desarrollo de una nueva industria con perspectivas positivas para el medio ambiente, y la inversión de la empresa privada nacional y extranjera en la construcción de destilerías para el procesamiento del etanol. Entre las empresas nacionales se encuentran Los ingenios Providencia, Manuelita, y Mayagüez, en el departamento del valle, e Incauca y el Ingenio Risaralda en el departamento del Cauca que contrataron el montaje de cinco destilerías de alta tecnología con una inversión de USD \$ 75 millones para producir un millón de litros de alcohol por día. Entre las empresas extranjeras se encuentra el grupo Santa Elisa de Brasil que ofreció transferencia de tecnología, ingeniería y montaje.

Además de los beneficios que trae el uso del etanol como combustible, también ofrece la oportunidad de vender toneladas de aire limpio que se traduce en créditos de carbono en el mercado internacional aplicando los mecanismos flexibles del protocolo de Kyoto. El proyecto etanol le representa un ahorro significativo de divisas para el país equivalente a USD \$ 150 millones anuales por la sustitución de 4.7 millones de barriles de gasolina, que finalmente se traduce en oferta de combustibles líquidos como la gasolina y el ACPM.

La monografía se desarrolla en cuatro capítulos, en el primer capítulo denominado Generalidades, se presentan los conceptos básicos de biomasa y biocombustibles, se referencian las fuentes de materia prima, métodos de obtención, y procesos de producción de alcohol a partir de la caña de azúcar. En el segundo capítulo denominado Etanol como Carburante se establecen las ventajas y desventajas técnicas de su utilización, teniendo como referencia las pruebas dinamométricas y de laboratorio realizadas por el ICP-ECOPETROL. En el tercer capítulo denominado etanol y medio ambiente, se presentan las bondades ambientales de este combustible, en la reducción de emisiones contaminantes causantes de la lluvia ácida y el efecto invernadero, igualmente se realiza una evaluación de los impactos ambientales asociados con su producción, y en el cuarto capítulo, denominado Etanol en Colombia, se hace un breve recuento de la industria alcoholera en Colombia y se presenta el proyecto de Ley 693/01 que establece la obligatoriedad de

mezclar componentes oxigenados como alcoholes carburantes con las gasolinas, el marco legal y regulatorio, mercado potencial, tecnologías disponibles para su ejecución, disponibilidad de materia prima, y se hace una breve referencia del proyecto de la Hoya del Río Suárez.

Esta monografía, recopila e integra información y experiencias sobre la utilización del etanol como carburante, disponibles en proyectos afines de otros países, con el objeto de presentar un material de referencia y fácil consulta sobre este tema que es novedad en Colombia, con el único interés de suministrar herramientas de juicio a gerentes, empresarios o inversionistas relacionados con el entorno de los combustibles sobre una nueva alternativa energética para nuestro país, que redundará en beneficios económicos y ambientales, y que a corto plazo podría disminuir la dependencia energética del petróleo.

## **1. GENERALIDADES**

### **1.1 BIOMASA**

La energía de la biomasa se obtiene esencialmente de residuos forestales, urbanos y agrícolas. La biomasa se subdivide así en tres categorías:

- Biomasa agrícola: que procede de ramas y residuos de cortas, cortezas, serrines, copas, agujas de coníferas y otros residuos forestales.
- Biomasa agroalimentaria: que proviene básicamente de la producción agrícola y ganadera, así como de los residuos del campo.
- Biomasa urbana: que se compone de residuos municipales, comerciales e industriales.

Dado que contiene carbono e hidrogeno la biomasa puede ser considerada como combustible. Se utiliza en diferentes ámbitos para cubrir diversos requerimientos energéticos, como la producción de electricidad y calor. Puede así mismo utilizarse en la producción de combustibles para automotores, en forma de alcohol o biodiesel.

Las nuevas tecnologías de valorización energética de la biomasa suscitan gran interés especialmente para los productos con valor agregado como los aceites de pirolisis, el biodiesel, el etanol y el metanol.

## **1.2 BIOCOMBUSTIBLES**

Son Combustibles obtenidos de la biomasa para ser utilizados puros o mezclados con los combustibles fósiles tradicionales para mejorar su calidad y sus emisiones ambientales entre los que se encuentran:

- Bioalcohol: Alcohol obtenido por fermentación de productos ricos en azúcares, almidones o celulosa.
- Biodiesel: Aceite combustible obtenido del girasol, la palma africana y la canola mediante el proceso químico de Fisher-Tropsch.

Entre los alcoholes utilizados como combustibles alternativos se encuentran el Etanol y el Metanol, que dadas sus características de baja emisividad de agentes contaminantes y alto octanaje representan una opción ecológica y económica viable para el futuro energético del país.

### 1.3 COMBUSTIBLES ALTERNATIVOS

Son combustibles que pueden ser utilizados puros o como aditivo de las gasolinas, un ejemplo de estos combustibles lo constituyen el Etanol y el Metanol, los cuales han sido utilizados con buenos resultados en Canadá, Estados Unidos y Brasil con las siguientes especificaciones:

- E5: Mezcla que contiene el 95% de gasolina súper sin plomo y 5% de etanol anhidro al 99.5%, por volumen.
- E10 (Gasohol): Mezcla que contiene 90% de gasolina súper sin plomo y 10% de etanol anhidro por volumen.
- E15 (Alconafta): Mezcla que contiene 15% de etanol anhidro y 85% de nafta súper por volumen.
- E85: Mezcla que contiene 85% de etanol anhidro y 15% de gasolina súper sin plomo por volumen.
- E93: Mezcla que contiene 93% de etanol anhidro, 5% de metanol anhidro y 2% de queroseno por volumen.

- E95: Mezcla que contiene 95% de etanol anhidro y 5% de nafta súper sin plomo.
- E100: Etanol anhidro puro.
- M85: Mezcla que contiene 85% de metanol anhidro y 15% de gasolina súper sin plomo por volumen.

Aditivos oxigenantes utilizados para producir una combustión mas limpia como:

- ETBE (Ethyl Tertiari Butyl Ether o etil terbutil éter): Se puede añadir a la gasolina hasta un 17% por volumen.
- MTBE (Methyl Tertiari Butyl Ether o metil terbutil éter): Aditivo cuyo uso ha sido prohibido en Estados Unidos debido a su toxicidad.

El MTBE es una sustancia química usada en la fabricación de gasolina, de olor característico desagradable que se fabrica a partir del isobutileno y el metanol. El objetivo de utilizar MTBE es promover una combustión completa y reducir el nivel de emisiones de monóxido de carbono por el escape de los

vehículos. Este compuesto también se denomina como un “oxigenado” cuando se emplea en la gasolina.

El MTBE ha sido usado en la gasolina en los Estados Unidos desde los años 70, para incrementar su octanaje, y a partir de 1992, se ha utilizado en más de 15 estados para cumplir con la Acta de Aire Limpio federal, que requiere que aditivos oxigenados sean añadidos a la gasolina de invierno en áreas con altos niveles de monóxido de carbono. En 1995 el MTBE fue añadido a la gasolina durante todo el año para cumplir con los requisitos federales de la gasolina reformulada (RFG, siglas en inglés).

Debido al incremento en el su uso del MTBE en los Estados Unidos, durante los últimos años, y al almacenamiento de gasolina reformuladas en tanques subterráneos se han producido filtraciones hacia las fuentes de agua subterráneas originando la contaminación de estos acuíferos; Estas preocupaciones con respecto al MTBE y a la contaminación de los acuíferos subterráneos, ha ocasionado que veintisiete estados de EE.UU., hayan iniciado trámites para la prohibición o disminución del uso de MTBE en la gasolina a partir del 31 de Diciembre de 2002. En su lugar se aprobó la utilización del Etanol como oxigenante de las gasolinas. Véase Figura 1 y 2

**Figura 1. Dispensador de combustible oxigenado con MTBE**



Fuente: Programa de oxigenación de combustibles con etanol carburante. Rolando Ponciano. Guatemala 2004

**Figura 2. Estación de servicio con gasolina oxigenada con etanol**



Fuente: Programa de oxigenación de combustibles con etanol carburante. Rolando Ponciano. Guatemala 2004

## 1.4 ALCOHOL ETILICO Ó ETANOL

El Etanol ( $C_2H_5OH$ ) es un alcohol Monovalente Primario, líquido e inflamable, incoloro y volátil, de olor agradable, y baja toxicidad, presenta características de alto octano, pero bajo cetano. El etanol puede ser obtenido mediante procesos de fermentación, ó mediante procesos combinados de hidrólisis y fermentación.

El etanol tiene aplicaciones potenciales (como alcohol anhidro) en los siguientes procesos:

- Bebidas alcohólicas
- Combustible
- Detergentes
- Pinturas
- Cosméticos
- Aerosoles

- Jabones
- Perfumería
- Medicina
- Mezcla de solventes
- Alimentos
- Otros

### **1.5 FUENTES DE MATERIA PRIMA PARA LA OBTENCIÓN DE ETANOL**

El etanol, también conocido como alcohol etílico o de grano se obtiene a nivel industrial a partir de tres fuentes de materia prima:

- Productos ricos en sacarosa: como la caña de azúcar, la remolacha azucarera y el agave. Véase Figura 3

**Figura 3. Productos ricos en Sacarosa**



Fuente: Autor de la monografía

- Productos ricos en almidón: cereales (maíz, trigo y cebada) y tubérculos (yuca, papa y camote). Véase Figura 4

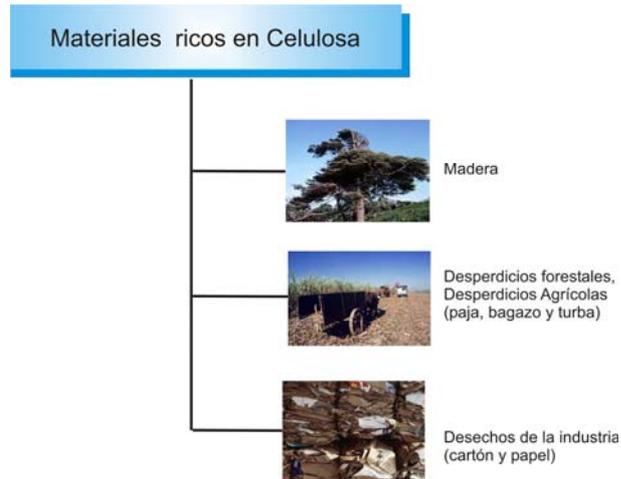
**Figura 4. Productos ricos en almidón**



Fuente: Autor de la monografía

- Materiales ricos en celulosa: como la madera y desperdicios agrícolas e industriales. Véase Figura 5

**Figura 5. Materiales ricos en Celulosa**



Fuente: Autor de la monografía

Estas tres fuentes de materia prima requieren procesos físicos y químicos adicionales, que se realizan en las plantas de producción para la obtención final del Etanol.

## 1.6 METODOS DE OBTENCIÓN DEL ETANOL

Para la obtención del etanol se han desarrollado cuatro métodos, cuya aplicación está supeditada exclusivamente por el tipo de materia prima a procesar, es decir, si son productos ricos en almidón, sacarosa o materiales

ricos en celulosa. De acuerdo con la fuente de materia los métodos a seleccionar son:

- Métodos “Dry Milling” Molienda seca
- Método “Wet Milling” Molienda Húmeda
- Método de Hidrólisis - Acida
- Fermentación Directa

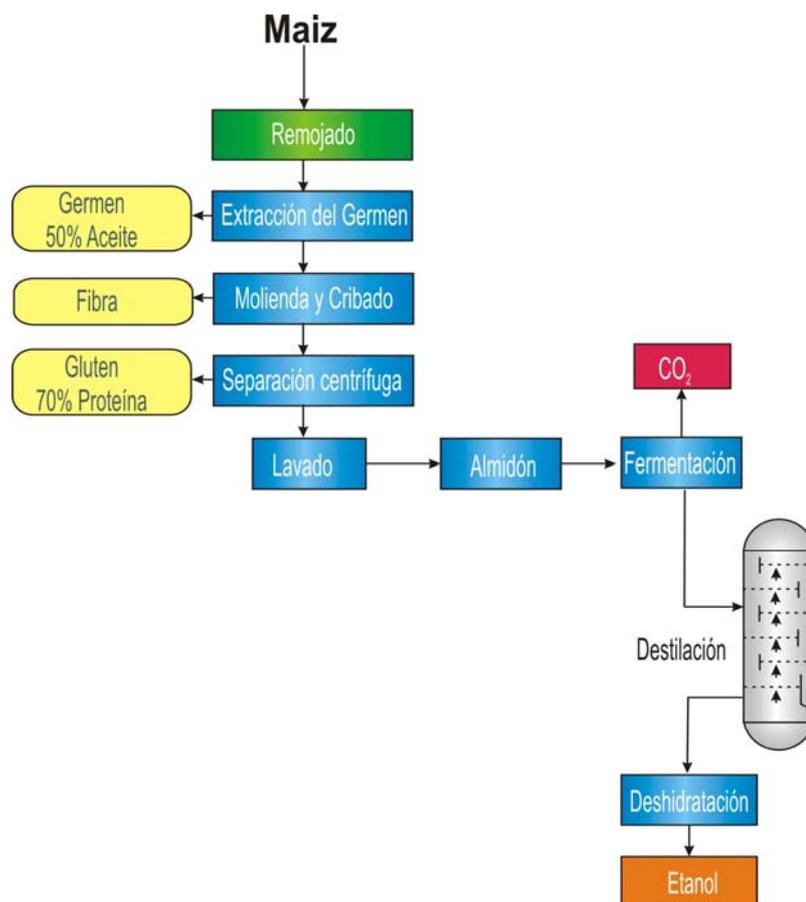
**1.6.1 Método “Dry Milling” Molienda seca.** Se utiliza industrialmente para la obtención de etanol a partir de fuentes de materia ricas en almidón como los cereales. El método de molienda seca, se caracteriza por la división brusca del cereal, que se realiza en seco mediante molinos de martillo, seguida de un calentamiento y licuefacción. Véase Figura 6

El método “Dry Milling” y el “Wet Milling” realizan el proceso de sacarificación, o conversión del almidón en azúcar, por hidrólisis. Esta reacción química es catalizada con enzimas denominadas hidrolasas, que son proteínas encargadas de acelerar la reacción.



**1.6.2 Método “Wet Milling” Molienda húmeda.** Al igual que el método anterior, se utiliza para obtener etanol a partir de productos ricos en Almidón como los cereales. A diferencia del “Dry Milling” el grano es sometido a remojo antes de la molienda y cribado. Se utiliza especialmente en cereales como el maíz, para extraer previamente el germen, la fibra y el gluten. El proceso de sacarificación es similar al “Dry Milling” y las reacciones químicas que describen el proceso de hidrólisis son similares. Véase Figura 7

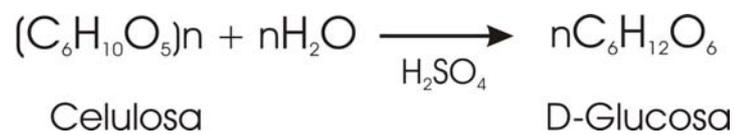
**Figura 7. Producción de etanol con el método “Wet Milling”**



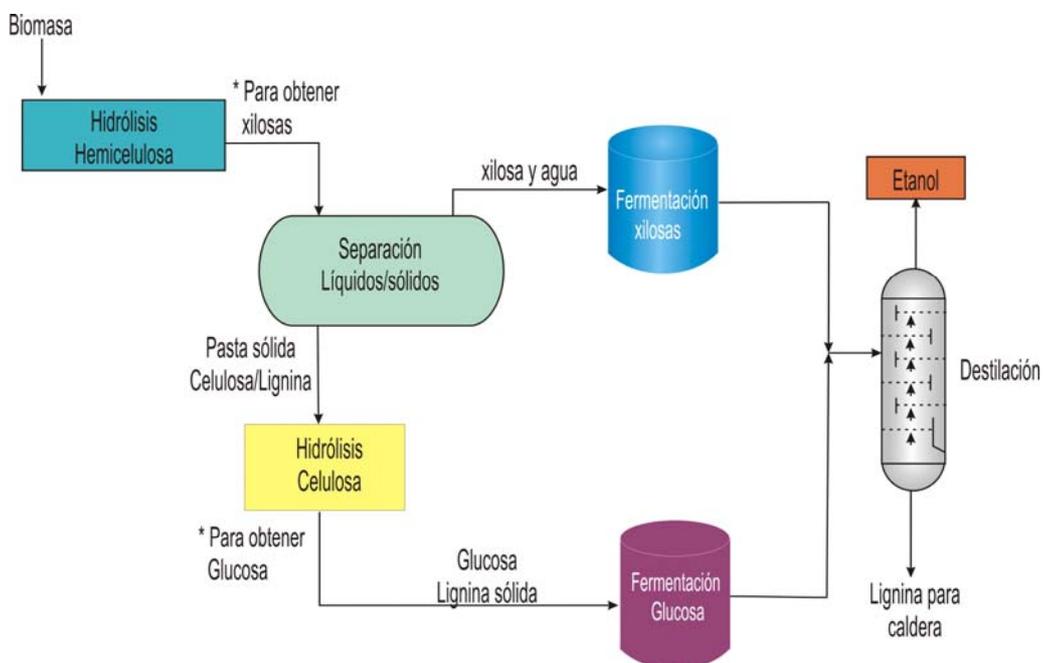
Fuente: Esquemas de producción de etanol. <http://www.milarium.com>

**1.6.3 Hidrólisis ácida.** Este método se utiliza para la obtención de etanol a partir de materiales ricos en celulosa, y a diferencia de los métodos anteriores, la hidrólisis tiene lugar en presencia de ácido sulfúrico como agente catalizador. Véase Figura 8

La reacción química de la hidrólisis ácida es:



**Figura 8. Producción de etanol por Hidrólisis ácida**

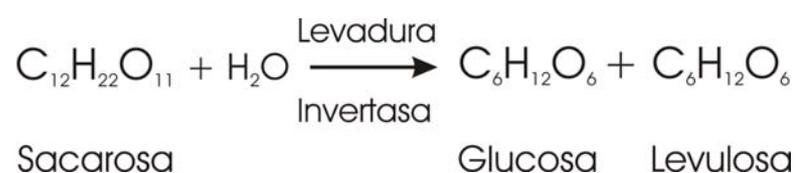


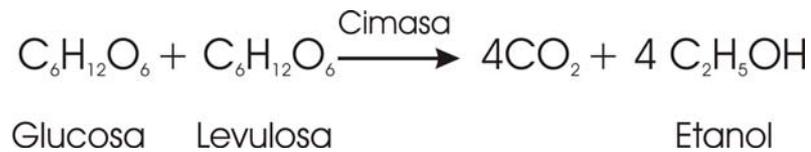
Fuente: Esquemas de producción de etanol. <http://www.milarium.com>

Las reacciones de hidrólisis descritas anteriormente para los métodos de “Dry Milling”, “Wet Milling” e hidrólisis ácida se aplican a las fuentes de materia primas ricas en almidón y celulosa, con el objeto de extraer los azúcares simples o glucosa que posteriormente mediante procesos de fermentación y destilación nos dan como resultado final etanol.

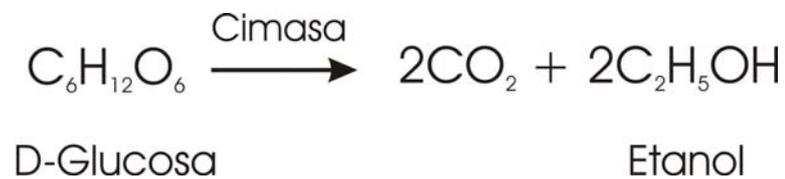
**1.6.4 Fermentación directa.** Se aplica directamente a las fuentes de materia prima ricas en sacarosa, como los jugos provenientes de la caña de azúcar, la remolacha azucarera y el agave. Esta reacción química inducida mediante la acción de enzimas específicas como la cimasas, segregada de la levadura, permite convertir los azúcares simples como la glucosa en alcohol etílico y dióxido de carbono. El alcohol obtenido es separado por destilación y deshidratado en tamices moleculares que dan como resultado etanol anhidro del 99.5% de pureza. El dióxido de carbono producido es recuperado y vendido, para ser utilizado en la fabricación de hielo seco, bebidas carbónicas y extintores.

La reacción de fermentación inducida en los azúcares provenientes de los productos ricos en sacarosa esta dada por:





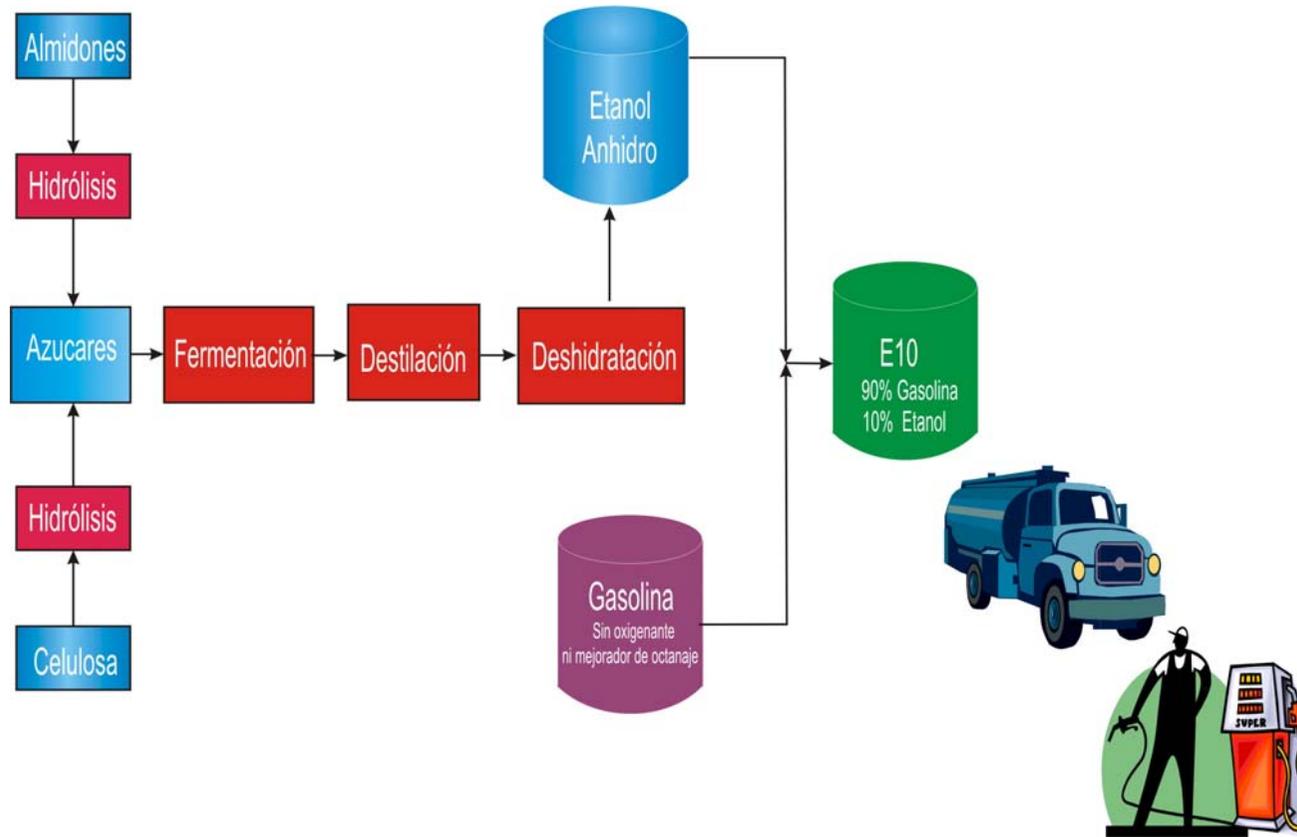
La reacción de fermentación inducida en los azúcares provenientes de los productos ricos almidón y materiales ricos en celulosa esta dada por:



Analizadas las fuentes de materia prima y los métodos disponibles para la obtención de etanol, se observa que los productos ricos en sacarosa ofrecen la mejor opción, ya que requieren menor infraestructura y tratamiento en las plantas de producción, al mismo tiempo que sus mieles producen un mayor rendimiento durante el proceso de conversión. Véase Figura 9

Esta monografía centra su atención en la producción de etanol a partir de la caña de azúcar, dadas las condiciones geográficas y climatológicas óptimas que nuestro país ofrece para la siembra de esta gramínea.

