

**EVALUACIÓN DE LOS RECURSOS DE BIOMASA Y PROCESOS DE
PRODUCCIÓN DE BIOETANOL Y CO-PRODUCTOS EN FUNCIÓN DE
VARIABLES ECONÓMICAS, CLIMÁTICAS Y GEOGRÁFICAS DE LA REGIÓN
NORORIENTAL DEL PAÍS**

**ARIEL FLOREZ GONZALEZ
EDWIN ALBERTO MORA NONSOQUE**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERIAS FISICOQUIMICAS
ESCUELA DE INGENIERIA QUIMICA**

2006

**EVALUACIÓN DE LOS RECURSOS DE BIOMASA Y PROCESOS DE
PRODUCCIÓN DE BIOETANOL Y CO-PRODUCTOS EN FUNCIÓN DE
VARIABLES ECONÓMICAS, CLIMÁTICAS Y GEOGRÁFICAS DE LA REGIÓN
NORORIENTAL DEL PAÍS**

**ARIEL FLOREZ GONZALEZ
EDWIN ALBERTO MORA NONSOQUE**

**Trabajo de Grado para optar el título de
Ingeniero Químico**

**Director:
PROFESOR VIATCHESLAVKAFAROV
Ph.D Ingeniero químico**

**Codirector:
Liliana Cristina Hernández Bello
Estudiante de Doctorado en Ing. Química**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERIAS FISICOQUIMICAS
ESCUELA DE INGENIERIA QUIMICA**

2006

DEDICATORIA:

A mi madre una mujer trabajadora para la cual no me alcanzarían las paginas de este libro para agradecer su cariño y apoyo ni todo lo que hizo por mí, espero solo ser siempre su orgullo.

A mis hermanas tres mujeres que me enseñaron lo valioso de la familia y que aunque se este lejos siempre se puede contar con ella.

A Roxana una bella princesa que siempre se toma la molestia de oírme cuando se lo pido, la mujer mas especial que he conocido y de la cual nunca deseo alejarme.

A Julie una niña de hermosa sonrisa que siempre ha tenido una frase de aliento para mi.

A Jairo un amigo excelente como los que se encuentran pocos en la vida, gracias hermano por todo.

A Tatiana una mujer sin igual a la que siempre le deseare lo mejor, que la vida siempre le sonría por que se lo merece todo.

A los profesores Ariel y Jhon Ivan, por su apoyo y ejemplo, de lo que les estaré siempre agradecido.

A Laura, Angela, Alejandro, Eddy, Bony, Edna, Eduardo, Elizabeth, a quienes tuve el honor de conocer y el privilegio de llamar... Amigos.

“La felicidad solo se puede ver a través de los ojos de las personas que amamos”

ARIEL FLOREZ G.

DEDICATORIA:

Este logro se la dedico a:

A mis padres,

A mi hermanas,

Mi sobrino,

Familiares y amigos.

EDWIN A. MORA

AGRADECIMIENTOS

Al profesor Kafarov trabajador incansable por su apoyo incondicional y su absoluta confianza.

A Liliana el faro que iluminó nuestro camino cuando pensamos que íbamos a naufragar, gracias por creer en nosotros más que nosotros mismos.

A los miembros del CISYC por su compañerismo, que más que amigos se convirtieron en nuestra familia.

A Sandra por brindarnos su valiosa amistad, siempre con una sonrisa en los labios y una frase de apoyo.

