

**ANÁLISIS DE LA CAPACIDAD TECNOLÓGICA DE COLOMBIA EN
LA PRODUCCIÓN DE BIOETANOL A PARTIR DE LA CAÑA DE
AZÚCAR. UTILIZANDO LA METODOLOGÍA DEL BENCHMARKING**

DIANA VELÁSQUEZ RAMÍREZ

**UNIVERSIDAD DEL VALLE
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL Y ESTADÍSTICA
PLAN DE INGENIERÍA INDUSTRIAL
SANTIAGO DE CALI
2008**

**ANÁLISIS DE LA CAPACIDAD TECNOLÓGICA DE COLOMBIA EN
LA PRODUCCIÓN DE BIOETANOL A PARTIR DE LA CAÑA DE
AZÚCAR. UTILIZANDO LA METODOLOGÍA DEL BENCHMARKING**

DIANA VELÁSQUEZ RAMÍREZ

**Trabajo de Grado como Requisito para
Optar el título de Ingeniera Industrial**

**Directora
GLADYS RINCON BERGMAN
Ingeniera Industrial**

**UNIVERSIDAD DEL VALLE
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL Y ESTADÍSTICA
PLAN DE INGENIERÍA INDUSTRIAL
SANTIAGO DE CALI
2008**

Nota de Aceptación:

Firma del Presidente del Jurado

Firma del Jurado

Firma del Jurado

Santiago de Cali, Agosto de 2.008

A Dios por darme la oportunidad de vivir
A mis padres por su amor, apoyo y confianza
A mi familia por su cariño, comprensión y paciencia
A mis amigos por su compañía y ánimos
A los profesores por guiarme y corregirme
A mi valor y mi fuerza, por no permitirme desfallecer en el camino
Y al amor que siempre esta presente en lo que hago

AGRADECIMIENTOS

- A Gladys Rincón Bergman, Directora del Trabajo de Grado, Ingeniera Industrial y docente de la Universidad del Valle, por su empeño, dedicación, comprensión y paciencia para sacar adelante este proyecto.
- A Fiderman Machuca, Ingeniero Químico y docente de la Universidad del Valle, por su colaboración en la investigación y desarrollo del proyecto.
- A María Cristina Cuarán, Asistente de Investigación, por su amistad, apoyo y guía en el desarrollo del proyecto.
- A Luís Andrés Betancourt, Tesista de Posgrado en Ingeniería Química, y compañero del grupo de investigación, por su colaboración, conocimiento e información brindada durante este proceso.
- A todos los involucrados que colaboraron con el desarrollo del cuestionario, por su paciencia, apoyo y orientación en la ejecución de esta investigación.
- A mi madre, Aura Vitalia Ramírez Rivera por su apoyo incondicional, por las palabras de aliento en los momentos que sentía desvanecer, y ante todo por creer en mi.
- A Omar Losada Rivera, por acompañarme siempre en el desarrollo de mi tesis, por su cariño, paciencia y comprensión.

TABLA DE CONTENIDO

| | Pág. |
|--|-------------|
| INTRODUCCION..... | 15 |
| 1 EL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN | 17 |
| 2 OBJETIVOS..... | 19 |
| 2.1 OBJETIVO GENERAL | 19 |
| 2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS | 19 |
| 3 GENERALIDADES DE LOS PAISES PRODUCTORES DE BIOETANOL APARTIR DE LA CAÑA DE AZUCAR | 20 |
| 3.1 ENTORNO INTERNACIONAL | 22 |
| 3.1.1 Brasil..... | 24 |
| 3.1.2 India | 27 |
| 3.2 ENTORNO NACIONAL..... | 28 |
| 3.2.1 Ingenio Providencia | 30 |
| 4 DESCRIPCIÓN DE LA CAPACIDAD TECNOLÓGICA Y PRODUCTIVA..... | 32 |
| 4.1 CAPACIDAD PRODUCTIVA Y CAPACIDAD TECNOLÓGICA..... | 32 |
| 5 EL BENCHMARKING | 35 |
| 5.1 BREVE HISTORIA DEL BENCHMARKING..... | 35 |
| 5.2 CONCEPTO DEL BENCHMARKING | 36 |
| 5.3 EL PROCESO DEL BENCHMARKING | 37 |
| 5.4 ENTENDER EL TEMA SOBRE EL QUE SE VA A REALIZAR EL BENCHMARKING..... | 38 |
| 5.4.1 Benchmarking Competitivo..... | 38 |
| 5.4.2 Benchmarking Cooperativo..... | 39 |
| 5.4.3 Benchmarking Colaborador..... | 39 |
| 5.4.3.1 Benchmarking interno..... | 40 |
| 5.5 LAS MEJORES PRÁCTICAS | 41 |

| | | |
|---------|--|----|
| 5.5.1 | Identificación de las Mejores prácticas | 41 |
| 5.6 | LLEVAR ACABO EL ESTUDIO | 42 |
| 5.6.1 | Recolección de Datos..... | 42 |
| 5.6.1.1 | Recopilación de Información | 43 |
| 5.6.1.2 | Indicadores | 44 |
| 5.6.1.3 | Análisis de los datos | 45 |
| 6 | DESARROLLO DE LA METODOLOGÍA | 46 |
| 6.1 | DECIDIR DÓNDE APLICAR EL BENCHMARKING | 47 |
| 6.2 | ENTENDER EL TEMA | 48 |
| 6.2.1 | La Materia Prima | 48 |
| 6.2.2 | Proceso..... | 49 |
| 6.2.2.1 | Fermentación | 49 |
| 6.2.2.2 | Destilación..... | 51 |
| 6.2.2.3 | Deshidratación | 51 |
| 6.2.2.4 | Proceso de Producción de Bioetanol en las destilerías de Colombia | 53 |
| 6.2.2.5 | Tecnología usada para el Proceso | 54 |
| 6.2.3 | Costos..... | 55 |
| 6.2.4 | Investigación y Desarrollo | 59 |
| 6.2.5 | Exportación e importación de alcohol..... | 60 |
| 6.3 | IDENTIFICACIÓN DE LA MEJORES PRÁCTICAS | 62 |
| 6.3.1 | Breve reseña Histórica sobre la evolución del Bioetanol como combustible en Brasil. | 63 |
| 6.3.2 | Generalidades de las Destilerías de Brasil..... | 64 |
| 6.3.3 | Tecnología usada para el Proceso | 65 |
| 6.5 | ESQUEMA PARA LA PRODUCCIÓN DE ETANOL CARBURANTE A PARTIR DE LA CAÑA DE AZÚCAR APLICANDO DIFERENTES TECNOLOGÍAS | 66 |
| 6.6 | RECOLECCIÓN DE DATOS | 72 |
| 6.6.1 | Indicadores Propuestos..... | 73 |

| | | |
|-------|--|-----|
| 6.7 | RESULTADO Y ANÁLISIS DE LOS DATOS | 74 |
| 6.7.1 | Esquema para la producción de etanol carburante a partir de la caña de azúcar utilizada por los dos países en estudio..... | 95 |
| 7 | ANÁLISIS GENERAL DEL ESTUDIO..... | 99 |
| 8 | CONCLUSIÓN..... | 102 |
| 9 | RECOMENDACIONES..... | 103 |
| 10 | BIBLIOGRAFIA..... | 106 |
| 11 | ANEXOS..... | 113 |

LISTA FIGURAS

Pág.

| | |
|---|----|
| Figura 1. Producción Mundial De Etanol Entre 1975-2005..... | 22 |
| Figura 2. Principales Productores Mundiales De Etanol, Año 2005.... | 22 |
| Figura 3. Producción Mundial De Etanol, Millones De Litros..... | 23 |
| Figura 4. Localización Destilerías..... | 29 |
| Figura 5. Tecnología Usada Para El Proceso De Bioetanol En Colombia..... | 54 |
| Figura 6. Estructura de Costos de Producción De Etanol..... | 56 |
| Figura 7. Precio del Bioetanol VS Costos Del CAT y Caña De Azúcar..... | 57 |
| Figura 8. Tecnología Usada Para El Proceso De Bioetanol En Brasil..... | 65 |
| Figura 9. Esquema Para La Producción De Etanol Carburante A Partir De La Caña De Azúcar Aplicando Diferentes Tecnologías.... | 70 |
| Figura 10. Características Sobresalientes De Los Países..... | 74 |
| Figura 11. Demanda Y Oferta..... | 74 |
| Figura 12. Generación De Empleo..... | 75 |
| Figura 13. Producción De Alcohol..... | 77 |
| Figura 14. Producción De Caña De Azúcar..... | 78 |
| Figura 15. Hectáreas Del Cultivo De Caña..... | 78 |
| Figura 16. Rendimientos..... | 79 |
| Figura 17. Propietarios De Las Tierras De Caña De Azúcar..... | 80 |
| Figura 18. Producción De Alcohol Y Vinaza..... | 81 |
| Figura 19. Rendimientos De La Vinaza Y Sólidos Totales..... | 82 |
| Figura 20. Costos..... | 83 |
| Figura 21. Estado de cada etapa del Proceso de Producción..... | 87 |
| Figura 22. Clases de Tecnología para las Etapas del Proceso..... | 89 |

| | |
|--|----|
| Figura 23. Factores Que Dificultan La Innovación..... | 91 |
| Figura 24. Esquema del Proceso de Producción de bioetanol en los países en estudio..... | 94 |

LISTA TABLAS

Pág.

| | |
|--|----|
| Tabla 1. El Benchmarking: Qué Es Y Qué No Es..... | 36 |
| Tabla 2. Diferentes Tipos Del Benchmarking..... | 39 |
| Tabla 3. Métodos De Recopilación De Información..... | 42 |
| Tabla 4. Uso De La Energía En Cada Una De Las Diferentes Tecnologías De Deshidratación..... | 52 |
| Tabla 5. Uso De Los Servicios En Cada Una De Las Diferentes Tecnologías De Deshidratación..... | 52 |
| Tabla 6. Principales Tipos De Fermentación Disponibles En El Mundo Y Algunas Características..... | 67 |
| Tabla 7. Principales Tipos De Deshidratación Disponibles En El Mundo Y Algunas Características..... | 67 |
| Tabla 8. Variables De Estudio..... | 73 |

LISTA ANEXOS

- Anexo 1. Los Grandes Productores de Etanol a Nivel Mundial y el Rendimiento de la Caña.
- Anexo 2. Proyectos De Producción De Bioetanol y Complejos Agroindustriales En Colombia.
- Anexo 3. Marco legal de alcohol carburante en Colombia.
- Anexo 4. Funciones Básica de la Gestión Tecnológica.
- Anexo 5. Etapas del Proceso de Producción del Bioetanol en Colombia
- Anexo 6. La Destilería Del Ingenio Providencia.
- Anexo 7. Comparación De Tecnologías Por Los Ingenios Del Valle Del Cauca.
- Anexo 8. Los Mayores Productores De Caña, Azúcar y Bioetanol De Brasil.
- Anexo 9. Base de Datos.
- Anexo 10. Cuestionario De Recolección De Datos.

RESUMEN

El objetivo central del trabajo es analizar la capacidad tecnológica de Colombia en la producción de bioetanol a partir de la caña de azúcar, para determinar cómo está frente a la competencia, y formular recomendaciones que podrían ser útiles para el desarrollo de ventajas competitivas basadas en conocimiento e innovación tecnológica haciendo uso de la metodología benchmarking.

Como primera fase se identificó quien sería el usuario de la información del benchmarking, por consiguiente se escogió el tipo de benchmarking a realizar para este estudio y se seleccionó el mejor país productor de bioetanol a partir de la caña de azúcar. Ésta fase implicó una manera sistemática de recoger información sobre el proceso de la mejor en su clase y sus indicadores. Para esto se necesitó un acercamiento con las personas que saben del tema y conocen el desarrollo que ha llevado este país y el mejor en su actividad. Sin embargo, esto trajo implicaciones legales, éticas y restricciones de información dado la ubicación y la poca colaboración de las destilerías, tanto de Colombia como de Brasil.

También, se llevó a cabo una recopilación y análisis del entorno actual a partir de visitas de campo, entrevistas con el personal de la destilería del Ingenio Providencia y Riopaila, con profesores de las Universidades que llevan acabo investigaciones sobre este mismo tema, y con el personal de centros investigativos especialistas en el tema, como Cenicaña. Igualmente se complementó la información sobre el sector, en el ámbito regional e internacional con base en artículos, libros, periódicos, revistas investigativas, páginas en

Internet, ponencias de foros y seminarios, y otros materiales donde se consultó.

Como segunda fase se llevó un análisis y comparación de los resultados, por medio de gráficas tipo radar y gráficas de barras agrupadas. En la última fase, se llevó a cabo las conclusiones y se propuso unas recomendaciones para que Colombia pueda mejorar su posición competitiva con respecto al proceso del Bioetanol.

Debido a que Brasil lleva produciendo etanol a partir de la caña de azúcar aproximadamente 25 años, su experiencia en esta actividad le ha permitido llegar a ser el pionero en este negocio, contando con 460 ingenios duales, es decir, su actividad es producir azúcar y alcohol, y con una mezcla del 25% de etanol y de 75% de gasolina, frente a un 10% de etanol y 90% de gasolina en Colombia, lo cual muestra la gran ventaja que tiene Brasil frente a Colombia.

En Colombia somos menos competitivos que Brasil, debido a que en Colombia los mayores costos son mano de obra, materia prima, la infraestructura y controles ambientales. Este último ocurre, por las exigencias en el manejo de vinazas en Colombia que son superiores a las de Brasil, por este concepto las inversiones en destilerías son más del doble en nuestro país.

INTRODUCCION

La motivación inicial para la implementación de un programa de biocombustibles, como en el caso del alcohol energético, fue reducir la dependencia externa en el suministro de combustibles y asegurar el abastecimiento del mercado nacional a partir de fuentes locales. Además, la sustentabilidad ambiental del bioetanol, por ser una forma renovable de energía presenta un menor impacto ambiental en el uso final. Este tema se encuentra en discusión, pero en este trabajo no se abordará por que no es el objetivo. Y por último la posibilidad de dinamizar las actividades agrícolas y generar empleo en el medio rural, por medio de su producción. Estos temas se tratan en el capítulo 1.

El presente trabajo de grado, pretende realizar una comparación por medio de la Metodología Benchmarking entre Colombia y Brasil, en lo que se refiere al proceso de producción de bioetanol a partir de la caña de azúcar. Teniendo como punto relevante la capacidad tecnológica con que cuentan las destilerías de estos países para llevar a cabo la producción. Con el fin de formular recomendaciones que podrían ser útiles para que Colombia llegue a ser más competitivo. Esto se trata de manera más específica en el capítulo 2.

Colombia cuenta con cinco destilerías productoras de bioetanol a partir de la caña de azúcar, de las cuales una está ubicada en el departamento de Risaralda y las otras están en el departamento del Cauca y Valle del Cauca. Éstas se decidieron por tecnología de India, cuyas empresas presentaron las mejores propuestas tanto en materia económica como ambiental. Los ingenios llevaron a cabo el análisis

sobre la tecnología de países como Francia, España, Brasil, Suecia y finalmente coincidieron en adquirir equipos de compañías de India. Estos aspectos se exploran y comentan en el capítulo 3.

La tecnología no es una variable o tarea más de los países, sino que está en la raíz de sus posibilidades de éxito en los mercados, es decir este factor le puede permitir al país marcar la diferencia ante su competencia si se lleva a cabo investigaciones y desarrollos sobre el proceso productivo. Este tema se tratará más a fondo en el capítulo 4.

El énfasis e interés del estudio, está orientado a realizar comparaciones constructivas al desarrollo competitivo de Colombia, por medio de la herramienta benchmarking. La cual se explica de manera más detallada en el capítulo 5.

Posteriormente se lleva a cabo el desarrollo del estudio, en donde se propone con indicadores evaluar aspectos productivos, económicos, y tecnológicos. En el capítulo 6 se tratarán más a fondo el proceso de producción y algunas consideraciones generales en la obtención de bioetanol.

Y por último se lleva a cabo el análisis general de la investigación, ver capítulo 7 y se elaboran las conclusiones y recomendaciones que arroja el estudio, ver capítulo 8 y 9.

1 EL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

La búsqueda de nuevas alternativas en combustibles renovables, como es la producción de bioetanol a partir de la caña de azúcar, es muy importante para la competitividad de Colombia. Además de las ventajas comparativas que ofrecen muchas regiones del país para el desarrollo del bioetanol, existen algunas situaciones no solo de tipo coyuntural, por ejemplo, la evaluación de todos los aspectos que están incluidos en la decisión de reemplazar o no el petróleo por el bioetanol, sino también los efectos del precio del petróleo debido a que es una fuente no renovable y existe encarecimiento de las fuentes fácilmente disponibles. Por esta razón, a los países en vías de desarrollo les son difíciles de acceder a combustibles eficientes y por ello, se ven forzados a utilizar otros combustibles tradicionales como la leña entre otros.

Por otro lado, el fenómeno de la internacionalización de los mercados ha venido tocando las puertas de los países, exigiéndoles una mayor capacidad de respuesta ante los crecientes niveles de competitividad requeridos a nivel mundial, lo cual exige mayor capacidad de identificar cambios, así como de adaptarse y responder a ellos de manera adecuada y oportuna. En el caso de Colombia, las destilerías de Colombia no cuentan con capacidad suficiente para cumplir con una demanda más allá de las fronteras nacionales.

Igualmente hay consideraciones fundamentales de tipo ambiental a tener en cuenta, sin embargo alrededor de este tema existe una polémica, y en este caso no se explicarán cuáles serían esos puntos de vista.

Dada la importancia del sector azucarero productor de bioetanol en Colombia, se identifica la necesidad de formular recomendaciones para el desarrollo de la competitividad en el país basadas en conocimiento e innovación tecnológica.

Al mismo tiempo, este trabajo se desarrolla en el marco del proyecto conjunto de Colciencias-Universidad del Valle "Diseño e Implementación de un sistema de gestión de conocimiento y la innovación en la relación Universidad - Empresa en el sur occidente colombiano. Aplicación al desarrollo y transferencia de tecnologías para la producción de biocombustibles líquidos"¹.

¿Es Colombia lo suficientemente competitivo para ingresar a los mercados internacionales?, ¿De qué forma está afrontando Colombia las altas exigencias del mercado?, ¿Cuenta Colombia con capacidad tecnológica para afrontar esas exigencias? Esas son las preguntas a las cuales se apuntó en el desarrollo de este trabajo.

¹ Directora del proyecto: Gladys Rincón Bergman. Participantes: Fiderman Machuca (Grupo de Investigación en Catálisis), Víctor Manuel González (Grupo de investigación Inferir (Estadístico), Anabella Pabón (grupo de Investigación en Gestión Tecnológica), Oscar Rubiano (Grupo de Investigación en Cadenas de, Abastecimiento y Grupo de Investigación en Logística y Producción) Raquel Ceballos (Grupo de investigación en Políticas Pública) (abogada), Patricia Guerrero (Oficina de Transferencia de Resultados OTRI).

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GENERAL

Analizar la capacidad tecnológica de Colombia en la producción de bioetanol a partir de la caña de azúcar, para determinar cómo está frente a la competencia, y formular recomendaciones que podrían ser útiles para el desarrollo de ventajas competitivas basadas en conocimiento e innovación tecnológica haciendo uso de la metodología benchmarking.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Determinar el Tipo de Benchmarking que se llevara a cabo para el estudio.
- Identificar el país que mejor desarrolle esta actividad.
- Comparar la estructura del proceso productivo de Colombia con el mejor en su clase, teniendo en cuenta la tecnología utilizada.
- Generar recomendaciones a partir del estudio del Benchmarking al sector de las destilerías colombianas para que pueda llegar a ser más competitivas respecto a la producción de bioetanol.

3 GENERALIDADES DE LOS PAÍSES PRODUCTORES DE BIOETANOL A PARTIR DE LA CAÑA DE AZÚCAR

Existen varios factores que generan preocupación en los países, como el crecimiento descontrolado de la población, el cuidado del ambiente, entre otros, los cuales pueden llevar a una "crisis energética". Un futuro escenario es que los requerimientos energéticos, basados en los recursos actuales, no serán suficientes en un futuro, además tanto las economías más poderosas como las otras afrontan el riesgo de cortes del suministro de petróleo y gas de parte de las principales naciones productoras.

De allí que las fuentes de producción basadas en recursos renovables estén ganando un lugar central en el escenario descrito. Las energías de origen solar, eólico, agrícola, de aprovechamiento de residuos e hidroeléctrico, cada una en su medida y perspectiva, podrán ocupar un lugar de importancia en el futuro abastecimiento.

La biomasa, principalmente la leña, fue durante siglos el principal combustible para la humanidad. Con el crecimiento de la demanda energética, a partir de la Revolución Industrial, que incluyó la introducción del carbón mineral y el petróleo, asociado a una amplia adopción de tecnologías adecuadas para su uso, la matriz energética se transformó, para ceder el paso a la utilización de recursos no renovables, y la biomasa fue paulatinamente perdiendo importancia.

Posteriormente, a partir de las crisis del petróleo de los años setenta, los combustibles derivados de la biomasa o biocombustibles vuelven a ser considerados alternativas capaces de sustitución, con ventajas,

de los derivados del petróleo. Particularmente en Brasil, se intensificó el empleo del alcohol de caña de azúcar o etanol como combustible automotor, mezclado con gasolina o puro.

Existe cerca de 18.000.000 de automóviles brasileños, que utilizan alcohol en sus motores, 3 millones de unidades consumen alcohol hidratado puro y 15.000.000 consumen gasolina con 25% de alcohol anhidro. Hace muchos años que ya no existen más autos a gasolina pura en Brasil. [2]

El programa para etanol como combustible de Colombia comenzó en 2002 año en que el gobierno aprobó una ley que obligaba al enriquecimiento en oxígeno de la gasolina. Esto se hizo inicialmente para reducir las emisiones de monóxido de carbono de los coches. Regulaciones más recientes eximieron al etanol elaborado a partir de biomasa de algunos impuestos que gravan la gasolina, haciendo así menos costoso el etanol que la gasolina. Esta tendencia se vio reforzada cuando los precios del petróleo subieron a principios de 2004 y con él, el interés en combustibles renovables (al menos para los coches). En Colombia el precio de la gasolina y del bioetanol es controlado por el gobierno. [3]

El Gobierno Nacional expidió la Ley 693 de 2001, en donde se dictan las normas sobre utilización de gasolina en los centros urbanos de más de 500.000 habitantes. La gasolina deberá contener componentes oxigenados tales como alcoholes carburantes en un porcentaje de 10% de alcohol y 90% de gasolina que se decretó a partir del 27 de septiembre de 2005.

Desde finales de 2005, la producción en las destilerías de los ingenios azucareros Cauca, Providencia, Manuelita y Mayagüez (localizados en el departamento del Cauca y del Valle del río Cauca), además del ingenio Risaralda, es cercana a 1 millón de litros diarios de bioetanol, es decir de 357 millones de litros por año aproximadamente. Destinados a satisfacer la demanda del Occidente del país y la Sabana de Bogotá. Se tiene previsto el montaje de otras 3 plantas, esparcidas en los departamentos de Caldas, Quindío y Valle del río Cauca. [4]

3.1 ENTORNO INTERNACIONAL

Con el fin de promover la producción y utilización de biocombustibles, se utilizan instrumentos de políticas: "Mandatos (porcentaje fijo en una mezcla con gasolina o diesel) o incentivos fiscales (subsidios) para hacer más competitivo el precio del biocombustible. [5]. Por ejemplo, en Brasil la mezcla de Biodiesel es de 2% hasta 2008, y 5% hasta 2013, y de bioetanol del 25%, en Colombia la mezcla de bioetanol es de 10% en gasolina en ciudades mayores de 500.000 habitantes en el 2006, en la India la mezcla de bioetanol es de 5% en gasolina, subiendo a 10% y 20%.

Un panorama mundial con respecto a la producción de etanol, muestra un gran incremento desde el año 2.000 hasta el 2.005 tal como lo muestra la figura 1 en la cual su tendencia con respecto a las políticas expedidas por los diferentes países es al alza. Los grandes productores de etanol a nivel mundial son Estados Unidos (45%), Brasil (44%) y China (6%), tal como lo muestra la figura 2. Ver

anexo 1. [28]. El comportamiento en millones de litros/año se observa en la figura 3. [5]

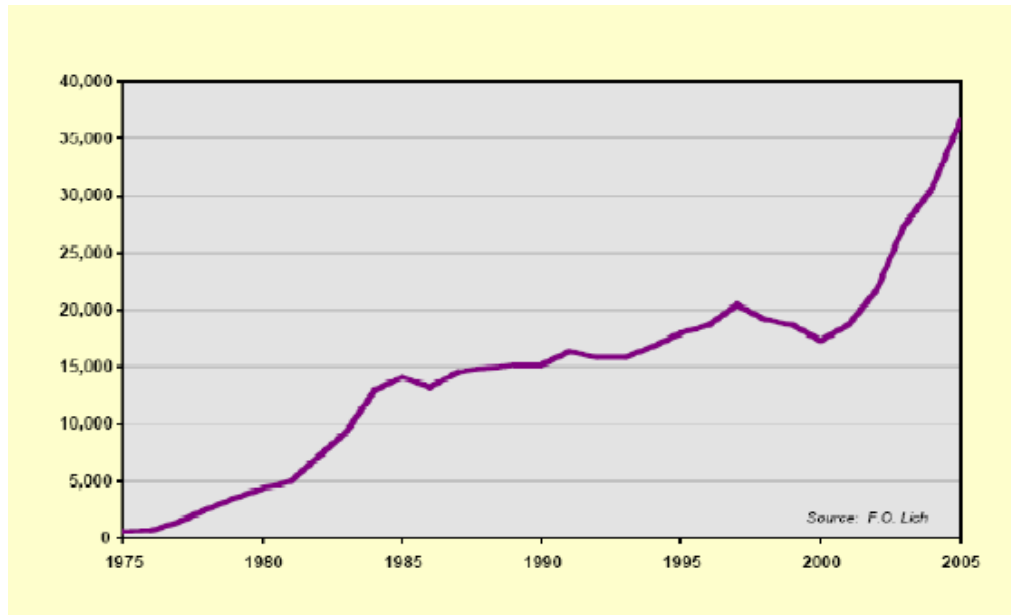


Figura 1. Producción Mundial de Etanol entre 1975-2005 (en millones de litros/año). **Fuente:** RODRIGUEZ, Jhoana. Política de los biocombustibles y sus impactos. Cali, 2007, [2,5,3] p. Tesis en proceso. Universidad del Valle. Facultad de Administración.

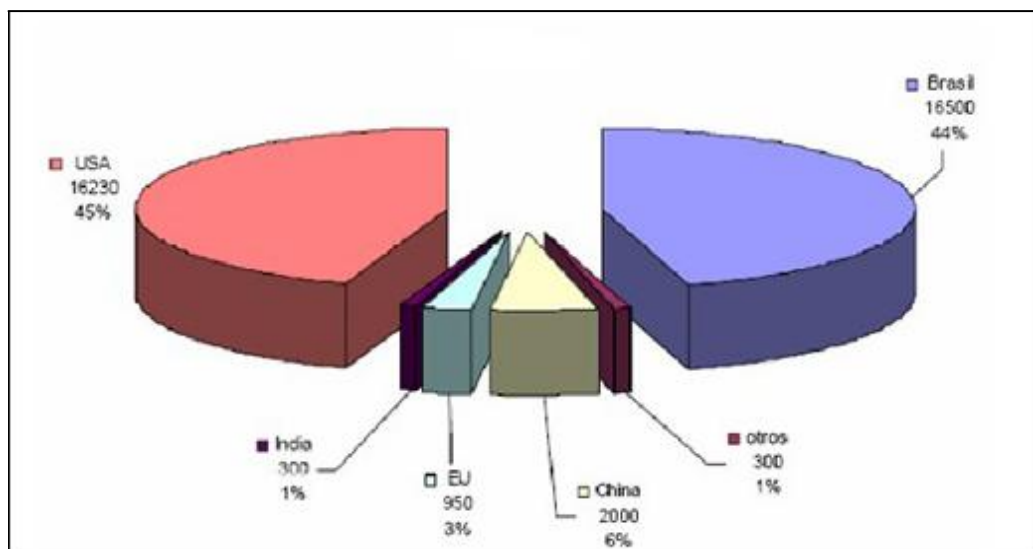


Figura 2. Principales productores mundiales de etanol, año 2005, en millones de litros y %. **Fuente:** RODRIGUEZ, Jhoana. Política de los biocombustibles y sus impactos. Cali, 2007, [2,5,3] p. Tesis en proceso. Universidad del Valle. Facultad de Administración.

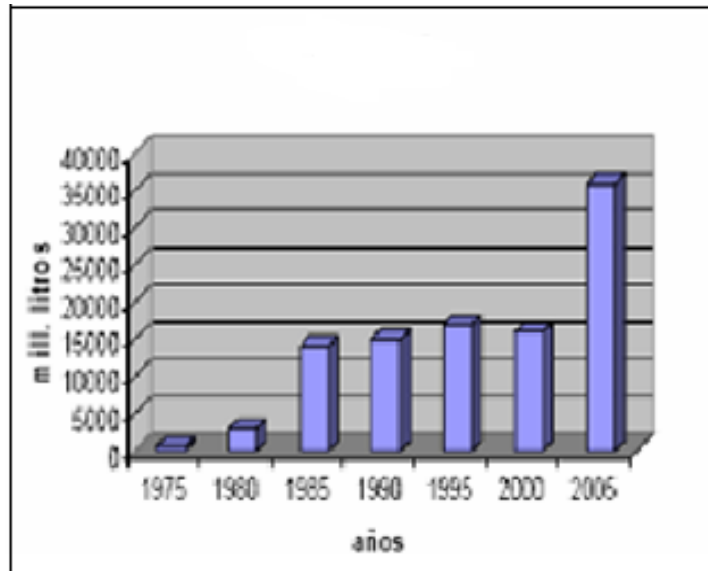


Figura 3. Producción mundial de etanol, millones de litros/año. Tasa de crecimiento anual 2000-2005=15.5%. **Fuente:** RODRIGUEZ, Jhoana. Política de los biocombustibles y sus impactos. Cali, 2007, [2,5,3] p. Tesis en proceso. Universidad del Valle. Facultad de Administración.