Figura 9. Cadena Productiva de etanol



Fuente: Autor de la Monografía

## **1.7 AGROINDUSTRIA DE LA CAÑA AZÚCAR EN COLOMBIA**

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

Cristóbal Colón introdujo la caña en América en su segundo viaje (1493) a la Isla de La Española, cañas que no prosperaron. Tan sólo en 1501 fueron introducidas plantas que sí crecieron. El éxito de las plantaciones de azúcar en Santo Domingo llevó a su cultivo a lo largo del Caribe y América del Sur.

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 Amaime 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. La caña cultivada en ese entonces se denomina criolla, originada de las cañas introducidas por los españoles

Pertenciente a la familia de las gramíneas, la caña de azúcar tiene un tallo leñoso, de unos dos metros de altura, hojas largas, lampiñas y flores

purpúreas en panoja piramidal. El tallo está lleno de un tejido esponjoso y dulce del que se extrae el azúcar. Véase Figura 10

**Figura 10. Cultivo de caña de azúcar**



Fuente: imágenes asocaña. <http://www.asocaña.com>

La caña de azúcar se cultiva prácticamente en todas las regiones tropicales y subtropicales de la tierra. En Colombia se cultiva en forma productiva desde el nivel del mar hasta alturas superiores a los 2.000 metros en las más variadas condiciones de temperatura, luminosidad, precipitación y calidad de suelos.

Aunque la cosecha de la planta se realiza aproximadamente cada año (en las regiones cálidas), su rápida capacidad de rebrote permite varias cosechas sucesivas a partir de la siembra inicial. En nuestro país las renovaciones del cultivo se realizan entre cada cuatro y ocho años y es común encontrar en las zonas paneleras cultivos con más de 20 años de establecidos. Al ser un cultivo perenne permite una captura permanente del recurso tropical más abundante, la luz solar, disminuye los costos y los riesgos asociados a la siembra en los cultivos semestrales y anuales y mantiene una cobertura constante sobre el suelo lo que disminuye los costos de control de malezas y permite un uso más eficiente del agua y un mejor control de la erosión.

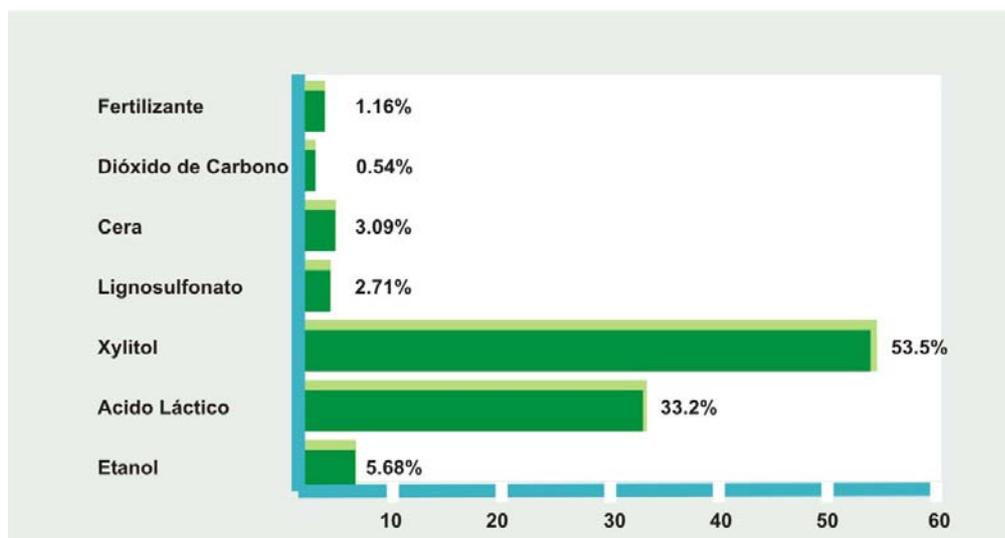
Durante su largo proceso evolutivo la caña ha desarrollado una muy alta capacidad para la producción y almacenamiento de sacarosa (azúcar). Ha sido esta cualidad por la cual el hombre ha cultivado y continúa cultivando la caña y por lo cual su cultivo se ha diseminado por todo el mundo tropical y subtropical.

La caña de azúcar está constituida básicamente por agua y carbohidratos. Los carbohidratos se hayan presentes en forma tanto insoluble en agua (la fibra) como soluble (sacarosa, glucosa, fructuosa). Los contenidos de cenizas, lípidos (extracto etéreo) y proteína son prácticamente despreciables.

Para la agroindustria de la caña de azúcar, la sacarosa presente en la planta es el elemento que finalmente saldrá al mercado, ya sea en forma de azúcar alcohol, ó panela. Por lo tanto, el cultivo de la caña, sus prácticas agronómicas y los programas de mejoramiento genético, han estado encaminados hacia la selección de variedades que produzcan mayores niveles de sacarosa por unidad de área. La sacarosa constituye aproximadamente el 50% del total de la materia seca del tallo maduro de la caña de azúcar.

Además del azúcar y la panela, en la Figura 11, se presentan un sin número de derivados químicos de uso industrial que se pueden obtener de la caña de azúcar, como son:

**Figura 11. Derivados químicos y componentes de la caña de azúcar**



Fuente: ¿Como se utiliza el etanol? <http://www.prensa.com>

- Etanol: Combustible para el transporte
- Bagazo: Cogeneración de electricidad
- Productos químicos orgánicos
- Ácido láctico: Conserva de alimentos, materia prima para plásticos biodegradables, poliéster, etc.
- Xylitol: Alcohol de azúcar con amplias aplicaciones en los mercados de los dulcificantes de bajas calorías y de dietas, que es dentalmente inofensivo y efectivo en prevenir infecciones de la oreja, etc.
- Lignosulfonato: Aditivo de concreto, más resistente contra sismos, aglutinante de alimentos para animales, surfactante, etc.
- Cera: Pulimentos para carros, muebles, zapatos, cosméticos, etc.
- Dióxido de carbono - CO<sub>2</sub>: Industrias de bebidas gaseosas, usos industriales, etc.
- Vanillin/vanilla: Saborizante, perfumes, etc.

- Fertilizantes Ca/Mg
- Complejo de Proantocianidinas Oligoméricas (OPC Olygomic Proanthocydin Complex) limitado al pino: antioxidante contra el cáncer, enfermedades del corazón, etc.

## **1.8 PRODUCCIÓN DE ETANOL A PARTIR DE LA CAÑA DE AZUCAR**

Las opciones de producción de Etanol a partir de la caña de azúcar son las siguientes:

- A través del uso de melazas o mieles finales, residuales del proceso de centrifugado en las plantas de producción de azúcar.
- Utilizando mieles intermedias “A” y “B”, con importantes aumentos del rendimiento y para bebidas de calidad.
- Empleándose para este fin mieles vírgenes, el jugo o guarapo. Esto se realiza en destilerías autónomas; prescindiéndose entonces del área de producción de azúcar.
- Aprovechamiento de jugos pobres (Maceración y Filtrados)

Esta monografía toma como referencia los procesos de producción de etanol a partir del uso de melazas o mieles finales, teniendo en cuenta que es el más utilizado en la mayoría de ingenios, que son reconvertidos a destilerías.

**1.8.1 Producción de Etanol a partir de melazas o mieles finales.** Las mieles finales son los residuos de las etapas de cristalización y centrifugación en el proceso de extracción de azúcar de los jugos provenientes de la caña.

En un proceso combinado de producción de azúcar y etanol intervienen las siguientes etapas o procesos:

- **Entrada de la caña:** En esta etapa se realiza el pesaje mediante una báscula electrónica, el muestreo con una sonda mecánica oblicua o “coresampler”, y el lavado de la caña proveniente del corte con el objeto de determinar el rendimiento del proceso, sus características de calidad como contenido de sacarosa, fibra y remover impurezas respectivamente. Véase Figura 12

**Figura 12. Lavado de la caña**



Fuente: Ingenio del Cauca S.A. <http://www.asocaña.com>

- **Molienda:** La caña lavada pasa a través de un sistema de bandas transportadoras hacia las picadoras, que son ejes accionados por turbinas, provistos de cuchillas que giran a una velocidad de 650 r.p.m, bajo las cuales se hace pasar el colchón de caña, que se fracciona abriendo las celdas de los tallos para facilitar la extracción del jugo que contiene, luego es transportada a los molinos constituidos por varios juegos de 3 ó 4 mazas metálicas en medio de las cuales se hace pasar el colchón de caña y mediante presión se extrae el jugo que se recolecta en tanques.

Cada molino está equipado con una turbina accionada con vapor de alta presión, un sistema de transmisión y reductores de velocidad. Los

molinos son un tándem de 6 unidades con 4 mazas cada una, con una capacidad de extracción de sacarosa superior al 97 %.

En el recorrido de la caña por el molino, se le agrega agua para insaturar los jugos y lograr extraerle la sacarosa que contiene el material fibroso que pasa a través de todas las unidades que componen el molino.

El bagazo que sale de la última unidad de molienda se conduce a las calderas para que sirva como combustible y produzca el vapor de alta presión que se emplea en las turbinas de los molinos para lograr su movimiento y en los turbogeneradores para producir la energía eléctrica requerida por el ingenio y la energía suministrada como excedente a la red pública. Véase Figura 13 y 14

**Figura 13. Picadora**



Fuente: Ingenio del Cauca S.A. <http://www.asocaña.com>

**Figura 14. Molinos**



Fuente: Ingenio del Cauca S.A. <http://www.asocaña.com>

- **Clarificación:** El jugo que se extrae del molino se pesa en básculas, para luego ser calentado con vapor en intercambiadores de tubo y coraza hasta una temperatura de 102-105 °C y se dispone en tanques clarificadores de 65000 galones de volumen cada uno y tres horas de retención, donde los sólidos no azúcares floculados por la alcalización y calentamiento se precipitan por gravedad en forma de un lodo llamado cachaza. El jugo clarificado sobrenadante se pasa por tamices finos para remover partículas y se envía hacia los evaporadores. Los lodos o cachaza se pasan a los filtros rotatorios y al vacío, los cuales están recubiertos con finas mallas metálicas que dejan pasar el jugo, pero retienen la cachaza, que se utiliza como abono orgánico en la plantación. Véase Figura 15

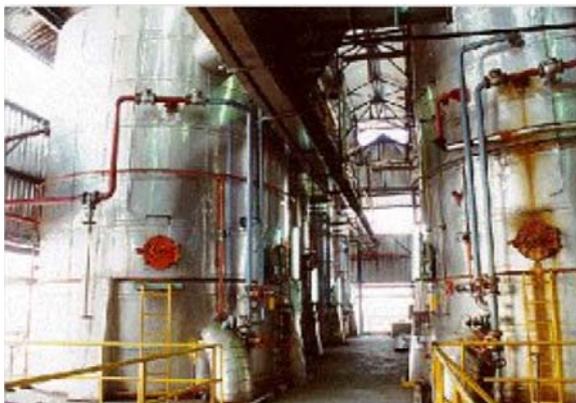
**Figura 15. Tanque Clarificador**



Fuente: Ingenio del Cauca S.A. . <http://www.asocaña.com>

- **Evaporación:** Luego el jugo clarificado pasa a los evaporadores, que funcionan al vacío para facilitar la ebullición a menor temperatura. En este paso se le extrae el 75% del contenido de agua al jugo, para obtener el jarabe. Véase Figura 16

**Figura 16. Evaporadores de cuádruple efecto**



Fuente: Ingenio del Cauca S.A. <http://www.asocaña.com>

• **Cristalización:** La sacarosa contenida en la meladura cristaliza llevándola hasta el nivel meta estable de sobresaturación por evaporación al vacío en evaporadores de simple efecto conocidos industrialmente como “tachos”. El material resultante que contiene líquido (miel) y cristales (azúcar) se denomina masa cocida. El trabajo de cristalización se lleva a cabo empleando el sistema de tres cocimientos o templeas para lograr una mayor recuperación de sacarosa. Véase Figura 17

**Figura 17. Evaporadores de simple efecto “Tachos”**



Fuente: Ingenio del Cauca S.A. <http://www.asocaña.com>

- **Centrifugación:** Los cristales de azúcar se separan de la miel restante mediante fuerza centrífuga en tambores rotatorios que contienen mallas interiores, durante el proceso de centrifugado, el azúcar se lava con agua caliente para eliminar la película de miel que recubre los cristales y se descarga para conducirla a las secadoras.

Las mieles finales vuelven a los tachos, o bien se utilizan como materia prima para la producción de etanol en la destilería. Véase Figura 18

**Figura 18. Centrifuga**



Fuente: Ingenio del Cauca S.A. <http://www.asocaña.com>

*Para la producción de etanol se recuperan las mieles finales de la etapa de centrifugado y se pasan por las siguientes etapas en la destilería:*

- **Fermentación:** En esta etapa las mieles finales se introducen en una serie de tanques para su fermentación mediante la adición de levaduras específicas como el *Saccharomyces cerevisiae*, encargadas de transformar los azúcares presentes en las mieles en alcohol. Así se obtiene una cerveza de contenido alcohólico aproximado del 10% la cual pasa a la fase de destilación y deshidratación.

*Saccharomyces cerevisiae* ha sido el microorganismo más utilizado, y su cepa inicial es suministrada por la empresa que instala la planta. Esta cepa tiene una alta tolerancia a la concentración de etanol. La levadura es propagada sólo en el primer tanque, ya que al inicio del proceso irán pasando a los tanques sucesivos a medida que vaya discurriendo el flujo por los distintos fermentadores. Una de las claves principales para el éxito del proceso es mantener un nivel de células de *Saccharomyces* alto para tener una rápida fermentación, esto se logra mediante el reciclado de las vinazas después de su destilación lo que hará que se mantenga biocatalizador dentro del sistema reactor. Véase Figura 19

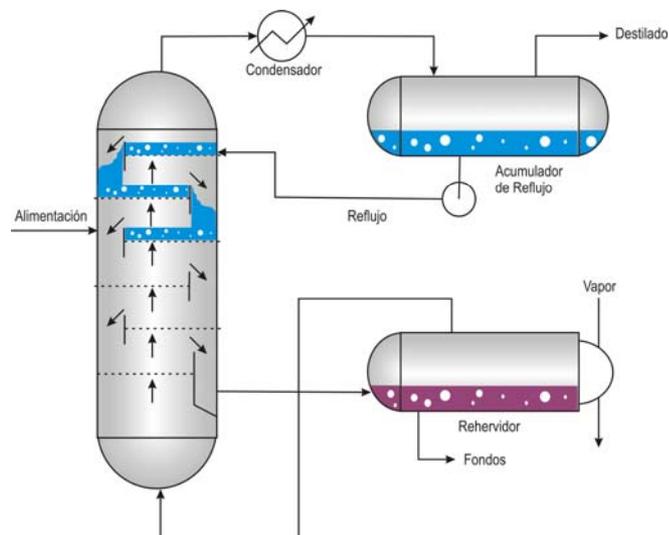
**Figura 19. Tanques de fermentación**



Fuente: Ingenio del Cauca S.A. <http://www.asocaña.com>

- **Destilación:** Esta etapa permite la separación del alcohol presente en las mieles finales, teniendo como referencia la diferencia de volatilidad de sus compuestos (puntos de ebullición). Consiste en elevar la temperatura de los azúcares o mieles finales a un valor superior al punto de ebullición del etanol ( $T_{\text{ebullición}}=78.9^{\circ}\text{C}$ , con una densidad relativa de 0,789 a  $20^{\circ}\text{C}$ ), pero inferior al punto de ebullición del agua; los vapores generados pasan través de una torre de destilación al vacío, que consta de un sin número de platos en donde interactúan las fases vapor y líquido, y que por condensación dan como resultado etanol hidratado al 95% de pureza mediante un proceso conocido como rectificación o destilación fraccionada. Véase Figura 20

**Figura 20. Torre de destilación**



Fuente: Autor de la Monografía

El etanol hidratado es calentado nuevamente y enviado a la etapa de deshidratación.

- **Deshidratación:** Estos vapores con contenido alcohólico de 95-96% se introducen en el tamiz molecular, que en su interior tiene un lecho de zeolitas (sustancia higroscópica), capaz de absorber, a la temperatura y presión del proceso, el agua de los vapores alcohólicos elevando la concentración a más del 99,75%. El tamiz molecular tiene dos torres que operan en modo regeneración/absorción, cuando una torre absorbe la humedad presente en los vapores de etanol, la otra se regenera por

inmersión en alcohol anhidro. El alcohol así obtenido, se enfría y se manda a los tanques del almacén de alcohol para su expedición.

*Para la producción de azúcar, los cristales obtenidos por centrifugado y lavados pasan por las siguientes etapas en la planta de producción:*

- **Secado:** El azúcar húmeda que sale de centrifugas, (1.0 % de humedad) se transporta por elevadores y bandas para alimentar a las secadoras que son tambores rotatorios inclinados en los cuales el azúcar se coloca en contacto con el aire caliente que entra en contracorriente. El aire se calienta con vapor en intercambiadores tipo radiador y se introduce a la secadora con ventiladores. El azúcar seco sale por el extremo opuesto de la secadora, donde se instala una malla clasificadora para remover los terrones de azúcar. Véase Figura 21

**Figura 21. Secadores**



Fuente: Ingenio del Cauca S.A. <http://www.asocaña.com>

- **Empaque:** El azúcar seca y fría se empaqueta en sacos de diferentes pesos y presentaciones dependiendo del mercado y se despacha a la bodega de producto terminado para su posterior venta al comercio.

Véase Figura 22

**Figura 22. Zona de Empaque**



Fuente: Ingenio del Cauca S.A. <http://www.asocaña.com>

## 1.9 ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DE UN ALCOHOL

Los alcoholes se especifican por sus características físico-químicas, entre las más importantes tenemos:

- Olor

- Apariencia
- Grado Alcoholímetro (°G.L Grados Gay-Lussac)
- Humedad (Karl Fisher)
- Densidad Relativa
- Acidez total (expresada como ácido acético)
- Alcoholes superiores (Prueba de Fusel)
- Tiempo de decoloración (Prueba de Barbet a 15°C)
- Agente de desnaturizado y concentración ( % )

Las propiedades físico-químicas, caracterizan a un alcohol como im potable o potable dependiendo si contiene agente de desnaturizado ó no, y en alcohol anhidro o hidratado dependiendo del porcentaje de humedad que contiene.

En la Tabla 1 aparecen las especificaciones técnicas para un alcohol anhidro desnaturalizado producido por el Ingenio Ríopaila.

**Tabla 1. Especificaciones técnicas de un Alcohol Anhidro**

Propiedades	Especificaciones
Olor	Agradable
Apariencia	Líquido Transparente
Grado Alcoholímetro	99.5°G.L
Humedad	0.5% w/w
Densidad Relativa	0.79 Máximo
Acidez Total (Expresada como ácido acético)	15 ppm
Alcoholes Superiores (Prueba de Fussel)	100 Máximo
Tiempo de Decoloración (Prueba de Barbet a 15°C)	10 Minutos
Impotabilizado con Dietil FTALATO (%v/v)	0.50%

Fuente: Ingenio Ríopaila. . <http://www.asocaña.com>

### 1.10 PRINCIPALES PAISES PRODUCTORES DE ETANOL

Los altos costos del petróleo en la década de los 70's, producto la confrontación Árabe-Israelita y la gran dependencia energética de este

combustible fósil no renovable, hacen que Brasil incursione masivamente dentro de una nueva línea de combustibles ecológicos renovables, como el etanol.

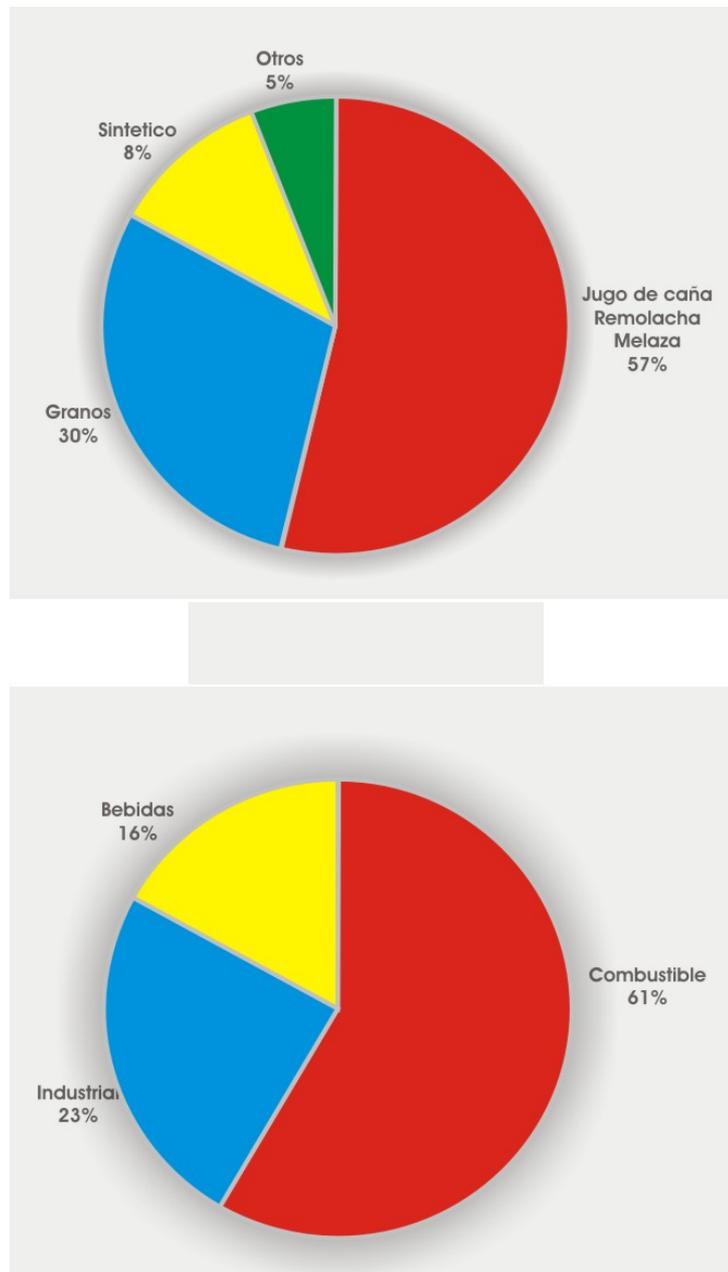
Con más de dos décadas de experiencia el país carioca mantiene un área cultivada con caña de azúcar superior a los 4 millones de hectáreas, de las cuales 2,69 millones son destinadas a la producción de etanol. Por esta razón, en la actualidad, Brasil es el mayor productor y consumidor de alcohol en el mundo, con una producción de 12,5 billones de litros/año. Otros países donde la utilización del etanol se encuentra en estado avanzado son: EE.UU., Australia, Tailandia, China, África del Sur, Suecia, India.