TABLA DE CONTENIDO

1.Introducción.....	1
2. Producción de Bioetanol y Coproductos a partir de Biomasa.....	3
2.1 Biomasa	3
2.2Bioetanol.....	3
2.2.1 Etanol a partir de materias primas sacaroideas.....	3
2.2.1.1 Preparación de la materia prima.....	4
2.2.1.2 Fermentación directa	4
2.2.1.3 Destilación	5
2.2.1.4 Deshidratación.....	5
2.2.1.5 Tratamiento de las vinazas.....	5
2.2.1.5.1. Digestión de la Materia Orgánica.....	6
2.2.1.6 Obtención de Coproductos.....	8
2.2.1.6.1 Obtencion de ácido Acético	8
2.2.2 Obtención de Etanol a partir de Materias Amiláceas	9
2.2.2.1 Preparación de la materia prima.....	9
2.2.2.2. Hidrólisis.....	9
2.2.2.2.1 Hidrólisis Ácida.....	10
2.2.2.2.2 Hidrólisis Enzimática.....	10
3. Metodología adoptada para la evaluación de los recursos de biomasa y producción de bioetanol y coproductos para la zona nororiental del país.....	12
3.1 Evaluación de demanda de bioetanol en Colombia.....	13
3.2 Análisis de las propiedades de la biomasa	13
3.3 Selección las fuentes de biomasa para la obtención de etanol	13
3.4 Construcción de un inventario de biomasa	13
3.5 Revisión de mercados.....	14
3.6 Construcción de un inventario de productos derivados del proceso de producción de etanol.....	14

3.7 Elaboración de la síntesis para un proceso de producción de etanol y productos derivados de biomasa.....	14
3.8 Evaluación de factibilidad económica.....	14
4. Resultados	15
4.1. Demanda de bioetanol.....	15
4.2. Análisis de las propiedades de la biomasa	15
4.3 Zonificación	17
4.3.1. Zona A	18
4.3.2. Zona B	18
4.3.3. Zona C	19
4.3.4. Zona D	20
4.3.5 Análisis comparativo de la Producción de Bioetanol en la Región	20
4.4. Diseño de la Planta: Zona A	21
4.4.1 Pretratamiento de la Materia Prima.....	22
4.4.1.1 Yuca	22
4.4.1.2 Maíz	22
4.4.1.3 Papa.....	22
4.4.1.4 Banano.....	23
4.4.2 Balance de Masa para la Etapa de Hidrólisis	23
4.4.3 Balance de Masa Fermentador.....	23
4.4.4 Balance de Masa para la Etapa de Destilación.....	23
4.4.5 Balance de Masa en el Tamiz Molecular.....	24
4.4.6 Obtención de Coproductos.....	24
4.4.6.1 Biogas.....	24
4.4.6.2 Acido Acético.....	25
4.5 Diseño de la Planta Zona C.....	25
4.5.1 Preparación de la Materia Prima (Caña Panelera).....	26
4.5.2 Preparación del Mosto para la Fermentación.....	26
4.5.3 Obtención de Etanol.....	27

4.5.4 Tratamiento de Vinazas.....	27
4.6 Especificaciones de los Equipos.....	28
4.7 Análisis de Prefactibilidad Económica.....	28
4.7.1. Planta de Bioetanol en la Zona A	28
4.7.1.1. Producción de Bioetanol mas Coproductos en La Zona A.....	29
4.7.1. Producción de Bioetanol en La Zona C.....	29
4.7.1. Producción de Bioetanol más Coproductos en la Zona C	30
5. Conclusiones	31
6. Bibliografía	32
Anexo A.....	36
Anexo B	44
Anexo C	52
Anexo D: Diseño y especificaciones de los equipos.....	63
Anexo E	73

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Etanol a partir de materias sacaroideas.....	4
Figura 2. Bioetanol a partir de materias amiláceas	9
Figura 3. Metodología del proyecto	12
Figura 4. Demanda de bioetanol en Colombia (L/día).....	15
Figura 5. Zonas de mayor producción de biomasa apta para obtener etanol.....	17
Figura 6. Producción de diversa materias primas para la obtención de bioetanol en la Zona A	18
Figura 7. Producción de diversa materias primas para la obtención de bioetanol en la Zona B	19
Figura 8. Producción de diversa materias primas para la obtención de bioetanol en la Zona C	19
Figura 9. Producción de diversa materias primas para la obtención de bioetanol en la Zona D.....	20
Figura 10. Producción estimada de bioetanol para cada las zonas identificadas	20
Figura 11. Diagrama de flujo de la planta para la producción de bioetanol en la zona A	21
Figura 12 Diagrama de producción de biogás	24
Figura 13 Diagrama de producción de Ácido Acético.....	25
Figura 14 Diagrama de producción de Bioetanol para la Zona C	26
Figura 15. Flujo neto de caja para la producción de bioetanol en la Zona A	28
Figura 16. Flujo neto de caja para la producción de bioetanol mas coproductos en la Zona A	29
Figura 17. Flujo neto de caja para la producción de bioetanol en la Zona C	30