3.1.1 Brasil

Desde el año 1975, la crisis del petróleo tuvo una fuerte repercusión en Brasil. A partir de entonces, se encauzó el Proyecto Proalcohol cuyo objetivo fue la sustitución total de los combustibles de origen fósil. Como país mayor productor de azúcar del mundo, logró liberarse del nudo gordiano, gracias a su incursión en la producción de alcohol para abastecer su inmensa flota vehicular, precisamente en los momentos en que gran parte de sus divisas estaban siendo utilizadas para comprar petróleo extranjero. La alternativa propuesta fue el bioetanol proveniente de la melaza de la caña de azúcar.

Actualmente todas las gasolinas comercializadas en ese país son una mezcla en proporción de 20 a 25% con etanol anhidro. También a ese consumo debe agregarse el etanol hidratado utilizado en los

automóviles con motores “a alcohol” y en los que disponen de tecnología “flex-fuel” (que permite el uso de mezclas de gasolina y alcohol hidratado en cualquier proporción, de 0 a 100%). [5]

Brasil, principalmente Piracicaba, se ha convertido en el primer productor y exportador mundial de etanol del mundo. Porque este municipio del interior del estado de San Pablo cuenta con la mayor concentración de industrias relacionadas con la producción de biocombustibles en el mundo. Ubicada a 180 kilómetros al noroeste de San Pablo [6]. Piracicaba posee 300.000 habitantes y se encuentra en una de las áreas más cultivadas en caña de azúcar, lo que explica que sea allí donde se desarrolló el polo industrial de biocombustibles.

El complejo industrial cuenta con más de 5.000 industrias, donde se destacan además los sectores alimenticios, metalmecánico y textil. Hoy, la región representa el mayor polo industrial del Mercosur, con las plantas Caterpillar (maquinaria), Dedini (biocombustibles), Delphi (autopartes) y Nabisco (alimentos) instaladas en Piracicaba.

De hecho, Dedini es el mayor fabricante de destilerías de alcohol del mundo. Éste fabrica piezas, componentes, equipamiento, plantas y unidades completas para diferentes segmentos de mercado. Con sede en Piracicaba y unidades en Sertãozinho (SP), Maceió (AL) y Recife (PE), el grupo fue fundado hace 86 años y es el líder mundial en el suministro de equipamiento y plantas completas para el sector del azúcar y el alcohol. En la actualidad, las destilerías diseñadas y establecidas por Dedini son responsables del 80 por ciento de la producción nacional de alcohol y en torno al 25 por ciento de la

producción mundial. La compañía ya ha establecido 120 fábricas completas, una media de 24 al año.

Dedini desarrolla nuevas tecnologías mediante proyectos y asociaciones de investigación, para ofrecer una mayor productividad y menores costos para sus clientes, como los de fábricas de biodiesel y etanol integradas y destilerías de alcohol. [7].

En Piracicaba también está instalada la planta de Costa Pinto, que pertenece al Grupo Cosan y que es el mayor productor de azúcar y de alcohol en el mundo (emplea a 37.000 personas). Cada día, ésta produce aproximadamente 1.250 m³ de etanol. [7].

El objetivo de estas empresas es evaluar la instalación de nuevas destilerías en la zona, así como la adquisición de nuevas tecnologías para producir etanol. En ese sentido, Brasil es el país más avanzado del mundo, ya que cuenta con un parque automotor con un 70% de vehículos impulsados por motores flex. Además la empresa aeronáutica Embraer ya fabrica aviones de pequeño porte impulsados por etanol.

Por otra parte, el país produce la mitad del biocombustible fabricado en todo el mundo y ya tiene 33.000 estaciones de servicio que venden etanol (en EEUU, el segundo productor mundial, hay solamente 600).

La empresa Dedini (instalada en Piracicaba) desarrollo la tecnología para convertir en glucosa al bagazo (que es el subproducto de la molienda de caña de azúcar que se utiliza para papel o para

cogeneración de energía eléctrica). La tecnología ya está, el problema es que se le está quitando bagazo a la cogeneración de energía eléctrica y a la producción de papel. [6]

Esta nueva industria, la producción de bioetanol, permitió la creación de casi un millón de empleos directos, repartidos en más de 400 destilerías, en instalaciones complementarias, en redes de transporte y fabricación de motores específicos para estos combustibles. [8]

3.1.2 India

India es el segundo país más poblado del mundo después de China. Un altísimo porcentaje de los investigadores de mayor nivel en las universidades de los países desarrollados provienen de India y han recibido su educación básica allí.

Una nueva generación de empresarios de este país han estado orientando sus negocios a crear líneas de exportación de bienes de calidad internacional aprovechando el bajo costo de la mano de obra y el alto nivel educativo de sus profesionales, como es el caso de la compañía Praj Industries de Pune. Esta empresa, que inicio operaciones como constructora de equipos mecánicos, ha orientado sus negocios no solamente a esta línea, sino al desarrollo de tecnología de producción de etanol para países tropicales.

Esto significa tener en cuenta las condiciones propias de esta zona geográfica del globo, tales como el tipo de materia prima, la infraestructura existente, el nivel de escolaridad del personal disponible y sobre todo las condiciones económicas de estos países.

Localizada en Pune. Ver figura 10. Un centro de desarrollo tecnológico muy importante de India a 800 Km. al sur de Bombay, con dos universidades, dos centros de investigación estatales y varias empresas de producción de vehículos, Praj ha aprovechado estas ventajas para instalar un centro especializado en desarrollo de tecnología para producción de etanol de la más alta calidad, complementada por un taller de construcción de equipos.

Debido a que la India y Colombia comparten características muy parecidas en cuanto a su ambiente geográfico, se pudieron implementar en las destilerías de Colombia ciertas ideas innovadoras que permitieron adaptar la tecnología a las condiciones específicas del medio, contribuyendo a un mejor desarrollo competitivo de la nación.[9].

3.2 ENTORNO NACIONAL

La llegada del etanol se produjo en los momentos en que la producción azucarera había mejorado. En el 2003 fue de 2,6 millones de toneladas métricas, cifra superior en 77.000 toneladas a la de 2002. La producción de 2004, fue similar, mientras las ventas en el mercado interno ascendieron a 1,3 millones de toneladas. El resto, o sea otras 1,3 millones de toneladas, se dedicaron a la exportación. [10]

La producción de alcohol carburante representó a partir del 2005 un gran alivio para los empresarios del azúcar, cuyos ingresos habían sido golpeados por los bajos precios internacionales del producto y la revaluación del peso. El montaje y la operación de las destilerías

podrían haber generado aproximadamente unos 48.000 nuevos puestos de trabajo. Sin embargo, se podría pensar que el etanol lo que permitió es proteger aproximadamente 38.000 empleos que para ese entonces, existían en la industria azucarera nacional. [10]

Las primeras capitales que utilizaron el alcohol carburante fueron Cali, Bogotá, Medellín y Barranquilla. En Bucaramanga, Cartagena, Cúcuta y Pereira fue obligatorio a partir del 27 de septiembre del 2006. [10]

El uso del etanol es subsidiado por el Gobierno, este combustible está exento de los tributos a la gasolina como el IVA, el impuesto global y la sobretasa en la porción del 10% que se mezcla con la gasolina. El Ministerio de Minas garantizó subsidios por \$750 millones diarios para el carburante a partir del 2005 [11]. El gobierno colombiano se ve en la obligación de subsidiar parte del costo de la gasolina debido a que Ecopetrol cobra un precio muy alto por la gasolina que produce (precio internacional), pero Colombia es autosuficiente y no ha importado gasolina desde hace muchos años.

La industria azucarera colombiana está ubicada en el valle geográfico del río Cauca, desde Santander de Quilichao, en el norte del Departamento del Cauca, atravesando el Departamento Valle del Cauca por su zona plana, hasta La Virginia, en el Departamento de Risaralda. Su área de influencia cubre más de 30 municipios del Cauca, Valle del Cauca y Risaralda. Ver figura 4. Esta región ofrece condiciones especiales para la siembra y cosecha de la caña de azúcar a lo largo de todo el año debido a sus ventajas agroclimáticas.[12]

El Valle como departamento azucarero por excelencia, fue el primero en ejecutar inversiones por US\$130 millones en las primeras destilerías de etanol en Colombia. Hoy, la capacidad instalada de esos complejos ubicados en los ingenios Incauca, Mayagüez, Providencia, Manuelita, y Risaralda es 1.050.000 litros por día. [13] Ver anexo 2.

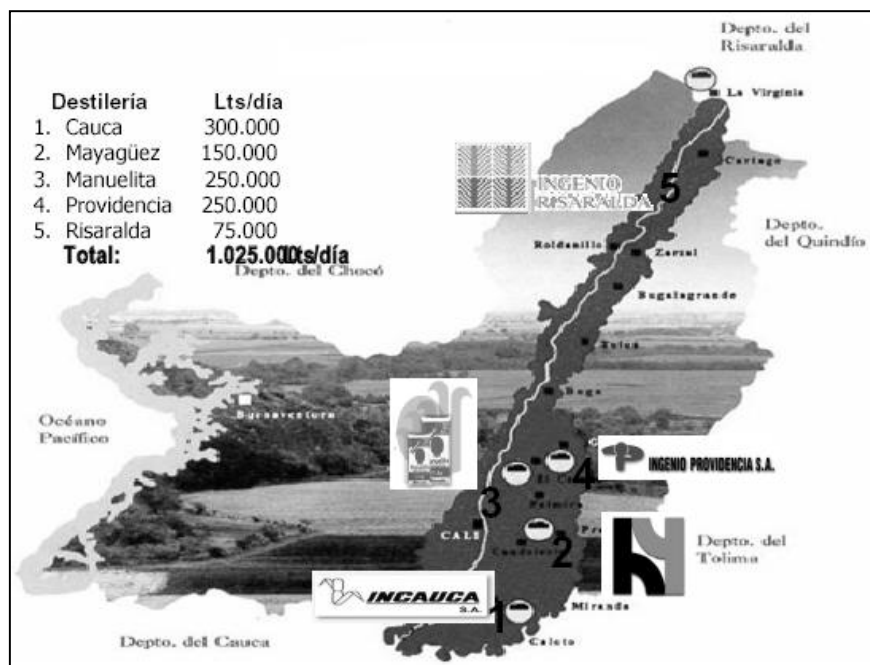


Figura 4. Localización Destilerías. **Fuente:** COLOMBIA. ASOCAÑA. Base de datos del programa de la biogasolina. [Base de datos en línea]. [Consultado 29 julio 2007] Disponible en <<http://www.asocaña.org>>.

3.2.1 Ingenio Providencia

Ingenio Providencia S.A., es una empresa agroindustrial, dedicada al procesamiento de caña de azúcar para la obtención de azúcar y producción de alcohol carburante y sus derivados. Se encuentra ubicada a 40 km. de Cali, capital del departamento del Valle del

Cauca y a 12 km. del municipio de Palmira. Posee un área de influencia de más de 25 mil hectáreas cultivadas en caña de azúcar.

El Ingenio tiene una molienda promedio de 8.500 toneladas diarias de caña, para una producción anual de 4.500.000 quintales de azúcar y 76 millones de litros al año de alcohol carburante.

A partir de un gran esfuerzo financiero y tecnológico el Ingenio Providencia S.A. cuenta hoy con una de las más grandes y modernas plantas de producción de alcohol carburante de Colombia.

Este proyecto tomó forma al igual que para los demás Ingenios como respuesta a la necesidad planteada por el Gobierno Nacional, según lo dispuso la Ley 693 del 10 de septiembre de 2001. Ver anexo 3. [14]

4 DESCRIPCIÓN DE LA CAPACIDAD TECNOLÓGICA Y PRODUCTIVA

La capacidad tecnológica no radica en poseer conocimiento, sino en el uso que se hace de él y, en la habilidad para usarlo en la producción, inversión e innovación por parte de un país, de la industria y de una empresa. [15]

En las capacidades tecnológicas de éstos se destaca la característica “innovativa” de los mismos. Este elemento marca una clara diferencia entre lo que constituye “capacidad productiva” y “capacidad tecnológica”.

4.1 CAPACIDAD PRODUCTIVA Y CAPACIDAD TECNOLÓGICA

La capacidad productiva (o de producción) incorpora aquellos recursos usados para la producción, con una tecnología dada; mientras que los recursos “necesarios para generar y gestionar el cambio técnico” constituyen las capacidades tecnológicas. De esta manera, incrementos en la capacidad productiva no están ligados a la acumulación de capacidades tecnológicas. Como consecuencia, el sólo hecho de llevar a cabo actividades productivas no necesariamente tiene efectos de aprendizaje en relación con el cambio tecnológico. Por el contrario, las inversiones explícitas en aprendizaje son de creciente importancia como base para la acumulación de capacidades tecnológicas.

Es por eso que en la medida en que más avanzadas sean las tecnologías aplicadas mayores serán las capacidades productivas

alcanzadas y ello estará también asociado a mayores niveles de productividad. La aplicación de tecnologías atrasadas y más simples indica menores niveles de capacidad productiva y menor productividad. Sin embargo, poco refleja respecto del grado de capacidad tecnológica.

La capacidad tecnológica está ligada a la capacidad de generar el cambio técnico y de innovar. Mientras mayores sean las capacidades tecnológicas mayor será el grado de creación tecnológica, o la posibilidad de generar cambio técnico o innovaciones. En este caso la implementación de nuevas tecnologías será "creativa".

Si las tecnologías son, por el contrario, adoptadas "pasivamente" ello indica que los niveles de capacidad tecnológica son bajos. Y así se combinan bajos niveles de capacidad productiva y bajos niveles de capacidad tecnológica, lo que indica la aplicación de tecnologías atrasadas y la imposibilidad de mejorarlas "creativamente".

Por el contrario, las tecnologías aplicadas son de avanzada pero no se aprende "creativamente" de ellas y por ende, no hay lugar para el cambio técnico. Si se tiene un alto grado de capacidad tecnológica combinado con baja capacidad productiva; es decir que aunque las tecnologías sean relativamente atrasadas, éstas son implementadas de manera creativa y por ende, son susceptibles de ser mejoradas.

Por último, combinando la situación ideal de elevada capacidad productiva y elevada capacidad tecnológica, en donde, no sólo se aplican nuevas tecnologías sino, que se aprende creativamente de ellas, existe la posibilidad del cambio técnico.

Habiendo señalado esta diferencia entre capacidad productiva y capacidad tecnológica, aparece una clara implicación: una alta capacidad productiva en las empresas no necesariamente implica acumulación de capacidades tecnológicas que den lugar al cambio técnico ni al desarrollo tecnológico. Por el contrario, es sólo la acumulación de las capacidades tecnológicas la que da lugar al cambio técnico y el desarrollo tecnológico.

Así los países, las industrias y las empresas, en sus intentos por alcanzar competitividad, pueden decidir acumular sólo capacidades productivas o también capacidades tecnológicas o una combinación de ambos tipos de capacidades. [16]

5 EL BENCHMARKING

El benchmarking es sencilla y llanamente, aprender de los otros. Identificarlos, estudiarlos y mejorar basándose en lo que se ha aprendido. Comprender *cómo* las empresas, las organizaciones, las industrias y hasta los países que se estudian consiguen sus resultados es normalmente más importante y valioso que obtener alguna métrica exactamente cuantificada, así se reducirá los riesgos de perder de vista lo que se espera conseguir del estudio: aprendizaje valioso.[17]

5.1 BREVE HISTORIA DEL BENCHMARKING

En 1982 en Rochester, Nueva York, se llevó a cabo una reunión de especialistas en capacitación y desarrollo organizacional de la Corporación Xerox. La expresión Benchmarking competitivo se empleó en la discusión sobre la inmensa diferencia que Xerox había identificado entre el desempeño de la empresa y el de sus competidores.

Se identificaron estándares específicos de mediciones en áreas tales como los costos de producción, tiempo de los ciclos, costos de operaciones, entre otras, Xerox se clasificó con respecto a los principales competidores en el mercado, según dichos parámetros.

La expresión benchmarking competitivo, era nueva para la mayoría de personas. Sin embargo Xerox continuó desarrollando el concepto de benchmarking competitivo durante los años 80, estableciendo capacitación formal en el tema.

Otras compañías, como GTE, comenzaron a usar la palabra en 1983, pero no fue hasta fines de los años 80 cuando benchmarking en realidad comenzó a convertirse en lo que hoy es. Hasta entonces, el número de artículos sobre la materia no era superior a treinta, y solamente existían unos pocos expertos. Dos eventos de significación fueron los que motivaron el cambio.

Uno de ellos fue la introducción del Premio Nacional de la Calidad Malcom Baldrige. [18] El decreto de creación de este premio anual en los Estados Unidos, ley pública 100-107, fue firmado por el presidente Reagan el 20 de agosto de 1987. El propósito de este premio es promover los conocimientos de calidad, reconocer los logros en calidad y hacerles publicidad a las estrategias exitosas de calidad. Y además, un hecho que impulsó el Premio Baldrige fue el de las comparaciones externas.

El otro evento significativo había tenido lugar en 1989. Robert Camp, de Xerox, un ingeniero experto en logística, escribió el libro benchmarking: The Search for Industry Best Practices that Lead to Superior Performance. Este fue la primera descripción detallada del benchmarking en acción, disponible para el comercio en general. [18]

5.2 CONCEPTO DEL BENCHMARKING

El Benchmarking es una herramienta que ayuda a la empresa a identificar las mejores prácticas, que llevan a resultados superiores a aquellos que las utilizan, con el objetivo de mejorar el propio funcionamiento, alcanzando y superando a las mejores prácticas. Ver anexo 4. Esta herramienta consiste en medir los procesos, productos

y/o servicios de una organización, empresa, industria o país y compararlos con las correspondientes mejores prácticas. [19]

También se puede ver como un proceso sistemático y continuo para evaluar los productos, servicios y procesos de trabajo de las organizaciones que son reconocidas como representantes de las mejores prácticas, con el propósito de realizar mejoras organizacionales. Ver tabla 1. [18]

Tabla 1. El Benchmarking: qué es y qué no es.

| El benchmarking es.... | El benchmarking no es.... |
|--|---|
| Un proceso continuo | Un evento que se realiza una sola vez |
| Un proceso de investigación que proporciona información valiosa | Un proceso de investigación que da respuestas sencillas |
| Un proceso para aprender de otros | Copiar, imitar |
| Un trabajo que requiere tiempo y disciplina | Rápido y fácil |
| Una herramienta viable que proporciona información útil para mejora prácticamente cualquier actividad de negocios. | Una moda |

Fuente: SPENDOLINI, Michael. Benchmarking. Colombia: Norma, 2005. [6] p.

5.3 EL PROCESO DEL BENCHMARKING

Hay muchas formas de practicar el benchmarking, y la mayoría de las organizaciones que han institucionalizado el benchmarking han adoptado los procesos básicos para ajustarse a sus necesidades específicas. Por ejemplo, los seis pasos de Alcoa hacia el benchmarking, o el proceso de benchmarking de 12 pasos de AT&T.[17]

Pero también el benchmarking se puede describir como un *proceso estructurado*. La estructura de proceso de benchmarking suele darse por el desarrollo de un modelo de proceso, paso a paso. Sin embargo,

un proceso estructurado no debe agregarle complejidad a una idea simple. Y la estructura no debe interponerse en el camino del proceso; por ejemplo, eliminar el paso once de un proceso de catorce pasos no hace que el proceso falle necesariamente. Y además un modelo de proceso no tiene por que ser único.

5.4 ENTENDER EL TEMA SOBRE EL QUE SE VA A REALIZAR EL BENCHMARKING

Existen varios tipos de actividades de benchmarking, cada uno de los cuales se define como "objetivo" u "objeto" de la actividad de benchmarking. Cuando se estudia las diferentes definiciones de los diversos tipos de benchmarking, se debe tener en cuenta que el proceso básico de benchmarking es el mismo en todos los tipos. [18]

Existen tres tipos habituales de Benchmarking. Lo que hacen las tres clases es impulsar a las personas a mirar afuera de sus organizaciones, a sus competidores que de alguna manera sean las mejores en su clase y a utilizar el saber colectivo de éstos para fortalecer a su propia organización. [17]

5.4.1 Benchmarking Competitivo

El benchmarking Competitivo es la forma de benchmarking más difícil porque, como su nombre sugiere, las compañías objetivo no están normalmente interesadas en ayudar al equipo Benchmarking. La recopilación de datos, que casi siempre es la tarea que lleva más tiempo en cualquier esfuerzo de benchmarking, se hace mucho más difícil cuando sus objetivos son los propios competidores. Pues estos

no desean ser estudiados y hacen lo imposible para desanimar a cualquiera en sus esfuerzos (por ejemplo, ordenando no hablar) si se entera que lo están estudiando.

El benchmarking competitivo significa medir sus funciones, procesos, actividades, productos o servicios comparándolos con los de sus competidores y mejorar los propios de forma que sean, en el caso ideal, los mejores en su clase, pero, por lo menos, mejores que los de sus competidores.

5.4.2 Benchmarking Cooperativo

El Benchmarking Cooperativo y Colaborador (tratado a continuación) tienden a ser las formas de benchmarking de las que más se habla hoy por que son relativamente fáciles de practicar, ya que una organización que sea mejorar una actividad particular mediante el benchmarking, contacta con las empresas mejores en su clase y le pregunta si acepta compartir conocimientos con el equipo de benchmarking. Las empresas objetivo no son normalmente competidores directos de la empresa que hace benchmarking, lo que es un factor clave para asegura la cooperación.

5.4.3 Benchmarking Colaborador

En el Benchmarking Colaborador, un grupo de empresas comparte conocimientos sobre una actividad particular, esperando todas ellas mejorar basándose en lo que van a prender. A veces, una organización independiente sirve como coordinadora, recolectora y

distribuidora de datos, aunque un creciente número de empresas dirige sus propios estudios colaboradores.

5.4.3.1 Benchmarking interno

El Benchmarking Interno es una forma de benchmarking colaborador que muchas grandes empresas utilizan para identificar las prácticas “del mejor en casa” y extender el conocimiento sobre estas prácticas entre otros grupos de la organización. El objetivo de la actividad de benchmarking interno es identificar los estándares de desarrollo interno de una organización.

El benchmarking se puede aplicar a muchas áreas de una empresa, tal como se ilustra en la tabla 2. Si bien no se puede destacar o considerar más importante ninguno de estos tipos de benchmarking. [19]

Tabla 2. Diferentes tipos del benchmarking

| | |
|--------------------|--|
| Competitivo | La comparación de los resultados de la organización con uno de sus competidores. |
| De proceso | Medición y comparación de un proceso específico con el proceso similar de las organizaciones conocidas como las mejores en ese proceso. |
| Funcional | Una variación del anterior que compara una función de la organización con la misma función en otras organizaciones. |
| Genérico | Una variación del benchmarking de procesos que compara procesos similares de dos o más organizaciones sin límite de competencia o de tipo de industria. |
| Sectorial | La comparación de procesos dentro de organizaciones dentro del mismo sector, sin que tenga que ser necesariamente competidoras. |
| Producto | La comparación de los atributos de funcionalidad del producto de una empresa con los atributos del producto correspondiente de otra empresa. |
| Estratégico | Un enfoque de la planificación empresarial estratégica basado en el estudio y adaptación de las estrategias de las empresas reconocidas como las mejores en los procesos que apoyan esas estrategias |
| Táctico | Una variación del benchmarking de procesos que implica la comparación de procesos a corto plazo con los procesos a largo plazo. |

Fuente: www.cotec.es. Herramienta de Gestión Tecnológica. Módulo II.

5.5 LAS MEJORES PRÁCTICAS

En un sentido gramatical estricto, solo puede haber una empresa mejor en su clase por cada actividad. En el sentido del benchmarking, sin embargo, el término *el mejor en su clase* se usa a menudo indistintamente con términos como *de clase mundial*, con prácticas más avanzadas y el viejo y sencillo *mucho mejor que nosotros*. Un poco de tolerancia para la ambigüedad es bueno en la utilización de estos términos. El principio del benchmarking requiere un estudio de organizaciones que realizan una actividad específica mejor que la propia organización y, por supuesto, cuanto más cerca estén de ser la "mejor", mejor será el aprendizaje que se puede obtener potencialmente de su estudio.[17]

5.5.1 Identificación de las Mejores prácticas

Uno de los puntos críticos en el proceso del benchmarking es la identificación y selección de las empresas *mejores prácticas* que han de ser estudiadas como referencias. Es por eso que esta fase, implica una manera sistemática de recoger información sobre el proceso mejores prácticas, para esto se requiere un acercamiento adecuado a esa empresa, sin embargo podría haber implicaciones legales y éticas en caso de buscarse información confidencial y delicada. Las empresas mejores prácticas no tienen por que ser necesariamente del mismo sector; algunas de las mejores ideas que se pueden aplicar a la propia empresa podría venir de un sector totalmente distinto. [19]

5.6 LLEVAR ACABO EL ESTUDIO

La adquisición y el análisis de datos en el mundo real son un duro trabajo. Los datos nunca vienen elegantemente envueltos y las distintas fuentes proporcionan con frecuencia datos ampliamente dispares sobre el mismo tema. Para la recolectar y análisis de datos se necesita una tolerancia grande para la ambigüedad y un fuerte sentido de perseverancia. Sin embargo, existen algunos datos que son por naturaleza más fáciles de recoger que otros. [17]

5.6.1 Recolección de Datos

Dado que uno de los primeros objetivos del benchmarking es comparar la actuación de la empresa cliente con la empresa competidora u otra empresa mejor en su actividad, en algún punto del estudio se tendrá que recoger datos sobre la empresa cliente. Normalmente se hace antes de la recolección de datos de las empresas objetivo. Habitualmente esos datos son más asequibles que los de las otras compañías.²

El proceso de recoger los datos internos de la empresa cliente puede tener que repetirse después de que se hayan recogido los datos externos. Ya que si la empresa objetivo mide de manera diferente sus procesos, sería más fácil retroceder y medir los procesos de la empresa cliente con base en las medidas usadas por la empresa objetivo. [17]

² Pero no siempre. Para obtener información de las Destilerías, se tuvo que contar con el tiempo disponible de las personas involucradas, y con paciencia, se logro llevar acabo algunas reuniones y entrevistas.

5.6.1.1 Recopilación de Información

Los datos se obtienen en fuentes diversas, desde fuentes publicadas hasta entrevistas personales. Cada una tiene sus ventajas y desventajas. Ver tabla 3.

Es muy importante tener el enfoque durante la recolección de datos publicados. A veces se quiere saber todo lo posible acerca de la empresa o empresas que se estén estudiando, pero esto puede emplear mucho tiempo y dar muy poco beneficio extra. Por ejemplo, si lo que se quiere es descubrir el costo de las materias primas en el último año de una de las subsidiarias químicas de las compañías petrolíferas, se debe evitar leer una historia de la industria del petróleo.

Tabla 3. Métodos de Recopilación de información.

| Método | Ventajas | Desventajas |
|---|--|--|
| Entrevistas telefónicas | <ul style="list-style-type: none"> *Fáciles de planificar y de realizar. *Permite ponerse en contacto con gran número de recursos. *Se puede realizar casi en cualquier momento. *Relativamente baratas. | <ul style="list-style-type: none"> * Las "llamadas frías" pueden consumir mucho tiempo. *Es difícil de lograr que devuelvan las llamadas. *Es menos probable que la gente gaste mucho tiempo en el teléfono. |
| Entrevistas personales/visitas de campo | <ul style="list-style-type: none"> *Establecen relaciones personales y profesionales. *Permite más dedicación. *Es probable que produzcan buena cantidad de información. | <ul style="list-style-type: none"> *Costosas (costos de viaje). *Consume tiempo. *puede haber dificultad de programación. |
| Encuestas | <ul style="list-style-type: none"> Se puede recopilar de un universo extenso. *Fáciles de estructurar. *Relativamente baratas. | <ul style="list-style-type: none"> *Baja tasa de respuestas. *Impersonales. *Si posibilidad de hacer preguntas de seguimiento. *Debes ser muy breves. *Poca posibilidad de respuesta detallada. |

| | | |
|--------------------------------------|--|--|
| Publicaciones/medios de comunicación | <ul style="list-style-type: none"> *De fácil recopilación/acceso. *Variedad de recursos. *Asistencia disponible de la fuente de datos. *Recopilación poco costosa. Acceso publico a la información. | <ul style="list-style-type: none"> *excesiva información de algunas industrias. *Necesidad revalidar fuentes/estadísticas. *Muchas referencias oscuras. *Es necesario traducir el material extranjero. *Podría consumir mucho tiempo. |
| Investigación en archivos | <ul style="list-style-type: none"> *De fácil recopilación (interna). *Recopilación poco costosa. | <ul style="list-style-type: none"> *Faltan datos. *Con frecuencia se limita al análisis interno. |

Fuente: SPENDOLINI, Michael. Benchmarking. Colombia: Norma, 2005. [15] p.

5.6.1.2 Indicadores

El indicador es un conjunto de variables cuantitativas y cualitativas, las cuales son medidas, para analizar alguna situación, tarea o proceso en un momento determinado, cuya magnitud al ser comparada con un valor de referencia, señala las tendencias de cambio o igualdad respecto a los objetivos y metas organizacionales.

El papel de los indicadores además de evaluativo, pasa a ser predictivo, ya que con su aplicación no solo se evalúa cual es la realidad en la que se encuentra la organización, sino que también se convierte en motores para el establecimiento de propuestas, convirtiéndose en un elemento fundamental para la toma de decisiones. [20]

Sin embargo, uno de los grandes errores a la hora de aplicar el benchmarking podría ser el uso de indicadores equivocados para la comparación de dos empresas. Es importante que todos los indicadores utilizados en el benchmarking estén estandarizados para que puedan ser comparados con los de la empresa mejores prácticas.

[19]. Para controlar es necesario poseer indicadores que permitan evaluar el desempeño de los procesos, por tanto lo que no se mide, no se controla, y lo que no se controla no se puede mejorar.