Países como Colombia, Costa Rica, Guatemala, Republica Dominicana y El Salvador recientemente incursionaron en un programa de alcohol carburante, y actualmente desarrollan el marco legal del proyecto, solicitud de licencias ambientales para la reconversión de ingenios y construcción de nuevas destilerías entre otros.

La producción mundial de etanol por materia prima, promedio 1999-2000 esta clasificada en: Jugo de caña, remolacha y melaza (57%), Granos (30%), Sintéticos (8%) y Otras fuentes de materia prima (5%).

De igual forma, se clasifica de acuerdo con su aplicación a nivel mundial en: Combustible (61%), Industrial (23%) y Bebidas (16%). Véase Figura 23

**Figura 23. Fuentes de materia prima y usos del etanol a nivel mundial**



Fuente: Programa de oxigenación de combustibles con etanol carburante. Rolando Ponciano. Guatemala 2004

Las estadísticas mundiales de producción y consumo de etanol, presentadas por la FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations), ubican a Brasil como el primer productor y consumidor de alcohol carburante, y a los países de la OECD (Organización para la cooperación y el Desarrollo Económico) como los primeros exportadores de alcohol del mundo. Véase Tabla 2, 3 y 4

**Tabla 2. Producción mundial de etanol**

Miles de Toneladas

País	Año				
	1990	1995	2000	2006	2010
Brasil	12.028	12.700	10.900	14.268	14.017
<b>Total países OECD</b>	<b>3.487</b>	<b>3.789</b>	<b>5.129</b>	<b>7.214</b>	<b>8.790</b>
EE.UU	2.216	2.540	3.999	5.905	7.359
EU-15	1.144	1.121	1.002	1.174	1.293
Mexico	126	128	128	135	137
India	1.175	1.434	1.985	2.290	2.434
China	43	125	200	212	220
Países ACP	14	18	21	24	26
Tailandia	77	86	90	94	97
Antigua URSS	191	393	263	286	302
Resto del Mundo	1.377	873	697	803	881
<b>TOTAL MUNDIAL</b>	<b>18.391</b>	<b>19.418</b>	<b>19.284</b>	<b>25.192</b>	<b>26.768</b>

OECD : Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico  
 ACP : Países Sub-desarrollados del Área (África, Caribe y Pacífico)  
 EU : Unión Europea

Fuente: FAOSTAT (1990, 1995, 2000). <http://www.fao.org/es/ESC/>

**Tabla 3. Consumo mundial de etanol**

Miles de Toneladas

País	Año				
	1990	1995	2000	2006	2010
Brasil	12.676	13.575	10.769	14.083	13.779
<b>Total países OECD</b>	<b>3.311</b>	<b>3.968</b>	<b>5.923</b>	<b>8.160</b>	<b>9.851</b>
EE.UU	1.974	2.269	4.211	6.300	7.857
EU-15	814	1.009	879	969	1.032
México	134	146	255	266	285
Japón	320	418	420	440	470
República de Corea	69	127	158	186	207
India	1.152	1.434	1.916	2.219	2.360
China	22	101	48	51	53
Países ACP	18	14	46	53	58
Tailandia	40	27	12	13	13
Antigua URSS	61	187	227	249	264
Resto del Mundo	1.229	567	327	363	389
<b>TOTAL MUNDO</b>	<b>18.509</b>	<b>19.873</b>	<b>19.269</b>	<b>25.192</b>	<b>26.768</b>

OECD : Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico  
 ACP : Países Sub-desarrollados del Área (África, Caribe y Pacífico)  
 EU : Unión Europea

Fuente: FAOSTAT (1990, 1995, 2000). <http://www.fao.org/es/ESC/>

Las proyecciones estadísticas 2000-2010 desarrolladas por la FAO, evalúan el comportamiento mundial de consumo de etanol teniendo como referencia el cambio de MTBE a etanol en el mercado de combustibles de los Estados Unidos. El desarrollo del mercado en EE.UU. influye drásticamente la situación del mercado de los países de la OECD.

**Tabla 4. Exportaciones mundiales de etanol**

Miles de Toneladas

País	Año				
	1990	1995	2000	2006	2010
Brasil	30	256	182	229	277
<b>Total países OECD</b>	<b>1.369</b>	<b>1.813</b>	<b>1.155</b>	<b>1.181</b>	<b>1.209</b>
EE.UU	648	909	414	333	295
EU-15	719	862	738	835	901
México	0.1	35	0	10	10
Japón	0.1	1	-	-	-
República de Corea	1	6	3	3	3
India	23	2	69	71	74
China	21	33	152	162	168
Países ACP	0.17	8	29	32	35
Tailandia	37	60	80	85	88
Antigua URSS	130	516	40	42	44
Resto del Mundo	381	523	637	707	754
<b>TOTAL MUNDO</b>	<b>1.990</b>	<b>3.211</b>	<b>2.343</b>	<b>2.509</b>	<b>2.649</b>

OECD : Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico  
 ACP : Países Sub-desarrollados del Área (África, Caribe y Pacífico)  
 EU : Unión Europea

Fuente: FAOSTAT (1990, 1995, 2000). <http://www.fao.org/es/ESC/>

De igual forma, las exportaciones mundiales de los países de la OECD, se reducen por el cambio de MTBE a etanol en 14 estados de los EE.UU. durante el periodo 2000-2010. A diferencia de los países de la OECD, Brasil incrementa sus exportaciones, al igual que China y otros países productores.

## **2. ETANOL COMO CARBURANTE**

Este capítulo, presenta las principales ventajas técnicas de la utilización del etanol como componente oxigenante de las gasolinas, tomando como punto de partida las especificaciones técnicas actuales de las gasolinas comerciales, y evaluando su comportamiento y la variabilidad de sus parámetros como resultado de la mezcla con etanol anhidro al 10%, obtenidos en las pruebas de laboratorio realizadas por el Instituto Colombiano del Petróleo – ICP ECOPETROL, y publicadas en la revista Ciencia, Tecnología y Futuro (CT&F), volumen 2, número 3, de Diciembre de 2002, con el objeto de establecer los comportamientos reales, las ventajas y posibles desventajas de la utilización del etanol como carburante.

### **2.1 EVOLUCIÓN DE LAS GASOLINAS EN COLOMBIA**

Las gasolinas en Colombia han sido objeto de un continuo cambio en busca de un producto final que traiga consigo no solo beneficios técnicos y económicos, sino ambientales para nuestro país.

Existen variados factores que influyen en el entorno dinámico de la calidad y el tipo de combustibles a utilizar; entre los más importantes podemos destacar:

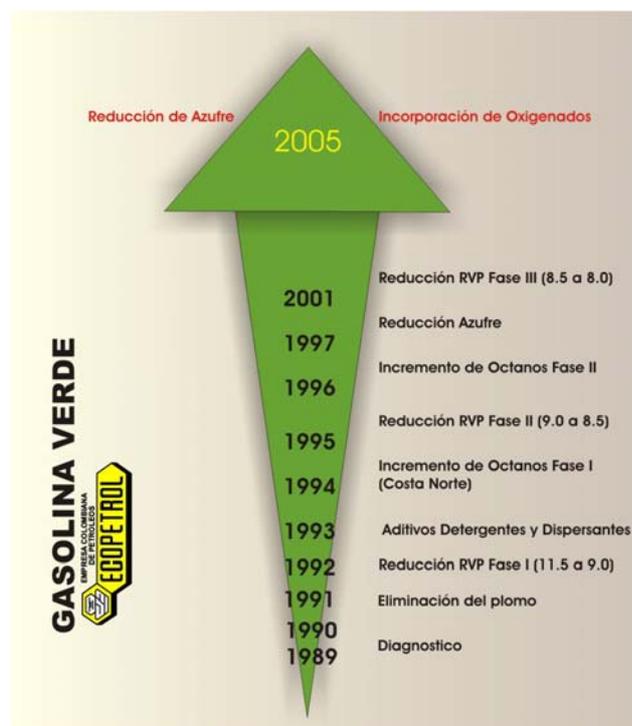
- El desarrollo de nuevas tecnologías de procesamiento y refinación.
- Las regulaciones ambientales para la protección de la calidad del aire.
- Las nuevas alternativas energéticas, como los biocombustibles.
- Los avances de la industria automotriz que involucran otras fuentes de energía.
- La Topografía, el clima y las condiciones ambientales.

Estos factores son los encargados de generar el entorno dinámico que impulsa a los gobiernos a evaluar la calidad de sus combustibles, sus tecnologías de producción, la calidad del aire, y a crear programas que propendan por su mejoramiento continuo.

ECOPETROL, como ente visible, encargado de la explotación, producción y manejo de las reservas de hidrocarburos para asegurar la autosuficiencia energética del país, desarrolló el programa “Gasolina Verde” con el objeto de realizar una optimización permanente de los parámetros que caracterizan las gasolinas y su incidencia en la combustión, asegurando un compromiso serio con la calidad y cantidad de las emisiones al medio ambiente.

El programa que se inicio hacia 1990, con un diagnostico inicial de la calidad de las gasolinas, a introducido mejoras sustanciales como: eliminación del plomo, reducción de la volatilidad (RVP), optimización de aditivos y dispersantes, mejoramiento del número de octanos, reducción del contenido de azufre, y recientemente mediante la ley 693 del 19 de Septiembre de 2001 se aprobó la incorporación de componentes oxigenados como alcoholes carburantes en las gasolinas de los centros urbanos con más de 500,000 habitantes, norma que empezará a regir a partir del mes de Septiembre del presente año. Véase Figura 24

**Figura 24. Programa Gasolina Verde**



Fuente: ECOPELROL

## 2.2 CALIDAD DE LAS GASOLINAS COLOMBIANAS

La calidad de las gasolinas a nivel internacional esta clasificada en cuatro categorías, de acuerdo con la evaluación de parámetros como: Octanaje, Presión de vapor Reid (RVP), Contenido de aromáticos, Contenido de azufre, Plomo y Componentes oxigenados entre otros. Estas categorías son:

- Categoría 1: Mercados con o sin requerimientos mínimos para control de emisiones; basados fundamentalmente en niveles de desempeño de los vehículos.
- Categoría 2: Mercados con rigurosos requerimientos para control de emisiones u otras demandas del mercado, por ejemplo: mercados grado 0 o 1 USA o Euro 1 o 2 (1997) o estándares de emisión equivalentes.
- Categoría 3: Mercados con requerimientos avanzados de control de emisiones u otras demandas del mercado, por ejemplo, mercados que requieren LEV (Low Emisión Vehicule) California USA o ULEV y Euro 3 (2001) o 4 (2006) o equivalente.

- Categoría 4: Mercados con requerimientos de control de emisiones más avanzados para permitir tecnologías sofisticadas de tratamiento de gases de escape de NOx y particulados, US 2007 o EURO 4 /5 (2008) o equivalente.

Las gasolinas en Colombia, cumplen con la mayoría de los parámetros exigido en estas categorías, pero presenta deficiencias en el contenido de azufre, cuya concentración en partes por millón (ppm), se encuentra por encima las especificaciones máximas exigidas. Véase Tabla 5

**Tabla 5. Parámetros que caracterizan la calidad de las gasolinas**

Parámetros	CAT-1	CAT-2	CAT-3	CAT-4	Colombia
Aromáticos (% vol, máx)	50	40	35	35	28/35
Benceno (% vol, máx)	5.0	2.5	1.0	1.0	1.0/2.0
Azufre (ppm, máx)	1000	200	30	<10	1000
Metales (g/l, máx)	0	0	0	0	0
Octanaje IAD RON 91 RON 95	86.5 90	86.7 90	86.7 90	86.7 90	81/87
Presión de vapor (Kpa)	45-60	45-60	45-60	45-60	58
Oxigenados (% masa)	2.7	2.7	2.7	2.7	2.7-3.5*

XX / XX Gasolina Corriente/ Gasolina Extra  
\* A partir del 2005

Fuente: ECOPETROL

## 2.3 PROYECCIÓN DE LAS GASOLINAS COLOMBIANAS

El futuro de las gasolinas en Colombia, presenta excelentes perspectivas técnicas, económicas y ambientales, como resultado de la aprobación de la Ley 693 del 19 de Septiembre de 2001, expedida por el gobierno nacional, que establece la obligatoriedad de incluir componentes oxigenados como el etanol en las gasolinas, y la Resolución 0447 del 14 de Abril de 2003, que regula la calidad de las gasolinas oxigenadas en Colombia y establece parámetros más exigentes en el contenido de aromáticos, benceno y azufre en el producto final a partir del año 2005,. Véase Tabla 6

**Tabla 6. Especificaciones técnicas para las gasolinas a partir del 2005**

Parámetros	Gasolinas Colombianas al 2005	
	Corriente	Extra
Aromáticos (% vol, máx)	25	30
Benceno (% vol, máx)	1.0	1.5
Azufre (ppm, máx)	300	300
Metales (g/l, máx)	0	0
Octanaje IAD (RON + MON) /2	84	89
Presión de vapor (Kpa)	65	65
Oxigenados (% masa)	3.5	3.5

Resolución 447 del 14 de Abril de 2003

Fuente: ECOPETROL

La incorporación de etanol en las gasolinas es parte de la estrategia presentada por el gobierno nacional para:

- Compensar la balanza energética entre los productos refinados producidos por ECOPETROL, con la demanda de combustibles líquidos como la gasolina y el ACPM que requiere el país.
- Estabilizar los precios de los combustibles líquidos como la gasolina y el ACPM.
- Reducir las importaciones a mediano plazo.
- Diversificar el consumo de combustibles
- Mejorar la oferta de combustibles

Además de los beneficios técnicos derivados del uso del etanol como oxigenante, que se analizarán mas adelante, este proyecto liderado por el gobierno nacional permite el desarrollo de una nueva industria con perspectivas positivas para los inversionistas nacionales y extranjeros.

## 2.4 INCORPORACIÓN DE ETANOL A LAS GASOLINAS

La incorporación de etanol a las gasolinas le transfiere nuevas características al combustible final o mezcla, que están supeditadas por las propiedades físico-químicas que presenta cada componente en su estado natural, y que pueden convertirse en ventajas o desventajas de acuerdo con las expectativas. Véase Tabla 7

**Tabla 7. Propiedades físico-químicas de los combustibles**

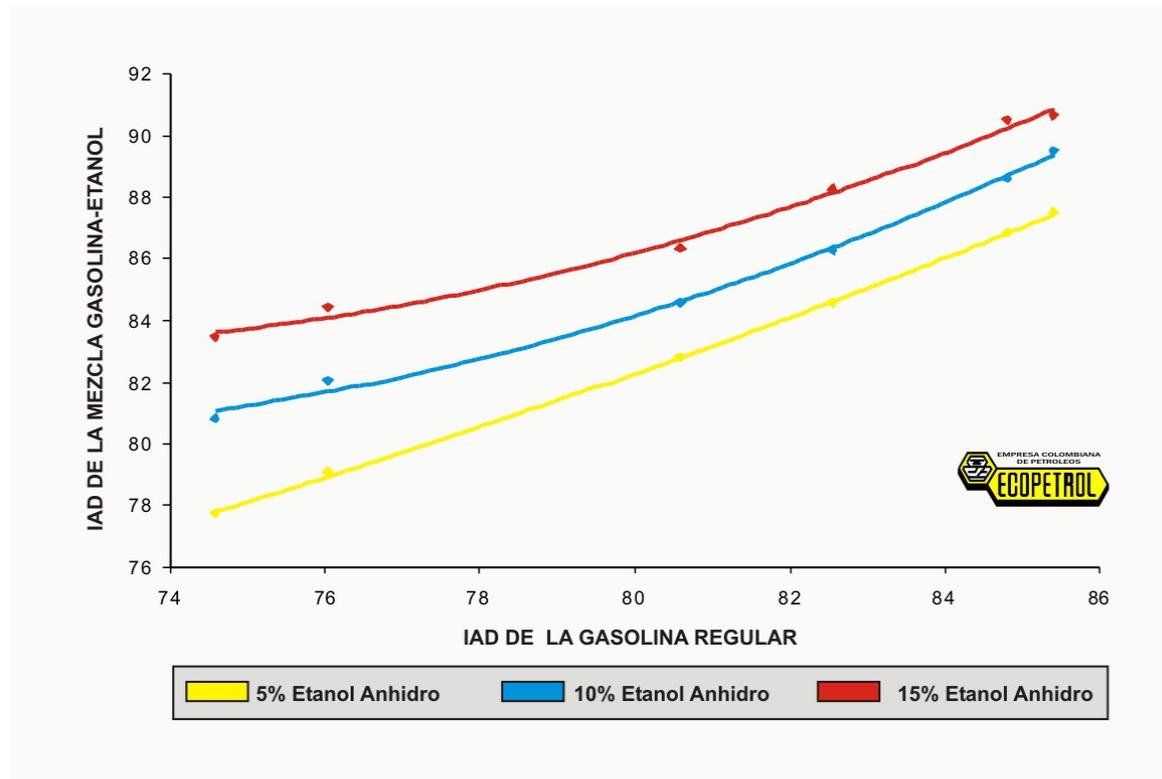
Propiedades	Gasolina	Diesel	Metanol	Etanol
Composición	Mezcla de hidrocarburos C <sub>4</sub> -C <sub>10</sub>	Mezcla de hidrocarburos C <sub>12</sub> -C <sub>20</sub>	CH <sub>3</sub> OH	C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> OH
Rango de ebullición (°C @ 1 atm)	26.6 a 215.5	160 a 382.2	65	78.13
Densidad (Kg/m <sup>3</sup> ) (Kg/l)	688.7 a 784.8 0.695 a 0.778	784.8 a 880.9 0.778 a 0.87	788 a 796	789 a 810
Contenido de energía (MJ/Kg) (MJ/l)	43.49 a 44.42 31.22 a 33.72	43.96 34.28 a 35.68	20.0 15.76	26.74 21.09
Temperatura de autoignición(°C)	232.2 a 482.2	204.4 a 260	470	423.8
Punto de inflamabilidad (°C)	-42.77	51.66(mín)	11.11	21.11
IAE (R+M)/2	81 a 87	N/A	99	100
Contenido de azufre (% en peso)	0.020 a 0.045	0.20 a 0.25	Ninguno	Ninguno
Limite de inflamabilidad (% vol en el aire)	Bajo:1.4 Alto: 7.6	Bajo: 0.7 Alto: 5.0	Bajo: 6.7 Alto: 36.0	Bajo: 4.3 Alto: 19.0
Velocidad de la flama (m/s)	0.3962	0.3962	0.3962	0.3962

Fuente: Ficha técnica vehículos con etanol. <http://www.conae.gob.mx>

El análisis de las propiedades físico-químicas consignadas en la Tabla 6, y las pruebas de laboratorio y dinamométricas desarrolladas por el Instituto Colombiano del Petróleo ICP-ECOPETROL, en vehículos utilizando una mezcla al 10% de etanol con gasolinas corriente y extra de las refinerías de Barrancabermeja y Cartagena, y cuyos resultados fueron publicados en la revista Ciencia, Tecnología y Futuro (CT&F), volumen 2, número 3, de Diciembre de 2002, y consignados en las memorias del seminario internacional de alcohol carburante, realizado en Medellín el 10 de Junio de 2004 con el título “Incidencias de la Incorporación de Etanol en la Cadena de Distribución de las Gasolinas”, cuya ponencia fue realizada por el Dr. Jaime Augusto Torres, permiten establecer claramente las ventajas de la mezcla gasolina-etanol, tomando como referencia sus nuevas propiedades.

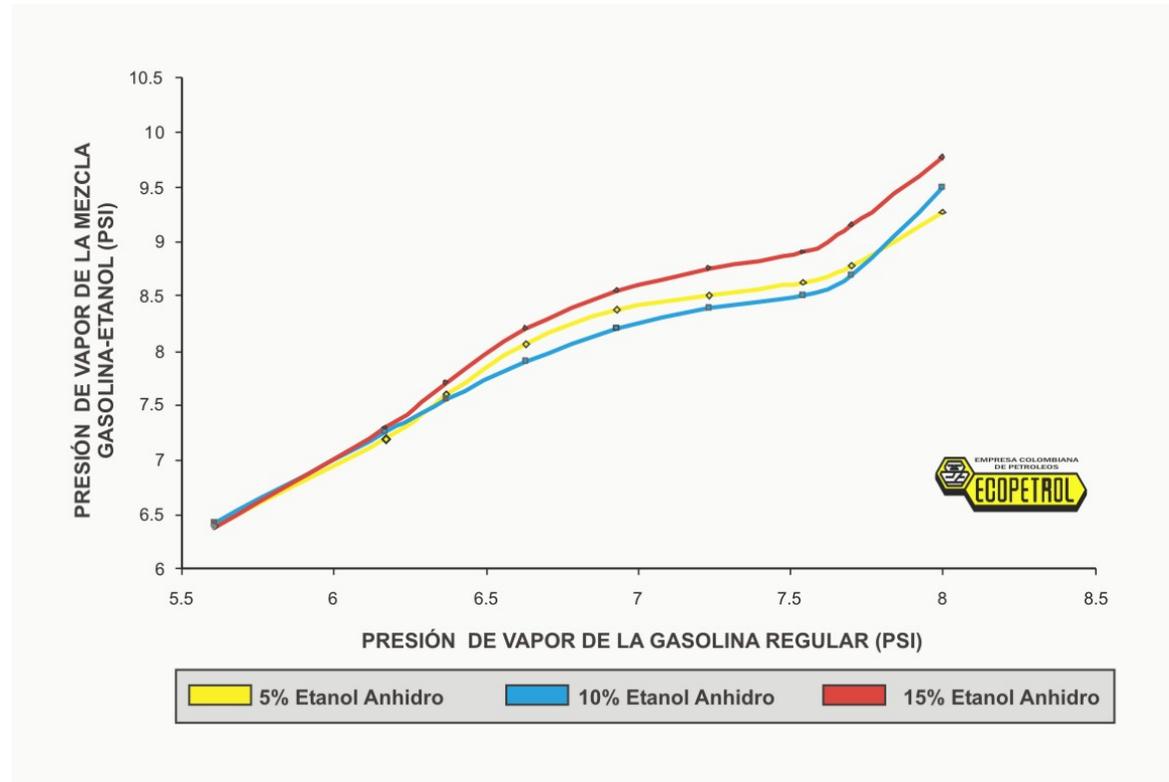
En las Figuras 25, 26, 27, 28 aparecen los resultados de las pruebas de laboratorio y dinamométricas, donde se pueden apreciar las diferentes porcentajes de mezcla (5%, 10 % y 15%) seleccionados para las pruebas con gasolinas regulares de Barrancabermeja, y su incidencia en el Índice Auto Detonante - IAD, Presión de Vapor Reid - RVP, Potencia efectiva y Rendimiento de combustible.