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Tipos de digestión de materia orgánica.....	7
Tabla 2. Ventajas y desventajas de los reactores UASB.	7
Tabla 3. Condiciones de reacción para la producción de ácido acético.	8
Tabla 4. Comparación hidrólisis ácida Vs. Hidrólisis enzimática.....	11
Tabla 5. Propiedades y rendimientos de materias primas.....	16
Tabla 6. Condiciones de proceso para producción de etanol para diferentes materias primas.....	17
Tabla 7. Balance de masa de almidón para las materias primas bajo estudio en la zona A	22
Tabla 8. Balance de masa de azúcar y almidón para la planta de la Zona A.....	23
Tabla 9. Balance de masa fermentador	23
Tabla 10. Balance de masa global para las torres destilación.....	24
Tabla 11. Balance de masa para el tamiz molecular para la planta de la Zona A	24
Tabla 12. Balance de masa para el Reactor UASB para el tratamiento de vinazas en la planta de la Zona A	25
Tabla 15. Balance de masa para la molienda de la caña panelera en la Zona C.....	26
Tabla 16. Balance de masa para la preparación del mosto en la planta de la Zona C.....	27
Tabla 17. Flujo de Salida de Biogás	27

RESUMEN

Título: EVALUACIÓN DE LOS RECURSOS DE BIOMASA Y PROCESOS DE PRODUCCIÓN DE BIOETANOL Y CO-PRODUCTOS EN FUNCIÓN DE VARIABLES ECONÓMICAS, CLIMÁTICAS Y GEOGRÁFICAS DE LA REGIÓN NORORIENTAL DEL PAÍS*

Autores: Ariel Flórez González, Edwin Alberto Mora Nonsoque†

Palabras Clave: *biomasa, bioetanol, alcohol carburante, biomasa primaria, biomasa secundaria, acido acético.*

En estudios recientes que se han realizado en Colombia acerca de la producción nacional de petróleo muestran un paulatino desabastecimiento de crudos livianos como fuente energética, lo que produce la crisis petrolera actual. Debido a esta problemática se adoptó la Ley 693 de 2001 la cual contempla la producción de alcoholes carburantes, pero aun no se han realizado estudios donde se diversifique este producto a partir de diferentes tipos de biomasa y además la producción de otros productos (diferentes al bioetanol) que puedan obtenerse con el propósito de viabilizar este tipo de iniciativas en zonas del país diferentes al departamento del Valle del Cauca. En este trabajo se realiza un estudio de diferentes materias primas (caña panelera, maíz, yuca, papa, remolacha, banano, plátano) aptas para producir etanol en la zona nororiental del país (Comprendida por los departamentos de Boyacá, Santander y norte de Santander) así como el estudio de factibilidad económica que reporta la puesta en marcha de dos plantas de producción de etanol (Capacidades de 100 mil y 50 mil litros de bioetanol por día) a partir de dichas materias primas en la región así como la posibilidad de obtener coproductos de valor agregado como el acido acético.