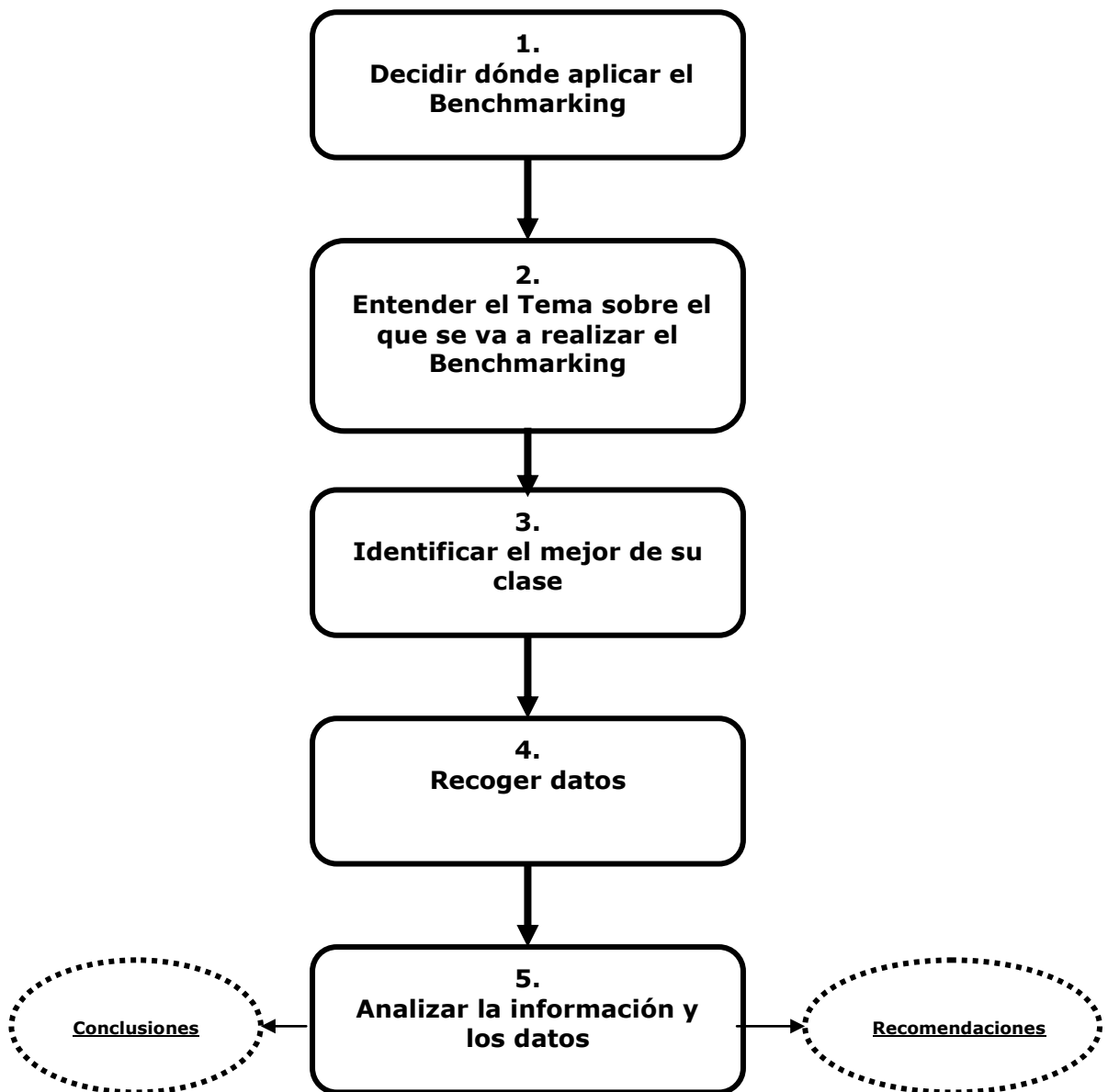
5.6.1.3 Análisis de los datos

Antes de cualquier otra consideración, es importante comprender los indicadores que se han de medir y qué representan realmente. También es necesario disponer de una métrica común para el correcto análisis de los datos que lleguen de distintas empresas. Esto significa que los datos de las diferentes empresas deberían basarse en los mismos criterios o deberían convertirse a un estándar común para que resulten comparables. [19]. La recolección y análisis de datos no son tareas discretas y secuenciales. En el curso de la mayoría de los estudios de benchmarking, la recolección y análisis de datos ocurren a la vez y a menudo tienen una relación simbiótica.

Si hay un punto importante sobre el análisis de datos que se debe tener en cuenta es contestar la pregunta *¿Cómo?* Es frecuentemente más valioso para elaborar el benchmarking que contestar a la pregunta de *¿Cuánto?* El benchmarking no es un mero ejercicio de números. [17]. Es por eso que es tan importante tener en cuenta también las variables cualitativas, aquellas que sustentan los números de acuerdo a los factores externos, es decir, lo que ha ocurrido en el sector, en todos los aspectos, políticos, económicos, sociales, ambientales, y que afectan directamente el estado de evolución de la empresa.

6 DESARROLLO DE LA METODOLOGÍA

Para el desarrollo de este trabajo se tuvo en cuenta los pasos básicos de la herramienta Benchmarking, enfocándolos en un análisis comparativo entre países, que en este caso será los de estudio, obtenidos a partir de la recolección de información de varias fuentes de investigación que se estudiaron. A continuación se muestra los pasos llevados a cabo:



6.1 DECIDIR DÓNDE APLICAR EL BENCHMARKING

Decidir dónde aplicar el benchmarking o quién será el cliente o usuario de la información del Benchmarking, es la primera pregunta que se debe responder. Pues es este el que se encuentra motivado por un factor o una combinación de factores (por ejemplo, las condiciones del mercado, nuevas competencias, nuevas tecnologías, problemas de rendimiento o de oportunidades), el cliente comienza el proceso de identificar los productos, los servicios o los procesos que es necesario estudiar.

Son numerosos los factores que motivan a las naciones a incursionar en proyectos de producción de etanol carburante, como por ejemplo, reducir el nocivo impacto de la contaminación.

Sin embargo, existen dos puntos críticos en el desarrollo competitivo del país respecto a la producción de bioetanol. El primero se trata de suplir inicialmente la demanda nacional y el segundo cuenta con dos posiciones que no están definidas por el gobierno, pero que se debe estar preparado para desarrollar cualquiera de éstas. La posición número uno es exportar el bioetanol, es decir manejar mercados extranjeros, países como USA (TLC), Japón, China y hasta a Europa. Y la posición número dos es duplicar el porcentaje de mezcla del 10% de volumen de bioetanol en la gasolina vehicular al 20%, estando muy cerca al porcentaje de mezcla que usa Brasil actualmente.

Estando Colombia en esta situación y basado en motivaciones de carácter económico, social y ambiental, para llegar a ser más

competitivo en la producción de bioetanol, se ha escogido como usuario para este estudio.

6.2 ENTENDER EL TEMA

Para el desarrollo de este proyecto se llevo a cabo un benchmarking competitivo combinado con el de procesos, debido a que la medición y comparación se basa en un proceso específico como es el caso del proceso de producción del bioetanol de Colombia y del país mejor en esta actividad.

En el caso del benchmarking de procesos, resulta esencial para la consecución del éxito, centrarse en el proceso. Esto suele significar que es necesario preparar un esquema que represente las distintas fases del proceso, y una documentación del proceso que incluya la métrica y los resultados cuantitativos. [19]

6.2.1 La Materia Prima

La materia prima utilizada en los ingenios tanto de Colombia como de Brasil, productores de bioetanol a partir de la caña de azúcar es obtenida de diferentes etapas en el proceso de elaboración del azúcar. Puede utilizarse jugo clarificado, meladura clarificada o sin clarificar, miel B, o cualquier combinación entre estas corrientes. La diferencia fundamental entre estas corrientes está en el contenido de sacarosa, glucosa y fructosa. La levadura consume glucosa y fructosa, los dos monosacáridos que conforman la sacarosa, la cual se desdobra por medio de la acción de una enzima (la invertasa generada por la levadura) y por la inversión ácida de la sacarosa.

En este sentido, la caña de azúcar representa el origen común de estas materias primas por lo que, los nutrientes obtenidos por ésta durante su vida, son transferidos directamente a los jugos y mieles que se obtienen en las diferentes etapas del proceso de producción de azúcar.

6.2.2 Proceso

A continuación se realizará una breve descripción de las etapas del proceso de producción del alcohol anhidrido a partir de la caña de azúcar, y las tecnologías que existen para cada etapa.

6.2.2.1 Fermentación

Es el proceso mediante el cual se obtiene alcohol etílico, a partir de azúcares fermentables, usando como catalizador organismos vivos (levadura). En el caso de las plantas de alcohol carburante en Colombia se usa específicamente la levadura *Sacharomyces cerevisiae* en un proceso continuo, con recirculación de levadura y de vinaza. La cepa utilizada se conoce como GR-X y fue suministrada por la compañía PRAJ.

Los sistemas de fermentación desarrollados para producción de alcohol a escala industrial son básicamente de tres tipos: por lotes, semicontinuo o continuo.

En el sistema por lotes (batch) la composición dentro del reactor cambia continuamente con el tiempo. El reactor se alimenta desde el inicio con los nutrientes necesarios y la levadura. Pasado el tiempo

requerido para la reacción se descarga completamente el reactor y se inicia de nuevo el proceso. Este esquema resulta útil para bajas cargas de producción debido a que el tiempo de residencia es muy alto.

En el sistema semicontinuo el reactor se inicia de la misma manera que en el sistema batch pero, a medida que se van agotando los nutrientes, estos son realimentados al reactor con el fin de que no haya limitación por falta de nutrientes. Este proceso continúa hasta llegar a completar la reacción y alcanzar el límite de tolerancia del microorganismo al alcohol; en este momento se descarga el reactor.

En el sistema continuo, como su nombre lo indica, la alimentación del sustrato y la remoción de productos son continuos. La concentración del alcohol en el reactor es la misma durante todo el proceso, lo que se denomina estado estable. En procesos continuos el tiempo de residencia es el tiempo de permanencia de una partícula que ingresa al interior de un recipiente antes de ser evacuada por la corriente de descarga.

Cada sistema de fermentación está diseñado para un tiempo de fermentación determinado; la prolongación de este tiempo de fermentación puede generar incrementos en la población bacteriana con el consecuente aumento en la acidez volátil. Por otro lado, tiempos de residencias muy bajos impiden que los microorganismos procesen completamente los azúcares residuales disminuyendo la eficiencia de la fermentación.

En consecuencia, se debe respetarse al máximo el tiempo de residencia recomendado por el proveedor de la tecnología, para obtener desempeños adecuados en los fermentadores. [25]

6.2.2.2 Destilación

Es un proceso mediante el cual se separa una mezcla líquida en sus constituyentes primarios aprovechando que cada sustancia química evapora a temperaturas distintas. Mediante platos de diferentes diseños, en cada una de las columnas utilizadas para el proceso coexiste una fase líquida descendente en contacto íntimo con una fase vapor ascendente en continua transferencia de masa y calor.

La columna desgasificadora, se alimenta con el vino proveniente de fermentación para eliminar los gases disueltos principalmente el CO₂. La columna despojadora recibe el vino de la columna anterior y se utiliza para agotar el etanol hasta obtener menos de 0.05% p/p en el fondo de la columna, lo que se conoce como vinaza. Luego se obtiene una corriente de cima con vapores de alcohol diluido al 40-50% v/v. Este vapor pasa a la columna rectificadora, en donde se obtiene un alcohol con una concentración de 96% v/v y se separa de otras sustancias para reducir las impurezas del alcohol. [25]

6.2.2.3 Deshidratación

Para la producción de alcohol carburante (99.8% v/v) se utilizan básicamente cuatro alternativas:

La destilación Azeotrópica combina la destilación convencional con la extracción con solvente. De esta manera se rompe el azeótropo³ etanol-agua. Y para esto se utilizan como solventes el ciclohexano, benceno y tolueno. De esta manera el etanol con muy bajo contenido de agua se retira por el fondo de la columna.

Para la destilación extractiva se utiliza un solvente de alto punto de ebullición que rompe el azeótropo etanol-agua. Este se adiciona por la parte superior de la columna llevando el agua hacia el fondo, mientras que el etanol con bajo contenido de agua se retira por encima.

El sistema de pervaporación consiste en membranas que retienen las moléculas de agua permitiendo el paso de las moléculas de etanol. Se utiliza muy poco debido al alto costo y a la pobre vida útil de la membrana. [25]

La técnica de los tamices moleculares actualmente es la más utilizada debido al bajo consumo de energía y vapor, además la operación de los equipos resulta muy sencilla. Ésta contiene lechos que remueven el exceso de agua por medio de un proceso de adsorción selectiva, cada uno de éstos contiene esferas microscópicamente porosas con poros de diámetro uniforme de 3 Å (3×10^{-8} metros = 3 centésimas de micras). En el interior de estos minúsculos poros se retienen las moléculas de agua debido a que su tamaño es de 2.8 Å, mientras que las moléculas de etanol tienen un tamaño de 3.4 Å pasan a través de

³ Un azeótropo se presenta cuando las composiciones en equilibrio de las fase líquidas y vapor de la mezcla permanecen invariables, es decir el vapor generado arrastra componentes indeseados del líquido y este a su vez retienen componentes que desean estar en la fase de vapor. El sistema etanol-agua presenta un punto azeotrópico a 78 grado C y 1 atm de presión donde se alcanza la composición de 96% v/v.

los espacios de mayor tamaño que existen entre las partículas que conforman el lecho. A continuación se presentan tablas sobre el consumo energético de cada tecnología de deshidratación de etanol [26]:

Tabla 4. Uso de la energía en cada una de las diferentes tecnologías de deshidratación.

| TIPO DE PROCESOS | KJ/kg DE ETANOL |
|---|-----------------|
| Destilación azeotrópica con benceno | 4853 |
| Destilación extractiva con acetato de potasio | 9270 |
| Destilación extractiva con etilenglicol | 1760 |
| Destilación extractiva con gasolina | 3180 |
| Pervaporación | 4602 |
| Tamices moleculares | 1430 |

Tabla 5. Uso de los servicios en cada una de las diferentes tecnologías de deshidratación.

| Servicio | Destilación Extractiva | Tamices moleculares | Destilación Azeotrópica (ciclohexano) |
|---|------------------------|----------------------------------|---------------------------------------|
| Vapor (kg/l de etanol) | 0.4 a 0.75 | 0.6 | 1.5 a 1.6 |
| Agua (litro/l de etanol) | 35 a 38 | 35 a 40 | 65 |
| Agente de separación (litro/m ³ de etanol) | Máx. 0.2 | 8 años/carga según el fabricante | 0.5 a 0.9 |
| Reciclo de alcohol (%) | Máx. 0.15 | Mín.15 | 0 a 25 |
| Energía Eléctrica (kwh/m ³ de etanol) | Máx. 7.22 | Mín. 9.51 | Mín. 11.1 |

6.2.2.4 Proceso de Producción de Bioetanol en las destilerías de Colombia

Las plantas colombianas de etanol se caracterizan por estar anexas a los ingenios azucareros y usar diversidad de materias primas (jugo, mieles y meladura).

En el anexo 5, se trata de manera breve el esquema de producción del etanol a partir de la caña de azúcar en las destilerías de los Ingenios pioneros en esta actividad, para tener un marco contextual sobre el cual se desarrolle los temas tratados. Y en el anexo 6, se muestra como ejemplo el proceso utilizado en la destilería de Providencia. [14]

6.2.2.5 Tecnología usada para el Proceso

Los Ingenios Incauca y Providencia fueron los primeros en liderar la importación de los equipos y las solicitudes de maquinaria, para la construcción de las plantas productoras de alcohol carburante.

Tanto Incauca como Providencia, Manuelita y Mayagüez se decidieron por tecnología de la India, cuyas empresas presentaron las mejores propuestas tanto en materia económica como en manejo ambiental, un punto muy importante para la región. Los Ingenios hicieron análisis individuales de tecnología de Francia, España, Brasil, Suecia y finalmente coincidieron en adquirir equipos de compañías de la India, que han logrado un amplio desarrollo combinado con cuidado del medio ambiente. Ver anexo 7.

También se realizaron contratos con empresas locales encargadas de construir algunas partes de las destilerías. Estas empresas tuvieron asesoría de la empresa Praj (a la cual se compro la tecnología en la India). Ver figura 7. [21]. Además se hicieron contratos con organizaciones del Valle del Cauca para elaborar algunas piezas, sobre todo en el proceso de fermentación, que requirió tanques grandes de acero inoxidable. [22]

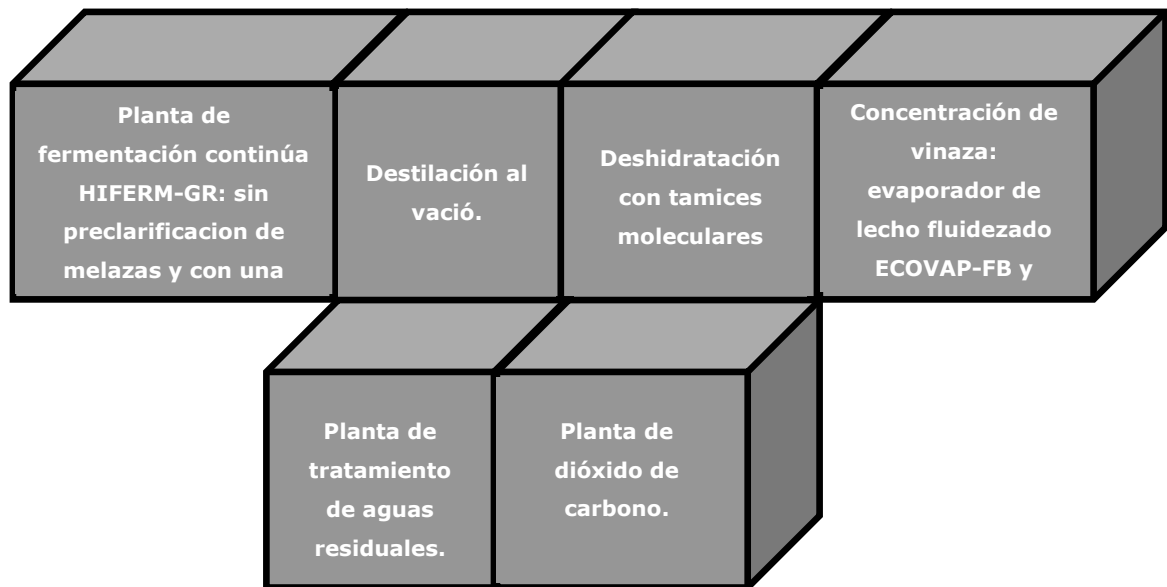


Figura 5. Tecnología usada para el proceso de bioetanol en Colombia. Elaboración propia del autor.

6.2.3 Costos

Las diferencias de costos de producción en diferentes países se deben más al costo de la materia prima que al costo de operación.

Los costos de producción de un galón de etanol están representados en su mayoría por la materia prima, equivalente a la compra de caña de azúcar, un 63% a 80% corresponde a caña, para el caso de Colombia. Y el transporte que incluye el corte y transporte de la caña a la planta destiladora, y de aquí al mayorista y posteriormente al centro de mezclado con gasolina, equivale a un 32% del costo total.

Pero esto debido a que en Colombia los Ingenios azucareros no son dueños de tierras cultivadas de cañas, ya que ésta hace parte de los hacendados, y a su vez, las hectáreas de caña cultivadas alquiladas por los ingenios se encuentran ubicadas a grandes distancias de la

fábrica, a diferencia de los ingenios de Brasil, los cuales son dueños de hectáreas cultivadas de caña y éstas se encuentran ubicadas a sus alrededores.

Los costos y gastos adicionales corresponden a mano de obra del proceso y administrativa, aditivos, seguros y servicios públicos entre otros.

Los costos de producción de etanol para los principales países productores oscilan entre 32 y 87 USD/barril. Entre el 47% y el 58% de este costo corresponde a la materia prima, entre 13% y 24% a insumos, entre 6% y 18% a costos de operación y mantenimiento y entre 11% y 23% a costos de capital. Ver figura 5. [27]. Se puede afirmar que los costos de producción varían ampliamente entre países debido a los factores agroclimáticos, la disponibilidad de tierras y el costo de la mano de obra que inciden en el tipo de biomasa empleadas como materia prima, factor que afecta la selección de tecnologías de transformación.

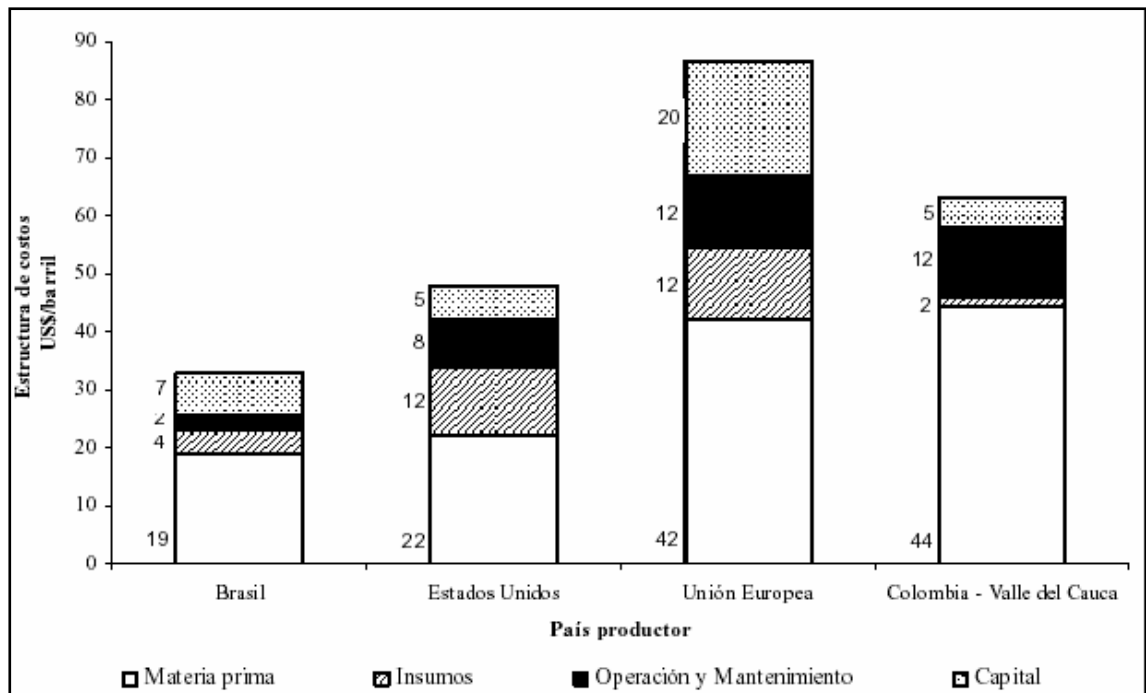


Figura 6. Estructura de Costos de Producción de Etanol. **Fuente:** World Energy Outlook 2006. The Outlook for Biofuels. International Energy Agency. Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural para el caso colombiano.

Los costos de producción en Colombia son superiores a los costos de los principales productores de etanol. En particular, son aproximadamente un 92% superiores a los costos de Brasil. El costo de producción de etanol en Colombia fue de 63,3 USD/barril (491 USD/ton) en 2006.

Para el caso de la caña de azúcar los costos de producción varían en función agro-ecológicas de cada región, igual que con el CAT (corte, acopio, y transporte). La figura 6 muestra un ejemplo, para un CAT de US\$ 5.5 y un precio de caña de US\$ 1.1, hablando en términos de toneladas, se puede producir bioetanol a US\$ 1.19 por galón con un retorno para el inversionista del 25%. Sin embargo, cuando se tiene caña de laderas o de tierras onduladas, el precio del CAT se aumenta

sensiblemente pudiendo llegar hasta los US\$ 8. En tal caso, con precios de caña similares, el precio de venta del bioetanol tendría que elevarse a US\$ 1.32 por galón para hacer la inversión atractiva y de paso absorber el mayor costo marginal. La diferencia del precio, para el ejemplo sería de US\$ 0.13 por galón, con lo cual saldrían del mercado.

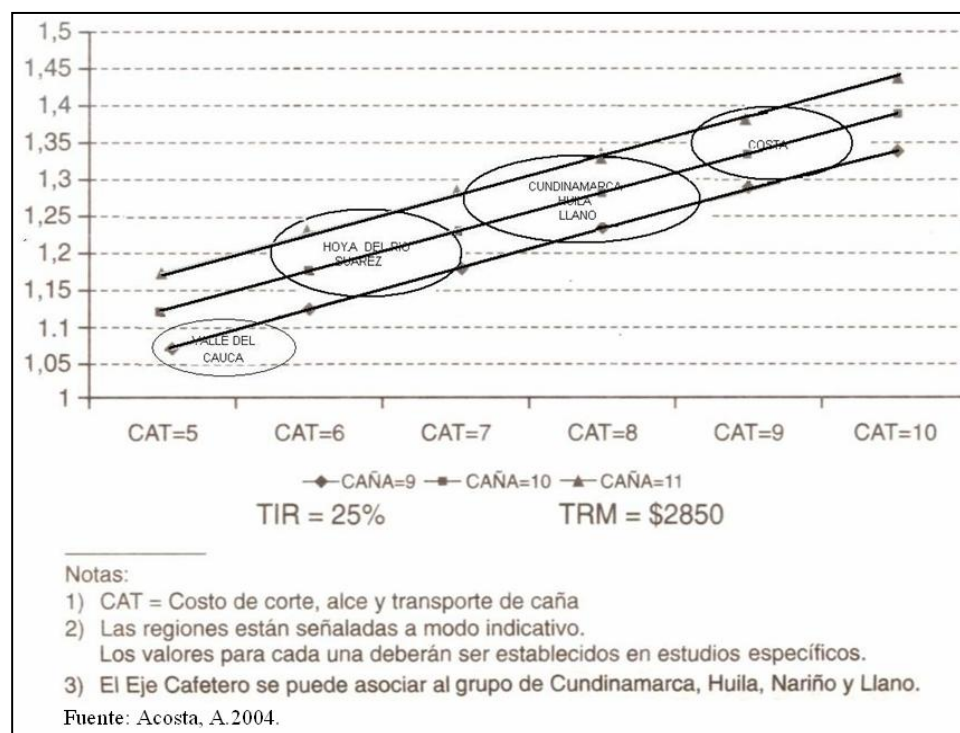


Figura 7. Precio del bioetanol (USD/gal) Vs. Costos del CAT y caña de azúcar (US\$/Ton). **Fuente:** CONSEJO NACIONAL DE POLÍTICA ECONÓMICA Y SOCIAL. República de Colombia. Departamento Nacional de Planeación. Lineamientos de política para promover la producción sostenible de biocombustibles en Colombia. Bogotá, (31 marzo 2008). Documentos (CONPES 3510).

La destilación consume una alta cantidad de energía en términos de los servicios requeridos como vapor y agua de enfriamiento para los respectivos procesos de calentamiento y enfriamiento, su costo contribuye en algunos casos, en más del 50% a los costos de operación.

En Colombia desde 1991 se requiere que las edificaciones sean antisísmicas, lo que implica unos muy buenos cimientos en la base de la edificación. En las plantas de etanol del Brasil, no existe esa normatividad, por eso sus costos de instalación no son tan altos en comparación con los de Colombia. [28]

6.2.4 Investigación y Desarrollo

Las diferencias que existen entre los países que llevan acabo la mayor producción de bioetanol en el mundo con los países que apenas están incursionando en este tema, se deben a que los primeros cuentan con varios grupos de investigación para generar nuevas alternativas tecnológicas, dinero para financiarse y que se encuentran dentro de este negocio hace ya muchos años, por lo que cuentan con muchos ingenios para producir etanol. Por ejemplo, Brasil es pionero hace 25 años. Además, de otros factores de tipo social y político que impiden el crecimiento competitivo de cada nación.

Los ingenios del Valle del Cauca se unieron para apoyar la investigación en nuevas tecnologías de biocombustibles, en cuanto al mejoramiento de la materia prima y alternativas viables sobre el uso de los residuos, para el desarrollo competitivo de la región. Creando en Cenicaña, un grupo de personas que llevan acabo estas investigaciones. Los ingenios dan una contribución para que Cenicaña realice la investigación en el sector de la caña de azúcar y el bioetanol. No se hace individual dentro de cada ingenio porque se aprovecha mejor el efecto de sinergia al estar todos integrados en uno solo. Sin embargo, cada destilería cuenta con un laboratorio de

microbiología en donde se llevan a cabo investigaciones sobre la levadura, sus condiciones y el mejoramiento de la calidad del producto.

También, para el desarrollo de estas estrategias, Colciencias ha realizado diferentes mecanismos de interacción con entidades como el Ministerio de Minas y Energía, el Departamento Nacional de Planeación, las diferentes universidades nacionales, los gremios pertenecientes a las cadenas de producción de los diferentes biocombustibles, los institutos de investigación ambiental y los organismos internacionales que permitan fortalecer el sistema de I+D+I en biocombustibles, y actúa en coordinación con la Comisión Intersectorial para el Manejo de Biocombustibles.

6.2.5 Exportación e importación de alcohol.

La producción de alcohol a partir de la caña de azúcar en Colombia, no implica nuevas siembras del cultivo, pues la idea es aprovechar gran parte de la molienda que se dedica a exportaciones y reemplazarla por la generación de alcohol para mezclar con gasolina. Dado que el alcohol carburante se ha producido usando la disponibilidad de caña actual, sin necesidad de recurrir a nuevas áreas sembradas en la región, las exportaciones de azúcar de Colombia han disminuido 316.000 toneladas, dejadas de exportar a mercados no preferenciales, donde el país no cuenta con ventajas arancelarias. Es decir, se sustituye azúcar de exportación por alcohol, ampliando así el portafolio de productos del sector azucarero y dando a dicha cantidad desplazada un ingreso más estable en el largo plazo.

Pero aun así, no es suficiente para Colombia, pues esto solo permite cubrir una parte del mercado nacional, la idea de exportar quedan en ganas, mientras se soluciona la capacidad productiva de la nación. Por otro lado, Brasil, dada su capacidad productiva suple la demanda nacional y puede exportar cierta cantidad a otros países que demandan el producto. [12]

El dinamismo actual de Brasil en el mercado del etanol atrae incluso a los inversores extranjeros (por ejemplo, a las principales empresas azucareras europeas) y es la causa de que se vayan a construir unas 14 fábricas nuevas solamente en el Estado de São Paulo. El objetivo consiste en llegar a exportar etanol a un nuevo mercado mundial: el de los biocarburantes. Para ello se construyó en 2005 la primera terminal portuaria de etanol en Santos, con una capacidad de almacenamiento de 32 000 toneladas. [36]

El primer mercado al que Brasil apunta es Japón, cuyo Gobierno está estudiando actualmente la posibilidad de que las gasolinas contengan proporciones obligatorias de etanol (entre el 3 y el 10 %) y cuya capacidad de producción es muy limitada.