Figura 25. Efectos del Etanol sobre el IAD de la Gasolina Corriente



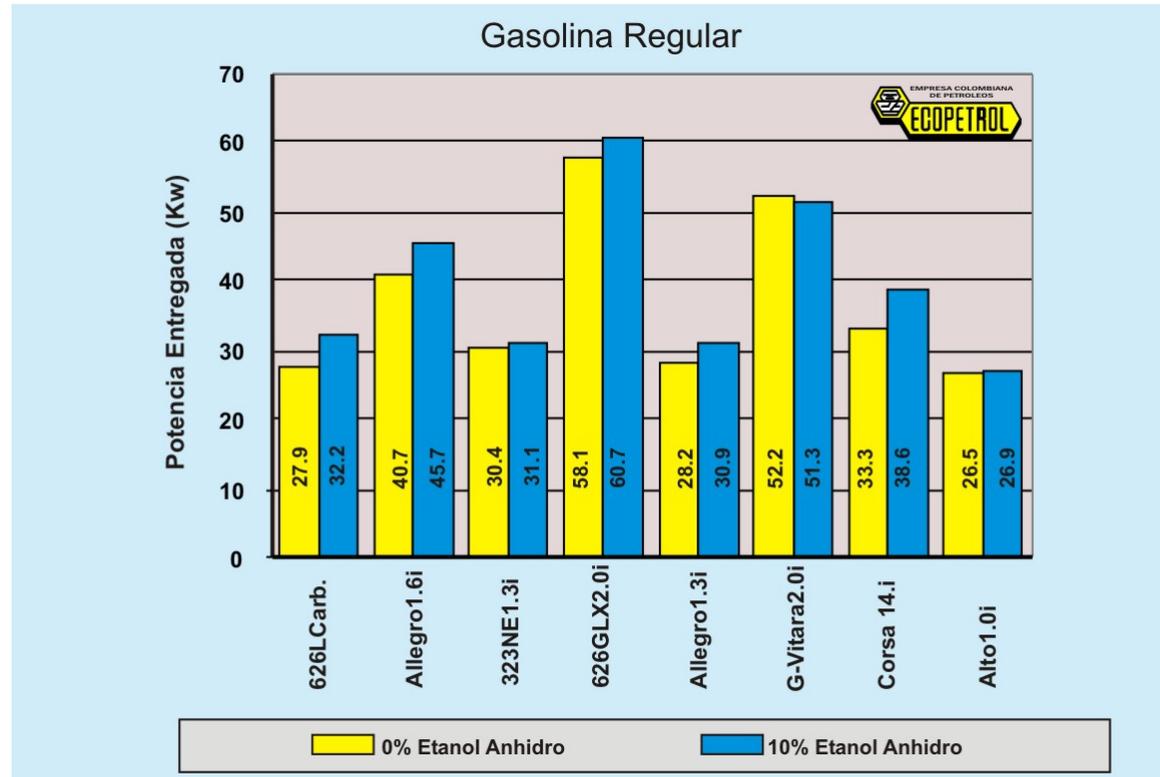
Fuente: ECOPETROL

Figura 26. Efecto del Etanol sobre el RVP de la Gasolina Corriente



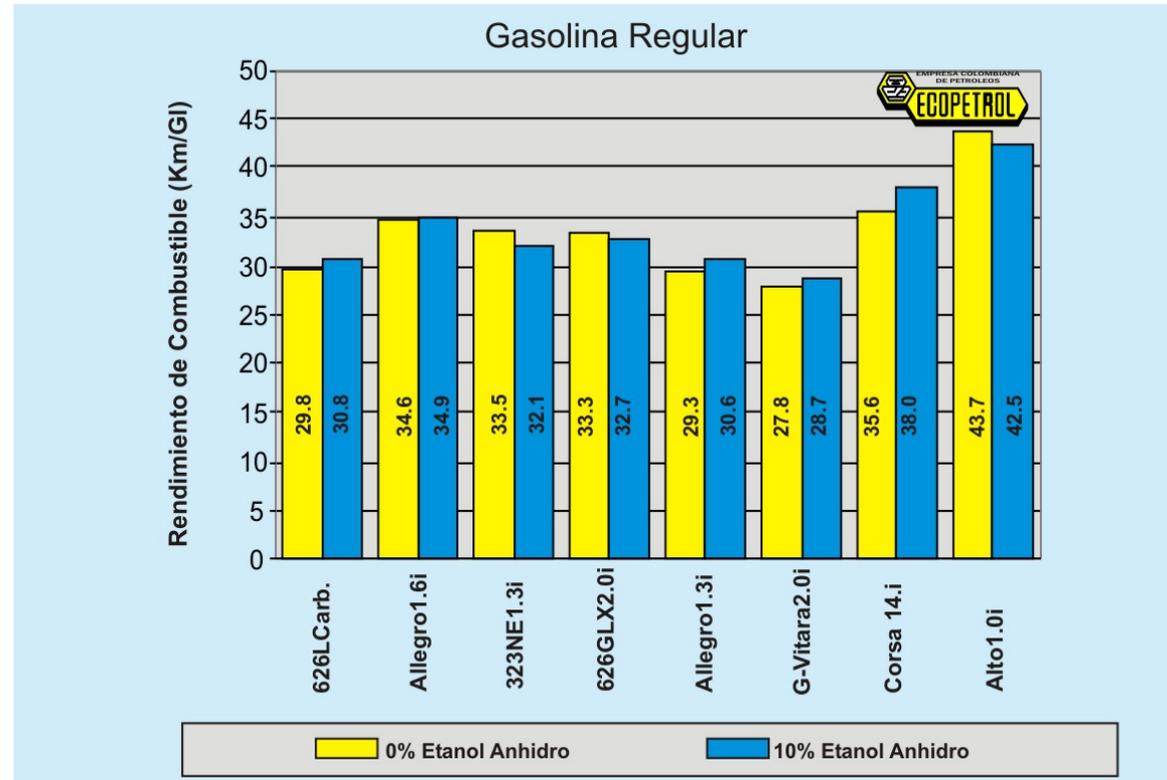
Fuente: ECOPETROL

Figura 27. Efecto del Etanol sobre la Potencia Entregada



Fuente: ECOPETROL

Figura 28. Efecto del Etanol sobre el Rendimiento del Combustible



Fuente: ECOPETROL

**2.4.1 Ventajas técnicas.** Las ventajas técnicas obtenidas al mezclar alcohol anhidro al 10% con gasolina, de acuerdo con las características físico-químicas consignadas en la Tabla 6 y a las pruebas de laboratorio realizadas por el Instituto Colombiano del Petróleo ICP-ECOPETROL son:

- Es un combustible líquido y puede ser manejado fácilmente como la gasolina y el ACPM.
- Produce un incremento de 3 unidades del IAD para gasolina corriente (81 a 84), y de 2 unidades del IAD para gasolina extra (87 a 89), que favorece la combustión, conduce a un aumento de potencia entre el 2% y el 15%.
- Produce un incremento en el rendimiento del combustible por las nuevas condiciones de octanaje entre 2% y el 6%.
- Por su elevada temperatura de auto-ignición es mas seguro que la Gasolina y el ACPM.
- Los vehículos no requieren modificaciones especiales para este porcentaje de mezcla.

- El etanol se produce a partir de fuentes de energía renovables como la biomasa.

**2.4.2 Desventajas técnicas.** Las desventajas técnicas que presenta el etanol como carburante son:

- Posee menor densidad energética, aproximadamente 33% menos que la gasolina y el ACPM, lo cual reduce la autonomía sobre el vehículo.
- Ocasiona problemas de corrosión en partes mecánicas y sellos de los vehículos. Los dispensadores de combustible deben tener elastómeros adecuados para el etanol y no debe ser utilizados componentes de aluminio corrientes.
- Cuando se utiliza como realzador de octanaje en la gasolina, aumenta la volatilidad cuando se mezcla en el rango de 0-20% y, a menos que sea balanceada por componentes de mezcla de baja volatilidad tiende a aumentar las emisiones evaporativas de hidrocarburos.
- Tiende a aumentar la emisión de aldehídos

**2.4.3 Características del alcohol.** El alcohol requerido para la oxigenación de las gasolinas es alcohol anhidro con un contenido máximo de agua de 0.4% en volumen, según la resolución 447 de 2003 que regula la calidad de las gasolinas oxigenadas en Colombia.

La anterior condición se exige para que el alcohol pueda ser mezclado con gasolina en una proporción entre 0-20% en volumen. La mezcla resultante es un combustible con características bien definidas, apto para ser utilizado en automóviles con motores de combustión interna a gasolina sin modificaciones especiales.

Es importante, aclarar que el alcohol hidratado, que contiene hasta 9% de agua en volumen, no se debe mezclar con gasolina porque puede presentarse una separación de fases: la mezcla se separaría en una fase de gasolina pobre en alcohol y en una fase de agua rica en alcohol; siendo el agua más pesada (densidad: 1.0) que la gasolina (densidad: 0.70 – 0.75), aquella se iría al fondo del tanque y llegaría primero al motor del vehículo causando fallas en su operación.

El alcohol hidratado puede ser utilizado como carburante en forma pura (no mezclado) únicamente en vehículos que han sido diseñados para trabajar con este tipo de combustible como los Flex-Fuel.

## 2.5 VEHICULOS DE COMBUSTIBLE FLEXIBLE “FLEX-FUEL”

La tecnología Flex-Fuel permite que un vehículo opere con 100% de etanol, con 100% de gasolina, ó con una mezcla de cualquier proporción de gasolina y etanol, ajustando rápidamente el motor del vehículo a las características del combustible mediante un chip electrónico que regula el sistema de inyección del vehículo. La decisión de utilizar la mezcla queda supeditada exclusivamente a la voluntad del propietario del vehiculo, de acuerdo con sus necesidades y disponibilidad de cada combustible. Compañías como Chevrolet, Ford, GMC, y Mazda entre otras, manufacturan FFV’s (Flexible Fuel Vehicles), para operar con E85. Véase Tabla 8

**Tabla 8. Compañías de Manufactura y modelos de FFV’s - E85**

Compañía	Modelos Disponibles
Chevrolet	Pick up 2.2 LS-10 Modelo 2000-2004
Chrysler	Mini Vans 3.3L Modelo 1998-2004
Dodge	Mini Vans 3.3L Modelo 1998-2004
Ford	Sedan Taurus LX Modelo 2000-2004
Ford	Rangers Pick up 3.0L Modelo 1999-2004
GMC	Sonoma Pick up 2.2L Modelo 2000-2004
Mazda	Pick up B3000 3.0L Modelo 1999-2004
Plymouth	Mini vans 3.3L Modelo 1998-2004

Fuente: National Ehtanol Vehicle Coalition. <http://www.e85fuel.com/ffvs.htm>

### **3. ETANOL Y MEDIO AMBIENTE**

En la segunda Conferencia Mundial sobre Medio Ambiente y Desarrollo, promovida por la ONU, y realizada en 1992, la ciudad de Río de Janeiro, Brasil, se reunieron el mayor número de jefes de estado de todo el mundo con el objeto de firmar una serie de compromisos internacionales para mitigar los problemas ambientales que amenazan el planeta y las naciones, además, firmar acuerdos para promover el concepto de “desarrollo sostenible”, es decir: conciliar el crecimiento de la economía con la necesidad de conservación de los recursos naturales y mejoría de la calidad de vida para todos los habitantes del mundo.

Entre los compromisos adquiridos por cada país, se encuentran, la reducción de las emisiones tóxicas en la atmósfera, reducción del uso de los agentes químicos que amenazan la capa de ozono y la reducción de las emisiones de los gases que provocan el efecto invernadero. Este último compromiso fue amparado mediante el Convenio de Cambio Climático y el Protocolo de Kyoto (firmado en diciembre de 1997), donde se establecen las bases de un mercado de reducción de emisiones de Gases Efecto Invernadero (GEI). Los objetivos del Protocolo de Kyoto son ampliamente considerados como un primer paso, ya que las concentraciones globales de gases con efecto invernadero en la atmósfera seguirán aumentando a menos que se hagan

mayores reducciones. Según los científicos, un calentamiento de esta magnitud causaría la elevación del nivel del mar, inundaciones de muchas áreas litorales. Además empeorarían las sequías y tormentas de lluvia, causaría mayores temperaturas e inundaciones, incrementaría la precipitación en general y provocaría cambios en el clima y en zonas agrícolas.

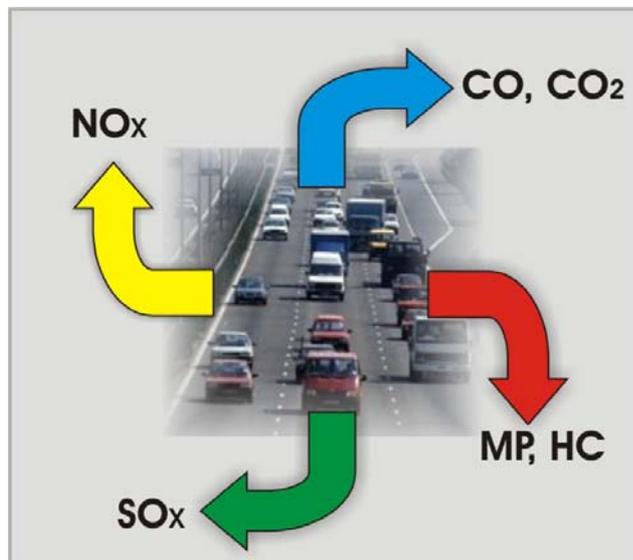
El Protocolo de Kyoto, sus definiciones y mecanismos propuestos para la reducción del efecto invernadero, abren al uso de la biomasa energética, al mercado de los biocombustibles y del alcohol carburante, una perspectiva comercial de gran importancia en la medida en que la biomasa agrícola es el instrumento más importante para el rescate del CO<sub>2</sub> de la atmósfera.

El etanol como carburante de las gasolinas tiene su mayor valor agregado en la reducción drástica de emisiones contaminantes como CO, HC, y NO<sub>x</sub> al medio ambiente, causantes del efecto invernadero. De otra parte, los países que utilizan la caña de azúcar como fuente de materia prima para la producción de etanol, gracias a su elevada eficiencia en la conversión de biomasa, por ser una planta de crecimiento permanente, es una trampa de CO<sub>2</sub> y una fábrica constante de oxígeno.

### 3.1 CALIDAD DE LAS EMISIONES VEHICULARES

Los motores de combustión interna, que operan con combustibles fósiles como la gasolina y el ACPM, son considerados los mayores contribuyentes de las emisiones contaminantes del planeta, ya que emiten cantidades considerables de CO<sub>2</sub>, CO, SO<sub>x</sub>, NO<sub>x</sub>, MP, y HC. Un 80% del monóxido de carbono y un 40% de los óxidos de nitrógeno e hidrocarburos emitidos proceden de la combustión de la gasolina y el ACPM en los motores de los coches y camiones. Véase Figura 29

**Figura 29. Residuos de la combustión**



Fuente: Combustible y Ambiente. José Guillermo León Florez. ECOPETROL

En teoría en un proceso de combustión ideal deberían intervenir:



En un proceso de combustión real intervienen:



El combustible obtenido por fraccionado de carbón y petróleo produce dióxido de azufre, que se oxida con el oxígeno atmosférico formando trióxido de azufre (SO<sub>3</sub>). Éste se hidrata, a su vez, con el vapor de agua de la atmósfera para formar ácido sulfúrico (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>).

Los gases residuales de la combustión, como el CO<sub>2</sub>, CO, y el NO<sub>x</sub>, se acumulan en la atmósfera y son los responsables del efecto invernadero que origina el calentamiento global del planeta. El SO<sub>x</sub>, liberado en la combustión se convierte en ácido sulfúrico y retorna a la tierra en forma de lluvia ácida propagando la formación de suelos desérticos.

**3.1.1 Factores que influyen en la calidad de emisiones.** Existen variados factores que influyen en la cantidad y la calidad de las emisiones. Los más importantes a tener en cuenta son:

- Calidad del combustible
- Tecnología automotriz
- Altimetria (Condiciones ambientales)
- Mantenimiento de los vehículos (Sincronización)
- Velocidad de movilización
- Estado de las vías
- Prácticas de conducción

La calidad de las emisiones vehiculares está supeditada exclusivamente a la calidad del combustible y la tecnología automotriz. La cantidad de las emisiones depende fundamentalmente de los factores adicionales.

### **3.2 INCIDENCIA DEL ETANOL EN LAS EMISIONES VEHICULARES**

El etanol como componente oxigenante de las gasolinas encuentra su aplicación potencial en la reducción de emisiones contaminantes al medio

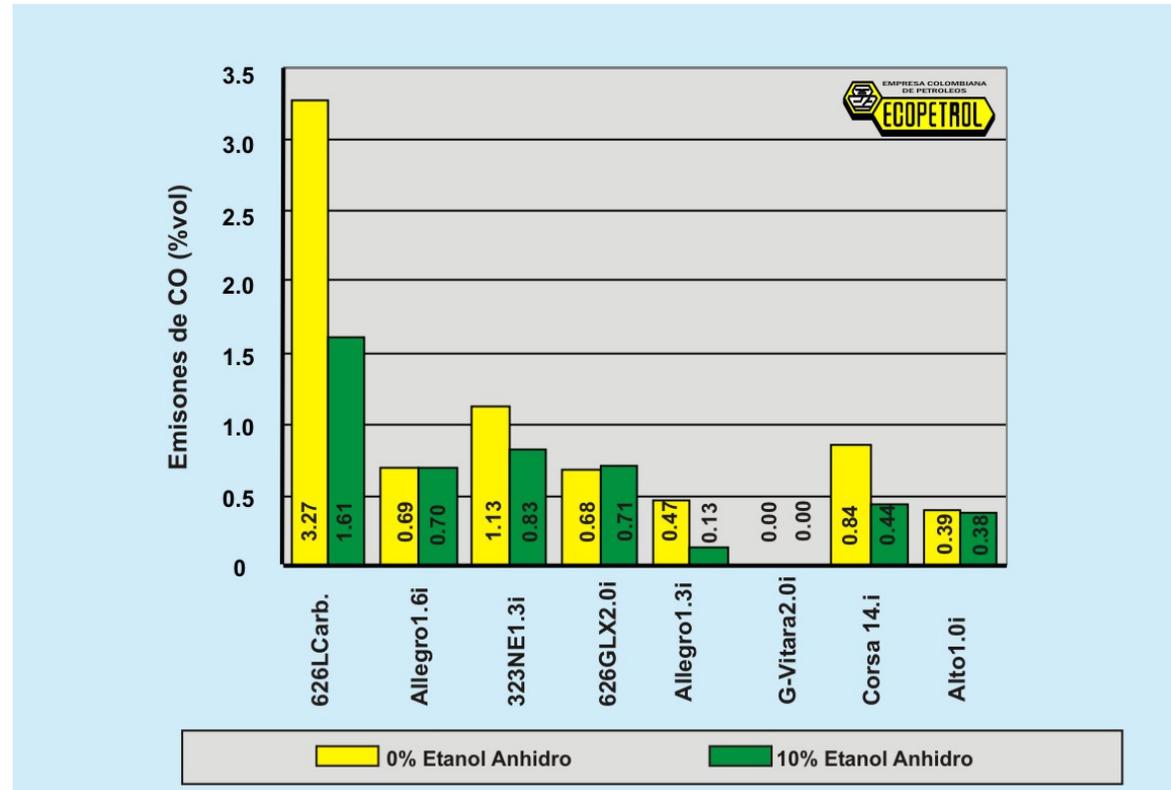
ambiente, producto de la reacción incompleta de combustión en los motores que utilizan gasolina o ACPM o como combustible.

El alcohol por ser un compuesto altamente oxigenado entra a formar parte de la reacción optimizando el proceso de combustión, y disminuyendo la emisión de gases como CO, HC y NO<sub>x</sub> principalmente.

Esta monografía toma como referencia, los resultados de las evaluaciones realizadas por el Instituto Colombiano del Petróleo, ICP-ECOPETROL, con vehículos de prueba GM366, en la ciudad de Bogotá, donde se determinaron los índices de emisión de CO, HC y NO<sub>x</sub>, para gasolinas corriente y extra, además de la concentración de las emisiones que salen por el tubo de escape de los vehículos.

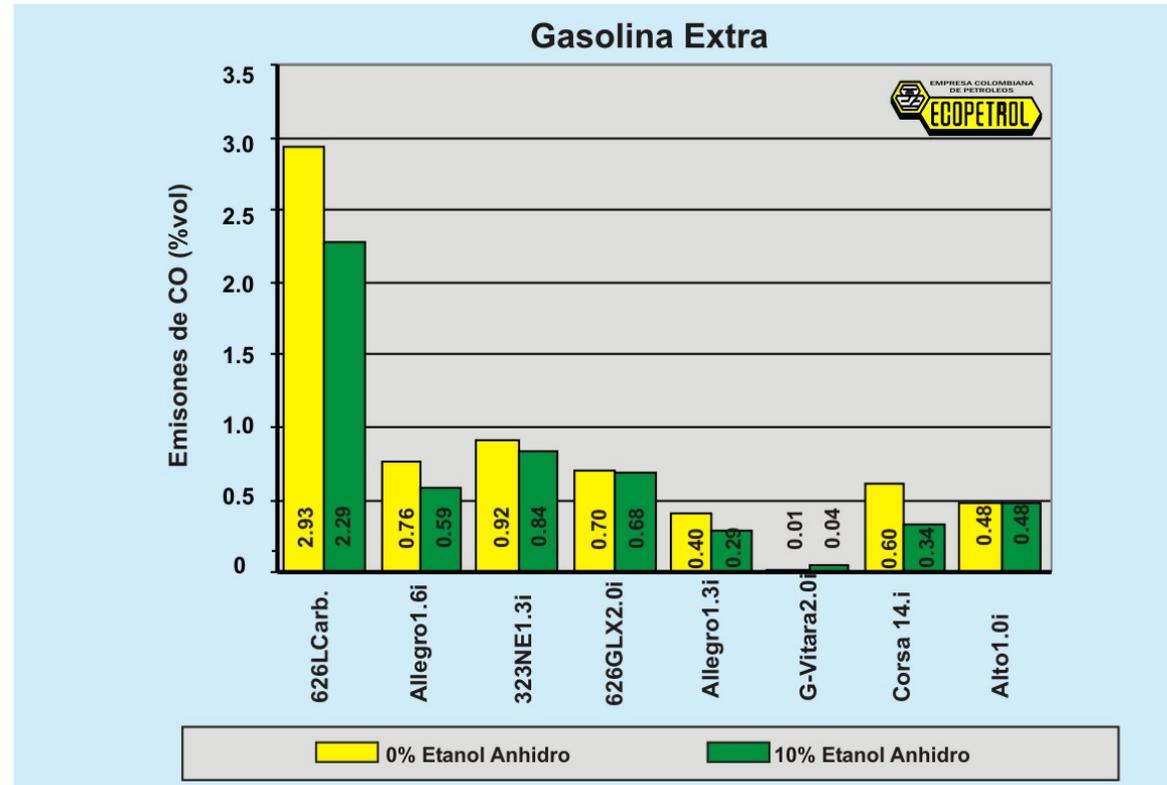
**3.2.1 Impacto del etanol sobre las emisiones de CO.** El impacto en las emisiones de CO, como producto de la adición de 10% de etanol a las gasolinas colombianas, es una reducción considerable de monóxido de carbono en un rango entre el 22% y 50% de las emisiones de CO, para vehículos con carburador, y reducciones menores para vehículos de inyección. Véase Figura 30 y 31

Figura 30. Emisiones de CO con Gasolina Corriente



Fuente: ECOPETROL

Figura 31. Emisiones de CO con Gasolina Extra



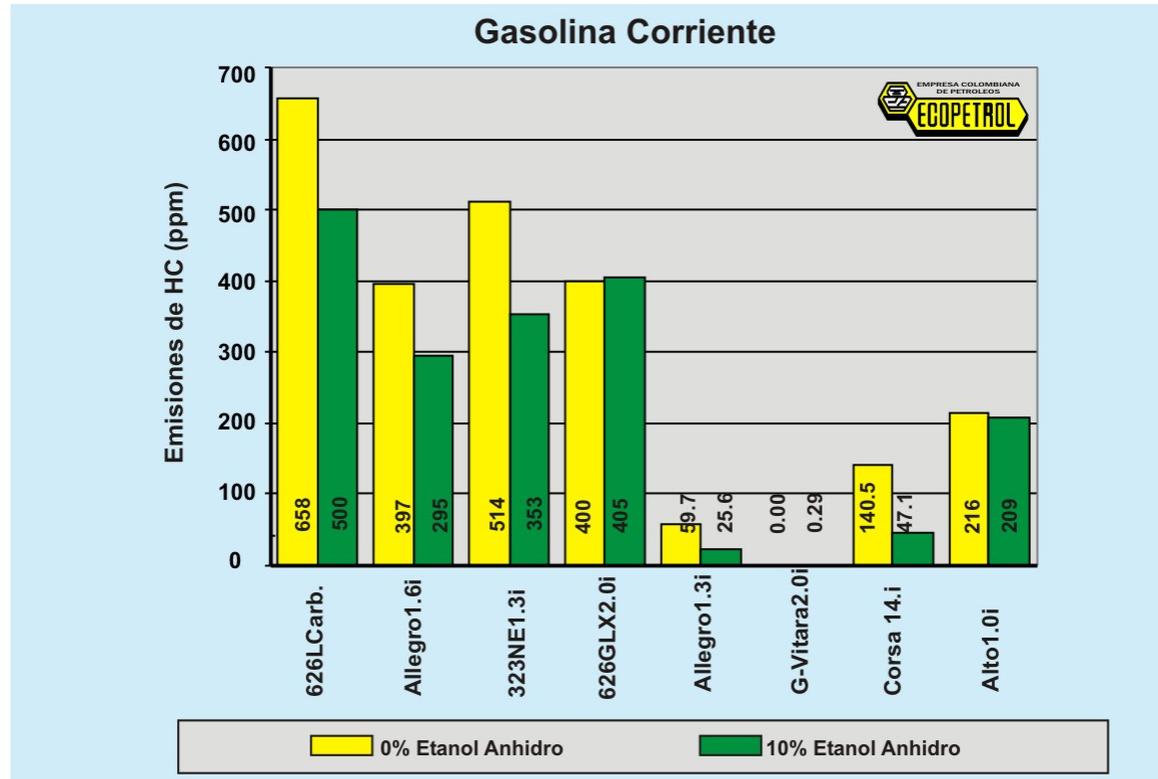
Fuente: ECOPETROL

**3.2.2 Impacto del etanol en las emisiones de HC.** La presencia del etanol en el proceso de combustión, reduce la presencia de hidrocarburos no quemados en los gases de escape en un rango entre el 20% y 24%. Este impacto producido genera un aumento en la potencia del vehículo del 2% al 15% y un aumento en el rendimiento del combustible del 2% al 6%. Véase Figura 32 y 33

**3.2.3 Impacto del etanol en las emisiones de NO<sub>x</sub>.** La adición de etanol en proporciones mayores al 10%, origina un incremento de las emisiones de óxidos nitrosos.