* Proyecto de Grado

† Facultad de Ingenierías Físicoquímicas. Escuela de Ingeniería Química. Dir. Viatcheslav Kafarov

ABSTRACT

Title: EVALUATION OF BIOMASS RESOURCES AND PROCESS FOR THE BIOETHANOL PRODUCTION AND CO- PRODUCTS IN FUNCTION OF VARIABLES ECONOMICS, CLIMATIC AND GEOGRAPHICAL OF THE COUNTRY NORTHEASTERN REGION*

Authors: Ariel Flórez González, Edwin Alberto Mora Nonsoque†

Keywords: *biomass, bioethanol, fuel alcohol, primary biomass, secondary biomass, acetic acid.*

In recent studies that had been realized in Colombia about the national production of petroleum show a gradual reduction of light crude how energetic source, this produced the present petroleum crisis. Had to this problematic the country adopted the Law 639 of 2001, it contemplate the fuel alcohol production, but even it had not realized studies where diversify this product make a source the different biomass types and the production the other products (different to bioethanol) that it can obtain with the intention of make viable this type of initiatives in different zones to state Valle del Cauca. In this work was realized the study of the different raw materials (sugar cane, corn, beet, yucca, potato, banana) apt for the bioethanol production on the country northeastern region (included the states of Boyacá, Santander and Norte de Santander) and make the study of economic prefeasibility that report the start of two plants of bioethanol production (Capacities 100 thousand and 50 thousand liters of bioethanol per day) take a source the different raw materials in the region and the possibility to obtain coproducts to aggregate value how the acetic acid.

* Graduation Project

† Physicochemical faculty. Chemical Engineering School. Director: Viatcheslav Kafarov

1. INTRODUCCION

Desde el descubrimiento del potencial energético de los combustibles fósiles estos se han convertido en la principal fuente de energía, sin embargo, el hecho de ser recursos naturales no renovables hace que tengan un límite de agotamiento, lo anterior adicionado a la demanda siempre creciente de los mismos, ha llevado al alza en sus precios, la cual produce un impacto cada vez mas fuerte sobre la economía del país y del mundo.

Estudios recientes acerca de la producción nacional de petróleo muestran un paulatino desabastecimiento de crudos livianos como fuente energética, lo cual genera la una crisis petrolera actual. Esta situación puede verse en una reducción de la producción diaria de cerca de 522.000 de barriles de crudo, los cuales corresponden al nivel de producción de hace 10 años en donde según los datos reportados para el año 1994 correspondía a 519.500 barriles por día. En la actualidad se está comprando crudo para cubrir la demanda nacional de combustibles, lo que está llevando al país a pasar de productor a importador petróleo.

El aspecto ambiental de los procesos de generación de energía es también un punto crítico que debe ser analizado, puesto que el uso de combustibles fósiles es el principal precursor del calentamiento global debido a las altas emisiones de gases de invernadero, el smog y la polución presentada en las grandes ciudades convirtiéndose en una grave amenaza a la salud publica. La producción de fuentes de energía limpias a partir de los recursos de biomasa Colombiana como los biocombustibles es una alternativa que es apoyada por la **Ley 693 de 2001**. Así, al agregar etanol a la gasolina, se mejoran sus propiedades debido a que este funciona como aditivo oxigenando elevando su octanaje y obteniendo adicionalmente una combustión más limpia.

Con base en las premisas anteriores, en este trabajo se presenta el diseño conceptual y propone el montaje de 2 plantas productoras de bioetanol como alcohol carburante, para la zona nororiental del país comprendida por los departamentos de Norte de Santander, Santander y Boyacá.

Esta propuesta está basada en una selección adecuada de los recursos existentes de biomasa en la región, no solamente para la producción de alcohol combustible sino también de co-productos de alto valor agregado, como base para impulsar la creación de nuevas industrias integrales buscando el desarrollo social y económico de esta zona del país.

En éste trabajo se realizó el diseño básico de dos plantas de producción de bioetanol a partir de diferentes materias primas en distintos lugares de la región nororiental del país, cada una de ellas con una capacidad de producción base de 50 y 100 mil litros de etanol diarios, junto con la producción secundaria de 15.480 y 17.820 litros de ácido acético diarios y de efluente líquido apto como abono orgánico (23 y 34 mil kilogramos respectivamente).