Brasil exportó el año pasado 3.500 millones de litros, prácticamente todo para Estados Unidos que es el mayor consumidor del etanol producido por Brasil. Sin embargo, no fue suficiente para mantener la exportación al mismo nivel que en el 2006, además de los precios que ayudaron a bajar los precios, los norteamericanos produjeron una zafra "gigante" de alcohol de maíz. [34]

6.3 IDENTIFICACIÓN DE LA MEJORES PRÁCTICAS

Brasil el mayor productor y consumidor mundial de alcohol como combustible a partir de la caña de azúcar, posee tecnologías de vanguardia a bajos costos de fabricación, es también el mayor exportador de bioetanol como combustible, y además se encuentra en la continua búsqueda de nuevas tecnologías para mejorar la eficiencia de la transformación de la caña de azúcar en etanol, siendo uno de los grandes retos para mantener la competitividad brasileña en el mercado internacional.

De acuerdo a la definición de las mejores prácticas y las restricciones de información por parte de las destilerías de Brasil, debido a su ubicación geográfica, que impide hacer entrevistas directas o visitas de campo, se debió recurrir a instituciones como Cenicaña, y personas involucradas en el proceso de producción del bioetanol en este país, como profesores e ingenieros, con los cuales se llevaron a cabo varias reuniones en donde se pudo compartir información de seminarios, congresos y otros, asistidos por éstos.

Siendo Brasil el pionero en la producción de bioetanol y el país con más acceso a la información suministrada por las personas involucradas, se ha escogido como usuario para este estudio. Ver anexo 8.

6.3.1 Breve reseña Histórica sobre la evolución del Bioetanol como combustible en Brasil.

Entre los años 1905 a 1925 se sintieron las primeras tentativas de promoción de alcohol como combustible en los Ingenios. Por lo cual en 1927 el Ingenio Serro Grande de Halagaos presento el primer motor que trabajaba con alcohol. A Final de la década de 20 el Instituto Nacional de Tecnología (INT), había concedido en un FORD con 4 cilindros el Alcohol como combustible. Posteriormente el 20 de febrero de 1931 el Gobierno firma el decreto 19.717, Obligando la adición de 5% de Alcohol en la gasolina importada por Brasil. Y en el año 1933 se creo el Instituto del Azúcar y Alcohol (IAA), con el objetivo de organizar a la nación por medio de Destilerías Anexas a los Ingenios productores solamente de Azúcar.

El 23 de septiembre de 1938 el Gobierno firma el decreto 737, Obligando la adición de 5% de Alcohol en la gasolina producida por Brasil, con la implantación de la primera Refinería Nacional de Petróleo. En el periodo de 1942 hasta 1946 con la dificultad del abastecimiento de petróleo y sus derivados, provocados por la II Guerra Mundial, la mezcla llevo alcanzar 42%. Sin embargo, en las décadas de 1950 y 1960 la falta de interés tanto de los productores como del gobierno, provoco la reducción de la mezcla hasta 2,9% en todo el país y 7% en la ciudad de São Paulo.

La Crisis internacional de petróleo provoco en brasil, que la importación de este país en 1973 era de USD 600.000.000 y aumento a USD 2.500.000.000 en 1974, logrando así un Déficit de la balanza

comercial de USD 4.700.000.000 y una Inflación anual de 34,5%, la cual era de 15,5%.

Otro aspecto muy importante era el precio de la tonelada del Azúcar, en el mercado internacional estaba muy bajo, incentivando de esta manera la producción del alcohol, haciendo así la transformación del azúcar de la caña en Alcohol.

Por lo que el 14 de noviembre de 1975 el Gobierno firma el decreto 76.593, estimulando la producción de Alcohol, expandiendo así el sector agrícola, modernización y ampliando las plantas ya existentes y creando plantas nuevas. Así se inicio una escalada de proyectos nuevos, con compañías extranjeras para suministro de tecnología y equipamientos. [23]

6.3.2 Generalidades de las Destilerías de Brasil

El etanol brasileño es producido de caña de azúcar, en procesos integrados a la fabricación de azúcar, con importantes sinergias en términos energéticos, ambientales y económicos. La Producción y el uso de etanol en Brasil en el 2007 produjo los siguientes resultados: 6 millones ha cultivados con caña (1% de la superficie agrícola), 55% de la caña cosechada se destina a la producción de alcohol, en 320 ingenios. Están en construcción más de 140 nuevos ingenios. En la zafra 2006/2007, 427 millones de toneladas de caña produjeron más de 16 billones de litros de etanol, para abastecer más de 20 millones de vehículos (etanol hidratado y anhidro) y para la exportación del mismo. Alrededor de 610 miles personas trabajan directamente en la agroindustria azucarera de Brasil.

Brasil es el único país donde los costos para producir etanol con caña de azúcar, no sólo se encuentran por debajo de los precios locales libres de impuesto para la gasolina, sino también son 70% inferiores al costo regional de abastecimiento de este combustible. El valor de la materia prima es un componente esencial en el costo de la producción de etanol, por lo tanto, puede competir con la gasolina sin necesidad de subsidio, aunque el gobierno ha intervenido con regulaciones e incentivos de mercado. El gobierno brasileño apoya la producción de etanol con incentivos fiscales y un marco jurídico que establece oficialmente una composición de 20 a 25% de etanol en el combustible de transporte.

Un gran número de plantas procesadoras en Brasil pueden fácilmente cambiar entre la producción de azúcar y etanol de acuerdo al mercado que les resulte más rentable, por lo que las variaciones en los precios de ambos productos, están sumamente relacionados. [23]

6.3.3 Tecnología usada para el Proceso

En Brasil las destilerías diseñadas y establecidas por Dedini son responsables del 80 por ciento de la producción nacional de alcohol y en torno al 25 por ciento de la producción mundial. Con más de 800 fábricas instaladas en Brasil y 23 en otros países.

Dedini posee tecnología propia para proveer, en régimen "llave en mano", fábricas de etanol completas con fabricación propia de todos los equipos y sistemas integrados, desde el recibimiento, preparación y procesamiento de la caña, extracción y tratamiento del caldo, generación de vapor y cogeneración de energía, proceso de

destilación, deshidratación y almacenamiento del etanol. En este segmento del mercado Dedini es líder mundial en el suministro de plantas completas y desempeñó un papel importante en el desarrollo del programa "Proetanol (Proálcool)". Ver figura 8. [24]

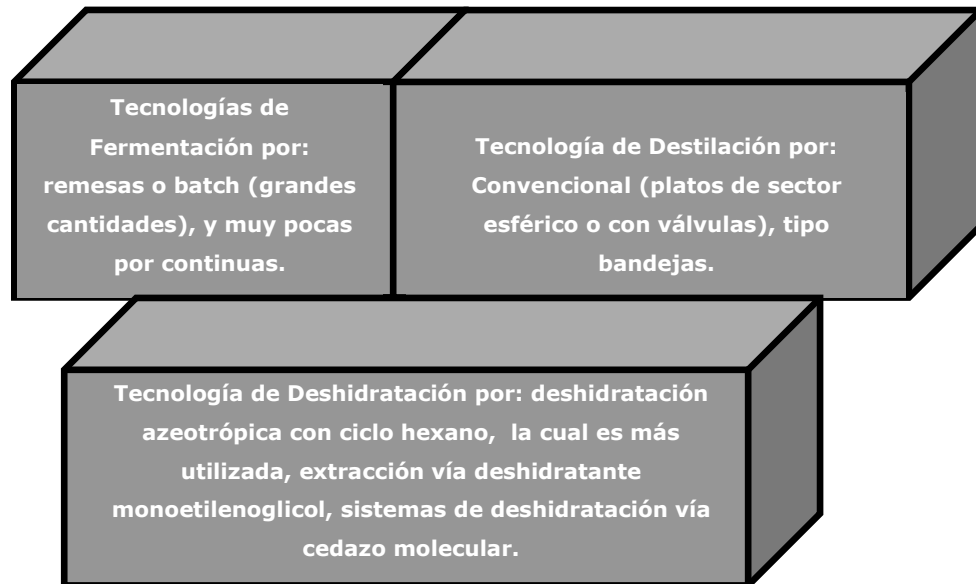


Figura 8. Tecnología usada para el proceso de bioetanol en Brasil. Elaboración propia del autor.

6.5 Esquema para la producción de etanol carburante a partir de la caña de azúcar aplicando diferentes tecnologías

Históricamente, [31] la elección de la tecnología para producir etanol a partir de melaza o jugo de caña, ha demostrado una clara diferencia, sobre la base de algunos indicadores locales en todo el mundo. Para llevar a cabo un análisis preliminar de la cadena de producción de etanol se han tenido en cuenta los siguientes indicadores:

- 1: Costo local de la energía/integración térmica.
- 2: costo local de la inversión.
- 3: Productividad.
- 4: Costo de mantenimiento.
- 5: Disponibilidad de agua.
- 6: Eliminación de las vinaza.
- 7: Rendimiento.
- 8: Costo operacional.
- 9: Robustez de la planta.
- 10: Riesgo de aplicación.

En las tablas 7 y 8, los diferentes procesos Fx (fermentación) y Dx (deshidratación), respectivamente, se enumeran en la primera columna y organizada por sus principales características en la primera fila de cada cuadro. A continuación las características presentes fueron evaluadas por "mejores en" o "peores en".⁴

⁴ El desarrollo de esta investigación se encuentra en: MOURA, Adler y MEDEIROS, Jose. Applying consistent technology for fuel ethanol production. En: Proc. Int. Soc. Sugar Cane Technol. Vol. 26. 2007. (Febrero, 2008); p. 1202-1207.

Tabla 6. Principales tipos de fermentación disponibles en el mundo y algunas características.

| | Continuo | Batch | Levadura autofloculante | Levadura no floculante | Recirculación de vinaza | Recirculación de levadura |
|-------------------|----------|-------|-------------------------|------------------------|-------------------------|---------------------------|
| F1 | Si | | | si | | si |
| F2 | | si | | si | | si |
| F3 | Si | | si | | | si |
| F4 | Si | | si | | si | |
| F5 | Si | | si | si | si | si |
| F6 | Si | | | si | | |
| Mejor en: | 2,3,8 | 9,10 | 1 | 3,9 | 5,6 | 7 |
| Peores en: | 9 | 2,8 | 7 | 1,4 | 10,3,9 | 8 |

Tabla 7. Principales tipos de deshidratación disponibles en el mundo y algunas características.

| | Tamiz Molecular | Extractiva | Azotrópica con ciclohexano | Permeación de vapor a través de membranas | Pervaporación |
|-------------------|-----------------|------------|----------------------------|---|---------------|
| H1 | si | | | | si |
| H2 | | | Si | | si |
| H3 | | si | | | si |
| H4 | | | | Si | si |
| Mejor en: | 1,9,3 | 9,3 | 2 | 1,3 | 9 |
| Peores en: | 2 | 8 | 8,5 | 10,2 | 1 |

De acuerdo a las tecnologías propuestas en cada tabla se puede lograr una comparación entre estas tecnologías y sus respectivas ventajas y desventajas. Sin embargo existe dos principales cadenas de producción utilizando diferentes procesos de fermentación y deshidratación, tal como se describe a continuación:

***Cadena 1:**

Comparando por ejemplo F1 a F3, en un proceso de fermentación continua, con levadura auto floculante y recirculación de levadura a través de decantadores; F3 es también económica en cuanto a la inversión, productiva, comparativamente consumo de energía más bajo, pero con altos costos operativos. F4 es el mismo que F3, pero con recirculación de vinazas. Las ventajas son similares a las que se describen en F5, en términos de eliminación de las vinazas y la exigencia de agua, además de baja energía que requiere.

Para disminuir la cantidad de agua en el alcohol producido en la destilación, el sistema de deshidratación H1 debe ser elegido. Este se trata de un sistema de deshidratación a través de tamices moleculares con líquido de alcohol hidratado como entrada. El pervaporador es utilizado por la recepción de etanol líquido en caso de deshidratación autónoma de la unidad del tanque de almacenamiento. Sus ventajas es que requiere menor energía en funcionamiento, cuenta con mayor robustez, mejor productividad, pero el costo local de la inversión es alta.

Pro lo tanto es muy común encontrar la cadena F4/F5-D-H1 como la elección predominante. Por otra parte, se puede concluir que la raíz

de esta configuración se basa en la necesidad de reducir el consumo de vinazas, con un mínimo de consumo de vapor.

***Cadena 2:**

Ahora analizando los dos procesos existentes que diferencian la etapa de fermentación, F1 y F2 son en gran medida los procesos más utilizados. Así que se podría concluir que F1/F2-D-H1, es muy común comercialmente. Este proceso integrado con las vinazas, es muy competitiva en costos con la cadena 1, y tiene ventaja en el rendimiento de etanol y la solidez en la fermentación, una vez que la recirculación de vinazas no es requerida.

Si no es obligatorio, la reducción del flujo de las vinazas, o la concentración de la misma, entonces la cadena 2 sería mucho más económica que la cadena 1. La figura 9 muestra el recorrido de las dos cadenas.

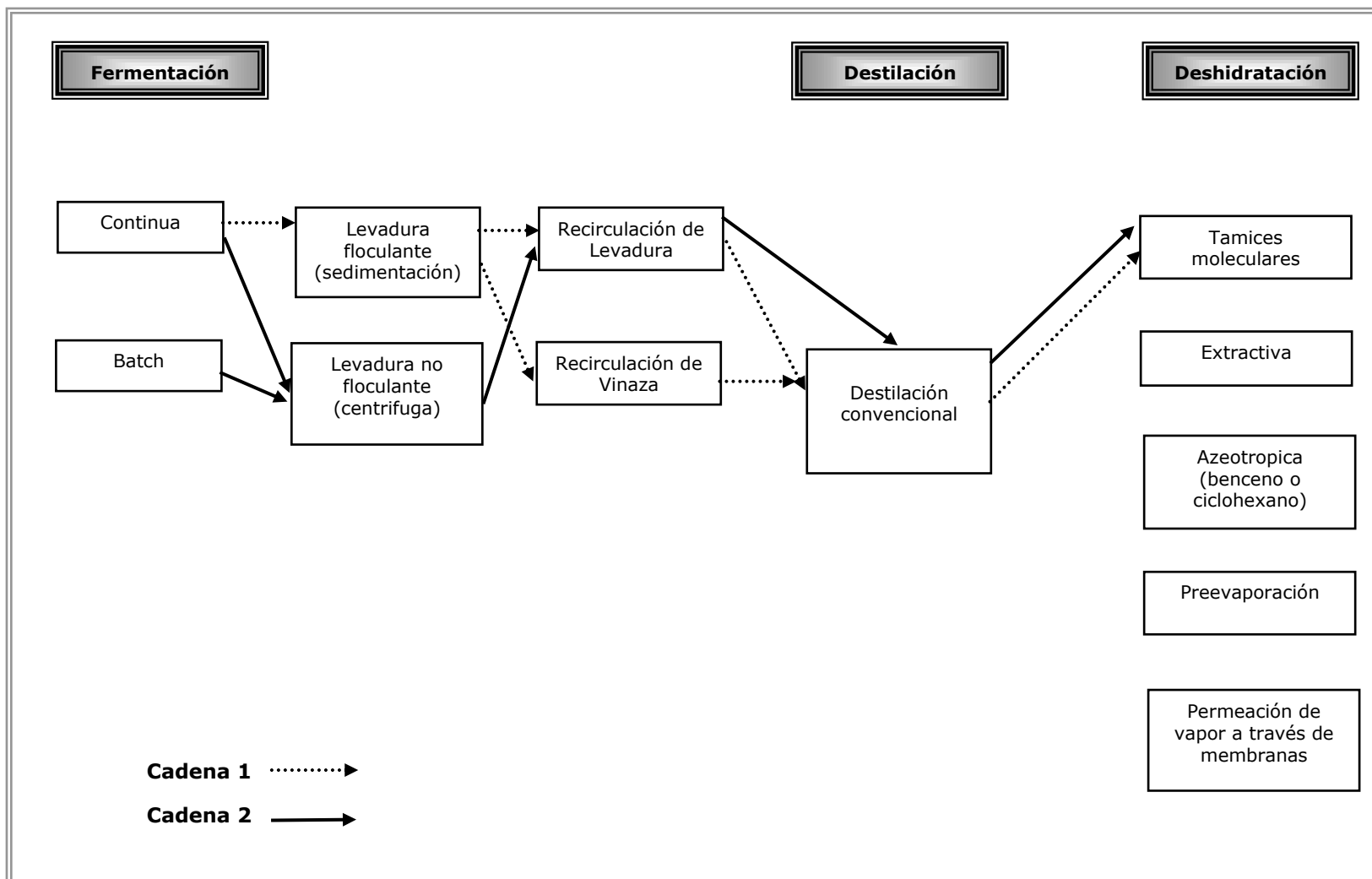


Figura 9. Esquema para la producción de etanol carburante a partir de la caña de azúcar aplicando diferentes tecnologías. **Fuente:** Elaboración propia del autor.

6.6 RECOLECCIÓN DE DATOS

Para recolectar la información pertinente para esta investigación, se usaron varias fuentes secundarias como es la revisión de libros, tesis, revistas, periódicos y artículos, donde se obtuvieron información cualitativa y cuantitativa. Además se complementó y verificó la información cuantitativa por medio de entrevistas a funcionarios de instituciones involucradas o interesadas en la producción del bioetanol como Cenicaña, Asocaña y universidades, también con algunos ingenieros del Ingenio Riopaila; y visitas a la destilería del Ingenio Providencia. Ver anexo 9.

Por lo cual, para la obtención de esta información se elaboró un cuestionario compuesto por dos módulos: el primero contiene preguntas sobre la Capacidad Productiva (Modulo 1) y el segundo de Capacidad Tecnológica (Modulo 2). Ver anexo 10. Esto permitió el levantamiento preliminar de datos e indicadores. El cuestionario es una composición de características estructurales en cuento a su elaboración y de preguntas relevantes, para el desarrollo de la investigación. Escogidas a partir de dos formatos: El Perfil Tecnológico Sectorial y la Auditoría Tecnológica. [15]

La información fue transcrita en el programa de Excel de Windows XP facilitando su posterior análisis, y elaborando gráficas de barras agrupadas y gráficos de tipo radar para la comparación de los valores, las cuales permiten observar el comportamiento del país usuario y de las mejores prácticas. [32]

6.6.1 Indicadores Propuestos

Diversos factores pueden afectar estos indicadores, pero para los fines del presente estudio, se atienden a la necesidad de situar tecnológicamente el estado del arte de la industria del bioetanol en los países de estudio. De todas formas cabe resaltar que la productividad industrial depende de aspectos exógenos como la calidad de la materia prima procesada, las políticas o reglamentos de carácter ambiental y la especificación a ser atendida por el producto. Por tales razones, a los aspectos puramente cuantitativos de los indicadores, las entrevistas permiten agregar una evaluación subjetiva y cualitativa del desempeño industrial.

Sin embargo existen dos variables principales, que a su vez se dividen en subvariables y cada una maneja unos indicadores que permitirán analizar el proceso de producción y la capacidad tecnológica de los países en estudio. Estas variables son: Capacidad Productiva y Capacidad Tecnológica. Ver tabla 9.

La variable Capacidad Productiva esta conformada por las siguientes subvariables: Características sobresalientes de los países, demanda y oferta, generación de empleo y generalidades del proceso productivo (producción, rendimiento y costos).

La variable Capacidad Tecnológica está conformada por las siguientes subvariables: Inversión en investigación, desarrollo e innovación (I+D+I), centros de investigación, etapa de los procesos (incipientes, emergentes, claves y básicos), tecnologías de cada proceso, factores que dificultan la innovación.

Considerando el carácter exploratorio de este trabajo, los indicadores adoptados para inferir el estado de desarrollo de las destilerías productoras de bioetanol, son los que muestra el anexo 10.

Tabla 8. Variables de Estudio

| VARIABLES | SUBVARIABLES |
|-----------------------|--|
| Capacidad Productiva | 1. Características sobresalientes |
| | 2. Demanda y oferta |
| | 3. Generación de empleo |
| | 4. Generalidades del proceso productivo (Producción, rendimiento y costos) |
| Capacidad Tecnológica | 1. Inversión en I+D+I |
| | 2. Centros de investigación |
| | 3. Etapas de los procesos |
| | 4. Tecnología |
| | 5. Factores que dificultan la innovación |

6.7 RESULTADO Y ANÁLISIS DE LOS DATOS

A continuación se muestra los resultados obtenidos por medio de la investigación y del cuestionario realizado, generándose gráficas comparativas por cada variable y el análisis de las mismas.⁵

⁵ Las gráficas fueron elaboradas por el autor de éste trabajo de grado, y se realizaron en Excel de Windows XP.

◆ **Característica Sobresaliente de los Países.**

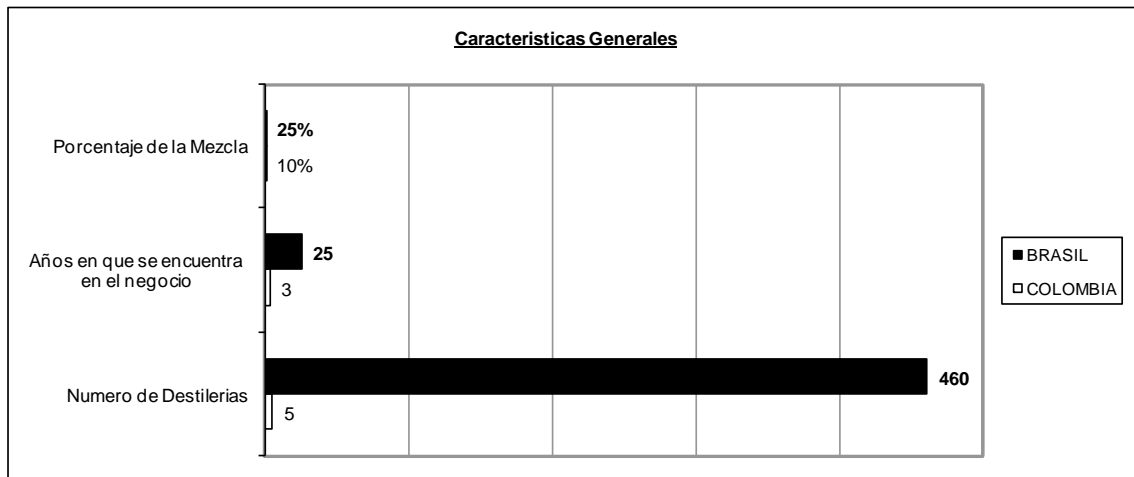


Figura 10. Características sobresalientes de los países.

Debido a que Brasil lleva produciendo etanol a partir de la caña de azúcar aproximadamente 25 años, su experiencia en esta actividad le ha permitido llegar a ser el pionero en este negocio, contando con 460 ingenios duales, es decir, su actividad es producir azúcar y alcohol, y con una mezcla del 25% de etanol y de 75% de gasolina, frente a un 10% de etanol y 90% de gasolina en Colombia, muestra la gran distancia que tiene Brasil frente a Colombia.

◆ **Demanda y Oferta.**

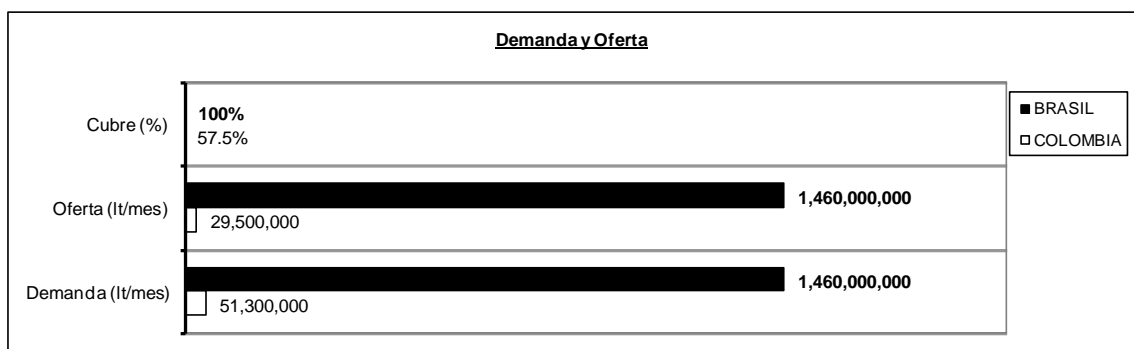


Figura 11. Demanda y oferta.

Por ley, desde 2005 las ciudades colombianas cuya población sea igual o supere los 500.000 habitantes deben usar mezclas de combustible (90%) y Etanol (10%). Satisfaciendo así, la demanda del suroccidente colombiano, el Eje Cafetero y las plantas de abasto mayorista que atienden a Bogotá y su área metropolitana. Además, a partir del 1o de mayo de 2007 se inició el programa de oxigenación de las gasolinas en los departamentos de Santander y Norte de Santander. Sin embargo no se cuenta con capacidad para satisfacer el resto de la demanda. [10]

El principal país productor mundial de este biocombustible a partir de la caña de azúcar, genera aproximadamente 14.6 mil millones de litros de etanol por mes, destinando un 80% para su consumo interno, y el resto para exportación. Cubriendo así con el 100% de la demanda nacional, y teniendo la capacidad de suplir parte de la demanda internacional. [23]

♦ **Generación de Empleos Sector del Alcohol.**

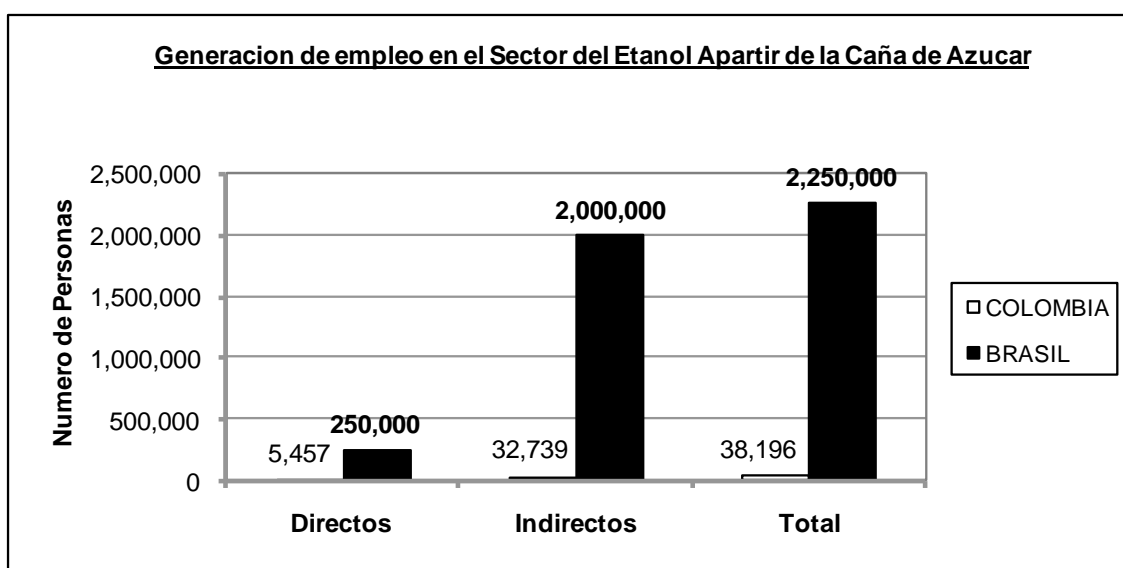


Figura 12. Generación de empleos.

Debido a que Brasil cuenta con más ingenios enfocados a la producción de etanol, y con instituciones privadas y públicas encargadas de la investigación y el desarrollo en este sector, debido también al tiempo en que ha incursionado en este negocio. La vinculación del personal a esta actividad es mucho mayor que la que ha ofrecido Colombia.

El programa de alcoholes en Brasil significó la creación de 250.000 empleos directos y unos 2 millones de empleos indirectos, repartidos en más de 400 destilerías, en instalaciones complementarias, en redes de transporte y fabricación de motores específicos para estos combustibles; logrando incrementos en las remuneraciones del sector agrícola y la instauración de importantes beneficios sociales para los trabajadores y sus familias. En cambio en Colombia el montaje y la operación de las destilerías podrían haber generado aproximadamente unos 48.000 nuevos puestos de trabajo. Sin embargo, se podría pensar que el etanol lo que permitió es proteger aproximadamente 38.000 empleos que para ese entonces, existían en la industria azucarera nacional. Distribuyéndolos en las destilerías existentes, en el campo, en redes de transporte, logística, y otros. [35]

Dentro de la alianza entre Asocaña y el Servicio Nacional de Aprendizaje (SENA) se han elaborado las normas, currículos y medios audiovisuales para la formación por competencias laborales en fábrica y campo y se ha iniciado el proceso para las normas de alcohol carburante. Con el fin de mejorar las condiciones académicas y las competencias laborales del sector, el SENA ha adelantado diplomados en diversos temas dirigidos a ejecutivos de las empresas del sector

azucarero, y a líderes y representantes de las Cooperativas de Trabajo Asociado de los Ingenios, además de más de 800 cursos de capacitación para personal de los ingenios. En competencias laborales se han elaborado normas, currículos y medios didácticos para fábrica y campo. Pero Falta incursionar en la capacitación de personal sobre al manejo de nuevas tecnologías aplicadas a las destilerías.