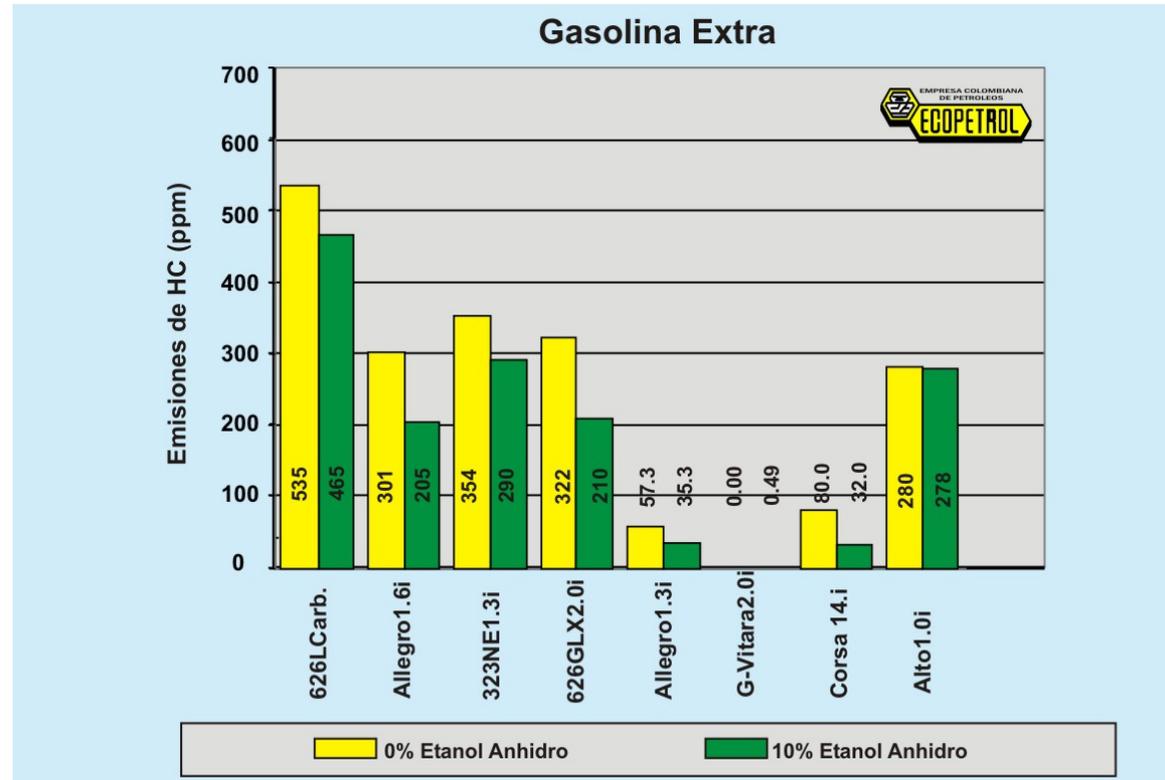
Los óxidos nitrosos, el dióxido de carbono y el metano son conocidos como gases de efecto invernadero, y su acumulación en la atmósfera produciría un calentamiento global significativo, que tendría graves efectos sobre el medio ambiente como la aceleración de la fusión de los casquetes polares, incremento del nivel de los mares, cambios en el clima regional, y globalmente alteraría la vegetación natural y afectaría las cosechas. Estos cambios a su vez tendrían un enorme impacto sobre la civilización humana.

Figura 32. Emisiones de HC con Gasolina Corriente



Fuente: ECOPETROL

Figura 33. Emisiones de HC con Gasolina Extra



Fuente: ECOPETROL

**3.2.4 Impacto del etanol en la emisión de CO<sub>2</sub>.** El dióxido de carbono además de ser emitido en menor cantidad durante el proceso de combustión, tiene su fracción reciclable, por medio de la fotosíntesis de la planta.

La caña de azúcar, es la planta más eficiente en la conversión de biomasa y como tal es una trampa de CO<sub>2</sub>. Por ser una planta de crecimiento permanente, también es una fabrica de oxígeno en funcionamiento constante; la caña de azúcar dada su alta rata de crecimiento genera cuatro veces mas oxígeno que un bosque.

Por cada tonelada de materia seca, se absorben 1.46 toneladas de CO<sub>2</sub> de la atmósfera y se liberan 1.06 toneladas de oxígeno. Un cultivo de caña promedio, produce 120 toneladas de caña, y 60 toneladas de residuos al año, de los cuales son materia seca el 30%, es decir, 54 toneladas. Durante este tiempo se absorben 79 toneladas de CO<sub>2</sub>, de la atmósfera y se liberan 55 toneladas de oxígeno.

Cuando se produce la quema de los residuos vegetales de la caña, durante el proceso de corte, alrededor de 60 toneladas de materia fresca, se liberan 28 toneladas de CO<sub>2</sub> y quedan fijadas mas de 50 toneladas en forma de azúcar y bagazo.

Dentro de este contexto, el proyecto de oxigenación de las gasolinas en Colombia, encaja perfectamente dentro de las políticas y lineamientos del Protocolo de Kyoto, con grandes potencialidades para aplicar como proyecto de Cambio Climático, por garantizarse la reducción de emisiones de los gases de efecto invernadero. Así mismo, cada país que promueva la sustitución de combustibles fósiles, además de tener dividendos, hará una contribución incalculable para el mejoramiento de la calidad en todo el planeta.

### **3.3 IMPACTOS ASOCIADOS A LOS PROCESOS DE PRODUCCIÓN**

El uso del etanol como oxigenante de las gasolinas, genera impactos ambientales positivos en el componente abiótico, aire, por la reducción significativa, de las emisiones contaminantes, residuales de los motores de combustión. Sin embargo, los procesos asociados con la producción de alcohol carburante a partir de la caña de azúcar, aportan continuamente, una serie de contaminantes a los cuerpos de agua, al aire, y al suelo, que traen consigo una serie de riesgos que de no ser analizados e incluidos dentro del Estudio de Impacto Ambiental de las destilerías o de los ingenios reconvertidos en destilerías, ocasionarían un impacto ambiental negativo, de carácter irreversible, que en el peor de los casos, ocasionaría el cierre de la planta de producción.

En Colombia operan 14 ingenios azucareros, 13 de los cuales se encuentran vinculados a la Asociación de Cultivadores de Caña de Azúcar de Colombia, ASOCAÑA. con potencialidad para ser reconvertidos a destilerías, entre los que se encuentran: Ingenio del Cauca, Ingenio Mayagüez, Ingenio Central Castilla, Ingenio Maria Luisa, Ingenio Central Tumaco, Ingenio Manuelita, Ingenio Providencia, Ingenio La Cabaña, Ingenio Pichichí, Ingenio Sancarlos, Ingenio Riopaila, Ingenio Risaralda, y el Ingenio Central Sicarare. Véase Figura 34

**Figura 34. Ingenio Riopaila**



Fuente: Ingenio Riopaila S.A. <http://www.asocaña.com>

Los impactos ambientales asociados a la producción de etanol, para el análisis realizado en esta monografía, son hasta determinados procesos de

producción, similares a los impactos ambientales derivados de la producción de azúcar, dado que esta monografía contempla la obtención de etanol a partir de las mieles finales residuales del proceso producción de azúcar a partir de la caña de azúcar.

Los impactos ambientales sobre los componentes abiótico, biótico y socioeconómico, derivados de la producción de etanol contemplan los procesos de producción desde el CAT (Cultivo, Acopio y Transporte), hasta los procesos desarrollados en la destilería como: Lavado, Molienda, Clarificación, Evaporación, Cristalización, Centrifugación, Fermentación, Destilación y Deshidratación.

Dentro del componente abiótico, el elemento agua, es sin duda alguna, el que puede presentar mayores impactos ambientales, sino se toman las acciones de control o mitigación respectivas.

En la producción de etanol, y como resultado del proceso de destilación se almacenan unos fondos o residuos líquidos llamados “vinazas” que contienen gran cantidad de sedimentos, materia orgánica, un pH de 3.5, una temperatura cercana a los 100°C, elevados valores de DQO y DBO<sub>5</sub>, y son consideradas una de las descargas más contaminantes y corrosivas del mundo.

Estos efluentes no pueden ser arrojados directamente a los cuerpos de agua, por que ocasionarían su contaminación, y gradualmente la muerte de los seres vivos que los habitan o utilizan.

Para determinar capacidad contaminantes de estos efluentes se deben evaluar periódicamente los siguientes factores:

- DBO (Demanda Bioquímica de Oxígeno): Indicador de la capacidad de polución de un efluente expresada por el consumo de oxígeno por parte de los microorganismos, para descomponer la materia orgánica presente en el mismo efluente.

Se mide como la masa de oxígeno (mg) utilizado por un litro de muestra incubado a 20°C, durante cinco (5) días.

Los vertidos más aptos para producir valores de DBO altos, y en consecuencia producir anoxia son todos aquellos que aportan grandes cantidades de materia orgánica y fertilizantes químicos (aguas residuales urbanas, residuos ganaderos, efluentes de mataderos, industrias alimenticias, residuos agrícolas y abonos entre otros).

La DBO<sub>5</sub>, se emplea para comprobar la carga orgánica de las aguas residuales municipales o industriales biodegradables, sin tratar y tratadas.

- DQO (demanda Química de Oxígeno): Cantidad de oxígeno necesario para oxidar la materia orgánica por medio de dicromato en una solución ácida y convertirla en dióxido de carbono y agua. El valor de la DQO es siempre superior al de la DBO, porque muchas sustancias pueden oxidarse químicamente pero no biológicamente.

La DQO se emplea para comprobar la carga orgánica de las aguas residuales que no son biodegradables o contienen compuestos que inhiben la actividad de los microorganismos.

Una planta de etanol con baja tecnología de procesamiento produce 1 litro de etanol y descarga 15 litros de vinazas, es decir manejan una relación 1:15, a diferencia de una planta con tecnología de punta que puede producir 1 litro de etanol y descargar 1 litro de vinazas, con una relación de 1:1.

Los impactos asociados a la etapa de producción de etanol y las acciones de manejo respectivas se pueden apreciar en la Tabla 9.

**Tabla 9. Impactos asociados a la etapa de producción de etanol**

Componente	Elemento	Impacto	Acciones de Manejo
<b>ABIÓTICO</b> PROCESO DE PRODUCCIÓN: CAT-DESTILERIA	PAISAJE	A. Cambios en el paisaje	A1. Realizar procesos de siembra después de la zafra A2. Disponer los residuos de la zafra como combustible Para las calderas. A3. Evitar el proceso de quema de los residuos vegetales antes de la zafra A4. Seleccionar cultivos con menor producción de hoja.
	SUELO	A. Disminución de la fertilidad. B. Contaminación de los suelos.	A1. Recuperación de la capa orgánica, con abonos y fertilizantes orgánicos obtenidos por tratamiento de los residuos del proceso de producción de alcohol. B1. No realizar riegos con aguas contaminadas residuales del proceso de producción de alcohol.
	AIRE	A. Contaminación por Gases y Partículas.. B. Incremento de los niveles de ruido.	A1. Mantener en buen estado los motores de maquinaria y vehículos. A2. Instalar filtros electroestáticos o ciclones en los escapes de las máquinas con exceso de emisiones. A3. Disponer de un programa de medición de emisiones contaminantes y nivel de ruido. A4. Disponer de un programa de mantenimiento de maquinaria y equipos. B1. Silenciadores de los vehículos de transporte y maquinaria en buen estado.

**C.A.T: Cultivo, Acopio, y Transporte**

Fuente: Ingenio del Cauca S.A. <http://www.asocaña.com>

**Tabla 9. Continuación**

Componente	Elemento	Impacto	Acciones de Manejo
ABIÓTICO	AGUA	A. Contaminación de aguas superficiales, subterráneas nacederos y/o humedales.	<p>A1. Programa de monitoreo periódico de las vinazas provenientes de la destilería que incluyan análisis de DBO, DQO, pH y sólidos.</p> <p>A2. Disponer de piscinas impermeabilizadas de Sedimentación y oxidación para el tratamiento de las aguas residuales del proceso.</p> <p>A3. Seleccionar tecnologías de producción avanzadas Para reducir al mínimo la producción de vinazas.</p> <p>A4. Evitar el uso excesivo de insecticidas, plaguicidas y Agentes madurantes durante época de lluvias.</p> <p>A5. Seleccionar controles biológicos para combatir las Plagas de la caña (Diatraea y Valentia SP).</p>
	FLORA		No se presentan impactos ambientales significativos dado que la infraestructura y las plantaciones de caña de azúcar para la producción de etanol ya existían, y solo se ejecutarán pequeñas adiciones al proyecto.
BIÓTICO	FAUNA	A. Cambios en la composición de la biota acuática.	<p>A1. Programa de monitoreo periódico de las características físico-químicas y biológicas de los cuerpos de agua.</p> <p>A2. Evitar las disposición directa de todo tipo de residuos De los procesos de producción de etanol.</p>

**C.A.T: Cultivo, Acopio, y Transporte**

Fuente: Ingenio del Cauca S.A. <http://www.asocaña.com>

**Tabla 9. Continuación**

Componente	Elemento	Impacto	Acciones de Manejo
<b>SOCIO-ECONÓMICO</b> PROCESO DE PRODUCCIÓN: CAT-DESTILERIA	FUERZA LABORAL	A. Generación de expectativas de empleo.	A1. Explicar a la población los alcances del proyecto estableciendo el total de empleos directos, el tipo de contrato, y los cargos a suplir con la reconversión del ingenio a destilería. A2. Crear frentes de trabajo temporales, como cuadrillas De limpieza, Jardinería, etc, que permitan la rotación de personal mejorando los ingresos de la población.
	PROCESOS DEMOGRÁFICOS	A. Migración Poblacional.	A1. Dar prelación a la contratación de la mano de obra no Calificada entre los pobladores de la región o zona de influencia de la destilería.
	INFRA ESTRUCTURA BÁSICA	A. Demanda de bienes y servicios.	A1. Desarrollar mediante convenios con las autoridades locales, obras de infraestructura física, salud, vías, educación, y servicios, con el fin de beneficiar a los Municipios en las áreas de influencia de las destilerías.
	VALORIZACIÓN DE LA TIERRA	A. Aumento del valor de la tierra.	A1. El valor de las tierras aptas para el cultivo de caña, Cercanas a las destilerías tendrán un incremento significativo en su valor.

**C.A.T: Cultivo, Acopio, y Transporte**

Fuente: Ingenio del Cauca S.A. <http://www.asocaña.com>

Las tablas anteriores no contemplan los riesgos asociados con el transporte del etanol desde la destilería hasta los centros de mezclado de los distribuidores mayoristas.

El transporte es realizado en doble-troques, equipados con cisternas o tanques de acero inoxidable, con capacidad de 4800 galones ó en tractomulas con una capacidad de transporte de 10.000 galones. El volumen de etanol transportado, y el medio de transporte utilizado establecen un sinnúmero de riesgos asociados a la etapa de transporte que pueden generar impactos ambientales negativos sobre el componente abiótico, biótico y socio-económico de las áreas de influencia donde se presente el accidente.

El transporte de etanol requiere de un análisis de riesgos independiente de la etapa de producción, y de un plan de emergencia diseñado para mitigar los impactos asociados a este evento.

#### **4. ETANOL EN COLOMBIA**

La industria del alcohol en Colombia, no ha tenido desarrollos significativos, en comparación con otros países, como Brasil, debido al fuerte monopolio ejercido por el gobierno sobre la producción y venta de alcohol potable e impotable, que ha perjudicado las rentas departamentales, ha contribuido a la contaminación del medio ambiente, ha perjudicado el desarrollo industrial del país, ha desincentivado el desarrollo de la industria nacional frente a la extranjera y es contrario a las políticas del gobierno, específicamente las del Ministerio de Comercio Exterior, que busca incentivar las exportaciones y reactivar la economía.

Antes de la aprobación de la ley 693/01, la destilería de Riopaila era la única planta de alcohol anhidro autorizada de Colombia, con una producción aproximada de cuatro millones de litros al año de etanol anhidro e industrial, y sobre la cual el gobierno Colombiano tenía un monopolio total sobre la producción y distribución de etanol, y no permitía ningún otro productor. Los representantes del gobierno en la destilería de Riopaila, eran los responsables de adicionar el desnaturalizante (Dietil-FTALATO), con el fin de que el producto no fuera para el consumo humano.

Actualmente el ciento por ciento del etanol producido por Riopaila, se comercializa como materia prima para la industria de artes gráficas, impresión y tintas. El alcohol industrial se vende para otros fines incluyendo la fabricación de productos cosméticos y farmacéuticos.

La utilización del alcohol como combustible, ha sido proyectada en nuestro país desde los años 30's, cuando la Sociedad de Agricultores de Colombia se preocupó por el tema. Luego en los años 70's, teniendo como referencia la grave crisis energética, por la escasez de petróleo, y la experiencia de Brasil con el desarrollo del Programa Nacional de Alcohol, el tema se puso de moda nuevamente en Colombia. Posteriormente en los 80's y los 90's, se presentaron inquietudes ocasionales, y ahora en el siglo XXI, finalmente, el congreso de la república aprobó la ley 693/01, que establece la obligatoriedad de utilizar componentes oxigenados, como alcoholes carburantes en las gasolinas, abriendo las puertas a la inversión privada nacional y extranjera para la construcción de destilerías o la reconversión de los ingenios existentes.

#### **4.1 PROYECTO DE ALCOHOL CARBURANTE EN COLOMBIA**

Proyecto aprobado por el Congreso de La República de Colombia, el día 19 de Septiembre de 2001, mediante la ley 693, publicada en el Diario Oficial No. 44.564 del 27 de Septiembre de 2001.

La ley 693/01 establece que: “Las gasolinas que se utilicen en el país, en los centros urbanos de mas de 500.000 habitantes tendrán que contener componentes oxigenados tales como alcoholes carburantes, en la cantidad y calidad que establezca el Ministerio de Minas y Energía, de acuerdo con la reglamentación sobre control de emisiones derivadas del uso de estos combustibles y los requerimientos de saneamiento ambiental que establezca el Ministerio del Medio Ambiente para cada región del país.”

Adicionalmente, La ley 693/01 establece los siguientes plazos:

- Seis (6) meses, a partir de la vigencia de la ley 693/01, para que el Ministerio del Medio Ambiente, establezca la regulación ambiental respectiva.
- Seis (6) meses, a partir de la vigencia de la ley 693/01, para que el Ministerio de Minas y Energía, establezca la regulación técnica correspondiente, especialmente en lo relacionado con normas técnicas para la producción, acopio, distribución y puntos de mezclado.
- Cinco (5) años, a partir de la vigencia de la ley 693/01, para la implementación de la norma en forma progresiva, iniciando en centros

con mayor densidad de población y de mayor contaminación atmosférica.

La ley 693/01 rompe con el monopolio ejercido sobre la producción de alcohol en Colombia, estableciendo el desarrollo de la industria de alcohol carburante, con nuevas perspectivas para el futuro energético del país.

## **4.2 MARCO LEGAL Y REGULATORIO DEL PROYECTO**

Fundamentados en la Ley 693/01 aprobada por el Congreso de la República, que establece el uso de alcoholes carburantes en Colombia, El Ministerio de Minas y Energía y el Ministerio del Medio Ambiente, desarrollaron y aprobaron una serie de normas técnicas y regulaciones ambientales sobre la producción, acopio, distribución y puntos de mezcla de los alcoholes carburantes. Véase Anexo A

**4.2.1 Resolución No. 447 de Abril 14 de 2003 del Ministerio de Minas y Energía, y Ministerio del Medio Ambiente.** Esta resolución define la calidad del alcohol carburante (etanol anhidro) y de las gasolinas oxigenadas.

Establece las normas a las que debe ceñirse el uso de aditivos en las gasolinas en Colombia. Véase Anexo B

**4.2.2 Resolución No. 180687 de Junio 17 de 2003 del Ministerio de Minas y Energía.** Reglamento técnico de alcoholes carburante, el cual establece los requisitos técnicos y de seguridad para la producción, acopio, distribución y puntos de mezcla de los alcoholes carburantes.

Esta resolución especifica, reconoce claramente, como alcohol carburante al etanol anhidro, obtenido a partir de la biomasa, y establece como fecha limite el 27 de Septiembre de 2005, para que las ciudades como Bogotá, Calí, Medellín y Barranquilla utilicen en forma obligatoria las gasolinas con la mezcla de alcohol carburante en las proporciones que se señalen en el decreto. Véase Anexo C

**4.2.3 Resolución No. 180836 de Julio 25 de 2003 del Ministerio de Minas y Energía.** Define la estructura de precios para la producción, distribución y venta de la gasolina oxigenada, así como el precio del alcohol carburante, y las reglas para su reajuste. Véase Anexo D

Define el IPAC (t), Ingreso al Productor de Alcohol Carburante, y para efectos de esta estructura de precios establece un valor inicial de \$3.471.94 por galón. El valor del IPAC (t) se actualizará a partir del 1 de enero de 2004, con base en la variación de índices de precios al productor, del año inmediatamente anterior, IPP (70%) y a la tasa de devaluación (30%).