2. PRODUCCIÓN DE BIOETANOL Y COPRODUCTOS A PARTIR DE BIOMASA

2.1 Biomasa

La biomasa es la materia orgánica de la cuál se puede obtener energía. De esta se pueden diferenciar 2 tipos: la biomasa primaria compuesta por los cultivos agrícolas y la biomasa secundaria compuesta por los residuos agrícolas y forestales, la fracción orgánica de los residuos sólidos municipales, entre otros.

En la biomasa primaria se pueden diferenciar 2 tipos de materia prima: las sacaroideas que tienen gran cantidad de carbohidratos en forma de azúcares simples y las amiláceas en las cuales el principal carbohidrato es el almidón. En la biomasa secundaria se encuentran las materias primas lignocelulósicas que contienen los carbohidratos en forma más compleja.

La producción de bioetanol se realiza mediante fermentación de un jugo rico en azúcares (glucosa, fructosa) por lo tanto cualquier materia prima que contenga carbohidratos que puedan ser transformados en glucosa es potencialmente apta.

2.2 Bioetanol

El bioetanol es el alcohol etílico obtenido por fermentación de materias orgánicas, se le llama así para diferenciarlo del alcohol obtenido por hidratación del etileno producido tradicionalmente en las refinerías.

2.2.1 Etanol a partir de materias primas sacaroideas

Este proceso se representa esquemáticamente en la figura 1.

2.2.1.1 Preparación de la materia prima

La materia prima se pasa por un molino (de rodillos en caso de la caña), para realizar la extracción de los jugos azucarados, estos jugos pasan por un proceso de sedimentación y filtración para remover las impurezas que puedan tener.

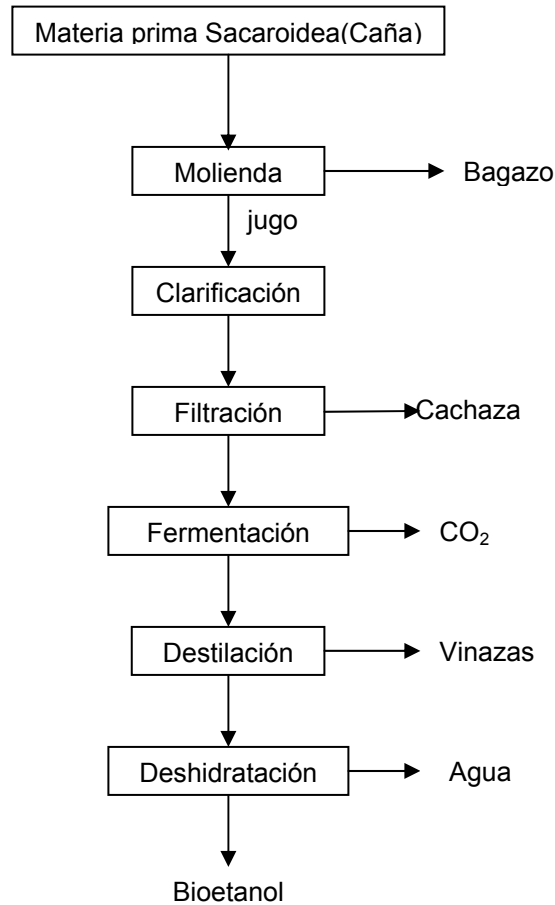
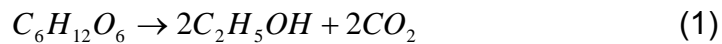


Figura 1. Etanol a partir de materias sacaroideas

2.2.1.2 Fermentación directa

Los jugos clarificados van a un tanque donde se le adiciona la levadura (*saccharomyces cerevisiae*) posteriormente se llevan a los fermentadores donde se les controla el pH (4-4.5) y la temperatura (30-35 °C). Allí se produce el etanol alcanzándose una concentración de aproximadamente 10% en volumen, además de otras sustancias como el glicerol, y otros alcoholes en menor proporción (Bu'lock et al. 1987). Adicionalmente en el proceso se genera CO₂ en la misma

proporción que el etanol, el cual es un gas de efecto invernadero y potencialmente puede ser usado para la obtención de productos de mayor valor agregado. La reacción general de fermentación está dada por la siguiente ecuación:



2.2.1.3 Destilación

La corriente que sale del fermentador se le conoce como mosto fermentado, este se lleva a la parte superior de una columna de platos a la cual entra vapor a alta temperatura (140 grados centígrados), esto con el fin de obtener una corriente gaseosa de composición de etanol aproximadamente de 50% en masa, esta corriente es alimentada por el fondo de una torre de destilación donde se hace el primer fraccionamiento de la mezcla que en su mayoría es etanol-agua, los fondos de esta torre pasan a una segunda torre de donde se termina de hacer la separación obteniéndose corrientes de destilados con concentraciones de etanol muy cercanas al punto azeotrópico. Los fondos de la primera y última torre componen las vinazas del proceso y estas se recolectan y llevan al sistema de tratamiento y para la producción de biogás.

2.2.1.4 Deshidratación

La corriente etanol-agua que sale de las torres de destilación se lleva a una torre empacada con zeolita (Aluminosilicato 3 A) para realizar una deshidratación ya que esta funciona como tamiz molecular dejando una corriente de etanol prácticamente puro.

2.2.1.5 Tratamiento de las vinazas

El nivel de contaminación de un efluente líquido está relacionado con la materia orgánica que este contenga, la cual se mide en términos de la DBO (demanda

biológica de oxígeno) o de la DQO (demanda química de oxígeno). Para hacer un estimativo de este problema se puede decir que un habitante en una ciudad produce 70 g de DBO por día, si la vinaza contiene aproximadamente 70 g l⁻¹ de DBO y si por cada litro de etanol se produce alrededor de 10 litros de vinaza, una planta de 100 mil litros diarios contaminara igual que 1 millón de personas. Debido a esto es necesaria la realización de un tratamiento biológico a estos efluentes con la intención de reducir esta carga orgánica. Por otra parte de acuerdo con el proceso que se aplique se pueden generar productos de interés comercial como abono orgánico o biogás.

2.2.1.5.1 Digestión de materia orgánica

Existen en general dos tipos de tratamientos usados para las vinazas, los aerobios y los anaerobios. En el primero a los microorganismos involucrados se les debe suministrar una cantidad de oxígeno mínima para desarrollarse y digerir la materia orgánica, mientras que en el segundo se puede prescindir totalmente del oxígeno pues los microorganismos no lo necesitan. En la tabla 1 se muestra un cuadro comparativo con las principales características de los dos métodos.

Debido a la gran carga orgánica que se espera por parte de las vinazas y a la posibilidad de producir biogás el tratamiento anaerobio se prefiere frente al aerobio.

El diseño del bioreactor para el tratamiento de las vinazas es un paso importante y considerando las posibilidades existentes en este tema se optó por diseñar un reactor tipo UASB el cual presenta altos rendimientos en los casos en que la demanda de DQO es alta. En la tabla 2 se exponen algunas de las ventajas y desventajas que ofrecen este tipo de bioreactores.

Parámetro	Aerobio	Anaerobio
DQO entrada removida	<1500	>1500
Estado de la biomasa	Floculenta	Granular
Formación de biomasa[Kg/Kg DQO eliminada]	0.7	0.02
Carga volumétrica [Kg/m ³ dia]	0.3-0.7	10-30
Relación DBO/N/P	100/5/1	1000-350/5/1
Rendimiento	90-95%	80-85%
Formación de biogás	No	Si
Superficie requerida	Grande	pequeña
Control de pH	Según los casos	Imprescindible
Parada de un reactor	Obliga a vaciar y arrancar de nuevo si es por cierto tiempo	La biomasa puede durar parada durante meses
Arranque del reactor	Rápida sin necesidad de aporte de biomasa externa	Lenta y requiere de aporte de biomasa externa

Tabla 1. Tipos de digestión de materia orgánica.