♦ **Producción.**

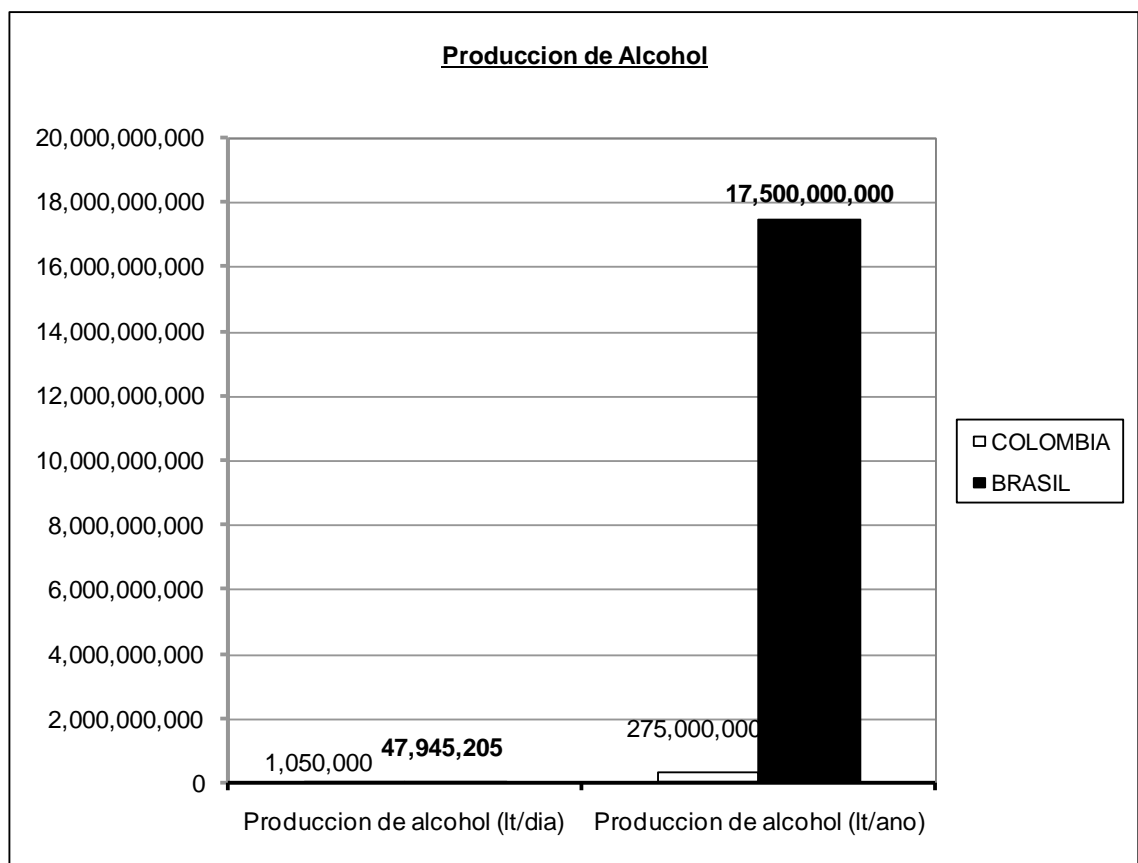


Figura 13. Producción de alcohol.

Existen muchos factores que influyen en la producción de cada uno de estos países. El número de ingenios con que cuenta cada uno, el número de hectáreas de caña sembradas, la capacidad productiva instalada en estas destilerías, pero todo esto se refleja por la

distancia en el tiempo que nos lleva Brasil desarrollando esta actividad.

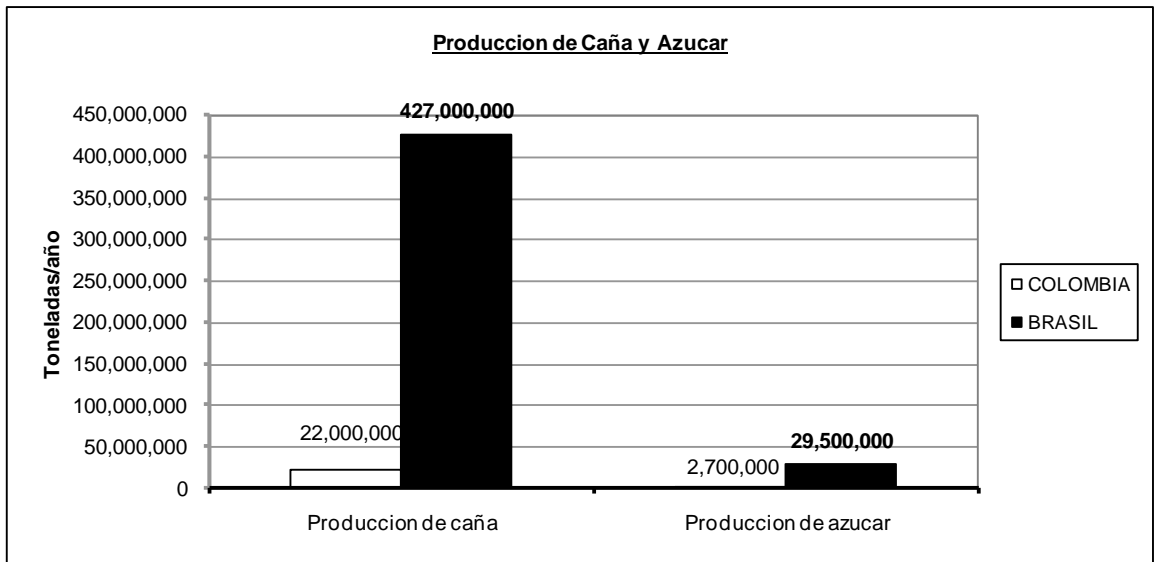


Figura 14. Producción de Caña y de Azúcar.

Por ser Brasil el mayor productor de azúcar en el mundo, debido a sus grandes extensiones de caña sembradas, y contar con un gran número de ingenios, le permite tener tanta producción de caña como de azúcar suficiente para suplir con la demanda del sector azucarero y de alcoholes. Además de la larga trayectoria con que cuenta en estas actividades.

♦ **Hectáreas del cultivo de caña.**

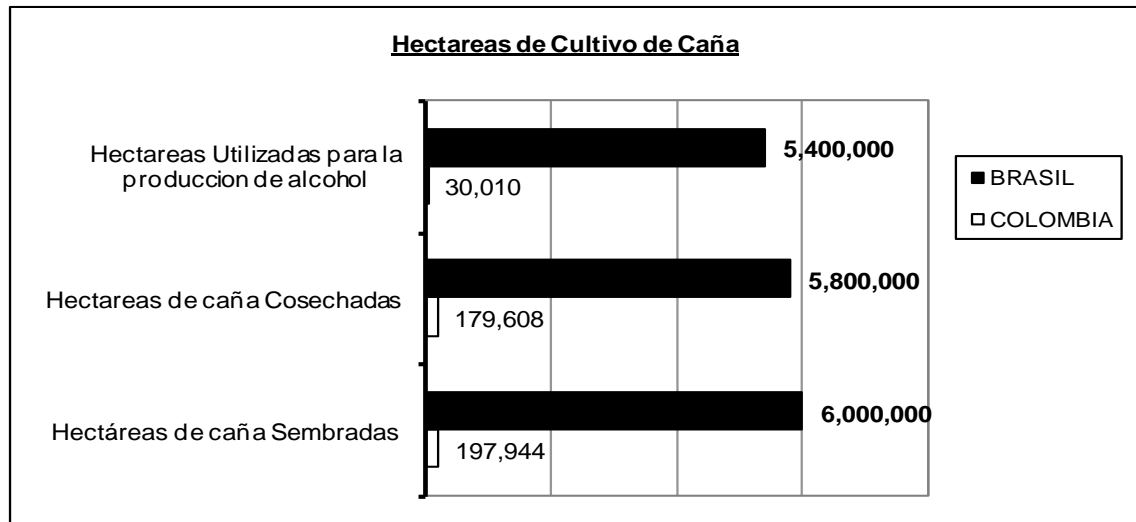


Figura 15. Hectáreas del cultivo de caña.

Brasil cuenta con muchas hectáreas sembradas de caña, permitiéndole a los ingenios contar con mayor materia prima para la producción de azúcar y alcohol, siendo así mucho más grande la producción que en Colombia.

Sin embargo, En Colombia hay suficiente tierra para sembrar sin afectar la selva ni la seguridad alimentaria. Esto se debe a que en Colombia cuenta con 22 millones de hectáreas en agricultura y solo se tiene 5 millones de hectáreas sembradas, lo que dejaría 17 millones de hectáreas más. Colombia tiene 67 millones de hectáreas para sembrar bosques y solo tiene sembrados 58 millones, lo que dejaría 9 millones de hectáreas más. Para un total de 26 millones de hectáreas de más para sembrar. Mientras que Brasil no cuenta con hectáreas de más para sembrar, en este país una hectárea adicional de agricultura implica talar selva. [37]

♦ **Rendimientos.**

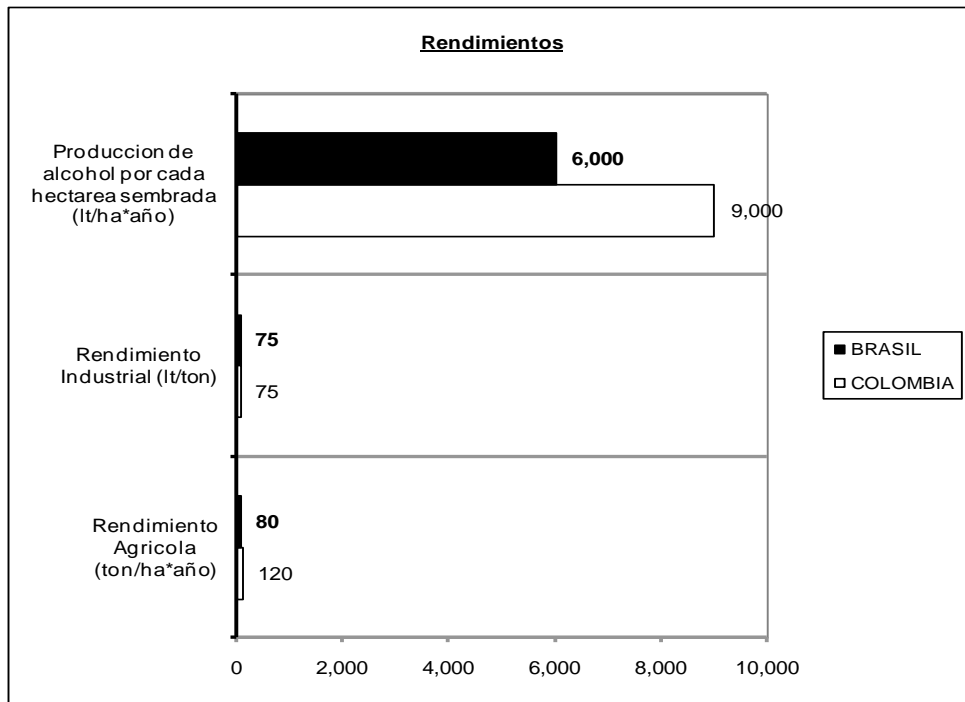


Figura 16. Rendimientos.

El rendimiento de cultivo es un factor clave al momento de decidir dónde invertir en un proyecto como es la producción del etanol, y Colombia ofrece un alto rendimiento en caña de azúcar. El valle geográfico del río Cauca ofrece condiciones excepcionales, en lo referente a las condiciones del suelo y climatológicas permitiendo tener cosecha a los largo de todo el año del cultivo de caña. Esto ha permitido obtener un rendimiento de conversión a etanol de aproximadamente 9.000 l/ha/año (1 ton de caña de azúcar produce 72 litros de etanol), siendo posiblemente la región más productiva del mundo. Mientras que Brasil tiene un rendimiento agrícola del 80%, por las condiciones climatológicas del país, su cosecha se realiza a través de zafras, es decir, en la temporada en que no llueve se cosecha la caña. [38]

♦ **Propietarios de las Tierras de Caña.**

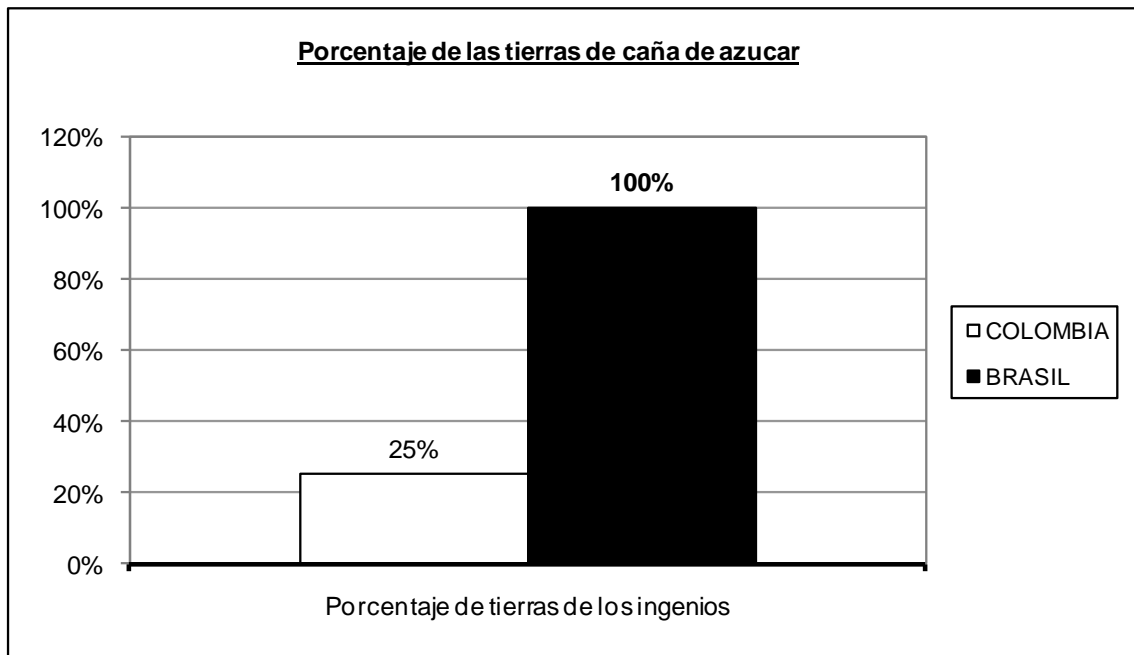


Figura 17. Propietarios de las tierras de caña de azúcar.

En Colombia los ingenios no son los dueños de las tierras utilizadas para la siembra de caña de azúcar, solo el 25% cuentan con sus propias tierras, el resto, hace parte de los hacendados. Por lo que a los ingenios les toca alquilar esas tierras o comprarle la materia prima para la producción de azúcar, lo que implica un costo más elevado de la materia prima con referencia al costo de ésta en Brasil, pues en éste país los ingenios son los propios dueños de las tierras sembradas con caña de azúcar.

♦ **Generación de vinaza en la producción de alcohol.**

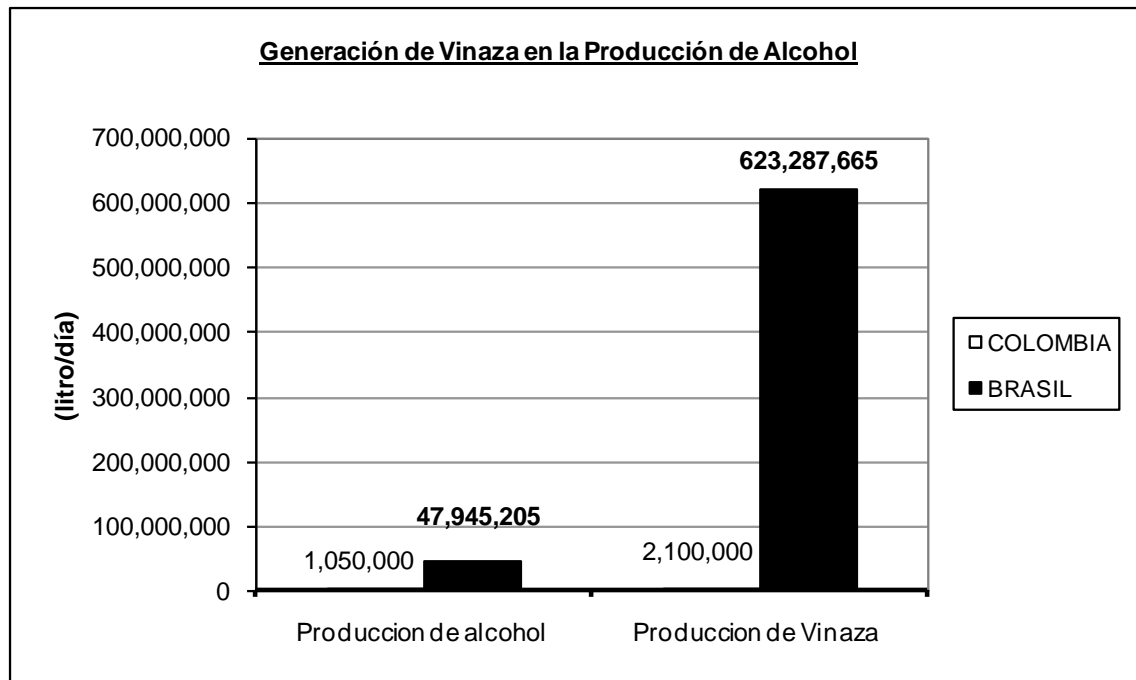


Figura 18. Producción de alcohol y vinaza.

En la selección de todas estas tecnologías existentes, para las destilerías del Valle, el criterio fue en ultimas ambiental, pues este encierra todos los demás criterios que se suelen evaluar. Es por eso que en Colombia se produce aproximadamente 2 Lt vinaza/Lt etanol, mientras que en Brasil se tolera hasta 12 Lt vinaza /Lt etanol producido. En Brasil se riega la vinaza como abono (fertirrigación), en Colombia solo lo hace la destilería manuelita, porque cuenta con más hectáreas de caña para regar, mientras que las demás destilerías utilizan la vinaza para compostaje. [38]

♦ **Rendimiento de la vinaza y sólidos totales.**

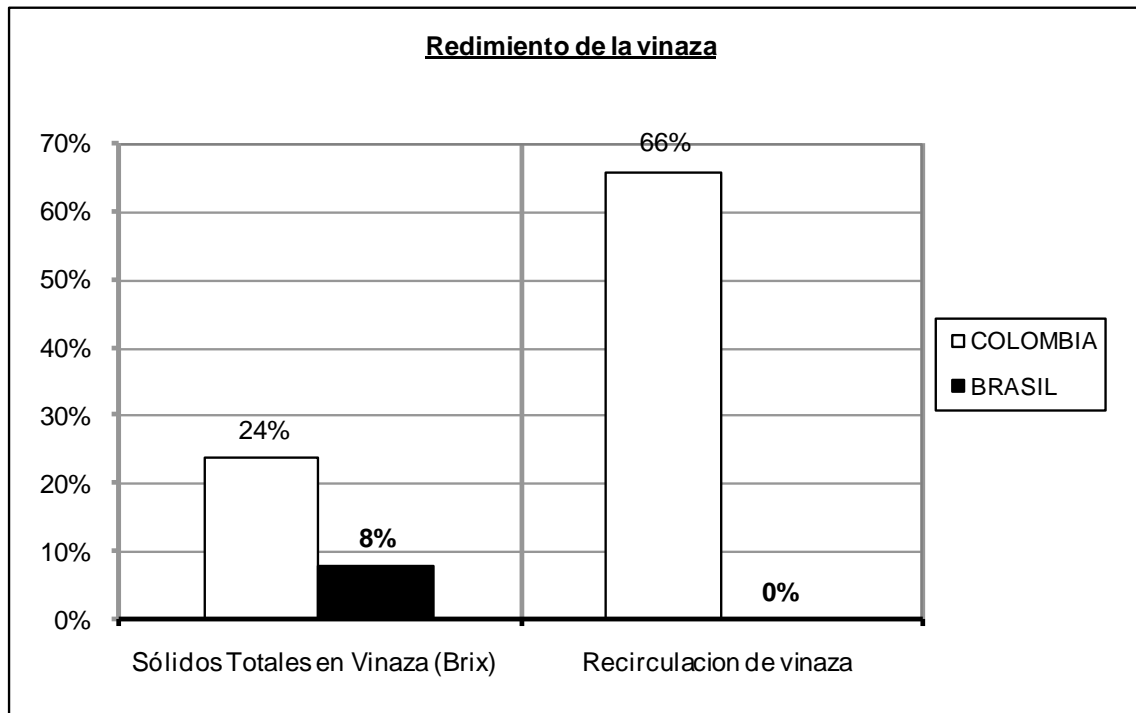


Figura 19. Rendimiento de la vinaza y sólidos totales.

La vinaza es un subproducto obtenido en la destilación del alcohol, posee una alta carga contaminante pero también sustancias atractivas para el campo. Tradicionalmente por cada litro de alcohol se obtienen 13 litros de vinaza con 10% de sólidos totales. La tecnología de punta utilizada por Colombia, aplicada en el proceso de fabricación de etanol, permite sacar vinaza con 24% de sólidos totales, y en algunas otras destilerías como manuelita sacan aproximadamente 55% de sólidos.

A medida que la vinaza contenga mayor sólidos totales, se puede tener, una mayor concentración de nutrientes, disminución en los costos de transporte, mejor control de la aplicación, no genera olores de almacenamiento. [38]

♦ **Costos y Precios.**

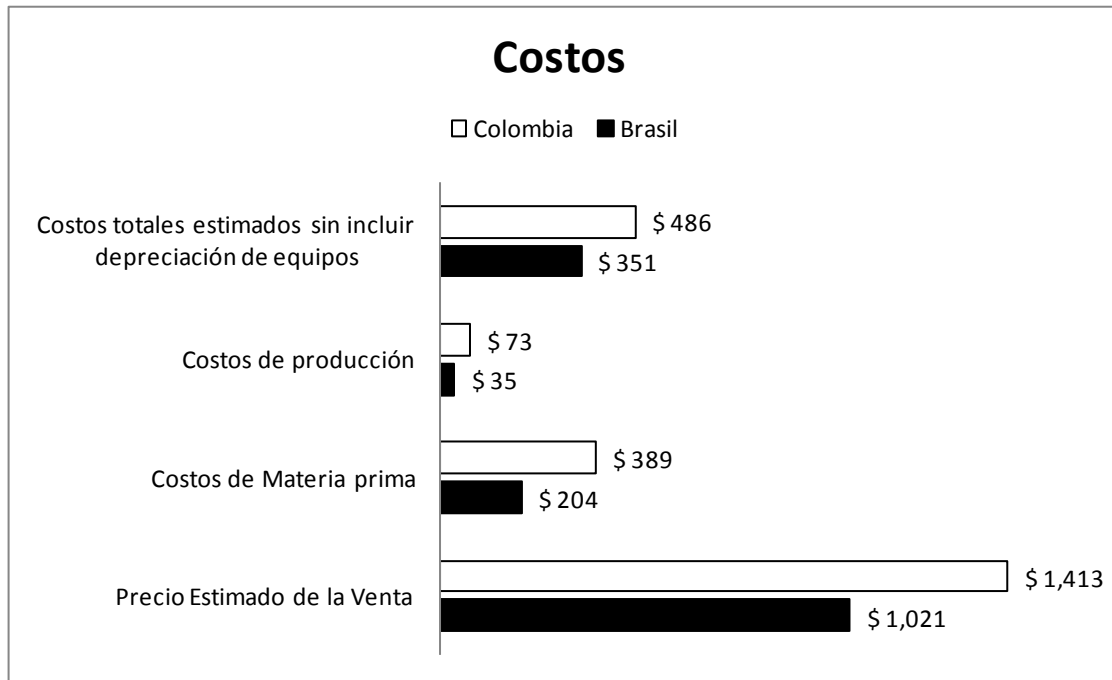


Figura 20. Costos.

La inversión en equipos y la construcción de las destilerías en Colombia alcanza los US\$15 millones, de los cuales alrededor de US\$6.5 millones corresponden a la importación de la tecnología y el resto en la construcción de las destilerías. Además la mano de obra, los materiales de mantenimiento, operación y el costo por depreciación de la planta y de los equipos, hacen que los costos totales sean más altos en Colombia que en Brasil, dada la tecnología adquirida.

El costo de producción de Brasil, de entre US\$0,22 y US\$0,29 por litro de etanol a mediados de 2005, equivale a entre US\$35 y US\$50 por barril de petróleo, según la economía de combustible de los vehículos. La caña de azúcar representa entre el 58% y el 65% del costo de la producción de etanol en Brasil. [33]

Es necesario explorar alternativas en los procesos fermentativos, de destilación y de deshidratación del alcohol. En el proceso fermentativo los factores limitantes son el tiempo y la concentración máxima alcanzable del etanol. Una desventaja del proceso de destilación es su alto consumo de energía en términos de los servicios requeridos como vapor y agua de enfriamiento para los respectivos procesos de calentamiento y enfriamiento. Su costo contribuye, en algunos casos, en más del 50% a los costos de operación. En el proceso de deshidratación los factores que más contribuyen al costo del proceso son el consumo de energía, el costo de los equipos requeridos y el manejo de los solventes. [25]

Para Brasil los costos de la materia prima no influyen gravemente en los costos estimados, como si para Colombia, además la tecnología usada para el proceso de producción de bioetanol en Brasil no aplica la recirculación de levadura y de vinaza dada las normatividades que en ese país se maneja frente al impacto ambiental, tema tratado de manera importante y estricta en Colombia.

Para el desarrollo de los biocombustibles, en este caso el precio de la materia prima, proceso de conversión, los precios del transporte al usuario final, políticas gubernamentales (exención de impuestos) son cruciales para hacer que el precio final de los biocombustibles sea competitivo con el de los combustibles fósiles.

Los costos de producción del alcohol a partir de la caña de azúcar en Colombia se calculan entre 27 y 30 centavos de dólar el litro. [35]

♦ **Cuánto invierten cada año en investigación, desarrollo e ingeniería (I+D+I). Y cuáles son las entidades más reconocidas que trabajan con I+D+I.**

En Brasil existen una gran variedad de instituciones gubernamentales y de fundaciones que promueven la investigación de sectores productivos potenciales, además de un gran número de compañías privadas que se encuentran involucradas en el tema de los biocombustibles. Como el Centro de Tecnología Cañera de Brasil (CTC), la Empresa Brasileira de Investigación Agropecuaria (EMBRAPA), la cual está conformada por 40 unidades industriales que se asociaron para trabajar en diferentes temas, productos y ecosistemas, entre ellos, el tema de la agro energía. [40]

También existe el Programa Nacional de Alcohol (Proalcohol) el cual es considerado, en Brasil, como un marco en la legislación de la agro energía. Este programa fue creado para aumentar la producción de alcohol de caña de azúcar como un sustituto de la gasolina.

La productividad en Brasil también ha aumentado gracias a décadas de investigación y cultivo comercial. Para dar un ejemplo, los productores de caña de Brasil usan más de 500 variedades comerciales de caña resistentes a las más de 40 enfermedades de las plantas registradas en el país. [33]

Según estimaciones del Banco Mundial y de la UNESCO (2003), Brasil destina menos del 1% de su producto interno bruto a actividades de investigación (I&D).

Por otro lado, en Colombia el gobierno también está promoviendo la investigación y desarrollo de biocombustibles a través de la petrolera estatal Ecopetrol y el Instituto Colombiano para el Desarrollo de la Ciencia y la Tecnología, Colciencias, también a través del Centro Colombiano de Investigación de la Caña de Azúcar (CENICAÑA) financiado por ingenios azucareros y productores individuales agrupados en la Asociación Colombiana de Productores de Azúcar (ASOCAÑA), y con las diferentes instituciones universitarias. [40]

Algunos proyectos que están en desarrollo por Cenicaña son: Calidad del jugo clarificado, meladura y miel B en el proceso de producción de alcohol, Caracterización de variedades para producción dual del azúcar y alcohol, y dentro de éstos existen subproyectos tales como: Estudios de variedades para determinar el potencial de producción de alcohol, Formas y épocas de aplicación de la vinaza, Eficiencia energética y cogeneración en Ingenios azucareros en un entorno de producción de alcohol, Procesos químicos y biológicos en la selección de levaduras para la producción de bioetanol. Además se llevan a cabo capacitaciones sobre la tecnología Praj de India, y seminarios sobre producción de alcohol y microbiología. [41]

El centro de investigación y desarrollo de la caña de azúcar, Cenicaña, recibió \$9.800 millones de pesos de ingenios y cultivadores en el año 2007. [21]

En Colombia, la corporación para el Desarrollo Industrial de la Biotecnología y la Producción limpia, ha trabajado hace más de 10 años en planes estratégicos para el desarrollo e implementación de este tipo de combustible, elaboró estudios de prefactibilidad técnico-

económico para estimular la inversión de la industria, entre otras actividades que resultan de gran apoyo para el desarrollo de esta actividad en Colombia. Estos proyectos han sido financiados en un 50% por el SENA, y el otro 50% proveniente de industrias e instituciones nacionales e internacionales. [21]

♦ **Procesos básicos, claves, incipientes y emergentes.**

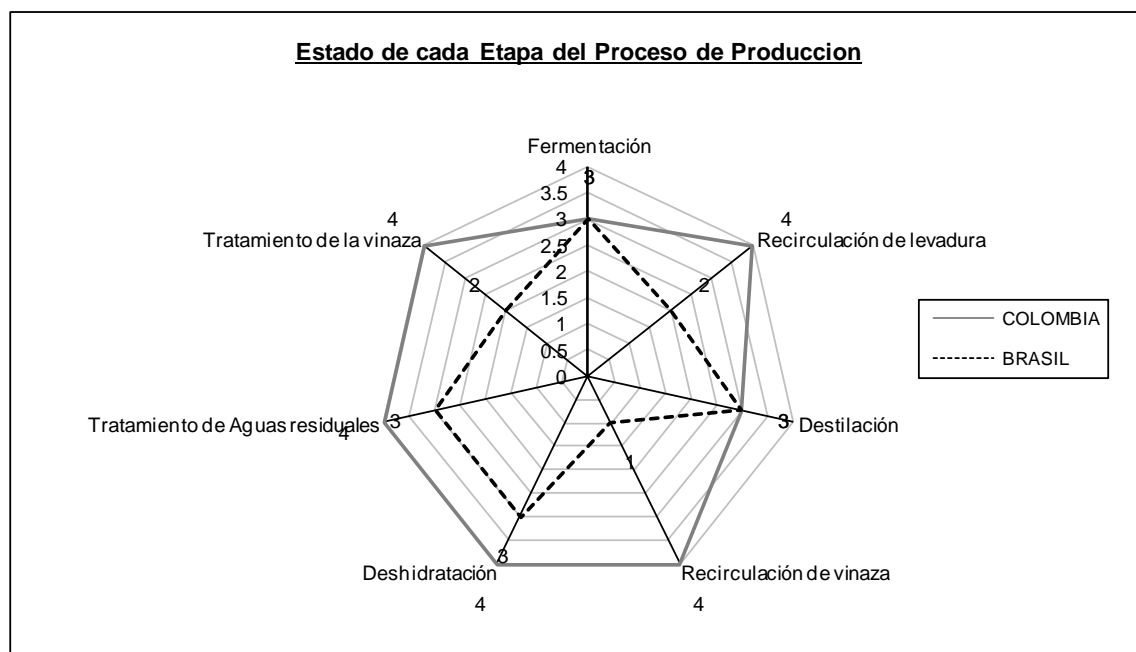


Figura 21. Estado de cada etapa del proceso de producción.