**4.2.4 Resolución No. 181710 de Diciembre 23 de 2003 del Ministerio de Minas y Energía.** Modifica el artículo 2° de la resolución No. 180836 de Julio 25 de 2003, en lo referente al Ingreso al Productor de Alcohol Carburante IPAC (t), que para efectos de esta estructura se reconoce un valor máximo de \$ 3.700.50 por galón. Véase Anexo E

Además de las normas técnicas y las regulaciones ambientales desarrolladas por el Ministerio de Minas y Energía, y el Ministerio del Medio Ambiente, para garantizar la calidad de los combustibles y el medio ambiente, el Gobierno Nacional estableció incentivos legales al incluir el artículo 31 dentro de la ley 788 de 2002, de reforma al estatuto tributario, donde declara exento de IVA el alcohol carburante con destino a la mezcla combustible, adicionalmente, se exoneró del pago de impuesto global y de la sobretasa al porcentaje de dicha mezcla. Estas disposiciones legales, se presentan como una oferta atractiva para los inversionistas del mercado de alcohol carburante.

### **4.3 JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO**

La implementación del etanol como oxigenante de las gasolinas en Colombia, le permite al país:

A nivel energético, diversificar la oferta de combustibles y compensar la balanza energética entre los combustibles líquidos como la gasolina y el ACPM refinados por ECOPETROL, contra la creciente demanda del país.

Racionalizar el consumo de combustibles, y evaluar nuevas fuentes de energía renovables que disminuyan gradualmente la fuerte dependencia del petróleo.

A nivel económico, un ahorro en divisas equivalentes a US \$ 150 millones por sustitución de 4.7 millones de barriles de gasolina por etanol. Además por cada barril de gasolina, reemplazado por un barril de etanol, se liberan 2.5 barriles de petróleo crudo de carga de las refinerías. De esta forma cuando el consumo de todo el país sea del 10%, se liberarían 12 millones de barriles de petróleo en la carga de las refinerías.

A nivel técnico, entregar a los consumidores, un combustible de mejor calidad, con un octanaje superior en 2 y 3 unidades, que permite un aumento en la potencia de 2% al 15% y una mejora en el rendimiento del combustible del 2% al 6%.

A nivel ambiental, reducir las emisiones de CO, HC y NO<sub>x</sub> producto de la combustión, y ofrecer a sus habitantes un aire de mejor calidad, de igual forma, acceder a los beneficios de intercambio de bonos flexibles

establecidos en el protocolo de Kyoto, por una reducción equivalente a siete (7) millones de toneladas anuales de emisiones de gases de efecto invernadero.

A nivel social, La recuperación del campo como medio para generar empleo y mejorar la calidad de vida de miles de colombianos, mediante la unión de las labores agrícolas con la generación de energía y combustibles.

Estimular mediante el proceso productivo del etanol, el trabajo asociativo de los campesinos y su vinculación accionaria a procesos industriales que les permitan desarrollar un espíritu empresarial.

Estabilizar la demanda de productos agrícolas como la caña de azúcar, mediante su vinculación como fuente de materia prima para la producción de biocombustibles renovables para suplir las necesidades energéticas del país.

Organizar las comunidades y los agricultores, iniciando procesos de desarrollo social sostenible a corto, mediano y largo plazo.

Mejorar la calidad de vida mediante la estabilidad laboral, incremento de los ingresos familiares de los campesinos y aumento de obras de infraestructura (vial, acueductos, energía, entre otros).

#### **4.4 MERCADO POTENCIAL DE ETANOL EN COLOMBIA**

Solo en Colombia, utilizando como oxigenante un 10% de etanol, se requerirán 675.000 litros de etanol diarios en las siete principales ciudades de Colombia y 1,5 millones de litros diarios a nivel nacional.

En el país, durante el año 2003, se han consumido 42.457 barriles día, entre las principales ciudades del país y 93.857 barriles día a nivel nacional si se oxigenarán las gasolinas con el 10% de etanol se requerirían inicialmente para suplir la demanda de las principales ciudades 4.245,7 barriles día y 9.345,7 barriles día para la demanda nacional. No obstante ECOPETROL estima para el año 2006 consumos de 99.505 barriles día.

El 24,8% de la demanda de etanol se concentrará en Bogotá, donde se consume la mayor cantidad de gasolina en el país, por lo que la ubicación de destilerías cerca de la capital del país se hace inminente. Véase Tabla 10

No obstante, es necesario cubrir las ciudades del país con más de 500.000 habitantes, de ahí la estimación inicial de la creación de 3 destilerías, con capacidad de 300.000 litros día, para cubrir la demanda actual y 5 destilerías para cubrir la demanda proyectada, para las cuales ya ha sido proyectada su posible ubicación.

**Tabla 10. Consumo Promedio de Gasolinas en Colombia**

<b>Consumo Promedio GASMOTOR (Corriente+Extra) barriles/diarios</b>					
<b>Ciudad</b>	<b>2000</b>	<b>2001</b>	<b>2002</b>	<b>2005*</b>	<b>2006*</b>
Bogotá	23.798	23.310	22.800	24.624	25.080
Medellín	6.575	6.148	5.950	6.426	6.545
Cali	7.265	5.892	5.752	6.212	6.327
Barranquilla	2.534	2.234	2.120	2.290	2.332
Cartagena	2.072	1.822	1.788	1.931	1.967
Pereira	1.881	1.587	1.502	1.622	1.652
Bucaramanga	1.856	1.464	1.409	1.522	1.550
<b>SUB-TOTAL</b>	<b>45.981</b>	<b>42.456</b>	<b>41.321</b>	<b>44.627</b>	<b>45.453</b>
Resto del País	56.744	49.792	49.138	53.069	54.052
<b>TOTAL</b>	<b>102.725</b>	<b>92.248</b>	<b>90.459</b>	<b>97.696</b>	<b>99.505</b>

\* Proyectada

Fuente: ECOPETROL

#### **4.5 ZONAS POTENCIALES PARA LA UBICACIÓN DE DESTILERÍAS**

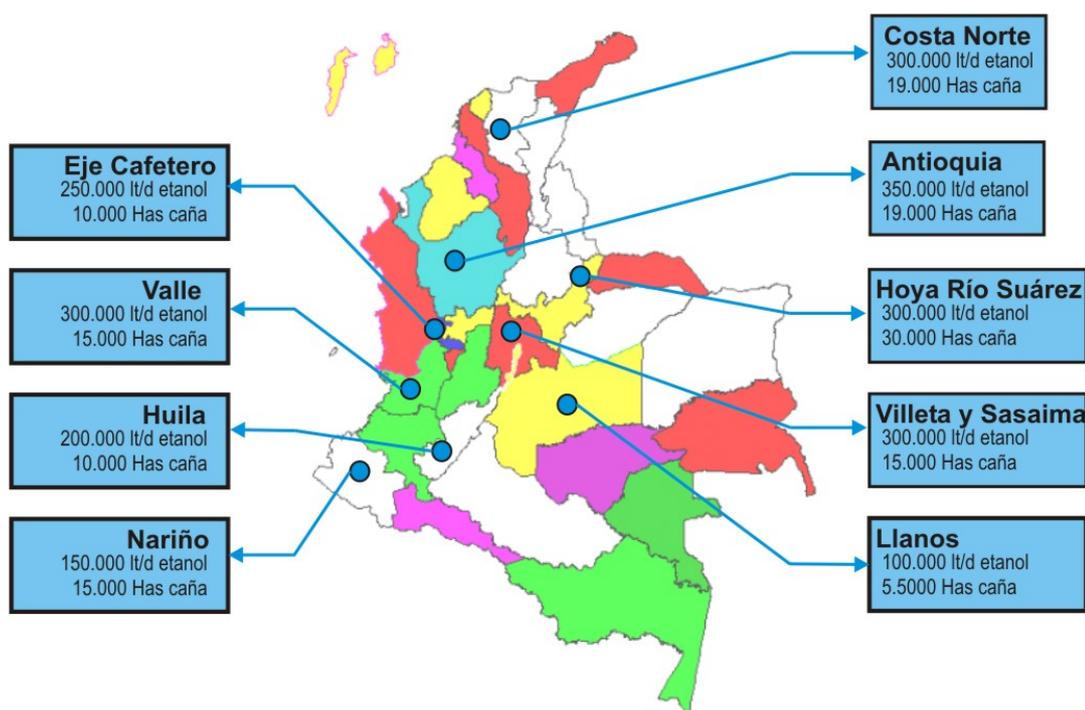
Como principales zonas con potencial para la ubicación de las primeras destilerías, de acuerdo a su cercanía con las grandes ciudades y a su vocación cañera se han identificado:

- El departamento del Valle del Cauca

- La Hoya del Río Suárez en el departamento de Santander
- La zona de Vegachí en Antioquia
- El departamento de Valledupar
- El departamento del Huila
- El Eje Cafetero
- La zona de Villeta y Sasaima
- Los Llanos Orientales
- Los departamentos de Nariño y Putumayo

La hoya del Río Suárez, representa una de las zonas potenciales estratégicas para la ubicación de una de las destilerías, por su cercanía con uno de los centros de mayor consumo, la capital de la república. Por esta razón esta monografía hará énfasis especial mas adelante sobre este proyecto. Véase Figura 35

**Figura 35. Zonas Potenciales para la Ubicación de las Destilerías**



Fuente: Plan de Negocios. Proyecto Alcoholes Carburantes. <http://www.asocaña.com>

#### 4.6 DISPONIBILIDAD DE MATERIA PRIMA

Para la producción de Alcohol Etanol a partir del jugo diluido de la caña de azúcar, es deseable disponer de variedades de caña de alta producción de biomasa. Sin embargo, se pueden utilizar las variedades comerciales que se encuentran actualmente cultivadas mientras se realizan los nuevos cultivos.

Actualmente Cenicaña adelanta un proyecto de zonificación agroclimática del área cañera para producción de azúcar en el cual se involucran los efectos espaciales y climáticos (temporales), que servirán de apoyo para la ubicación de nuevas zonas cañeras con variedades destinadas al Alcohol Etanol. Con la información disponible en el momento es posible orientar los sitios y variedades a sembrar. Variedades candidatas serían CC 85-92, CC 84-75, CC 87-434, V71-51, PR 61-632, además de algunas variedades adicionales que se han caracterizado como de alta biomasa pero que no están en siembras comerciales amplias por presentar bajos contenidos de sacarosa.

Si en el mediano-largo plazo, las variedades actuales de caña no suplen las necesidades que requiere la producción de alcohol, Cenicaña contempla la posibilidad de incorporar en el mejoramiento genético de nuevas variedades, las características de alta biomasa.

Aunque la experiencia indica que no todas las variedades procedentes de otros países se adaptan a las condiciones locales, Cenicaña dispone de un buen número de variedades importadas de Brasil, que actualmente son cultivadas allá para la producción de azúcar y de alcohol. Las nuevas variedades para producción de biomasa deben ser resistentes a las enfermedades y plagas, además de tener características deseables para la cosecha en verde. Este desarrollo implica la adición de recursos en el Programa de Variedades de Cenicaña.

Las variables más importantes a considerar para la selección de variedades de caña energética (aparte de la adaptación y resistencia a enfermedades y plagas) son:

- Alto contenido de biomasa
- Alto macollamiento
- Alto contenido de fibra
- Baja relación residuos/biomasa total
- Estabilidad de la producción a través de cortes
- Alto contenido de azúcares totales

En Colombia existen actualmente 450 mil hectáreas de caña, de las cuales, 200 mil hectáreas cultivadas se encuentran en el Valle del Cauca destinadas a la producción de azúcar, y 250 mil hectáreas en el resto del país destinadas a la producción de panela.

Se estima que para la producción de alcohol será necesario destinar un total de 42.000 hectáreas ya sean nuevas o de migración de cultivos actuales para atender la demanda de las principales ciudades, y 70.000 para cubrir la demanda nacional.

#### **4.7 SELECCIÓN DE TECNOLOGIAS PARA EL PROYECTO**

Este es sin duda, uno de los puntos más importantes a tratar en la planeación y desarrollo de esta clase de proyectos, porque involucra dos factores de peso, el primero, el factor económico y segundo el factor de eficiencia ó rendimiento de la planta seleccionada en la conversión de mieles finales a etanol ó en su defecto jugos clarificados a etanol, con una baja relación de vinazas por galón de etanol producido.

Sin embargo, existen en el mercado varias compañías especializadas a escala mundial que pueden suministrar la tecnología para producir el alcohol a partir de la caña de azúcar, bien sea de la melaza o del jugo directamente, que se describen a continuación.

**4.7.1 Biostil-Chematur Engineering** Es un grupo de compañías de ingeniería química de Suecia, Estados Unidos, Finlandia e India, que iniciaron actividades en la década de los 30's. Su tecnología bajo la firma

registrada Biostil, es una fermentación continua para la producción de alcohol potable o para uso de combustible.

**4.7.2 Vogelbusch.** Vogelbusch-GmbH es una compañía austriaca fundada en 1921 dedicada a la ingeniería y construcción de plantas de alcohol a escala industrial, presenta como referencia más de 15 plantas con capacidades que van desde 62.000 ltr/d hasta 1.2 millones de litros al día.

Su proceso se basa en fermentación continua y una tecnología que integra la destilación y la deshidratación con tamices moleculares. Se utiliza concentración e incineración para el tratamiento de las vinazas. Tiene aplicaciones en alcohol carburante (bioetanol), potable (extra neutro), industrial (hidratado) y deshidratado para usos médicos.

**4.7.3 Praj + Delta T.** Praj Industries es una compañía de la India que trabaja conjuntamente con la Corporación Delta-T de USA. Posee desarrollos tecnológicos e ingeniería especializada en el diseño y construcción de plantas de alcohol a partir de melazas, jugo de caña y granos. Ha construido más de 150 plantas de alcohol basadas en melazas y/o jugo de caña en Asia y África.

Delta-T Corporation es una compañía de ingeniería y construcción, con sede en Williamsburg, Virginia, USA, especializada en tecnología de producción de

etanol. Tiene amplia experiencia en el diseño e instalación de tamices moleculares y ha instalado plantas de alcohol de 200.000 ltr/d de capacidad empleando maíz como materia prima. Su tecnología es de fermentación continua, deshidratación con tamices moleculares y tratamiento anaeróbico de las vinazas.

**4.7.4 Speichim.** Speichim, es una firma francesa perteneciente al grupo Technip. Tiene un proceso de fermentación continua, deshidratación con ciclohexano y proceso combinado anaerobio/aeróbico para tratamiento de las vinazas con producción de biogás.

**4.7.5 Zanini International.** La tecnología original para el alcohol corresponde a la firma italiana Mussi. El proceso contempla la melaza como materia prima, fermentación discontinua y deshidratación con tamices moleculares.

**4.7.6 Tomsa S.A.** Empresa española que ofrece servicios y productos para las destilerías de alcohol. En la fermentación discontinua, y deshidratación con ciclohexano. Las vinazas son tratadas en un proceso de digestión anaerobia.

**4.7.7 Codistil.** Codistil es una compañía de capital brasileño, que hace parte del Grupo Dedini, fundada en 1.943 y especializada en fabricar equipos

diversos, plantas completas, y servicios de ingeniería. Ha instalado alrededor de 650 unidades productoras, diseñadas y fabricadas por Codistil, y ha construido plantas en Brasil. En el proceso se realiza una fermentación discontinua, deshidratación con benceno y tratamiento anaeróbico y aeróbico de las vinazas con el sistema UASB. Véase Tabla 11

**Tabla 11. Compañías de tecnología en Plantas de Etanol**

Compañía	País	Materia Prima
Biostil-Chematur Engineering	Suecia	Melaza-Jugo
Vogelbusch	Austria	Melaza
Praj + Delta T	India-USA	Melaza - Jugo
Speichim	Francia	Melaza
Zanini International	Brasil	Melaza
Tomsa S.A	España	Melaza
Codistil	Austria	Melaza

Fuente: Plan de Negocios. Proyecto Alcoholes Carburantes. <http://www.asocaña.com>

#### 4.8 ESTRUCTURA DE PRECIOS Y DISTRIBUCIÓN DE GASOLINAS

En el esquema actual de venta de la gasolina, ésta es provista en un 100% por ECOPETROL, el cual la obtiene ya sea de sus refinerías de Barrancabermeja y Cartagena, o de la importación. La cadena de combustibles comienza con la venta de la gasolina, por parte de ECOPETROL, al mayorista, éste a su vez se la vende al minorista y luego al consumidor final, en su respectiva estación de servicios. Véase Figura 36

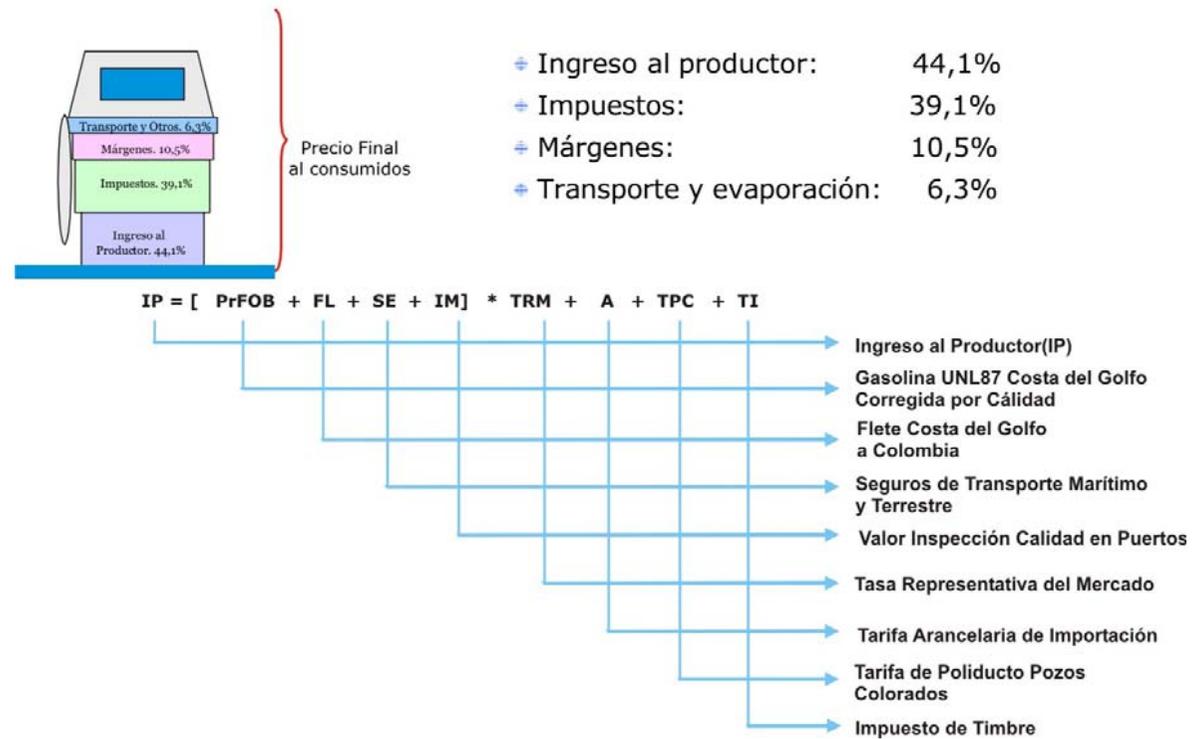
**Figura 36. Esquema Actual de Distribución de Gasolinas**



Fuente: Plan de negocios. Proyecto Alcoholes Carburantes. <http://www.asocaña.com>

El Ministerio de Minas y Energía ha implementado una fórmula tarifaria, la cual permite que todos los actores de la cadena obtengan una rentabilidad luego del pago de sus costos. La rentabilidad va desde la producción y el transporte hasta los impuestos y los márgenes. Véase Figura 37

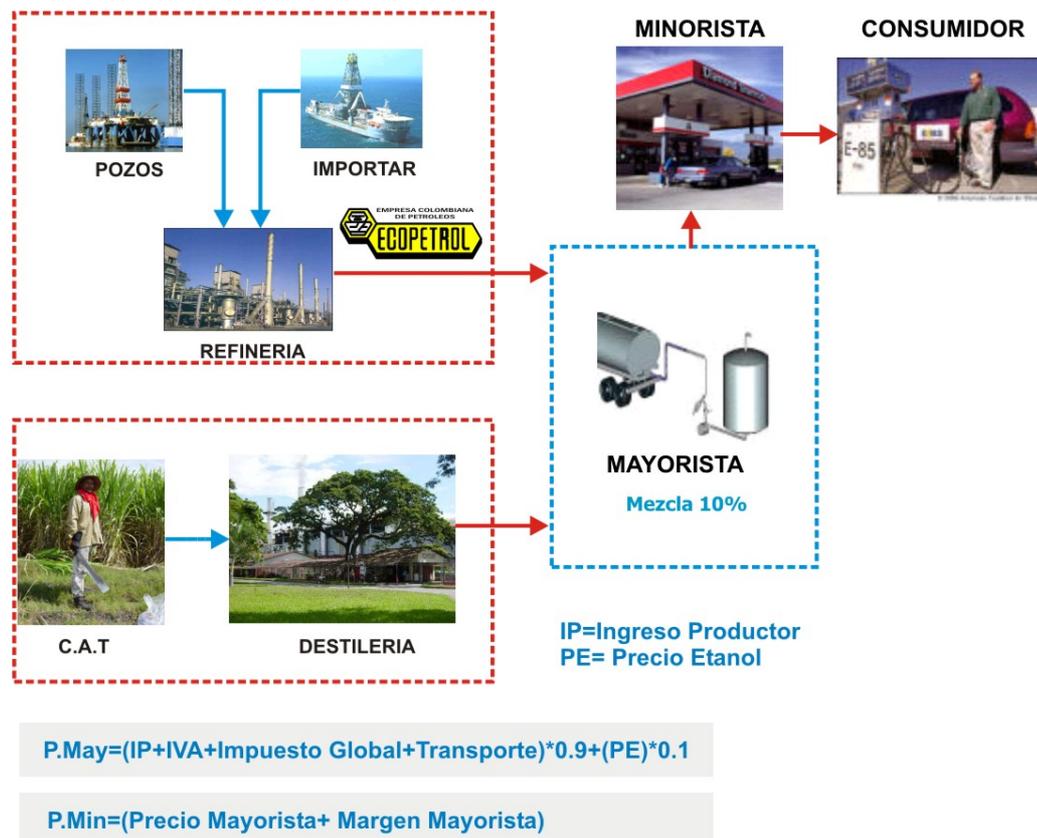
**Figura 37. Cálculo Tarifario Actual**



Fuente: Plan de Negocios. Proyecto Alcoholes Carburantes. <http://www.asocaña.com>

No obstante, al incluir el etanol que no es una variable dependiente del petróleo sino de la caña, la curva del precio al consumidor final dependerá en un 90% del comportamiento del petróleo y un 10% del comportamiento del precio del etanol. De otro lado, el esquema de distribución de las gasolinas también presentará ciertos cambios al futuro. Véase Figura 38

**Figura 38. Esquema Futuro de Distribución de Gasolinas**



Fuente: Plan de Negocios. Proyecto Alcoholes Carburantes. <http://www.asocaña.com>

En el nuevo contexto de negocio, las gasolinas, continúan con el mismo esquema tarifario, pero proyectado al 90%, equivalente al volumen de mezcla, y el 10% restante se calcula a partir del precio del etanol.