Ventajas	Desventajas
<ul style="list-style-type: none"> • Fango con mejor capacidad de espesamiento. • Se pueden aplicar cargas altas por mantener altos SS. • Menor necesidad de nutrientes • No necesita aireación. • Producción de metano. • Menor producción de fango • El fango producido es fácilmente deshidratable. • El fango está muy estabilizado. 	<ul style="list-style-type: none"> • A temperatura ambiente el proceso ocurre muy lentamente. Requiere temperaturas superiores • Requiere separación gas-fango • Fango con peor clarificación • Recuperación más lenta frente a compuestos tóxicos • Es más sensible frente a cambios operacionales de carga y caudal y cambios ambientales como pH y temperatura • La puesta en marcha es muy lenta debido a la baja tasa de crecimiento de los microorganismos • En algunos casos es un pretratamiento, y antes de verter necesita un post tratamiento • Menos favorable económicamente a pequeña escala (economía de escala) • Menos favorable para bajas concentraciones de DBO5 • En general tecnología más compleja. En consecuencia, mayores costos de inversión

Tabla 2. Ventajas y desventajas de los reactores UASB.

Al usar el proceso de digestión anaerobia se obtiene un producto de valor agregado como el biogás que además de usarse como combustible se puede usar como materia prima para obtener otros adicionales.

2.2.1.6 Obtención de coproductos

Algunos productos de valor agregado se pueden producir a partir de los llamados desechos habituales (vinaza, CO₂) de la producción de bioetanol como por ejemplo el ácido acético, abono orgánico, metanol, furfural, etileno, etc. De los antes mencionados se escogió el ácido acético puesto que es posible sintetizarlo con base en los compuestos que se obtienen durante el proceso de producción de etanol y, además es un producto que posee un alto valor en el mercado de la industria química y de alimentos.

2.2.1.6.1 Obtención de ácido acético

El proceso de producción de ácido acético se diseñó según lo propuesto por Indala et, al, los cuales proponen la obtención del ácido a partir de la siguiente reacción:



La reacción a condiciones normales se ve desfavorecida por el equilibrio, sin embargo a las condiciones de operación propuestas se logra una significativa conversión de metano, debido a que al llevar a cabo este proceso a alta presión se logra favorecer la aparición de productos bajo el principio de Le Chatelier. Las condiciones propuestas por Indala et, al se muestran en la tabla 3.

Materias primas	Metano Dióxido de carbono
Conversión de metano	97%
Catalizador	VO(acac) ₂ (acac: acetilacetato),
Presión (bar.)	25
Temperatura (K)	350
Exceso de CO ₂	80%

Tabla 3. Condiciones de reacción para la producción de ácido acético

2.2.2 Etanol a partir de materias primas amiláceas

2.2.2.1 Preparación de la materia prima

Los pasos de preparación de la materia prima son similares a los expuestos para las materias sacaroideas y se presentan en la figura 2.

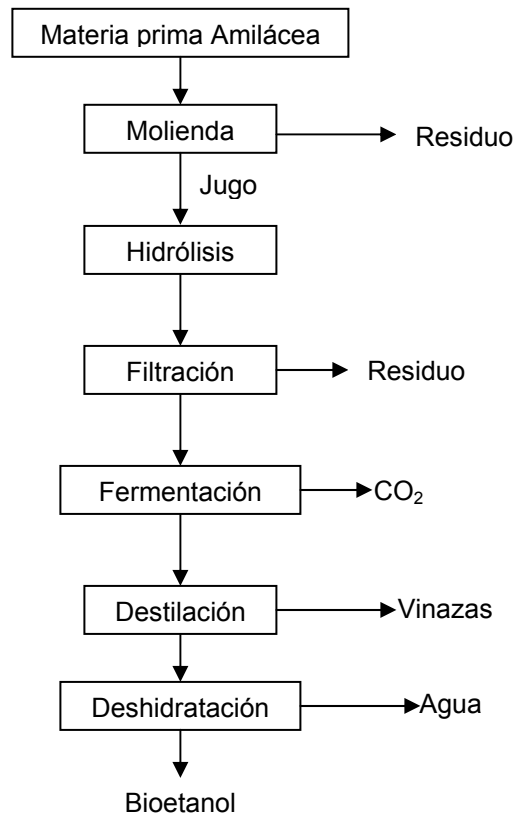
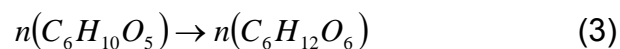