La tecnología adquirida por Colombia tiene muchas ventajas, pues la levadura autofloculante permite un menor consumo de levaduras y genera menos residuos, debido a la recirculación de vinaza en la fermentación, produce un menor consumo de agua, no se utiliza sustancias químicas para la deshidratación ya que se hace a través de tamices moleculares, debido al tratamiento de la vinaza y concentración de vinaza utilizada para bioabonos y fertilizantes, produciéndose así un alcohol limpio.

La recirculación de levadura permite ahorrar energía y mantenimiento ya que no necesita de centrifugas, es decir, altas velocidades para su separación. La recirculación de vinaza surge de la necesidad de reducir la generación de efluentes, de reducir el consumo de agua en proceso y de reciclar nutrientes.

Un ingenio azucarero consume agua por dos vías diferentes, Agua vegetal (forma parte de la estructura de la caña de azúcar) y Agua cruda (procede de fuentes externas tales como pozos, ríos, presas, etc). Un ingenio azucarero produce agua residual proveniente de las distintas unidades de proceso u operación que puede tener ciertos niveles de contaminación. El agua cruda generalmente es usada para: reposición al enfriadero, enfriamiento de equipos tecnológicos (bombas de vacío, turbogeneradores, cristalizadores, turbinas, sellos de bomba), limpieza de tachos y evaporadores y reposición para calderas. El proceso de producción de azúcar y etanol requiere grandes volúmenes de agua. Este volumen de líquido tiene un alto costo y está sujeto a regulaciones medioambientales. El reúso del agua residual sin regeneración tiene un alto potencial debido a limitaciones existentes en el suministro de agua fresca y el alto costo asociado al tratamiento de agua residual. Disminuir el consumo de agua a su vez reduce el volumen de aguas residuales.

El hecho de no poder generar tanta vinaza hace que sea necesaria la recirculación al proceso de fermentación, lo que genera una readecuación del sistema de fermentado y un estrés adicional a la levadura por la presencia de más material orgánico no procesable para el microorganismo.

En Colombia, opera una planta experimental llamada Ingevinaz, ubicada en la ciudad de Palmira, dedicada a la transformación de la vinaza, un desecho altamente contaminante, en un fertilizante. El método que utiliza esta planta para el tratamiento, genera precios más bajos que las lagunas de oxidación y los campos de compostaje con los cuales se maneja en las destilerías actuales. Esta nueva empresa lo que ofrece es el montaje de un equipo de mayores características en los sitios productores de la vinaza y hacer la transformación directamente en los ingenios azucareros. [39] Esto muestra el valor diferencial de la calidad del bioetanol Colombiano con el de Brasil.

♦ **Tecnologías básicas, claves, incipientes y emergentes.**

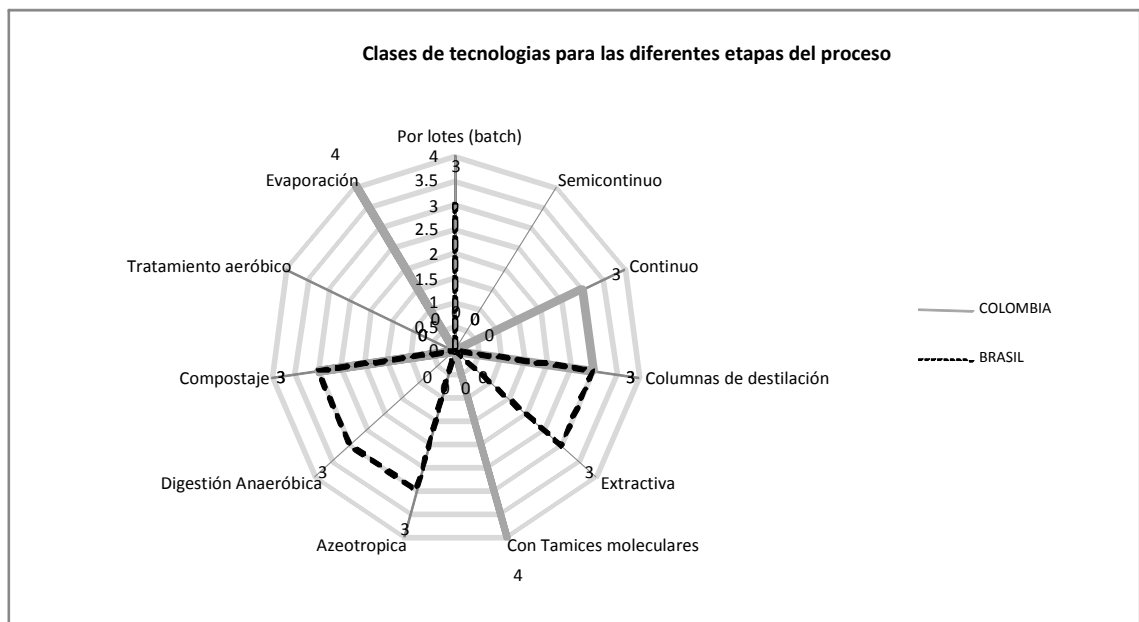


Figura 22. Clases de Tecnologías para las etapas del proceso.

En la fermentación continua se obtiene una mayor conversión de azúcares a alcohol con el mismo tamaño de equipo, y si se quiere obtener la misma conversión se debe tener un equipo (fermentador)

más grande. Sin embargo no todo es perfecto, como es un proceso continuo los fermentadores no se desocupan para desinfectarlos con la frecuencia que se realiza en la fermentación discontinua, esto trae como consecuencia que el proceso sea susceptible de tener una proliferación de bacterias, con lo cual la producción de alcohol bajaría notoriamente.

Para la deshidratación del alcohol, se utilizan diferentes técnicas, como la destilación azeotrópica, la destilación extractiva, tamices moleculares y pervaporación. Para la destilación azeotrópica y la destilación extractiva, se pueden utilizar una gran cantidad de sustancias, entre ellas esta el benceno, sin embargo, la recuperación del benceno es costosa desde el punto de vista energético y además es un compuesto cancerígeno por lo cual es muy poco utilizado. Aunque el uso de benceno o el ciclohexano está prohibido en varios países por sus efectos carcinogénicos, aun se utiliza. En Brasil por ejemplo existe un gran numero de plantas funcionan con esta tecnología. Sin embargo, la deshidratación con tamices moleculares ha probado ser una operación confiable y con bajo consumo energético, por lo cual es la tecnología que se está imponiendo.

Algunos de los problemas que se pueden presentar en un sistema de evaporación convencional están relacionados con la tendencia a la formación de incrustaciones a temperaturas y concentraciones altas dando lugar a tiempos muertos que ocasionan disminución en la capacidad de producción. Para solucionar este problema, PRAJ diseñó el sistema de evaporación *Flubex*. Este consiste de un evaporador que emplea partículas metálicas que se fluidizan en el interior del intercambiador y limpian las paredes de los tubos, logrando una

operación continua por 45 a 60 días sin requerir limpieza. Sin embargo en Colombia no se ha podido generar estos lapsos de tiempo.

En Brasil, el tratamiento de la vinaza se lleva a cabo por medio de la digestión anaeróbica como tratamiento primario, y luego se aplica como tratamiento secundario la digestión aeróbica, hasta alcanzar niveles autorizados para el uso como agua de riego.

La ventaja principal de los procesos anaerobios con relación a los aerobios se fundamenta en la transformación de la materia orgánica a través de una tecnología de bajo consumo energético, obteniéndose, un balance comparativo de energía y de masa entre ambos procesos. La Biomasa con alto contenido de humedad puede ser convertida por microbios anaeróbicos (bacterias) en ausencia de oxígeno, en un combustible gaseoso llamado biogás

♦ **Factores que dificultan la innovación.**

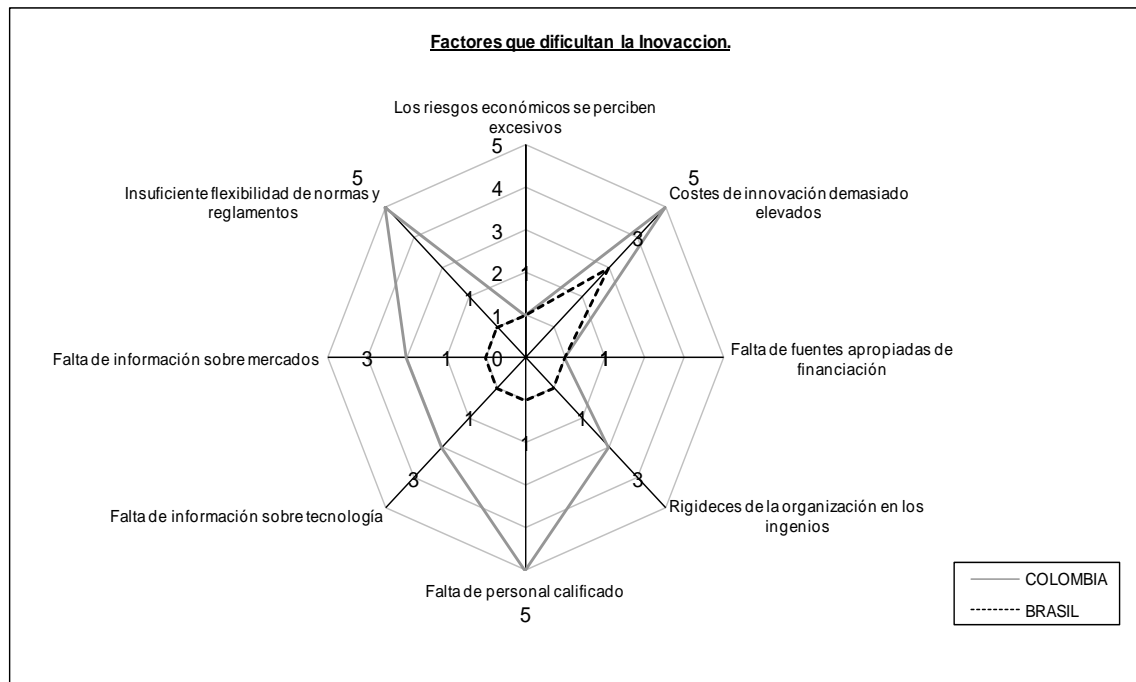


Figura 23. Factores que dificultan la innovación.

El mayor esfuerzo por realizar innovación o trabajo de investigación es en la etapa de fermentación. En este proceso existen un sin número de limitantes que genera que la producción de etanol se vea disminuida o inhibida. Además de la contaminación con sustancias ajenas al sustrato que genera que la levadura se estrese fácilmente. Todo esto logra que el costo de operación sea alto para Colombia. Sin embargo el resultado es un alcohol más limpio que el de Brasil.

En Colombia, para las competencias laborales se han elaborado normas, currículos y medios didácticos para fábrica y campo. Pero Falta incursionar en la capacitación de personal sobre al manejo de nuevas tecnologías aplicadas a las destilerías. Mientras que en Brasil, debido a su larga trayectoria en esta actividad cuenta con mucho más personal y mejor calificado, de tal manera que cuenta con plantas instaladoras de destilerías.

En Colombia desde 1991 se requiere que las edificaciones sean antisísmicas, lo que implica unos muy buenos cimientos en la base de la edificación. En las plantas de etanol del Brasil, no existe esa normatividad, por eso sus costos de instalación no son tan altos en comparación con los de Colombia.

6.7.1 Esquema para la producción de etanol carburante a partir de la caña de azúcar utilizada por los dos países en estudio

El etanol combustible anhidro a partir de mieles de caña puede producirse a través de diferentes rutas combinadas mediante la aplicación de diferentes tecnologías para los procesos de fermentación y deshidratación. Realmente ellos constituyen cadenas de procesos que deben ser guiados por un objetivo específico, tal como la minimización del consumo de energía, del consumo de vapor, de las pérdidas, el incremento de la calidad del producto ó la robustez de la planta, entre otros.

Con este trabajo se pretende mostrar la ruta o el esquema de producción de los países en estudio a partir de una relación cruzada entre las principales tecnologías, 1: Fermentación: continua, por batch, con ó sin recirculación de vinazas ó levaduras, empleando centrífugas ó levaduras floculantes. 2: Destilación convencional. 3: Deshidratación: tamices moleculares, destilación extractiva y azeotrópica, permeación de vapor a través de membranas, con alimentación en fase líquida ó de vapor. Ver figura 24.

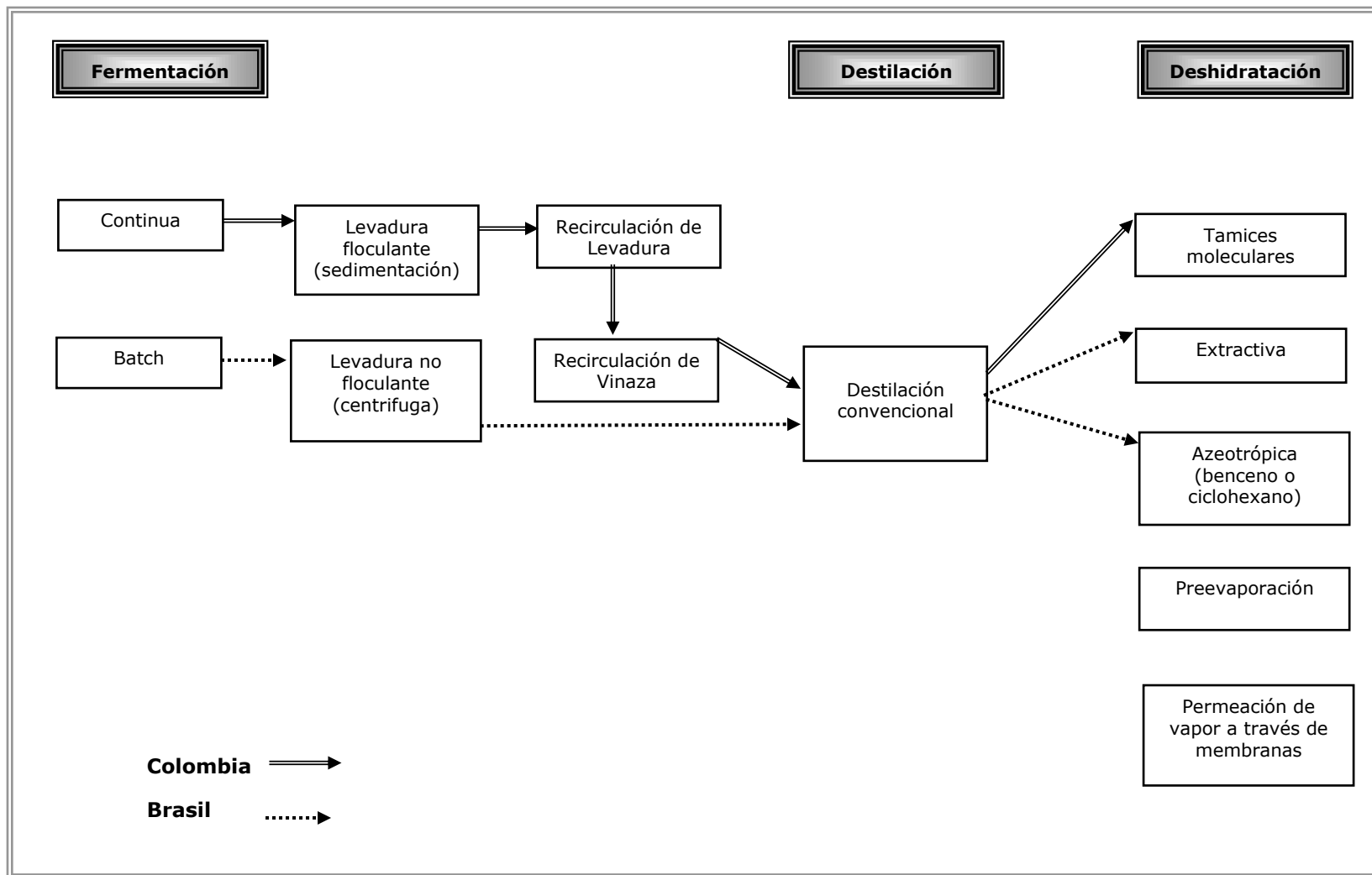


Figura 24. Esquema del proceso de producción del bioetanol en los países en estudio, a partir de las diferentes alternativas tecnológicas.
Fuente: Elaboración propia del autor.

El diseño de procesos de obtención de alcohol carburante se hace muy complejo debido a la gran cantidad de variantes tecnológicas posibles.

El estudio concluye que cada tecnología tiene su comportamiento óptimo para cada aplicación en una diferente cadena de tecnologías para el proceso completo escogido. Por ejemplo, algunas aplicaciones de la destilación al vacío, fermentación bajo un alto estrés de levadura ó con una levadura muy especial, deshidratación por vías inapropiadas, etc., pueden ser inútiles para algunos objetivos y pueden tener más altos costos de mantenimiento, control de calidad el producto, mayor sensibilidad del proceso, etc. independientemente de su más elevada inversión.

Por otra parte, ignorar estas tecnologías pueden conducir las destilerías de los países en estudio a pobres enfoques y, consecuentemente, a un proceso desbalanceado e ineficiente.

De otro lado, aunque algunas compañías nacionales han adquirido la tecnología de producción de alcohol carburante "llave en mano", se hace necesario crear una base tecnológica sólida que permita en un futuro soportar las necesidades de adaptación y transferencia de este tipo de tecnologías que surgirán en la industria colombiana.

La productividad de los procesos continuos suele ser tres veces más alta que la de procesos por lotes, la cual puede encontrarse por encima del 6 g/L*h, con cepas altamente productivas; con esto, el volumen necesario del reactor necesario para producir la misma cantidad de etanol que en un proceso por lotes es de un tercio. La

inhibición por etanol limita la productividad específica de alcohol y la productividad total; esta última también está limitada por la baja concentración de biomasa. [25]

Los procesos continuos presentan grandes ventajas comparados con los procesos por lotes: costos menores del biorreactor (debido en parte a los volúmenes de fermentación menores), requerimientos menores de mantenimiento y operación, control mejorado del proceso y mayor productividad. Estas ventajas se fundamentan en las mayores densidades celulares, las cuales pueden lograrse por recuperación y reciclaje de biomasa, inmovilización de células o control del crecimiento celular. [25]

Una gran desventaja de los métodos que involucran destilación son sus altos costos energéticos. La destilación representa cerca del 70-85% de la energía utilizada en la producción de etanol, esto ha motivado la consideración de tecnologías alternativas que reduzcan la cantidad de energía necesaria para llevar a cabo la separación de etanol azeotrópico. La tecnología que más desarrollo ha tenido en la industria de alcohol carburante y que ha venido reemplazando a la destilación azeotrópica ha sido la adsorción de agua con tamices moleculares. [25]

7 ANÁLISIS GENERAL DEL ESTUDIO

- ◆ Uno de los problemas del proceso de benchmarking (particularmente cuando se es nuevo en él) es que suele consumir mucho tiempo y se requiere una gran cantidad de planificación del proyecto, de coordinación, y en algunos casos tiempo para viajar. Sin embargo, para el desarrollo de este estudio se tropezaron con varios obstáculos que se manejaron con paciencia y perseverancia. El acceso a la información sobre el país mejores prácticas, debido a su ubicación, no permitió llevar a cabo una visita de campo, por lo cual, para obtener la información se tuvo que estar en constante contacto con los expertos que colaboraron con el desarrollo de este proyecto, teniendo en cuenta el tiempo con que ellos contaban.
- ◆ Existen muchas tecnologías en cuanto a la obtención del etanol. Los indios están más especializados en la zona de fermentación y obtención del etanol por procesos microbiológicos. Los suecos o estadounidenses están especializados en el proceso de deshidratación, desarrollando tamices moleculares. En la selección por las destilerías de Colombia, de todas estas tecnologías existentes, el criterio fue en ultimas ambiental, pues este encierra todos los demás criterios que se suelen evaluar.
- ◆ La tecnología usada en el proceso de producción de bioetanol en los ingenios de Colombia tiene múltiple ventajas, tales como, menor consumo de levaduras y menos residuos, utilización de levadura autofloculante, menor consumo de agua,

esto debido a la recirculación de vinaza en la fermentación, no utilización de sustancias químicas para la deshidratación, ya que se hace a través de tamices moleculares, menor producción de vinazas, por el proceso de recirculación y la disminución de la concentración, y la producción de bioabonos y fertilizantes potásicos concentrados con la utilización de vinazas.

- ◆ El proceso de fermentación Continuo tiene como ventaja al proceso de fermentación batch, el uso de recipientes con menor tamaño, pocas fluctuaciones durante la operación, alta productividad, mientras que en batch el sistema es inestable, lleva a cabo controles más complicados y los tiempos muertos son elevados.
- ◆ El mayor esfuerzo por realizar innovación o trabajo de investigación en las destilerías de Colombia está enfocado en la etapa de fermentación. En este proceso existen un sin número de limitantes que genera que la producción de etanol se vea disminuida o inhibida. Además de la contaminación con sustancias ajenas al sustrato que genera que la levadura se estrese fácilmente.
- ◆ Lo que tiene Brasil es producción y consumo en larga escala del etanol; sector industrial sucroalcoholero muy competitivo, en tecnología y precios. Esto debido a que el costo del litro de alcohol se ha tornado más bajo que el de gasolina y como se ha demostrado que el alcohol es un sustituto eficiente para la gasolina, Brasil puede exportar alcohol combustible y/o equipos y/o tecnología para su producción. Esto debido a que Brasil

cuenta con empresas como Dedini que se encargan del montaje de las plantas destilerías y de la tecnología en equipos, mientras que en Colombia no se cuenta con tan avanzada capacidad tecnológica, pues éste país está enfocado inicialmente en su capacidad productiva, debido a que hace poco ha incursionado en esta nueva actividad.

- ◆ La metodología Benchmarking permite realizar cualquier tipo de comparación, siempre y cuando se tenga muy claro los puntos descritos en este trabajo. Es por eso que se propuso el tema tratado en este proyecto como referencia para quienes deseen aplicar la metodología.

8 CONCLUSIÓN

- ◆ En Colombia somos menos competitivos que Brasil, debido a que en Colombia los mayores costos son materia prima y la tecnología utilizada para el proceso debido a los controles ambientales. Por ejemplo, las exigencias en el manejo de vinazas en Colombia son superiores a las de Brasil, por este concepto las inversiones en destilerías son más del doble en nuestro país.

9 RECOMENDACIONES

- ◆ El benchmarking no es difícil. Sin embargo se requiere de una muy buena planificación en el proyecto, de enseñanza del proceso, de dedicación, de apoyo y de financiación. De todos estos requerimientos, la dedicación es el más crucial. Con respecto al tiempo de la persona a cargo y a la duración del proyecto global se deben tener en cuenta ciertos factores tales como la amplitud del proyecto, lo crítico del asunto que se va a someter a benchmarking, los niveles de experiencia de las personas que hacen el benchmarking y el nivel de apoyo disponible para ayudar en el esfuerzo del benchmarking.
- ◆ En un sentido gramatical estricto, solo puede haber una empresa mejor en su clase por cada actividad. Pero un poco de tolerancia para la ambigüedad es bueno en la utilización de estos términos. El principio del benchmarking requiere un estudio de organizaciones que realizan una actividad específica mejor que la propia organización y, por supuesto, cuanto más cerca estén de ser la "mejor", mejor será el aprendizaje que se puede obtener potencialmente de su estudio. Sin embargo, debido a la dificultad de obtener la información de la mejor práctica, se puede optar por desarrollar el estudio con base no en la mejor pero si en una de las mejores que tenga fácil acceso a su información.
- ◆ Para que sea competitivo Colombia, se debe llevar a cabo un trabajo conjunto con el estado sobre el sello verde para el etanol colombiano, exigible también para las importaciones.

- ◆ Para minimizar el costo de la Materia Prima se debería reducir el costo de los residuos de cosecha a través del desarrollo de políticas e infraestructura para hacer una recolección, almacenamiento y manejo eficientes.
- ◆ Lograr mejoras en la eficiencia del proceso por integración de las plantas. Búsqueda de los óptimos de co- localizaciones de plantas. De esa manera se podría reducir la inversión inicial.
- ◆ La caña de azúcar representan el origen común de las materias primas usadas por los ingenios para la producción de etanol, por lo que se debe prestar especial atención en el campo y en la fabrica con la adición de diferentes biocidas, pesticidas, nutrientes y madurantes, al igual que los aditivos. Ya que las condiciones en que se hayan procesado las materias primas, pueden afectar negativamente el proceso de fermentación.
- ◆ Disminuir el consumo de agua a su vez reduce el volumen de aguas residuales. Deben realizarse trabajos relacionados con la instalación de circuitos cerrados en el intercambio de calor, la ampliación del enfriadero, mejoras en el sistema de condensados, reparación y mantenimiento de tuberías y válvulas de las conductoras de agua y la estimulación para el ahorro de agua. La descarga de aguas residuales debe ser minimizada para trabajar de forma coherente con las regulaciones medioambientales existentes en los distintos países, en este caso de estudio en Colombia.

- ◆ Para finalmente lograr la producción de bioetanol de forma económica y ambientalmente compatible se requiere del mantenimiento y ejecución de amplios proyectos de I+D, que solucionen las limitantes identificadas de las tecnologías ya implementadas a nivel industrial, de forma que se ventile el gran reto que representa su asimilación.
- ◆ Un elemento que limita la viabilidad económica del proceso de producción de bioetanol es el balance energético. Es por ello que la etapa de recuperación del producto, la destilación del etanol y que exige mayor energía de todo el proceso, tiene un gran peso en los costos de producción de este producto. En este sentido, las mejoras en el proceso de separación tendrán mayor influencia en el éxito del proceso total. De esta etapa de separación, las tecnologías más prometedoras son los procesos híbridos. Pero en Colombia falta más interés en apoyar los centros de investigación sobre esta nueva alternativa.
- ◆ Aunque algunas compañías nacionales han adquirido la tecnología de producción de alcohol carburante “llave en mano”, se hace necesario crear una base tecnológica sólida que permita soportar las necesidades de adaptación y transferencia de este tipo de tecnologías.
- ◆ Debido a que el Benchmarking es una herramienta que promueve el continuo mejoramiento y la motivación a la investigación, se recomienda a quienes estén interesados en continuar de manera más profunda los temas tratados para ser más competitivos en la producción de bioetanol en Colombia.

10 BIBLIOGRAFIA

[1] TOMBÉ CORDOBA, Liliana y CASTILLO FAJARDO, Adriana. Revisión del estado tecnológico en la producción de biocombustibles líquidos. Cali, 2007, [40,46] p. Tesis (Pregrado en Ingeniería química). Universidad del Valle. Facultad de Ingeniería. Escuela de Ingeniería Química.

[2] HORTA, Luís Augusto. Perspectiva de un programa de Biocombustibles en América Central: Proyecto uso sustentable de hidrocarburos. En: CEPAL: proyecto para la unidad de energía de la sede subregional en México. No.1 (marzo, 2004); p. [13,3].

[3] COLOMBIA. MINISTERIO DE MINAS Y ENERGÍA. Base de datos de la Republica de Colombia. [base de datos en línea]. [Consultado 9 marzo. 2007]. Disponibles en: <<http://www.minminas.gov.co>>.

[4] FEDERACIÓN NACIONAL DE BIOCOMBUSTIBLES. [En línea]. [Consultado 5 septiembre. 2007]. Disponible en: <<http://www.fedebiocombustibles.com/>>.

[5] RODRIGUEZ, Jhoana. Política de los biocombustibles y sus impactos. Cali, 2007, [2,5,3] p. Tesis en proceso. Universidad del Valle. Facultad de Administración.

[6] BURBRIDGE, Martín. Biocombustibles: Brasil a trae cada vez mas inversores. En: INFOBAE profesional. [En línea]. [Consultado 9 marzo 2007]. Disponible en: <<http://www.infobaeprofesinal.com>>.

[7] EUROPA. NEWSWIRE EUROPE LIMITED. Base de datos de PR Newswire. [Base de datos en línea]. [Consultado 12 marzo 2007]. Disponible en <<http://www.prnewswire.co.uk/cgi/news/release?id=214319>>.

[8] COLOMBIA. INGENIO MANUELITA. Quienes somos: Etanol en el mundo. [Base de datos en línea]. [Consultado 12 marzo 2007]. Disponible en <<http://www.manuelita.com>>.

[9] GNECCO, José y FIGUEROA, Milton. Evaporadores de lecho fluidizado. En: Revista Técnicaña. Vol.5, No. 11. (Diciembre, 2001); p. 22-24.

[10] GARCIA, Alfredo. Alcohol carburante. Incauca y Providencia serán los primeros ingenios que emprenderán el montaje de destilerías: Empieza carrera por el etanol. En: El País, Cali: (28, enero, 2004): Económica. [Base de datos en línea]. [Consultado 12 marzo 2007]. Disponible en <<http://www.elpais.com.co>>.

[11] GARCIA, Alfredo. Alcohol carburante. Agroenergía. Guía para conocer el combustible que se pondrá de moda en Colombia. El etanol prendió motores. En: El País, Cali: (1, febrero, 2004): Económica. [Base de datos en línea]. [Consultado 12 marzo 2007]. Disponible en <<http://www.elpais.com.co>>.

[12] COLOMBIA. ASOCAÑA. Base de datos del programa de la biogasolina. [Base de datos en línea]. [Consultado 29 julio 2007] Disponible en <<http://www.asocaña.org>>.

[13] GARCIA, Alfredo. Alcohol carburante. Agroenergía. Las 500 Empresas Más exitosas del Valle. Destilerías. En: El País, Cali: (28, julio, 2007): Economía. [Base de datos en línea]. [Consultado 28 julio 2007]. Disponible en <<http://www.elpais.com.co>>.

[14] COLOMBIA. INGENIO PROVIDENCIA. Quienes somos. [Base de datos en línea]. [Consultado 12 marzo 2007]. Disponible en <<http://www.ingprovidencia.com>>.

[15] RINCON B. Gladys. Sistema nacional de innovación: Presentaciones de clase de la materia fundamentos de gestión tecnológica. Cali: Universidad del Valle. Escuela de Ingeniería Industrial. 2007.

[16] OLIBER, Mónica. El Cambio Tecnológico: el modelo conceptual y la aplicación de la política. Argentina: GAMA Consultores. Economía. 2004.

[17] BOXWELL, Robert. Nuevos temas empresariales: Benchmarking para competir con ventaja. Colombia: McGaw-Hill, 1997. [15,19,26-29,27,77,80,99] p.

[18] SPENDOLINI, Michael. Benchmarking. Colombia: Norma, 2005. [6,8,15,49,23,235] p.