Con el fin de no trasladarle ningún sobre costo al consumidor final y garantizando que la utilidad de ECOPETROL, el mayorista y el minorista continúen con el mismo margen, se determinó que el Estado es el único actor que puede permitir dicho equilibrio. Por tal motivo el Estado deberá trasladar la carga impositiva, proporcional al porcentaje de mezcla de etanol, al negocio, es decir al campo (Ley 788 de 2002).

#### **4.9 PROYECTO HOYA DEL RIO SUAREZ EN SANTANDER**

El proyecto de la hoya del Río Suárez, es de vital importancia para el país, debido a la ubicación estratégica seleccionada para la construcción del complejo agroindustrial. La destilería será construida en la finca “El Castillo” en el municipio de Güepsa, Departamento de Santander.

Para el desarrollo del proyecto se contemplan dos fases:

- Fase 1: Producción estimada de 150 mil litros diarios de etanol

- Fase 2: Producción estimada de 300 mil litros diarios de etanol

La hoya del Río Suárez, cuenta con una extensión sembrada de caña azúcar de 45,000 hectáreas, que en la actualidad se dispone como fuente materia prima para la producción de panela. No obstante, el sector se ha deprimido en los últimos años pues el consumo de panela por habitante se ha reducido debido al cambio de los hábitos alimenticios de los colombianos y está siendo desplazado por otros productos sustitutos directos como el azúcar y los edulcorantes sintéticos, e indirectos como las bebidas gaseosas y los refrescos artificiales de bajo valor nutritivo.

La inversión estimada para la ejecución del proyecto es de US \$ 48 Millones, que en su totalidad serán aportados por inversionistas privados. La distribución del capital de inversión contempla en infraestructura tecnológica un rubro de US \$ 40 Millones, en Infraestructura Vial, un rubro de US \$ 5 Millones, y en Adecuación y Tecnificación de Cultivos un rubro de US \$ 3 Millones. Véase Tabla 12

Para la puesta en operación y producción de la planta de etanol de la Hoya del Río Suárez, se requiere de un área de cultivo y una producción por hectárea de caña de azúcar mínimas que se especifican en la Tabla 13

**Tabla 12. Distribución del Capital de Inversión**

Inversión	Capital
Planta de Molienda y Destilación Planta de Tratamiento de Aguas residuales Centro de Investigación y Capacitación Planta Térmica	<b>US \$ 30 - 40 Millones</b>
Inversiones en Infraestructura Vial (Carreteras-Puentes-Vías de Acceso a Cultivos y Plantas)	<b>US \$ 5 Millones</b>
Inversión en Adecuación de Cultivos	<b>US \$ 3 Millones</b>
<b>TOTAL INVERSIÓN</b>	<b>US \$ 38 - 48 Millones</b>

Fuente: Oxigenación de la Gasolina por Medio de Biomasa. MinMInas y MinAgricultura y Desarrollo Rural

**Tabla 13. Requerimientos del Complejo Agroindustrial**

<b>Requerimientos del Complejo Agroindustrial</b>	
Productividad hectárea año	75 Toneladas/hectarea
Productividad Caña-Etanol	77 Litros/Tonelada
Productividad Etanol - Planta FASE 1	150.000 Litros/día
Requerimiento de Caña diarios	2000 Toneladas
<b>ÁREAS DE CULTIVO</b>	
Área de caña cultivada actualmente	45,000 hectáreas
Requerimientos de caña anual de la planta	720.000 Toneladas
Migración de caña anual a etanol (22%)	10.000 hectáreas
Requerimientos nuevas hectáreas de caña FASE 2	10.000 hectáreas

Fuente: Fuente: Oxigenación de la Gasolina por Medio de Biomasa. MinMInas y MinAgricultura y Desarrollo Rural

Para que el proceso de producción sea económicamente viable el cultivo de caña debe estar realizado en bloque, sin contar con cultivos aislados que estén demasiado distanciados de la planta de destilación.

En cuanto al proceso de siembra, corte y transporte hasta la puerta de las fincas, éste estará a cargo del campesino, aunque con asesoría y capacitación de las destilerías ya que una mayor productividad beneficiará a toda la cadena productiva.

Posteriormente la destilería se encargará de transportar la caña bien sea a centros de acopio o directamente a la planta, de acuerdo a las distancias promedio de las áreas cultivadas. Una vez la caña este en planta, se procede a realizar el proceso de molienda y extracción de los jugos para fermentarlos y transformarlos en fuente de energía.

Al finalizar el proceso, el etanol se transporta a las centrales de mezclado mayorista aledañas a las ciudades donde se distribuirá la gasolina.

**4.9.1 Análisis económico del proyecto.** Para el análisis de viabilidad del proyecto se establecen las principales fuentes de ingresos, y egresos disgregados en costos y gastos fijos. Se asume que la planta entra en operación en enero de 2005 y se realizan proyecciones para un horizonte de 20 años.

• **Fuentes de Ingresos:** A continuación se describen los supuestos empleados para cada fuente de ingreso:

- **Ingresos por venta de etanol carburante:** Los ingresos se proyectaron tomando como base una capacidad de planta de 300.000 litros diarios, y 330 días hábiles al año de producción, lo que equivale a ventas de 26.15 millones de galones de etanol anuales. El precio de venta estimado por galón es de USD \$ 1.832 (equivalente a COL \$ 4.255 del año 2005, con una TRM de \$2.323).

El ingreso por venta de etanol alcanza los COL \$ 111.281 Millones para el primer año de proyecciones. Este monto se incrementó teniendo en cuenta únicamente la inflación americana estimada en 2.0% para los años proyectados.

- **Venta de abono:** El tratamiento de las vinazas produce un abono que adicionado con urea, fósforo o potasio se convierte en alimento de suma utilidad para las plantaciones de caña de azúcar.

El ingreso proyectado por abono equivale a la venta anual de 3.300 toneladas que permanece constante durante los años proyectados. El precio por tonelada es de COL \$ 350.000, los ingresos por concepto de venta de abono para el primer año de proyecciones

corresponden a COL \$ 1.155 Millones. Este valor se incrementa de acuerdo a la inflación esperada.

- **Venta de electricidad:** Las destilerías al contar con plantas termoeléctricas propias tendrán autosuficiencia energética e igualmente podrán vender sus excedentes de kilovatios a la red nacional.

Se estimó la venta de 2.600 kilovatios hora de acuerdo a las especificaciones técnicas de la termoeléctrica. El precio de venta por kilovatio se estimó en COL \$55 para el año 2005. El ingreso por venta de electricidad para el primer año de proyecciones es de COL \$ 1.133 Millones.

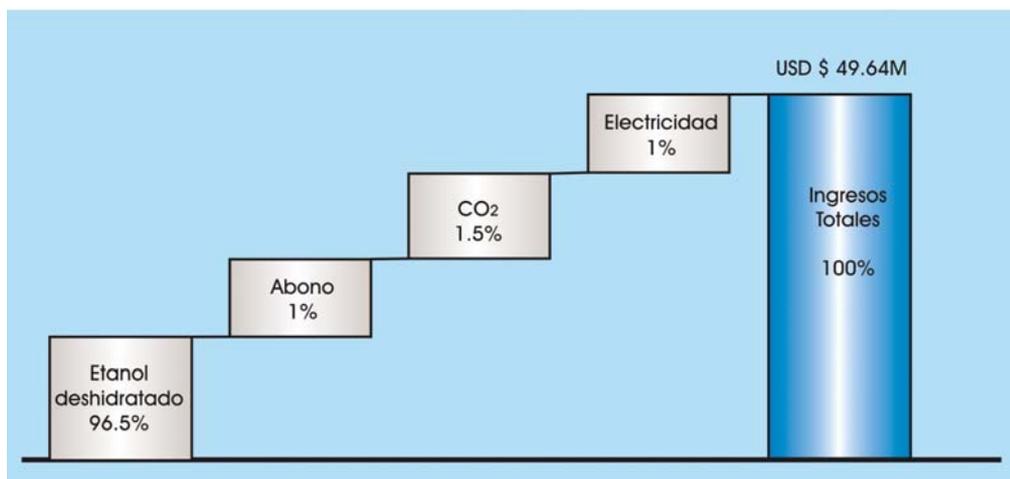
- **Venta de CO<sub>2</sub> a la industria:** La destilería en su proceso productivo generará CO<sub>2</sub> el cual podrá ser vendido a industrias de producción de bebidas gaseosas. El precio actual en el mercado por tonelada de CO<sub>2</sub> puesto en planta de producción es de COL \$ 650.000 pesos.

Se estimó la venta de 2.700 toneladas anuales de CO<sub>2</sub>, lo que equivale a un 15% del total de CO<sub>2</sub> consumido por las empresas

productoras de bebidas gaseosas en el país. El ingreso para el primer año proyectado es de COL \$ 1.755 Millones. Véase Figura 39

Los ingresos totales estimados para el primer año de operaciones (año 2005) son de COL \$ 115.324 millones de pesos, equivalente a USD \$ 49.64 millones de dólares. Aunque la participación porcentual de la venta de abonos, gas carbónico y electricidad es baja, estos ingresos junto con ingresos adicionales que se puedan generar mejoran la rentabilidad del proyecto.

**Figura 39. Fuentes de Ingresos**



Fuente: Plan de Negocios. Proyecto Alcoholes Carburantes. <http://www.asocaña.com>

Otras fuentes de ingresos:

- **Ventas de etanol para la elaboración de licores:** Un ingreso adicional para las destilerías es la venta de alcohol para bebida, no obstante este sólo podría ser vendido una vez se supla la demanda interna para la mezcla de etanol con gasolina. Sin embargo, el alcohol para licor podría ser un negocio bastante rentable si se tiene en cuenta que al país se importan anualmente más de 45 millones de litros de alcohol, a precios superiores a USD \$ 2 por galón.
- **Exportación de etanol:** De darse excedentes de producción en la destilería o realizar inversiones adicionales para aumentar la capacidad productiva, podría exportarse etanol a países con oferta insatisfecha como el caso de Estados Unidos.
- **Ventas de créditos por reducción de emisiones:** Aunque el tema de la reducción de emisiones se plasmó desde hace años en el Protocolo de Kyoto, el mercado de venta de estas emisiones se encuentra en desarrollo. No obstante, su potencial de generación de ingresos es alto, las negociaciones se realizan a través de la bolsa de Londres. En el año 2002 en países como Alemania se subastaron a €6,58 euros, la tonelada de emisión reducida.

Las fuentes de ingresos adicionales por concepto de la venta de etanol para licores, la exportación de etanol y la venta de créditos por reducción de emisiones contaminantes, no se tuvieron en cuenta en las proyecciones financieras.

- **Proyecciones financieras:** Para la proyección del precio de venta del galón de etanol se estimaron parámetros macroeconómicos como inflación colombiana, inflación externa, devaluación, DTF entre otros, que aparecen la Tabla 14. El precio estimado por galón es USD \$ 1.832, este monto se incrementó únicamente por la inflación americana estimada en 2.0% para los años proyectados.

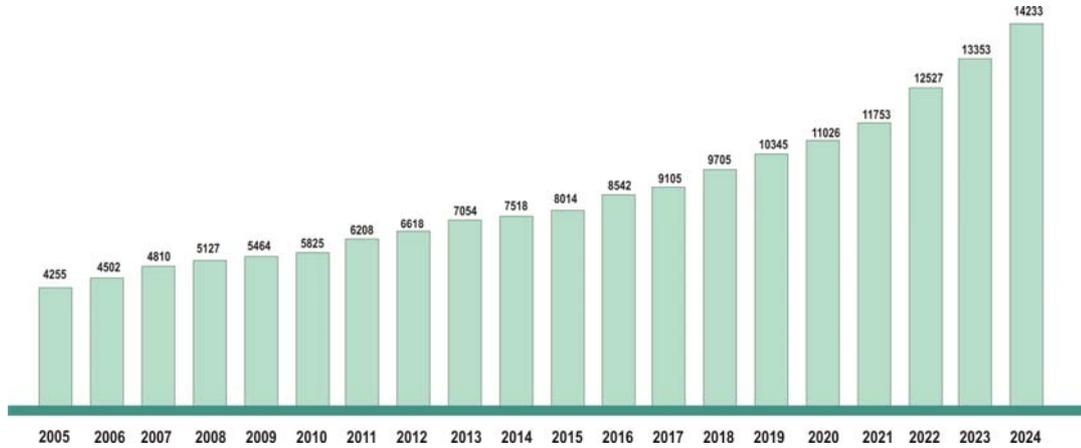
**Tabla 14. Parámetros macroeconómicos de proyección**

Parámetros	2005	2006	2007	2008	2009	2010
<b>Inflación Colombiana</b>	6.0%	6.0%	6.0%	6.0%	6.0%	6.0%
<b>Inflación Externa</b>	2.0%	2.0%	2.0%	2.0%	2.0%	2.0%
<b>Devaluación</b>	5.5%	5.0%	4.5%	4.5%	4.5%	4.5%
TRM	2,351	2,469	2,580	2,696	2,817	2,944
TRM Promedio	2,323	2,410	2,524	2,638	2,756	2,880
<b>Spread DTF sobre IPC</b>						
Tasa DTF EA	10.0%	10.0%	10.0%	10.0%	10.0%	10.0%
Tasa DTF TA	9.4%	9.4%	9.4%	9.4%	9.4%	9.4%
<b>Spread de Inversiones (TA)</b>	-1.0%	-1.0%	-1.0%	-1.0%	-1.0%	-1.0%
Rendimiento de Inversiones	8.4%	8.4%	8.4%	8.4%	8.4%	8.4%

Inflación: Se proyectó una inflación colombiana del 6% para los 20 años de proyección estimados y una inflación externa de 2.0%.  
 Devaluación: La devaluación para el 2005 se estableció en 5.5%, se reduce a 5.0% para el 2006, a partir del 2007 se proyectó paridad cambiaria de 4.5%  
 DTF: Se estimó cuatro (4) puntos por encima de la inflación proyectada.  
 Nuevas Inversiones: Las inversiones de excedentes de caja se proyectaron a una tasa del DTF menos un (1) punto.

Fuente: Plan de Negocios. Proyecto Alcoholes Carburantes. <http://www.asocaña.com>

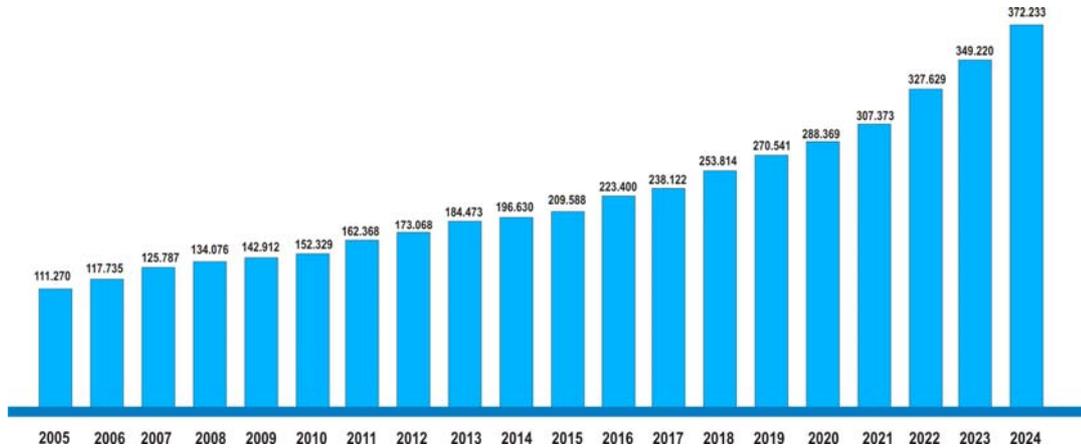
**Figura 40. Evolución del precio de etanol**



COL \$ Millones de Pesos

Fuente: Plan de Negocios. Proyecto Alcoholes Carburantes. <http://www.asocaña.com>

**Figura 41. Evolución de ingresos por venta de etanol.**



COL \$ Millones de Pesos

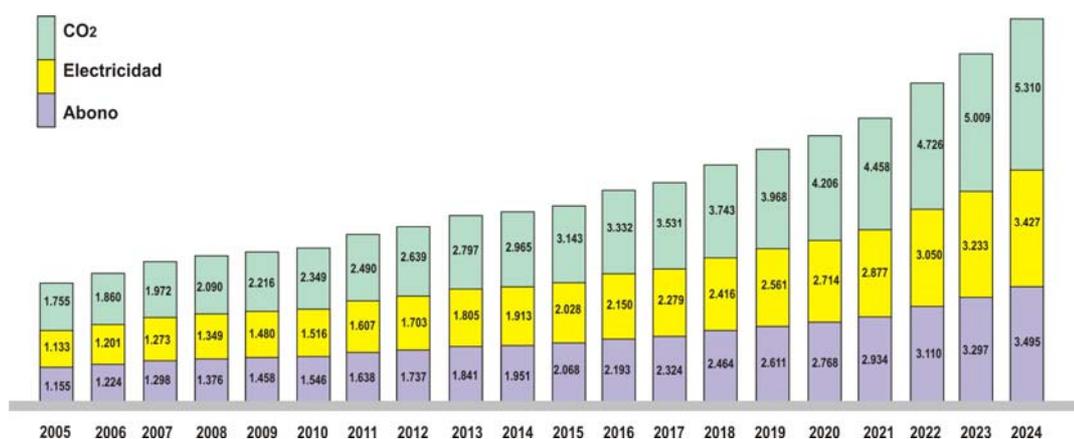
Fuente: Plan de Negocios. Proyecto Alcoholes Carburantes. <http://www.asocaña.com>

La venta de etanol presenta un comportamiento creciente durante los 20 años de proyecciones, pues aunque el volumen permanece constante en 300.000 litros diarios, el precio de venta de USD \$1.83 se incrementa

por cuenta de la devaluación proyectada para Colombia por paridad cambiaria. Los ingresos generados para el año 2005 por concepto de venta de etanol se estiman en COL \$ 111.270 millones. La tasa de crecimiento compuesta del ingreso por venta de etanol es del 6,56%. Véase Figura 40 y 41

Además de las ventas de etanol estimadas en COL \$ 111.270 millones, para el primer año de proyecciones, se estimaron igualmente ingresos adicionales por COL \$ 4.043 millones, desgregados de la siguiente manera: venta de abono COL \$ 1.155 millones, venta de electricidad COL \$ 1.133 millones y venta de CO<sub>2</sub> COL \$ 1.755 millones. Véase Figura 42

**Figura 42. Evolución de otros ingresos**

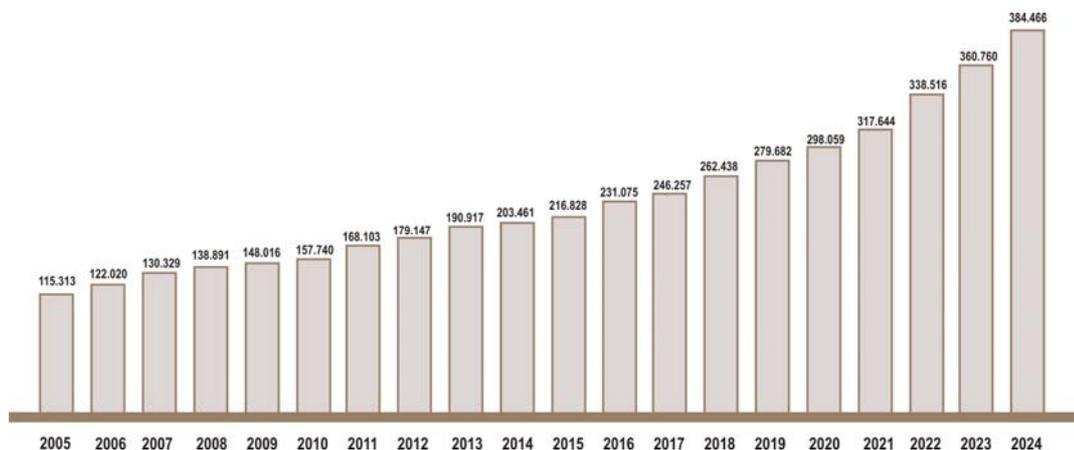


COL \$ Millones de Pesos

Fuente: Plan de Negocios. Proyecto Alcoholes Carburantes. <http://www.asocaña.com>

Finalmente, los ingresos totales estimados para el año 2005 se sitúan en COL \$ 115.313 millones de pesos. A futuro los ingresos crecerán por el componente de la devaluación en los precios para el caso del etanol y la inflación para el caso de la venta de abonos y electricidad. La tasa de crecimiento compuesta TACC de los ingresos proyectados es de 6,55%. Véase Figura 43

**Figura 43. Evolución de lo ingresos totales**



COL \$ Millones de Pesos

Fuente: Plan de Negocios. Proyecto Alcoholes Carburantes. <http://www.asocaña.com>

- **Fuentes de egresos.** Para la proyección de los egresos de una planta de 300.000 litros/día, se estimaron los costos y gastos en que incurrirá la destilería para su correcta operación.

Los costos más importantes de la empresa corresponden a:

- **Materia prima:** Equivalente a la compra de caña de azúcar. Se estima el pago de 9,4 galones de etanol por tonelada de caña. Esto equivale a un promedio de compra de USD \$ 17.21 dólares la tonelada. Para una planta de producción de 300,000 litros/día se requieren 1.28 millones de toneladas de caña anuales, equivalentes a COL \$ 51.419 millones de pesos anuales.
- **Transporte:** Incluye el corte y transporte de la caña a la planta estimado en COL \$ 18.000 pesos por tonelada según el promedio reportado por el Valle del Cauca. El costo de transporte es de COL \$ 23.142 millones

Adicionalmente se incluye el transporte de etanol de la planta destiladora a la planta mayorista de mezcla, este costo se estimó en USD \$ 4 centavos por galón, equivalentes a COL \$ 2.430 millones anuales. Los costos totales por transporte son de COL \$ 25.572 millones.

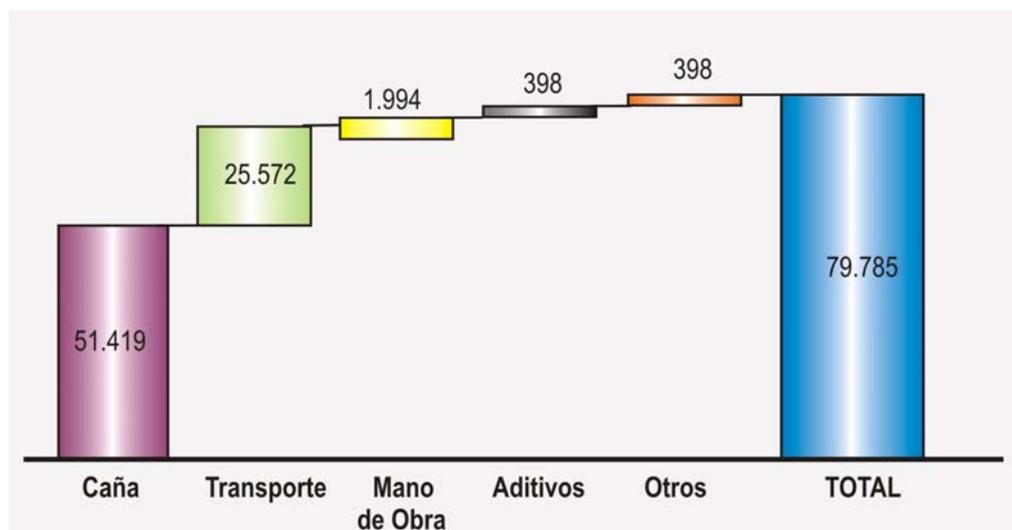
Los costos de materia prima y transporte representan el 96.5% de los gastos fijos de una planta de producción de etanol, y equivalen a COL \$ 76.992 millones.

- **Personal y sus prestaciones sociales:** Incluye la planta de personal técnica necesaria para operar el complejo agroindustrial. Se estimó el 2.5% del total de los costos, equivalente COL \$ 1.994 millones anuales.
  
- **Aditivos:** Incluye los demás suministros necesarios para la transformación de la caña en etanol, se estimó un rubro de 0.5%, equivalente a COL \$ 398 millones anuales.
  
- **Otros egresos operacionales:** Esta conformado por otros nutrientes necesarios para complementar el abono vendido. Por este concepto se estimó un 0.5%, equivalente a COL \$ 398 millones anuales.

En el año 2005, los costos fijos del proyecto ascenderán a COL \$ 79.785 millones. Véase Figura 44

Estos egresos se estimaron de acuerdo a los estándares del sector, según información de Asocaña y Alcoholes S.A. Para el caso específico del precio de la caña éste se proyectó como el equivalente a 9,4 galones de etanol, con el fin de estabilizar el precio de compra de la materia prima y regular la volatilidad de la caña al ligarlo al comportamiento del mercado del etanol, el cual es más estable.

**Figura 44. Fuentes de egresos. Costos fijos**

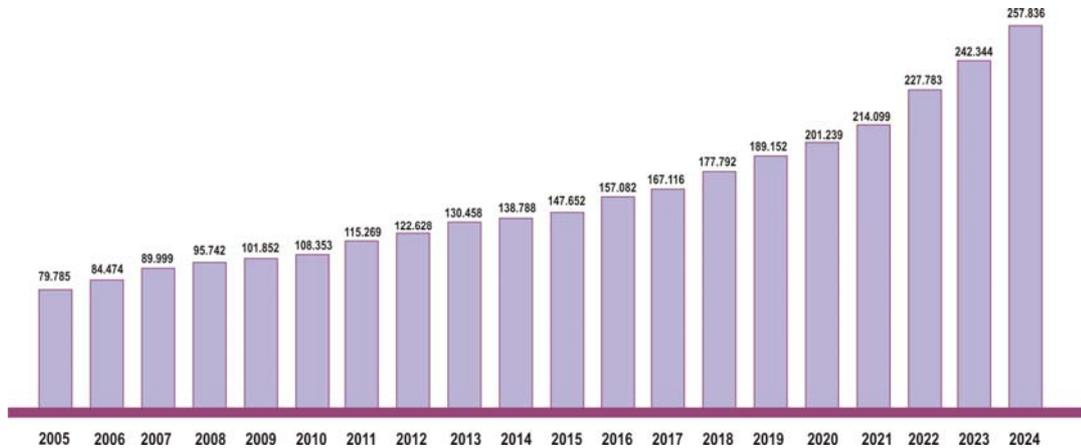


Fuente: Plan de Negocios. Proyecto Alcoholes Carburantes. <http://www.asocaña.com>

Se espera que los costos de operación para el año 2005 se sitúen en COL \$ 79.785 millones de pesos. A futuro los costos crecerán por el componente de la devaluación en el caso del costo de USD \$ 9,4 galones por tonelada de caña. Los egresos restantes se incrementarán por la inflación. El margen bruto promedio proyectado fue de 30%.

La tasa de crecimiento compuesta TACC de los costos proyectados es de 6.4%. Véase Figura 45

**Figura 45. Evolución de los costos totales**



COL \$ Millones de Pesos

Fuente: Plan de Negocios. Proyecto Alcoholes Carburantes. <http://www.asocaña.com>

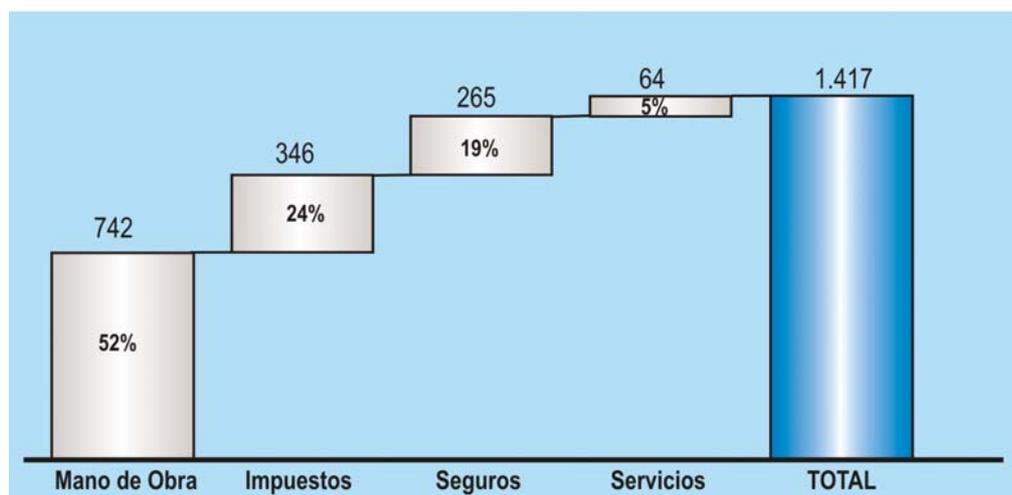
• **Gastos de Operación:** Igualmente se proyectaron los gastos de operación de la empresa que corresponden a:

- Personal y sus prestaciones sociales: Equivalente a la planta de personal administrativo de la planta.
- Impuestos: Se estima el rubro del 3 por mil.
- Servicios públicos: Incluye teléfono, aseo y vigilancia entre otros.
- Seguros: Para la dotación y equipos de la planta.

Del total de gastos el 52% equivale a mano de obra, el 24% a impuestos, el 9% a seguros y el 5% restante a servicios públicos. Esto egresos se incrementaron año tras año por la inflación.

En el año 2005, los gastos fijos del proyecto ascenderán a COL \$ 1.417 millones. Véase Figura 46

**Figura 46. Fuentes de egresos. Gastos fijos**

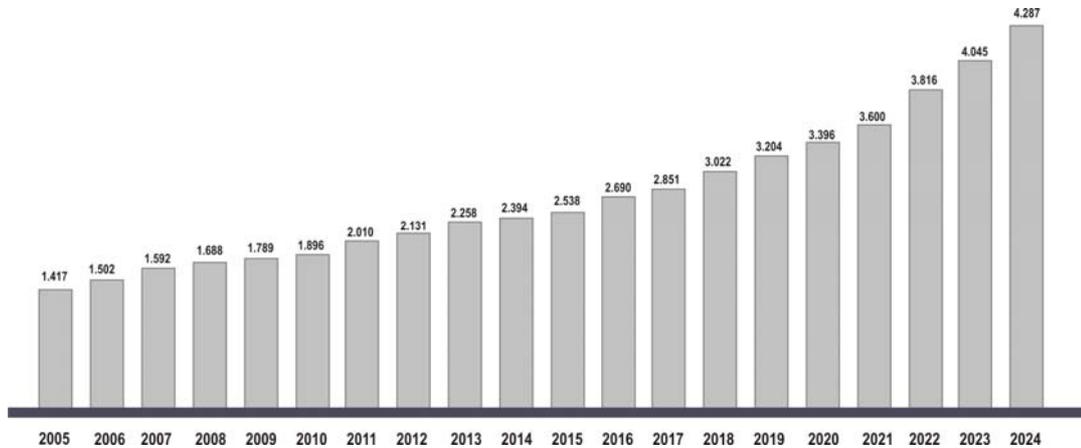


COL \$ Millones de Pesos

Fuente: Plan de Negocios. Proyecto Alcoholes Carburantes. <http://www.asocaña.com>

A futuro los gastos crecerán por la inflación. El margen operacional promedio proyectado es de 32%, incluyendo el gasto de depreciación de los equipos.

**Figura 47. Evolución de los Gastos Totales**



COL \$ Millones de Pesos

Fuente: Plan de Negocios. Proyecto Alcoholes Carburantes. <http://www.asocaña.com>

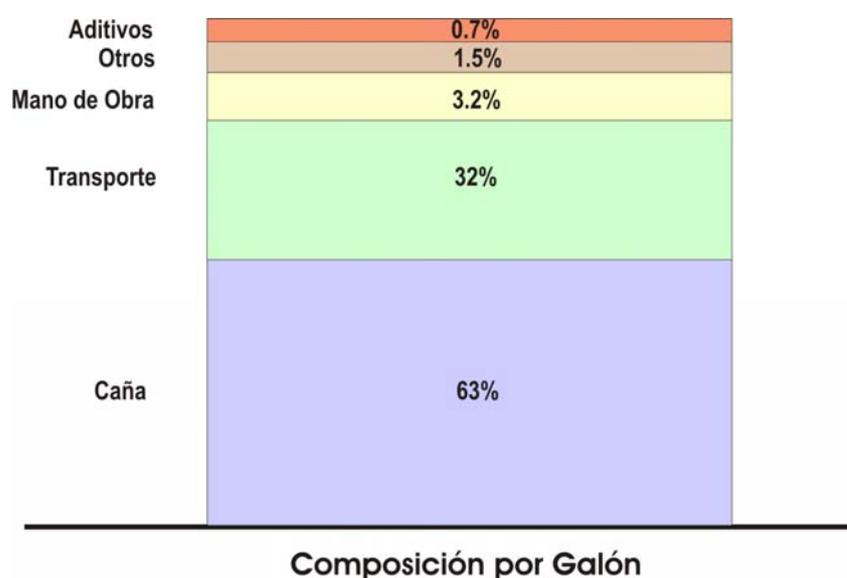
La tasa de crecimiento compuesta TACC de los gastos de administración proyectados es de 6,0%. Véase Figura 47

Los egresos totales estimados para la operación de la planta y representados en Costos y Gastos ascienden a un total de COL \$ 81.202 millones de pesos para el año 2005.

- **Costos y gastos porcentuales por galón de etanol.** Los costos de producción de un galón de etanol están representados en su mayoría por la materia prima, un 63% equivale a caña. Y el transporte a la destilería y posteriormente al centro de mezclado con gasolina, equivale a un 32% del costo total.

Los costos y gastos adicionales corresponden a mano de obra del proceso y administrativa, aditivos como soda cáustica y urea, seguros y servicios públicos entre otros. Véase Figura 48

**Figura 48. Costos y gastos porcentuales por galón de etanol**



Fuente: Plan de Negocios. Proyecto Alcoholes Carburantes. <http://www.asocaña.com>

- **Rentabilidad estimada del proyecto.** La inversión inicial del proyecto es de USD \$ 38 Millones, distribuidos de la siguiente manera: USD \$ 30 millones para compra de equipos y construcción de la planta, USD \$ 5 millones para obras de infraestructura vial y USD \$ 3 millones para adecuación de cultivos.

La inversión equivalente en pesos es de COL \$ 88.273, (para una TRM de COL \$ 2,323 estimada para el año 2005). La utilidad operacional estimada para el proyecto en el año 2005, es superior al 20%. Véase Tabla 15

**Tabla 15. Balance de Ingresos-Egresos del año 2005**

Detalle	Monto( COL \$ Millones) Año 2005
<b>INGRESOS</b>	
Venta de etanol carburante	111.270
Venta de CO <sub>2</sub>	1.755
Venta de Electricidad	1.133
Venta de Abono	1.155
<b>INGRESOS TOTALES</b>	<b>115.313</b>
<b>EGRESOS</b>	
<b>Costos Fijos</b>	
Materia Prima (Caña)	51.419
Transporte (Caña+ Etanol)	25.572
Mano de Obra (Planta)	1.994
Aditivos	398
Otros	398
<b>Total Costos Fijos</b>	<b>79.785</b>
<b>Gastos Fijos</b>	
Mano de Obra (Administrativa)	742
Impuestos	346
Seguros	265
Servicios	64
<b>Total Gastos Fijos</b>	<b>1.417</b>
<b>ESTADO DE RESULTADOS</b>	
<b>Inversión del proyecto</b>	<b>88.000</b>
Ingresos Totales	115.313
Costos Totales	79.785
Gastos Totales	1.417
Utilidad Bruta	35.528
Utilidad Operacional	34.111
Gastos Financieros	00.00
Utilidad antes de Impuestos	34.111
Utilidad Neta	22.854
Rentabilidad de la inversión	Superior al 20%

Fuente: Autor de la Monografía

La rentabilidad estimada para el inversionista durante los 20 años proyectados, más un estimado de 30 años de valor terminal, es superior al 20% real en pesos, lo que representa una inversión atractiva para los accionistas.

Con las proyecciones estimadas a 20 años, de los ingresos y egresos, el lector de la monografía puede realizar sus propios cálculos financieros simulando préstamos para la ejecución del proyecto, y evaluando el comportamiento de las obligaciones financieras.

De acuerdo con el análisis anterior, el proyecto de construcción del complejo agroindustrial de la Hoya del Río Suárez, es económicamente rentable para los accionistas, con un margen de rentabilidad superior al 20%. Para el Departamento de Santander es un foco de desarrollo porque permitirá reactivar los cultivos de caña de azúcar de la región, mejorar la calidad de vida de los campesinos, ingresos por impuestos del complejo, combatir la violencia y erradicar los cultivos ilícitos con la creación de nuevas fuentes de trabajo entre otros.

## 5. CONCLUSIONES

El proyecto de etanol como carburante es una alternativa energética, económica de bajo impacto ambiental, porque:

A nivel energético, permite:

- Diversificar la oferta de combustibles y compensar la balanza energética entre los combustibles líquidos como la gasolina y el ACPM refinados por ECOPETROL, contra la creciente demanda del país.
- Racionalizar el consumo de combustibles, reduciendo la explotación y aumentando las reservas de hidrocarburos hacia el futuro, para evitar que a corto plazo se deba importar petróleo ó adquirirlo a empresas asociadas a precios internacionales para garantizar el suministro de las refinerías.
- Explorar nuevas alternativas energéticas, como los biocombustibles, obtenidos a partir de fuentes renovables de energía, que disminuyan gradualmente la fuerte dependencia del petróleo.

- Suministrar a los consumidores, gasolinas de mejor calidad, con un IAD superior, con las correspondientes ventajas técnicas de potencia y rendimiento.

A nivel económico, permite:

- Reducir las importaciones de gasolina, con la correspondiente economía en divisas para el país. La sustitución de 4.7 Millones de barriles de gasolina por etanol, permiten una economía en divisas de US \$ 150 Millones al año.
- Utilizar gasolina regular para el consumo nacional y exportar gasolina extra, de mayor octanaje y mejores precios en el mercado internacional.
- Desarrollar de una nueva industria, la industria alcoholera, con excelentes perspectivas económicas para todos los actores de la cadena, desde los agricultores, ECOPETROL, los inversionistas privados y el estado hasta la población en general.
- Desarrollar industrias paralelas a la producción de etanol, como la sucroquímica y alcohochímica, para obtener etileno y acetaldehído, a partir de los cuales se producen gran cantidad de compuestos como:

polietileno, óxido de etileno, etilen-glicoles, butanol, ácido acético, anhídrido acético, acetato de polivinilo y alcohol polivinilo entre otros.

- Reactivar la agroindustria de la caña de azúcar, tecnificar los cultivos y mejorar la calidad de vida de los campesinos en zonas como la Hoya del Río Suárez, donde la industria panelera ha generado pérdidas económicas a los agricultores por la reducción de su consumo a nivel nacional como consecuencia de la inclusión de productos “Light” en la costumbres alimenticias de los Colombianos. A la vez, que se han multiplicado los derretideros de azúcar para producir panela debido a sus bajos precios.

- Frenar las importaciones de alcohol, que hoy alcanzan 45 Millones de litros, utilizados en su mayoría para la producción de bebidas alcohólicas, lo cual le permitiría al país un ahorro en divisas equivalente a US \$ 20 Millones al año.

A nivel ambiental, Permite:

- Reducir drásticamente las emisiones de gases contaminantes causantes de la lluvia ácida y el efecto invernadero. La mezcla etanol-gasolina en una relación del 10%, reduce las emisiones de CO entre el

22% y 50%, las emisiones de HC entre el 20% y 24%, para las emisiones de NO<sub>x</sub> se presenta un incremento cuando se utilizan mezclas superiores al 10%.

- Reducir la concentración de CO<sub>2</sub> de la atmósfera, como resultado del proceso de fotosíntesis en las plantas de caña de azúcar, que se comportan como trampas de CO<sub>2</sub> y fábricas permanentes de oxígeno debido a su elevada capacidad de conversión de biomasa, y a su alta tasa de crecimiento.
- Acceder a los beneficios flexibles del protocolo de Kyoto, por contribuir a la reducción de los gases de efecto invernadero, de acuerdo con lo pactado en la segunda Conferencia Mundial sobre Medio Ambiente y Desarrollo, promovida por la ONU, y realizada en 1992, la ciudad de Río de Janeiro, Brasil.

Como inversión social, le permite al estado generar 37.800 empleos para atender la demanda de etanol en las principales ciudades y 63.000 empleos cuando el proyecto se lleve a cabo a nivel nacional, que contribuirán a mejorar la calidad de vida de los colombianos. De igual forma, mediante convenios con las autoridades locales se impulsarán obras de infraestructura básica como escuelas, hospitales, servicios públicos y carreteras.

Como renglón de exportación, debido a la creciente demanda de alcohol carburante en países como Estados Unidos debido a la migración de MTBE a etanol, en concordancia con el Tratado de Libre Comercio a firmarse entre Colombia y EE.UU., el mercado de las exportaciones es un renglón atractivo para el etanol producido en Colombia, con características similares a las establecidas en Brasil, que regula las exportaciones etanol de acuerdo con los precios internacionales del azúcar, de esta forma, cuando el azúcar baja de precio en el mercado internacional incrementan las exportaciones de etanol y cuando el azúcar incrementa su precio en el mercado internacional, producen el etanol necesario para suplir la demanda nacional únicamente.

## BIBLIOGRAFÍA

ACERCAR. Oxigenación de las gasolinas en Colombia. [En línea]. Unidad de asistencia técnica ambiental para el sector transporte. Colombia, ago. 2004. Disponible en Internet: [URL:http://www.acercar.org.co/transporte/orientacion/bck/orientacion07.html](http://www.acercar.org.co/transporte/orientacion/bck/orientacion07.html)

ACOSTA M, Amylkar. El gran desafío. A propósito de los alcoholes carburantes. [En línea]. Bogotá, Nov. 2004. Disponible en Internet: [URL:http://www.amylkaracosta.com](http://www.amylkaracosta.com)

CALA HEDERICH, David F. Biotecnología y Energías alternativas. En: DIPLOMADO DEL MERCADO DEL SECTOR ENERGÉTICO (1o.:2000: Bucaramanga). Memorias del 1 Diplomado sobre Mercado del Sector Energético. Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander, 2000. 200p

CÁRDENAS GUTIÉRREZ, Jorge. El programa de alcoholes carburantes. En: SEMINARIO INTERNACIONAL DE ALCOHOLES CARBURANTES (1o.:2004: Medellín). Memorias del 1 Seminario Internacional de Alcoholes Carburantes. Medellín: 2004, 17p

COLOMBIA. SENADO DE LA REPUBLICA DE COLOMBIA. Ley 693 del 19 de Septiembre de 2001. [En línea]. Diario oficial No.44.564. Bogotá, sep. 2001. Disponible en Internet: [URL:http://www.secretariassenado.gov.co](http://www.secretariassenado.gov.co)

COLOMBIA. MINISTERIO DE MINAS Y ENERGIA y MINISTERIO DE AGRICULTURA Y DESARROLLO. Agroenergía: Oxigenación de las gasolinas por medio de etanol de biomasa. [En línea]. Portal Asocaña. Ago. 2003. Disponible en Internet: [URL:http://www.asocaña.com](http://www.asocaña.com)

COLOMBIA. MINISTERIO DE MINAS Y ENERGIA y MINISTERIO DEL MEDIO AMBIENTE. Resolución No. 447 del 14 de Abril de 2003. [En línea]. Portal Asocaña. Bogotá, Abr. 2003. Disponible en Internet: [URL:http://www.asocaña.com](http://www.asocaña.com)

COLOMBIA. MINISTERIO DE MINAS Y ENERGIA. Resolución No. 180687 de Junio 17 de 2003. [En línea]. Portal Asocaña. Bogotá, Jun 2003. Disponible en Internet: [URL:http://www.asocaña.com](http://www.asocaña.com)

\_\_\_\_\_, Resolución No. 180836 de Julio 25 de 2003. [En línea]. Portal Asocaña. Bogotá, Jul. 2003. Disponible en Internet: <[URL:http://www.asocaña.com](http://www.asocaña.com)>

\_\_\_\_\_, Resolución No. 181710 de Diciembre 23 de 2003. [En línea] Portal Asocaña. Bogotá, Jul 2003. Disponible en Internet: <[URL:http://www.asocaña.com](http://www.asocaña.com)>

ENRIQUEZ POY, Manuel. Representa el etanol una alternativa viable para agroindustria de la caña de azúcar. [En línea]. Revista Ingenio. Oct. 1998. Disponible en Internet: <[URL:http://www.sagarpa.gob.mx/Forma/documentos/ingenio03.html](http://www.sagarpa.gob.mx/Forma/documentos/ingenio03.html)>

EQUITY INVESTMENT S.A. Plan de Negocios Proyecto Alcoholes Carburantes. [En línea]. Portal Asocaña. Colombia, Feb. 2003. Disponible en Internet: <[URL:http://www.asocaña.com](http://www.asocaña.com)>

FAO, The Brazilian Ethanol Programme: impacts on World ethanol and sugar markets. [En línea]. FAO Commodity and trade policy research working paper No.1. Roma, Jun. 2003 Disponible en Internet: <[URL:http://www.fao.org/](http://www.fao.org/)>

GUATEMALA. ASOCIACIÓN DE COMBUSTIBLES RENOVABLES DE CENTROAMERICA. Programa de oxigenación de combustibles con etanol carburante. Guatemala, 2004. 31p

ICP - ECOPETROL. Revista Ciencia, Tecnología y Futuro (CT&F). Volumen 2, Número 3. Bucaramanga: Instituto Colombiano del Petróleo, 2002. 26p

INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS. Normas Colombianas para la presentación de trabajos de investigación. Quinta Actualización. Bogotá: 2003. 126p.

MÉXICO. COMISIÓN NACIONAL PARA EL AHORRO DE ENERGIA. Ficha técnica vehículos con etanol. [En línea]. Conae. México, Abr. 2003. Disponible en Internet: <[URL:http://www.conae.gob.mx](http://www.conae.gob.mx)>

MILLARIUM. Esquema de la producción de bioetanol a partir de cereales. [En línea]. Miliarium Aureum. 2004. Disponible en Internet: <[URL:http://www.miliarium.com/Monografias/Energia/E\\_Renovables/Biomasa/Esquemas.asp](http://www.miliarium.com/Monografias/Energia/E_Renovables/Biomasa/Esquemas.asp)>

TORRES, Jaime Augusto. Incidencias en la incorporación de etanol en la cadena de distribución de las gasolinaz: En: SEMINARIO INTERNACIONAL DE ALCOHOLES CARBURANTES (1o.:2004: Medellín). Memorias del 1 Seminario Internacional de Alcoholes Carburantes. Medellín: 2004, 43p