[19] COTEC. Pautas metodológicas en gestión de la tecnología y de innovación para empresas: Herramienta de Gestión Tecnológica. Modulo II. [Consultado 18 marzo 2007]. Disponible en <<http://www.cotec.es>>.

[20] CASTAÑO, Agudelo y RIVA, Luz Adriana. El cuadro de mando integral como una herramienta para la gestión de la organización Eduardo Gómez. Cali, 2003, [71-76] p. Tesis (Pregrado en Contaduría Pública). Universidad del Valle. Facultad de Administración. Escuela de Contaduría Pública.

[21] BRICEÑO, Carlos. Aspectos estructurales y de entorno para proyectos e inversiones en bioetanol. En: Carta trimestral 2: Cenicaña. Documento de trabajo No. 561. 2006.

[22] QUIMINET. Inició Obras para las destilerías de etanol. [En línea] (Diciembre, 2004). [Consultado 27 abril 2007]. Disponible en <[http:// www.quiminet.com.mx](http://www.quiminet.com.mx)>.

[23] FONSECA, Marcos. UNI-SYSTEMS, INC. Base de datos de Cenicaña. Primer foro nacional de etanol 2006. [Base de datos en CD]. [Consultado 5 abril 2008].

[24] DEDINI. Azúcar y Etanol. [En línea]. [Consultado 16 Diciembre 2007]. Disponible en <<http://www.codistil.com.br/es/aea.html>>.

[25] ACEVEDO, Astrid C., et al. Informe Técnico: Producción de alcohol carburante. Curso de entrenamiento de tecnologías Praj. Colombia: Abril, 2005. [6-62] p.

[26] AGUILAR, Jaime; UYAZAN, Ana Maria y GIL, Iván Darío. Evaluación de procesos para la obtención de alcohol anhidro. Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Ingeniería. Departamento de Ingeniería Química. Noviembre 2003.

[27] CONSEJO NACIONAL DE POLÍTICA ECONÓMICA Y SOCIAL. República de Colombia. Departamento Nacional de Planeación. Lineamientos de política para promover la producción sostenible de biocombustibles en Colombia. Bogotá, (31 marzo 2008). Documentos (CONPES 3510).

[28] KAFAROV, Viatcheslav; et al. Evaluación de los recursos de biomasa primaria y secundaria para la producción de bioetanol en Colombia. Centro de Investigaciones en Simulación y Control de Procesos. Universidad Industrial de Santander. Ponencias CYTED 2008. [Base de datos en CD]. [Consultado 28 abril 2008].

[29] MINISTERIO DE AGRICULTURA. Estrategia de desarrollo de biocombustibles: implicaciones para el sector agropecuario. Disponible en <<http://www.minagricultura.gov.co>>. [Consultado 8 enero 2008].

[30] MEDINA TELLO, Mauricio. Tecnología para la producción de Bioetanol Caso Ingenio Providencia. Taller Tecnología, Energía y Medio Ambiente en la Industria Azucarera. Cali, 18-19 Octubre 2007. [Base de datos en CD]. [Consultado 16 abril 2008].

[31] MOURA, Adler y MEDEIROS, Jose. Applying consistent technology for fuel ethanol production. En: Proc. Int. Soc. Sugar Cane Technol. Vol. 26. 2007. (Febrero, 2008); p. 1202-1207.

[32] SUAREZ URIBE, Elizabeth y GARAVITO ROJAS, Sandra. Evaluación de la Gestión Tecnológica Orientada al Manejo de la Innovación Tecnológica y la Transferencia de Tecnología: Estudio de

Benchmarking como Herramienta de Diagnostico en empresas que Desarrollan Procesos Biotecnológicos en Colombia. Fundación Universitaria Manuela Beltrán. Umbral Científico.2004. [Base de datos en CD]. [Consultado 16 junio 2007].

[33] ESMAP. Posibilidades de los biocombustibles para el transporte en los países en desarrollo. Informe 312/05. Ciudad de Washington, Banco Mundial. Grupo de estudio sobre biocombustibles. 2005. Informe del Grupo de estudio sobre biocombustibles al Primer Ministro. Gobierno de Australia. Disponible en <http://www.dpmc.gov.au/biofuels/final_report.cfm. [Consultado 2 Octubre 2007].

[34] DELAUNAY, Dominique. Los biocarburantes en Brasil. Octubre de 2007. Dirección General de Políticas Exteriores de la Union-Dirección B. Parlamento Europeo. [Consultado 9 mayo 2008].

[35] EQUITY INVESTEMENT S.A. Banca de Inversiones. Plan de Negocios. Proyectos de Alcoholes Carburantes. Febrero 2003. [en línea]. [Consultado 16 junio 2007]. Disponible en <http://www.gobant.gov.co/orgsnismos/scompetividad/doc_estudios/prefactibilidadalcoholes/presentacionalcoholes.pdf>.

[36] KOJIMA, Masami; JOHNSON Kojima.Posibilidades de los biocombustibles para el transporte en los países en desarrollo. ESMAP. Mayo de 2006. Serie No4. INTERCAMBIO DE CONOCIMIENTOS. [Consultado 16 mayo 2008].

[37] GOMEZ, Leonardo. El debate del etanol no aplica para Colombia. Destilerías. En: El País, Cali: (27, abril, 2008): Activos. [Base de datos en línea]. [Consultado 27 abril 2007]. Disponible en <<http://www.elpais.com.co>>.

[38] Memorias del Seminario "Jornadas Iberoamericanas para la Asimilación de Tecnologías para la Producción de Bioetanol y el Uso de sus Residuos. CYTED. Cartagena de Indias. Octubre 3 al 7 de 2005.

[39] CUERVO, Zulma. La vinaza, de veneno a alimento de la tierra. En: El País, Cali: (21, abril, 2008): Activos. [Base de datos en línea]. [Consultado 21 abril 2007]. Disponible en <<http://www.elpais.com.co>>.

[40] Costa Rica. Atlas de la Agroenergía y los biocombustibles en las Américas. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA). (2007). [Base de datos en línea]. [Consultado 24 septiembre 2007]. Disponible en <<http://www.iica.int>>.

[41] BETANCOURTH, Luis; et al. Taller: Selección de las tecnologías para la obtención de Bioetanol en Colombia. Visión Prospectiva: Construcción de un roadmap para el bioetanol al 2030. Grupo de Investigación GECO. Universidad del Valle-Colciencias. Junio 6 2008.

11 ANEXOS

ANEXO 1

LOS GRANDES PRODUCTORES DE ETANOL A NIVEL MUNDIAL Y EL RENDIMIENTO DE LA CAÑA

Principales productores de etanol

| País | Producción anual (Millones de Galones) | Producto Base |
|----------------|---|----------------------|
| Brasil | 3.989 | Caña de azúcar |
| Estados Unidos | 3.535 | Maíz |
| China | 964 | Maíz, trigo |
| India | 462 | Caña de azúcar |
| Francia | 219 | Maíz, caña de azúcar |
| Rusia | 198 | Remolacha, Cereales |

Fuente: Memorias del Seminario "Jornadas Iberoamericanas para la Asimilación de Tecnologías para la Producción de Bioetanol y el Uso de sus Residuos. CYTED. Cartagena de Indias. Octubre 3 al 7 de 2005.

Bioetanol-Rendimiento de Distintos cultivos

| Alcohol | |
|----------------|---------------------------|
| Cultivo | Rendimiento (l/ha) |
| Caña | 8.400 |
| Yuca | 5.200 |
| Remolacha | 24.000 |
| Sorgo Dulce | 2.200 |
| Maíz | 1.600 |

Fuente: Memorias del Seminario "Jornadas Iberoamericanas para la Asimilación de Tecnologías para la Producción de Bioetanol y el Uso de sus Residuos. CYTED. Cartagena de Indias. Octubre 3 al 7 de 2005.

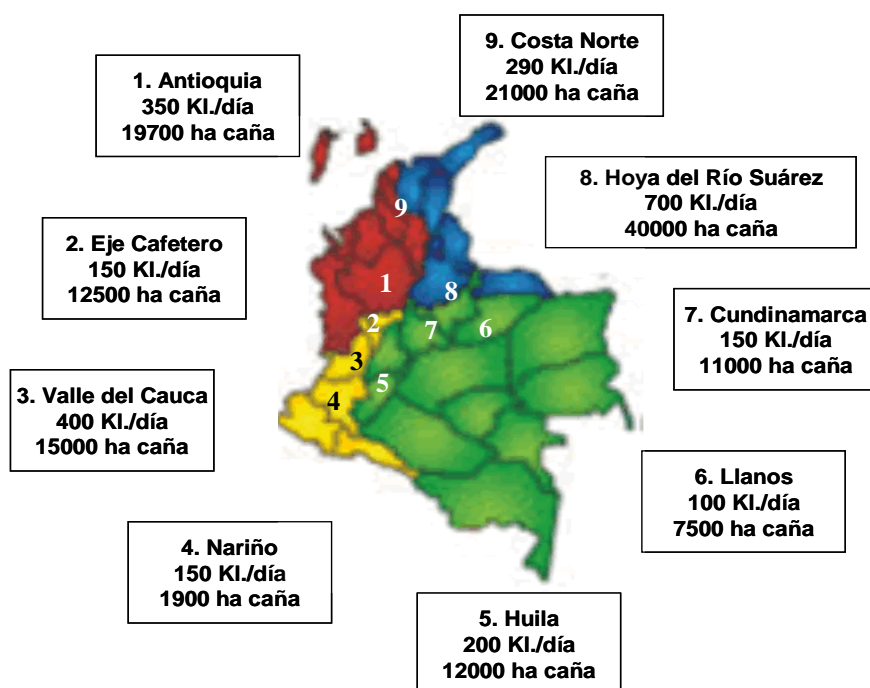
ANEXO 2

PROYECTOS DE PRODUCCIÓN DE BIOETANOL EN COLOMBIA

| Region | Inversionistas | Capacidad (lts/día) | Producto |
|---|----------------------|---------------------|-----------|
| Cauca | Ingenio del Cauca | 300.000 | Caña |
| Valle del Cauca | Ingenio la Manuelita | 250.000 | Caña |
| Valle del Cauca | Ingenio Mayaguez | 150.000 | Caña |
| Valle del Cauca | Ingenio Providencia | 250.000 | Caña |
| Risaralda | Ingenio Risaralda | 100.000 | Caña |
| Proyectos con estudio de Factibilidad: | | | |
| Region | Inversionistas | Capacidad (lts/día) | Producto |
| Santander-Boyacá | Miles S.A | 100.000 | Caña |
| Santander-Boyacá | Alcol S.A | 150.000 | Caña |
| Meta | Petrotesting S.A | 20.000 | Yuca |
| Quindío | Gobernación | 150.000 | Caña |
| Boyacá | Maquilagro/inverlink | 300.000 | Remolacha |

Fuente: www.fedebiocombustibles.com.

COMPLEJOS AGROINDUSTRIALES EN COLOMBIA



ANEXO 3

Marco legal del alcohol carburante en Colombia

LEY 693 DE 2001 (septiembre 19)

Congreso de Colombia

Por la cual se dictan normas sobre el uso de alcoholes carburantes, se crean estímulos para su producción, comercializaron y consumo, y se dictan otras disposiciones.

LEY 788 DE 2002 (dic. 27)

Congreso de Colombia

Por la cual se expiden normas en materia tributaria y penal del orden nacional y territorial; y se dictan otras disposiciones.

RESOLUCIÓN 0447 DE 2003 (abril 14)

Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial; Ministerio de Minas y Energía

Por la cual se modifica parcialmente la Resolución 898 del 23 de agosto de 1995, que regula los criterios ambientales de calidad de los combustibles líquidos y sólidos utilizados en hornos y calderas de uso comercial e industrial y en motores de combustión interna.

RESOLUCIÓN 180687 DE 2003 (junio 17)

Ministerio de Minas y Energía

Por la cual se expide la regulación técnica prevista en la ley 693 de 2001, en relación con la producción, acopio, distribución y puntos de mezcla de los alcoholes carburantes y su uso en los combustibles nacionales e importados.

RESOLUCIÓN 180836 DE 2003 (julio 25)

Ministerio de Minas y Energía

Por las cual se define la estructura de precios de la Gasolina Motor corriente Oxigenada.

RESOLUCIÓN 181710 DE 2003 (dic. 23)

Ministerio de Minas y Energía


Por la cual se modifica el artículo 2º de la Resolución 180836 del 25 de julio de 2003.

Fuente: BRICEÑO, Carlos. Aspectos estructurales y de entorno para proyectos e inversiones en bioetanol. En: Carta trimestral 2: Cenicaña. Documento de trabajo No. 561. 2006.

ANEXO 4

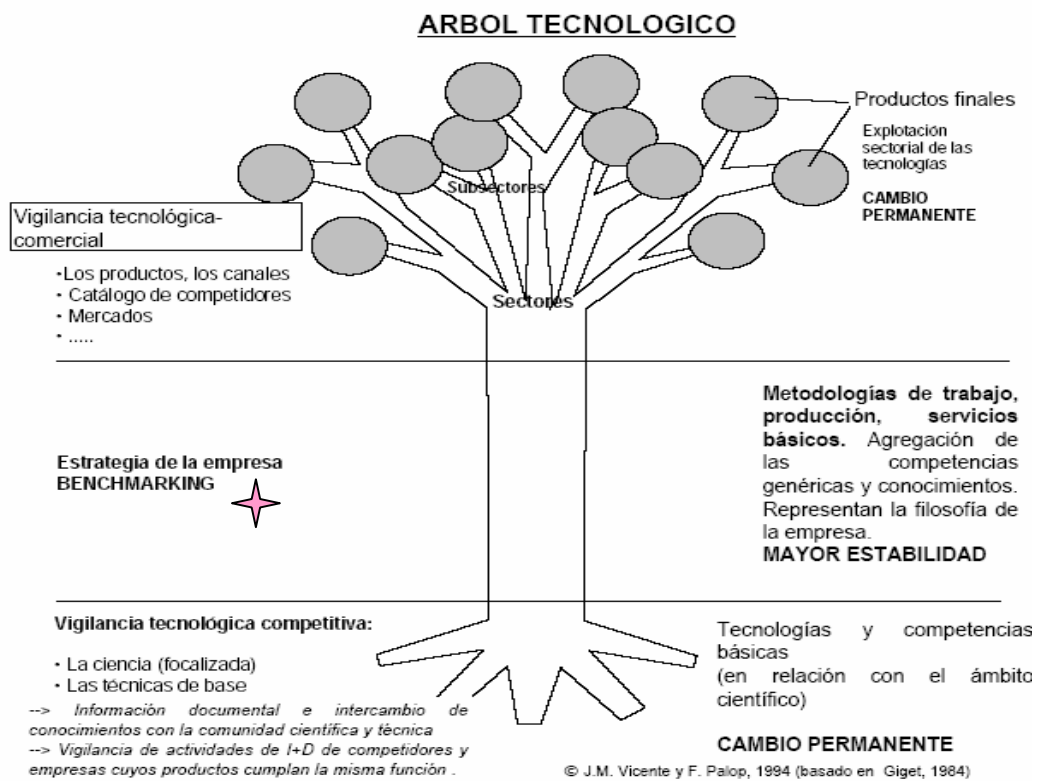
FUNCIONES BÁSICAS DE LA GESTIÓN TECNOLÓGICA

Para que la empresa lleve de manera adecuada una excelente gestión tecnológica debe tener en cuenta las funciones explicadas en el cuadro. En este se encuentra un paso muy importante y es el de vigilar al enemigo. De tal manera que le permite a la empresa analizar a su competidor, vigilar su tecnología y así ponerse alerta sobre la evolución que se esta llevando a cabo en cuanto a tecnología se refiere.

| FUNCIÓN | DESCRIPCIÓN | HERRAMIENTA |
|-------------|---|--|
| INVENTARIAR | Conocimientos de las capacidades tecnológicas que se dominan | Matriz "Tecnología / Producto" |
| VIGILAR | Alerta sobre la evolución de la nueva tecnología.  Vigilancia de la tecnología de los competidores (benchmarking tecnológico) | Función de Alerta Tecnológica |
| EVALUAR | Determinar la competitividad y el potencial tecnológico propio. Estudiar las posibles estrategias | Matriz "Atractivo tecnológico/Posición tecnológica" |
| ENRIQUECER | Aumentar el patrimonio de la empresa vía inversión en tecnología propia, ajena o mixta | Matriz de accesos a la tecnología |
| OPTIMIZAR | Emplear los recursos de la mejor manera posible | Explotación sistemática de tecnologías en otros sectores: los "racimos o árboles tecnológicos" |
| PROTEGER | Protección de las innovaciones propias y actualización constante de los conocimientos | |

Fuente: RINCON B. Gladys. Funciones Básicas Gestión Tecnológica: Presentaciones de clase de la materia fundamentos de gestión tecnológica. Cali: Universidad del Valle. Escuela de Ingeniería Industrial. 2007.

Para esto sería necesario que la empresa emplee una estrategia que le permita compararse ante el adversario, y una herramienta adecuada para llevar a cabo su estrategia sería el benchmarking tecnológico. Esto al final le permitirá optimizar recursos explorando nuevas oportunidades.



ANEXO 5

ETAPAS DEL PROCESO DE PRODUCCIÓN DEL BIOETANOL EN COLOMBIA

I. Fermentación

La fábrica de azúcar, además de proporcionar los servicios necesarios como vapor, agua y aire, entre otros, le entrega a la destilería las materias primas para producir alcohol, como son toda la miel 'B' y una parte del jugo clarificado y de la meladura clarificada.

Los azúcares fermentables presentes en los materiales provenientes de la fábrica, entran en contacto con una levadura especial que ha sido previamente desarrollada, la cual transforma dichos azúcares en etanol y gas carbónico.

Este proceso de transformación se le conoce como *fermentación* y ocurre en un proceso continuo en tanques. El producto de la fermentación se le conoce como 'Vino' que es un material rico en alcoholes, especialmente el etanol. Junto con el vino, se encuentra la levadura la cual se debe recuperar en un separador de levadura.

II. Separación de Levadura

La levadura especial, que es autofloculante, cuando está viva precipita retornándose al tanque de activación y el vino con un porcentaje de 7 – 9% de etanol sale por la parte superior a un tanque

de almacenamiento para ser enviado posteriormente al proceso de destilación.

III. Activación de Levadura

La levadura que se ha recuperado del separador se vuelve a acondicionar suministrándole aire, nutrientes, antibióticos, ácido y azúcares fermentables para reactivarla y que se vuelva a multiplicar y desarrollar, para reenviarla nuevamente a los fermentadores y continuar el proceso de fermentación.

IV. Destilación (Columnas Despojadora – Degasificadora y Rectificadora)

El proceso de destilación aprovecha que cada material tiene su volatilidad o punto de ebullición a una determinada temperatura, por lo cual los alcoholes que tienen menor volatilidad que los sólidos e impurezas que venían en el jugo, meladura y miel, salen por la parte superior de la columna con una concentración de 40 – 45% de etanol; mientras que la mayor cantidad de impurezas sale por la parte inferior de la misma en forma de vinaza. Gracias a la avanzada tecnología que los ingenios han adquirido, es posible obtener de 1,7 – 2,1 litros de vinaza por cada litro de etanol producido.

Los vapores procedentes de la columna despojadora, con un contenido del 40 – 45% de etanol se envían a la columna rectificadora, donde se aumenta su concentración hasta aproximadamente el 95%. Por el fondo de la columna salen otras impurezas denominadas flemazas, que se envía a la planta de

tratamiento de aguas residuales, junto con los condensados de los flubex.

V. Deshidratación del Etanol

El alcohol rectificado puede ser comercializado como tal, pero para poder usarlo en la oxigenación de la gasolina es necesario todavía retirarle el porcentaje de agua. Esto se hace mediante tamices moleculares, donde resinas de intercambio retienen el agua presente en los vapores del alcohol rectificado, obteniéndose finalmente un etanol con una concentración del 99.5% que es conocido como etanol anhidro o alcohol carburante.

VI. Concentración de la Vinaza

Para lograr disminuir la cantidad de vinaza producida, es necesario recircularla en aproximadamente un 75% como agua de dilución en el proceso de fermentación y el restante se envía hacia unos concentradores de vinaza denominados flubex, los cuales la llevan desde 9 – 11% sólidos hasta 21 – 27%, este material se envía hacia el proceso de preparación de compostaje.

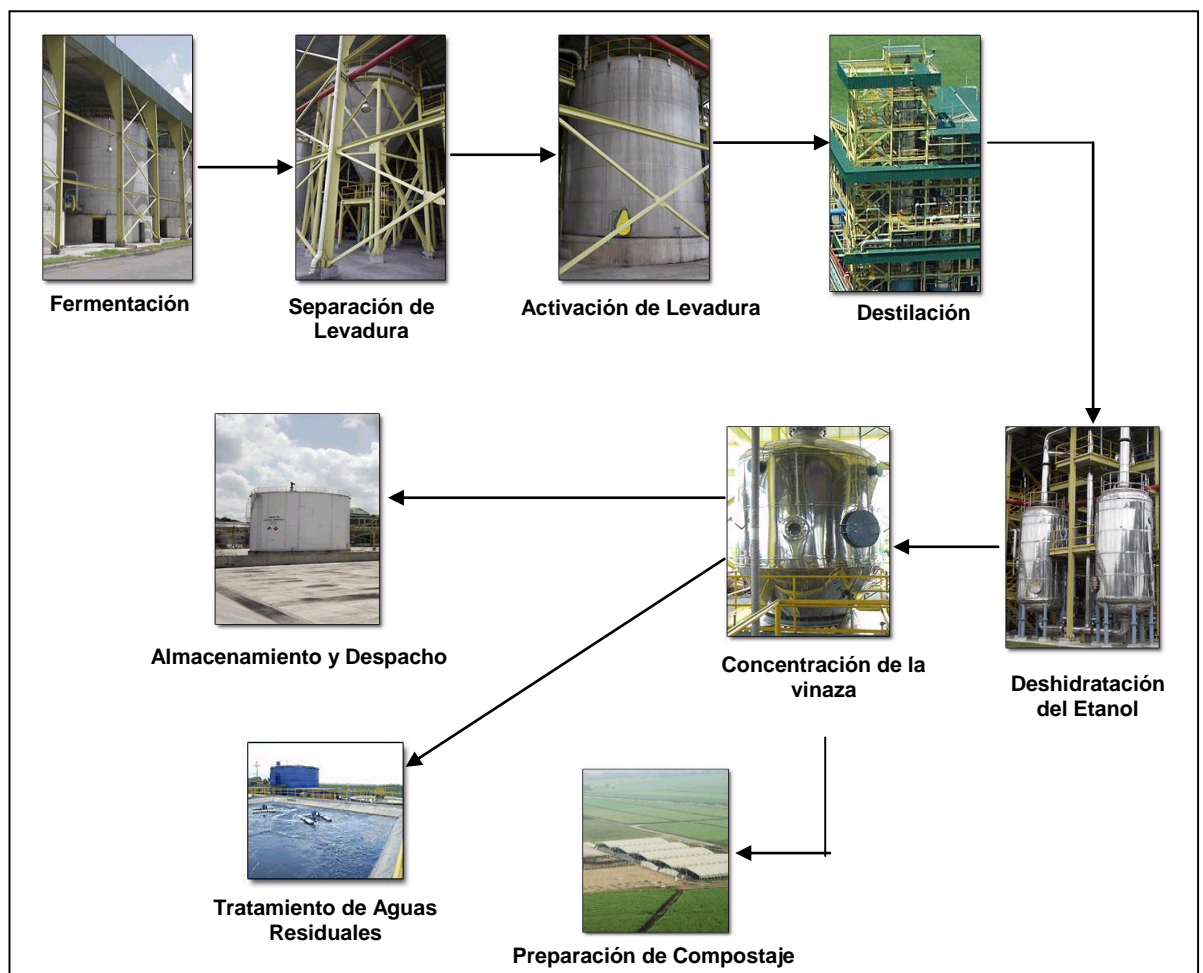
VII. Preparación de Compostaje

La planta de compostaje industrial procesa los residuos orgánicos generados en la producción de azúcar y de etanol, tales como: cachaza, ceniza, basuras de patios de caña y vinaza concentrada y los transforma en un producto estable e higienizado aplicable en la agricultura como abono orgánico o como mejorador del suelo.

VIII. Tratamiento de Aguas Residuales

La planta de tratamiento de aguas residuales de la destilería recibe las flemazas y los condensados de la concentración de vinaza.

El agua tratada en esta planta es utilizada como agua de reposición de las torres de enfriamiento de la destilería. De esta forma el proceso no genera ningún efluente líquido.

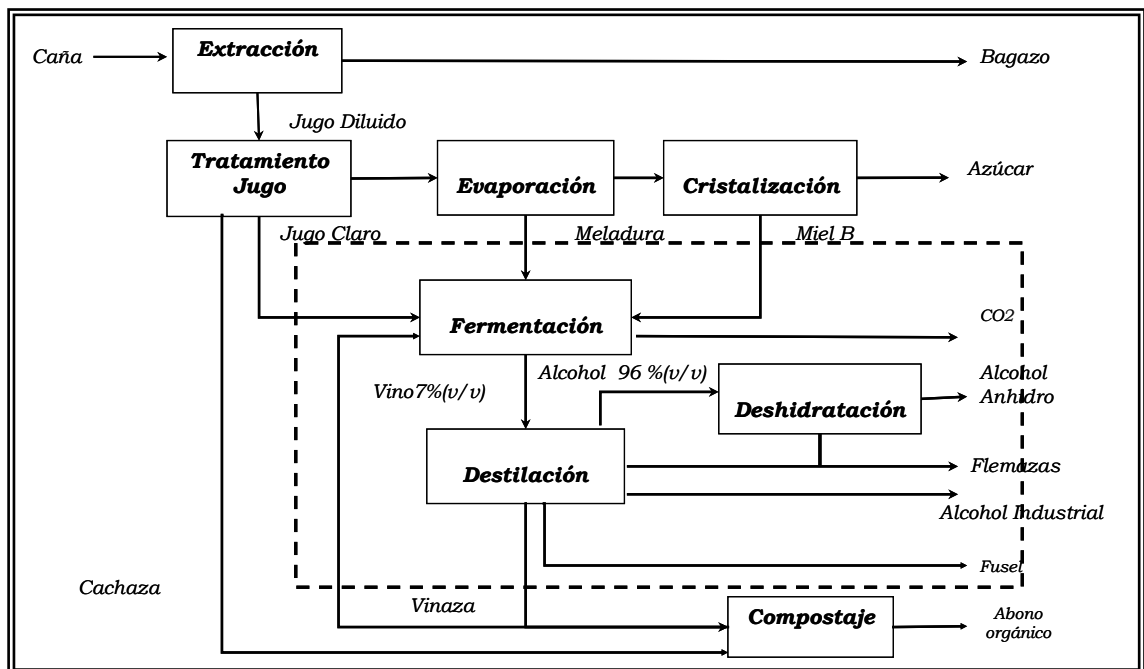


Fuente: COLOMBIA. INGENIO PROVIDENCIA. Quiénes somos. [Base de datos en línea]. [Consultado 12 marzo 2007]. Disponible en <<http://www.ingprovidencia.com>>.

ANEXO 6

LA DESTILERÍA DEL INGENIO PROVIDENCIA⁶

Figura No 1. Esquema de la Producción Dual Azúcar/Etanol.



⁶ Memorias del Seminario "TECNOLOGIA, ENERGIA Y MEDIO AMBIENTE EN LA INDUSTRIA AZUCARERA" – RED IV H. CYTED. Universidad Autónoma de Occidente. Noviembre 26 Y 27 de 2007.

Figura No 3. Diagrama de Bloques de la etapa de fermentación.

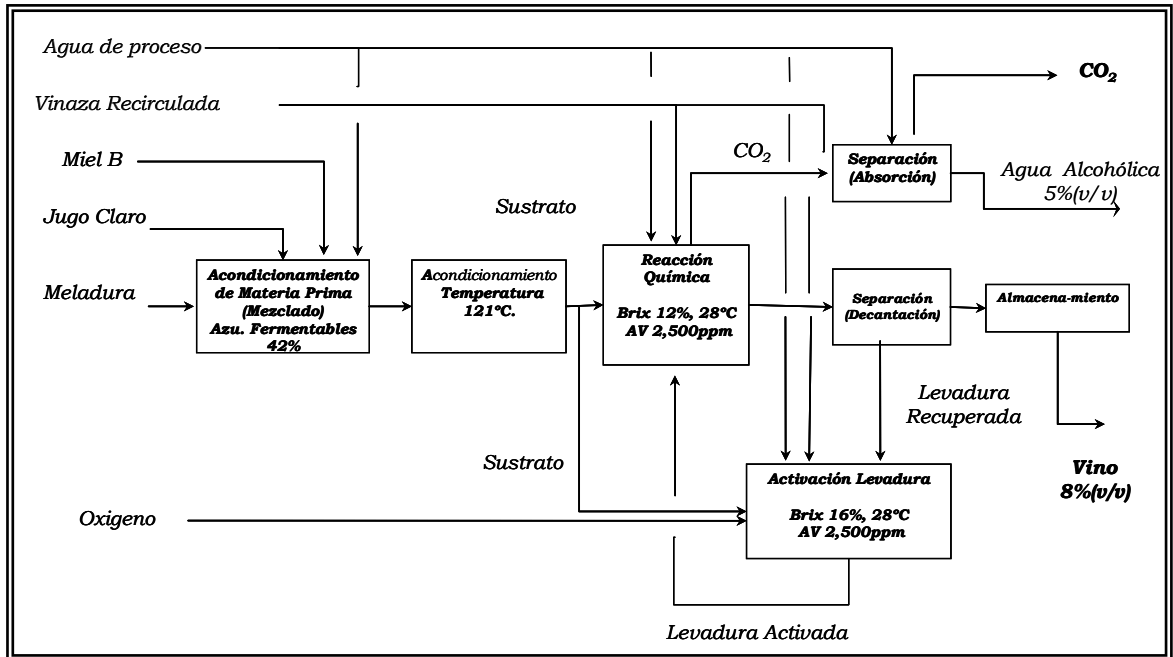


Figura No 4. Proceso de Fermentación.

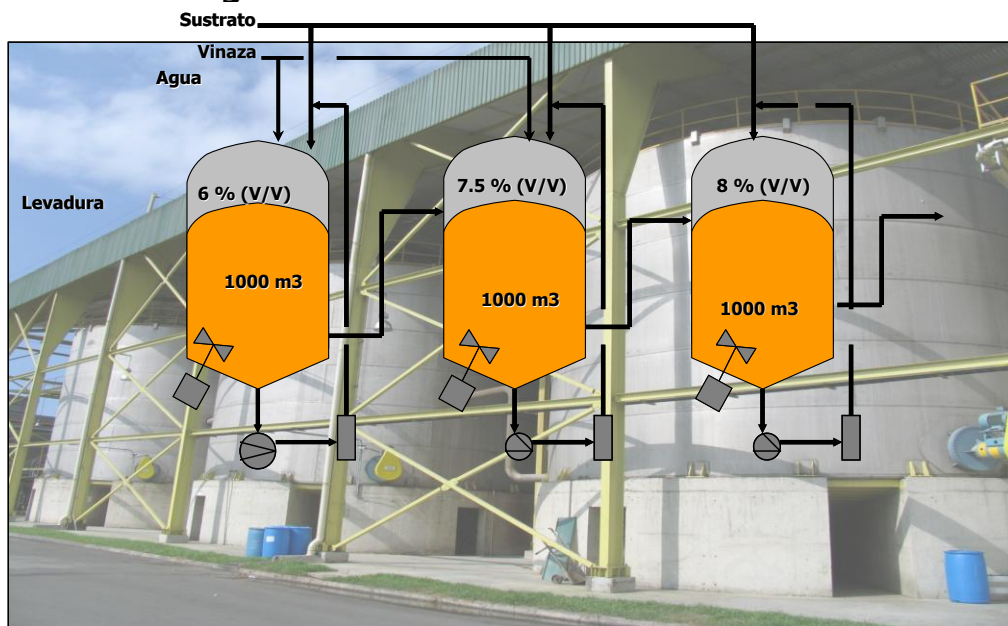


Figura No 5. Proceso de Separación de Levaduras.

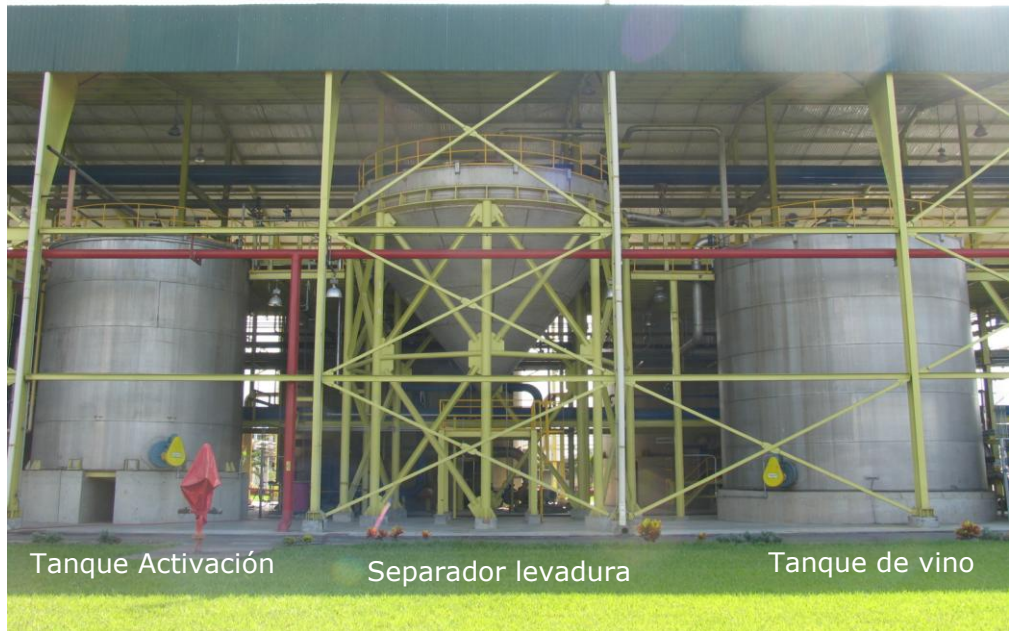


Figura No 6. Parámetros de Operación del Proceso Fermentación.

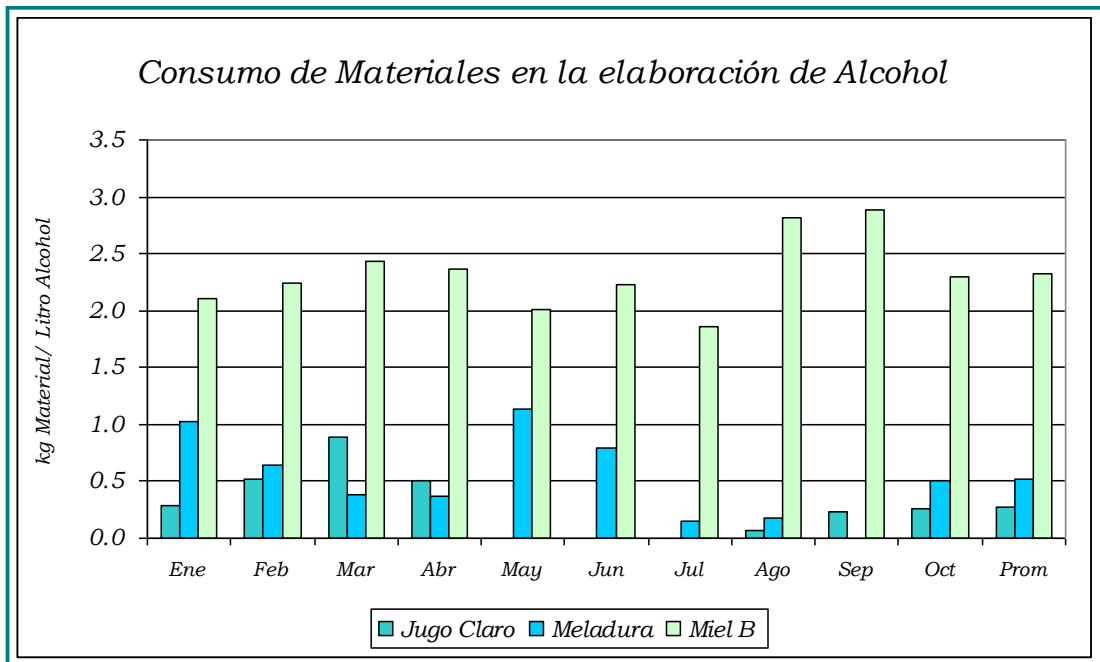


Figura No 7. Diagrama de Bloques de la etapa de Destilación.

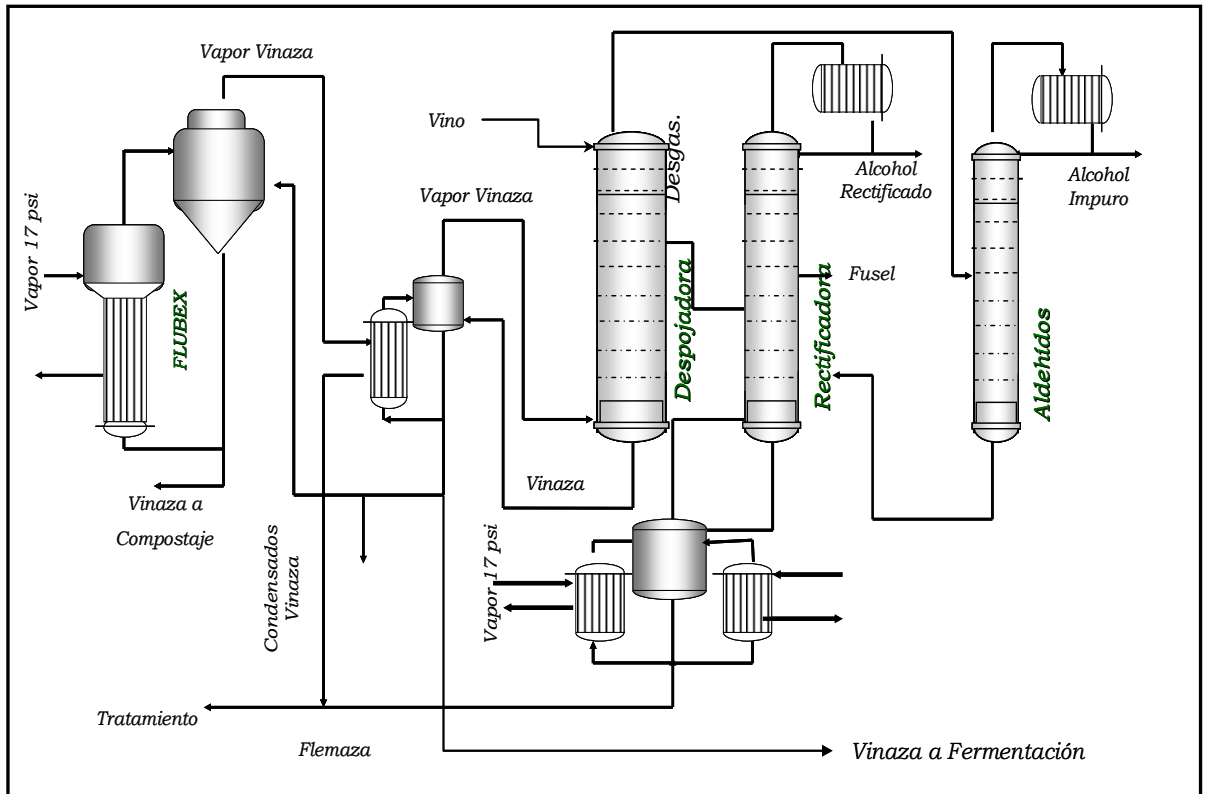


Figura No 8. Sistema de deshidratación por Tamices Moleculares.



Figura No 9. Diagrama de flujo de los Tamices Moleculares.

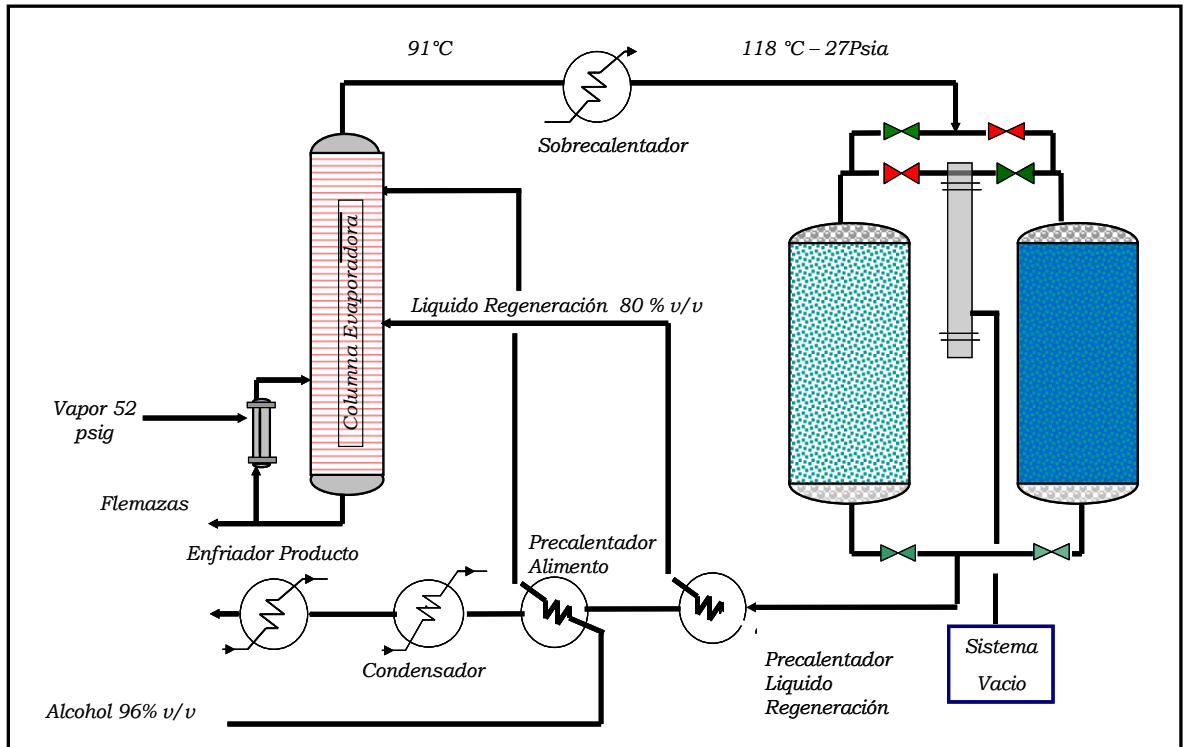


Figura No 10. Almacenamiento y Despacho de Alcohol.



ANEXO 7

COMPARACIÓN DE TECNOLOGÍAS POR LOS INGENIOS DEL VALLE DEL CAUCA⁷

Varias compañías especializadas a escala mundial pueden suministrar la tecnología para producir el alcohol a partir de la caña de azúcar, bien sea de la melaza o del jugo directamente:

| Compañía | País | Materia prima |
|------------------------|-----------|---------------|
| Biostill-Chematur Eng. | Suecia | Melaza – Jugo |
| Vogelbush | Austria | Melaza |
| PRAJ+Delta - T | India+USA | Melaza - Jugo |
| Speichim | Francia | Melaza |
| Zanini | Brasil | Melaza |
| Tomsa | España | Melaza |
| Codistil | Brasil | Melaza |

Fuente: Alcoholes S.A.

Tecnología de la India

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.

Tecnología del Brasil

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.

Codistil

Codistil es una compañía de capital brasileño, que hace parte del Grupo Dedini, fundada en 1943 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/aeróbico de vinazas con el sistema UASB.

⁷ EQUITY INVESTMENT S.A. Banca de Inversiones. Plan de Negocios. Proyectos de Alcoholes Carburantes. Febrero 2003. [En línea]. [Consultado 16 junio 2007]. Disponible en: <http://www.gobant.gov.co/organismos/scompetividad/doc_estudios/prefactibilidadalcoholes/presentacionalcoholes.pdf>.

ANEXO 8

LOS MAYORES PRODUCTORES DE CAÑA, AZÚCAR Y BIOETANOL DE BRASIL⁸

Tabla 1. Los 15 mejores productores de caña. Región centro-sur. Safra 2.005 / 2.006

| RANKING | UNIDADES | PRODUÇÃO CANA (t) |
|---------|---------------------|----------------------|
| 1 | SÃO MARTINHO | 7.133.312 |
| 2 | DA BARRA | 6.229.588 |
| 3 | VALE DO ROSÁRIO | 5.359.541 |
| 4 | SANTA ELISA | 5.337.279 |
| 5 | ITAMARATI | 4.926.978 |
| 6 | COLORADO | 4.540.982 |
| 7 | BONFIM | 4.187.726 |
| 8 | MOEMA | 4.140.353 |
| 9 | COLOMBO | 4.127.661 |
| 10 | DA PEDRA | 3.910.206 |
| 11 | VALE DO VERDÃO | 3.702.953 |
| 12 | CATANDUVA | 3.671.481 |
| 13 | SÃO JOSÉ - MACATUBA | 3.555.351 |
| 14 | DELTA | 3.422.752 |
| 15 | COSTA PINTO | 3.419.534 |

Tabla 2. Los 15 mejores productores de azúcar. Región centro-sur. Safra 2.005 / 2.006

| RANKING | UNIDADES | PRODUÇÃO AÇÚCAR (t) |
|---------|-------------------|------------------------|
| 1 | DA BARRA | 498.997 |
| 2 | SÃO MARTINHO | 443.218 |
| 3 | VALE DO ROSÁRIO | 375.090 |
| 4 | SANTA ELISA | 372.263 |
| 5 | DELTA | 364.294 |
| 6 | BONFIM | 356.101 |
| 7 | CRUZ ALTA | 355.669 |
| 8 | COLOMBO | 341.649 |
| 9 | COLORADO | 338.463 |
| 10 | SÃO JOÃO - ARARAS | 337.032 |
| 11 | ALTA MOGIANA | 315.441 |
| 12 | ITAMARATI | 286.194 |
| 13 | COSTA PINTO | 285.950 |
| 14 | MOEMA | 281.750 |
| 15 | BAZAN | 264.246 |

⁸ FONSECA, Marcos. UNI-SYSTEMS, INC. Base de datos de Cenicaña. Primer foro nacional de etanol 2006. [Base de datos en CD]. [Consultado 5 abril 2008].

Tabla 3. Los 15 mejores productores de alcohol anhidrido. Región centro-sur. Safra 2.005 / 2.006

| RANKING | UNIDADES | PROD. ALC. ANIDRO (m ³) |
|---------|---------------------|--|
| 1 | SÃO MARTINHO | 247.036 |
| 2 | COLORADO | 191.019 |
| 3 | DESTILARIA MORENO | 156.245 |
| 4 | DA BARRA | 135.782 |
| 5 | BAZAN | 128.793 |
| 6 | EQUIPAV | 122.078 |
| 7 | ITAMARATI | 118.232 |
| 8 | SANTA ADÉLIA | 116.748 |
| 9 | CATANDUVA | 111.854 |
| 10 | BARRA GRANDE | 111.830 |
| 11 | SANTA ELISA | 110.448 |
| 12 | SÃO JOSÉ - MACATUBA | 108.900 |
| 13 | BATATAIS | 106.960 |
| 14 | BELA VISTA - PONTAL | 106.455 |
| 15 | VALE DO VERDÃO | 104.307 |

ANEXO 9**BASE DE DATOS**

| Institución | Directivo | Cargo | Región | e mail |
|---|---------------------------------|---|-------------------------|--|
| CENICAÑA | Edgar Castillo | Director del Programa de Fabrica | Florida-Valle del Cauca | efcastillo@cenicana.org |
| CENICAÑA | Jorge Iván Socarras | Ingeniero Químico del programa de Fabrica | Florida-Valle del Cauca | jisocarras@cenicana.org |
| CENICAÑA | Liliana Maria Calero | Química del programa de Fabrica | Florida-Valle del Cauca | lmcalero@cenicana.org |
| Recomendado por Edgar Castillo | José Carlos Escobar Palacios | Ex investigador del programa de fabrica, y trabaja sobre la producción del bioetanol en Brasil | Brasil | jocesobar@gmail.com |
| Ingenio y Destilería Providencia | Julián Parra | Jefe de planta de la Destilería Providencia | Cali-Palmira | japarra@ingprovidencia.com |
| Ingenio y Destilería Providencia | Mauricio Tello | Ingeniero Auxiliar de planta de la Destilería Providencia | Cali-Palmira | mtello@ingprovidencia.com.co |
| Ingenio Riopaila Castilla | Humberto Benítez | Ingeniero de la planta de destilación del ingenio riopaila | Riopaila | hbenitez@riopaila-castilla.com |
| Ingenio Riopaila Castilla | Luisa Barona | Ingeniera Auxiliar de planta | Riopaila | lbarona@riopaila-castilla.com |
| Universidad del Valle | Nilson Marriaga | Ingeniero Químico, docente de la Universidad del Valle. Y participo en la capacitación en la India sobre el montaje de las destilerías en Colombia. | Cali | marriaga@univalle.edu.co |
| Universidad del Valle | Yesid Fabián Zambrano | Ex Ingeniero Químico del Ingenio la Cabaña y del Ingenio Central de Tumaco. Ex Investigador del Programa de Fabrica de Cenicaña. Estudiante de Maestría en Ingeniería Química de la universidad del Valle | Cali | yesidfz@yahoo.com |
| Universidad del Cauca | Héctor Samuel Villada Castillo | Profesor de la Facultad de Ciencias Agropecuarias de la Universidad del Cauca | Popayán | villada@unicauca.edu.co |
| Universidad del Cauca | Alfonso Enrique Ramírez | Profesor asociado de la Universidad del Cauca | Popayán | aramirez@unicauca.edu.co |
| Universidad del Cauca | Carlos Corredor Jiménez | Profesor del Departamento de Economía de la Universidad del Cauca | Popayán | cecorredor@unicauca.edu.co |
| Universidad Industrial de Santander UIS | Fabián Emilio Vinan | Investigador del centro de estudios e investigaciones ambientales (CEIAM). Proyecto que lleva acabo es: Atlas del potencial energético de la biomasa en Colombia. | Santander | facavilo@gmail.com |
| Universidad Industrial de Santander UIS | Arturo González Quiroga | Recomendado por el Investigador del CEIAM | Santander | ggar7@yahoo.es |
| Universidad del Valle | Gladys Rincón Bergman | Ingeniera Industrial, con énfasis en Gestión Tecnológica, y docente de la escuela de Ingeniería Industrial | Cali | grincon@univalle.edu.co |
| Universidad del Valle | Luis Andrés Betancourt Buitrago | Investigador e Ingeniero Químico | Cali | luisbeta@univalle.edu.co |

ANEXO 10

CUESTIONARIO DE RECOLECCIÓN DE DATOS

La auditoria o diagnóstico tecnológico es una de las funciones de la gestión tecnológica que tiene como objetivo evaluar las necesidades tecnológicas y el potencial que tiene la empresa para solucionarlas. La auditoria debe hacerse a partir de entrevistas con un cuestionario definido. Este cuestionario fue elaborado a partir de dos formatos proporcionados en la materia de gestión tecnológica, y adaptados para el desarrollo de la investigación.

Es importante tener claro ciertos conceptos para la elaboración del cuestionario, los cuales son explicados a las personas que se les realizaron la entrevista.

El inventario busca conocer las capacidades y recursos técnicos de la empresa, las tecnologías que puede adoptar, aplicar y desarrollar con éxito y conocer el estado del arte de las tecnologías claves para la empresa, a través de la vigilancia tecnológica.

* Las tecnologías clave son las que permiten a la empresa que las domina, diferenciarse de las otras por su mayor calidad, prestaciones superiores, costos más bajos etc. Crean ventajas competitivas.

* Las tecnologías básicas son bien conocidas por todos los competidores del sector ya que sin ellas la fabricación no es posible. No ofrecen, por tanto, ninguna ventaja competitiva, a diferencia de lo

que pasaba en las tecnologías clave. Probablemente, con el paso del tiempo, las tecnologías clave se convertirán en básicas.

* Las tecnologías incipientes se encuentran todavía en una etapa inicial de su desarrollo pero han demostrado su potencial para cambiar las bases de la competición. Algunas de las tecnologías incipientes de hoy se convertirán en las tecnologías clave de mañana.

* Las tecnologías emergentes se encuentran también en la etapa inicial pero su impacto potencial es desconocido, aunque se observan algunos indicios prometedores.

CUESTIONARIO COMPARATIVO
Capacidad Productiva y Capacidad Tecnológica

MODULO 1.

CAPACIDAD PRODUCTIVA:

1. Características sobresalientes de los países en estudio.

| País | <u>COLOMBIA</u> | <u>BRASIL</u> | Unidad |
|--|-----------------|---------------|--------|
| Característica Numero de Destilerías | | | Número |
| Años en que se encuentra en el negocio | | | Años |
| Porcentaje de la Mezcla | | | % |

2. Demanda y Oferta

| País | <u>COLOMBIA</u> | <u>BRASIL</u> | Unidad |
|----------------------------------|-----------------|---------------|----------------|
| Característica Demanda | | | Litros por mes |
| Oferta | | | Litros por mes |
| Cubre | | | % |

3. Generación de Empleo Sector del Alcohol

| País | <u>COLOMBIA</u> | <u>BRASIL</u> | Unidad |
|-----------------------------------|-----------------|---------------|----------|
| Característica Directos | | | Personas |
| Indirectos | | | Personas |
| Total | | | Personas |

4. Generalidades del Proceso Productivo

I. Producción y Rendimiento del Cultivo de Caña en la producción de Alcohol.

a. Producción

| País | <u>COLOMBIA</u> | <u>BRASIL</u> | Unidades |
|--|-----------------|---------------|------------|
| Producción Producción de alcohol | | | litros/día |
| Producción de alcohol | | | litros/año |
| Producción de caña | | | Ton/año |
| Producción de azúcar | | | Ton/año |

b. Hectáreas del Cultivo de Caña

| Hectáreas Del Cultivo de Caña | País | <u>COLOMBIA</u> | <u>BRASIL</u> | Unidades |
|--|-------------|------------------------|----------------------|-----------------|
| Hectáreas de caña Sembradas | | | | Ha |
| Hectáreas de caña Cosechadas | | | | Ha |
| Hectáreas Utilizadas para la producción de alcohol | | | | Ha |

c. Rendimientos

| Rendimiento | País | <u>COLOMBIA</u> | <u>BRASIL</u> | Unidades |
|--|-------------|------------------------|----------------------|---------------------------|
| Rendimiento Agrícola | | | | ton/ha caña*año |
| Rendimiento Industrial | | | | litros etanol/ton de caña |
| Producción de alcohol por cada hectárea sembrada | | | | litros etanol/ha*año |

d. Propietarios de las Tierras Sembrada de Caña de azúcar.

| Propietarios De las Tierras de Caña | País | <u>COLOMBIA</u> | <u>BRASIL</u> | Unidades |
|--|-------------|------------------------|----------------------|-----------------|
| Porcentaje de tierras de los ingenios | | | | % |

e. Generación de Vinaza en la Producción de Alcohol.

| Indicador | País | <u>COLOMBIA</u> | <u>BRASIL</u> | Unidades |
|-----------------------|-------------|------------------------|----------------------|-----------------|
| Producción de alcohol | | | | Lt/día |
| Producción de Vinaza | | | | Lt/día |

| Indicador | País | <u>COLOMBIA</u> | <u>BRASIL</u> | Unidades |
|--------------------------|-------------|------------------------|----------------------|---------------------------------|
| Rendimiento de la Vinaza | | | | litro de vinaza/litro de etanol |

| Indicador | País | <u>COLOMBIA</u> | <u>BRASIL</u> | Unidades |
|----------------------------------|-------------|------------------------|----------------------|-----------------|
| Sólidos Totales en Vinaza (Brix) | | | | % w/w |
| Recirculación de vinaza | | | | % |

II. Costos

| País | <u>COLOMBIA</u> | <u>BRASIL</u> | Unidades |
|----------------------------|-----------------|---------------|----------|
| Costos | | | |
| Costos totales estimados | | | COL\$/lt |
| Costos de producción | | | COL\$/lt |
| Costos de la materia prima | | | COL\$/lt |
| Precio Estimado de Venta | | | COL\$/lt |

MODULO 2.

CAPACIDAD TECNOLÓGICA:

1. Cuanto invierten cada año en investigación, desarrollo e ingeniería, con respecto a la producción de alcohol a partir de la caña de azúcar?.

| País | <u>COLOMBIA</u> | <u>BRASIL</u> | Unidades |
|---|-----------------|---------------|----------|
| Variable | | | |
| Inversión en Investigación, desarrollo e ingeniería (I+D+I) | | | \$/año |

2. Número de centros, entidades e instituciones que trabajan en I+D+I, con respecto a la producción de alcohol a partir de la caña de azúcar.

| País | <u>COLOMBIA</u> | <u>BRASIL</u> | Unidades |
|--------------------------|-----------------|---------------|----------|
| Variable | | | |
| Centros de investigación | | | Numero |

3. Para el proceso de producción del alcohol carburante defina los procesos básicos, claves, incipientes y emergentes. ¿Cuáles domina el país?

| País | <u>*COLOMBIA</u> | <u>*BRASIL</u> | **Posición de dominio |
|---------------------------------|------------------|----------------|------------------------------|
| Etapas del proceso | | | |
| Fermentación | | | |
| Recirculación de levadura | | | |
| Destilación | | | |
| Recirculación de vinaza | | | |
| Deshidratación | | | |
| Tratamiento de Aguas residuales | | | |
| Tratamiento de la vinaza | | | |

*Escriba cual de esta etapas según el país, son procesos claves, incipientes, básicos o emergentes.

**Dominio: A (alto), M (medio), B (bajo), N (nulo).

4. Para cada fase del proceso de producción del alcohol carburante defina las tecnologías básicas, claves, incipientes y emergentes. ¿Cuáles domina el país?

| Clases de Tecnologías | País | * <u>COLOMBIA</u> | * <u>BRASIL</u> | **Posición de dominio |
|---------------------------------|------|-------------------|-----------------|-----------------------|
| Fermentación: | | | | |
| Por lotes (batch) | | | | |
| Semicontinuo | | | | |
| Continuo | | | | |
| Destilación: | | | | |
| Columnas de destilación | | | | |
| Deshidratación: | | | | |
| Extractiva | | | | |
| Con Tamices moleculares | | | | |
| Azeotrópica: | | | | |
| Con Benceno | | | | |
| Con ciclohexano | | | | |
| Tratamiento de la Vinaza | | | | |
| Digestión Anaeróbica | | | | |
| Compostaje | | | | |
| Tratamiento aeróbico | | | | |
| Evaporación | | | | |

*Marque con una X la tecnología usada por cada país. Si no esta mencionada agréguela. Y determine que clase de tecnología es (básica, clave, emergente o incipiente)

**Dominio: A (alto), M (medio), B (bajo), N (nulo).

5. Factores que dificultan la innovación. Si el país ha experimentado en el periodo 2005-2007 alguna dificultad de las relacionadas en la siguiente lista en su actividad de innovación, gradúe la importancia de los factores.

***Colombia:**

| FACTORES | DESCRIPCION | GRADO DE IMPORTANCIA ¹ | | |
|------------------|---|-----------------------------------|--------------|-------------|
| | | ALTO (5) | MEDIO (3) | BAJO (1) |
| Económico | Los riesgos económicos se perciben excesivos | | | |
| | Costes de innovación demasiado elevados | | | |
| | Falta de fuentes apropiadas de financiación | | | |
| Interno | Rigideces de la organización en los ingenios | | | |
| | Falta de personal calificado | | | |
| | Falta de información sobre tecnología | | | |
| Otros | Falta de información sobre mercados | | | |
| | Insuficiente flexibilidad de normas y reglamentos | | | |

¹ marque con una X el grado de importancia.

***Brasil:**

| FACTORES | DESCRIPCION | GRADO DE IMPORTANCIA ¹ | | |
|------------------|---|-----------------------------------|--------------|-------------|
| | | ALTO (5) | MEDIO (3) | BAJO (1) |
| Económico | Los riesgos económicos se perciben excesivos | | | |
| | Costes de innovación demasiado elevados | | | |
| | Falta de fuentes apropiadas de financiación | | | |
| Interno | Rigideces de la organización en los ingenios | | | |
| | Falta de personal calificado | | | |
| | Falta de información sobre tecnología | | | |
| | Falta de información sobre mercados | | | |
| Otros | Insuficiente flexibilidad de normas y reglamentos | | | |

¹ marque con una X el grado de importancia.