Figura 2. Bioetanol a partir de materias amiláceas

2.2.2.2 Hidrólisis

La hidrólisis de los almidones es básicamente la destrucción de las cadenas poliméricas que forman estos compuestos en moléculas de maltosa dextrinas y otros azúcares. La hidrólisis de los almidones se puede resumir en la siguiente reacción:



Al efectuarse la hidrólisis se pueden producir diferentes reacciones paralelas indeseables, lo cual depende del tipo de catalizador usado, si es un ácido o una enzima. En general al usar ácido las reacciones se dan de manera mas rápida, sin embargo se multiplican las reacciones secundarias.

Previamente al proceso de hidrólisis el almidón debe someterse a un calentamiento a unos 62 grados centígrados, esto con el fin de permitir la gelatinización del almidón y lograr hacer más accesible la amilasa y la amilopeptina al catalizador de hidrólisis.

2.2.2.2.1 Hidrólisis ácida

En este caso el catalizador de la hidrólisis es un ácido, después de la reacción el ácido se neutraliza y se recupera del producto mediante lavado y posterior desecación. El rendimiento de la reacción depende de la concentración de ácido, el pH y la temperatura. Los ácidos mas comúnmente usados son el clorhídrico y el sulfúrico. La reacción de hidrólisis es endotérmica, y el control de la temperatura debe ser eficiente con el fin de minimizar la ocurrencia de reacciones secundarias.

2.2.2.2.2 Hidrólisis enzimática

Este tipo de hidrólisis se usa cuando se desea una alta selectividad del producto (glucosa), las enzimas usadas en este tipo de hidrólisis son la α -amilasa y la gluco-amilasa. Posterior a la hidrólisis se prosigue con la fermentación del hidrolizado, y en adelante el proceso es similar al descrito para las materias sacaroideas. En la tabla 4 se muestra un cuadro comparativo de los diferentes tipos de hidrólisis.

Tipo	Ventajas	Desventajas
Enzimática	<ul style="list-style-type: none"> • Alta selectividad • Condiciones de operación moderadas • Menor uso de almacenamientos de sustancias tóxicas. 	<ul style="list-style-type: none"> • Necesita altos tiempos de reacción. • Se requiere un óptimo control de sus condiciones de operación. • Se necesita desactivar las enzimas antes de continuar con etapas posteriores en el proceso.
Ácida	<ul style="list-style-type: none"> • Proceso conocido. • Aplicable a cualquier tipo de materia prima. • Maneja tiempos cortos de reacción. • Es más flexible en cuanto a sus condiciones de operación y control. 	<ul style="list-style-type: none"> • Poco selectivo. • Se requiere un manejo más delicado en sus subproductos. • Se necesita neutralizar el medio para continuar el proceso.

Tabla 4. Comparación hidrólisis ácida Vs. Hidrólisis enzimática.

3. METODOLOGÍA ADOPTADA PARA LA EVALUACIÓN DE LOS RECURSOS DE BIOMASA Y PRODUCCIÓN DE BIOETANOL Y COPRODUCTOS PARA LA ZONA NORORIENTAL DEL PAÍS

Estas etapas se describen en la figura 3.

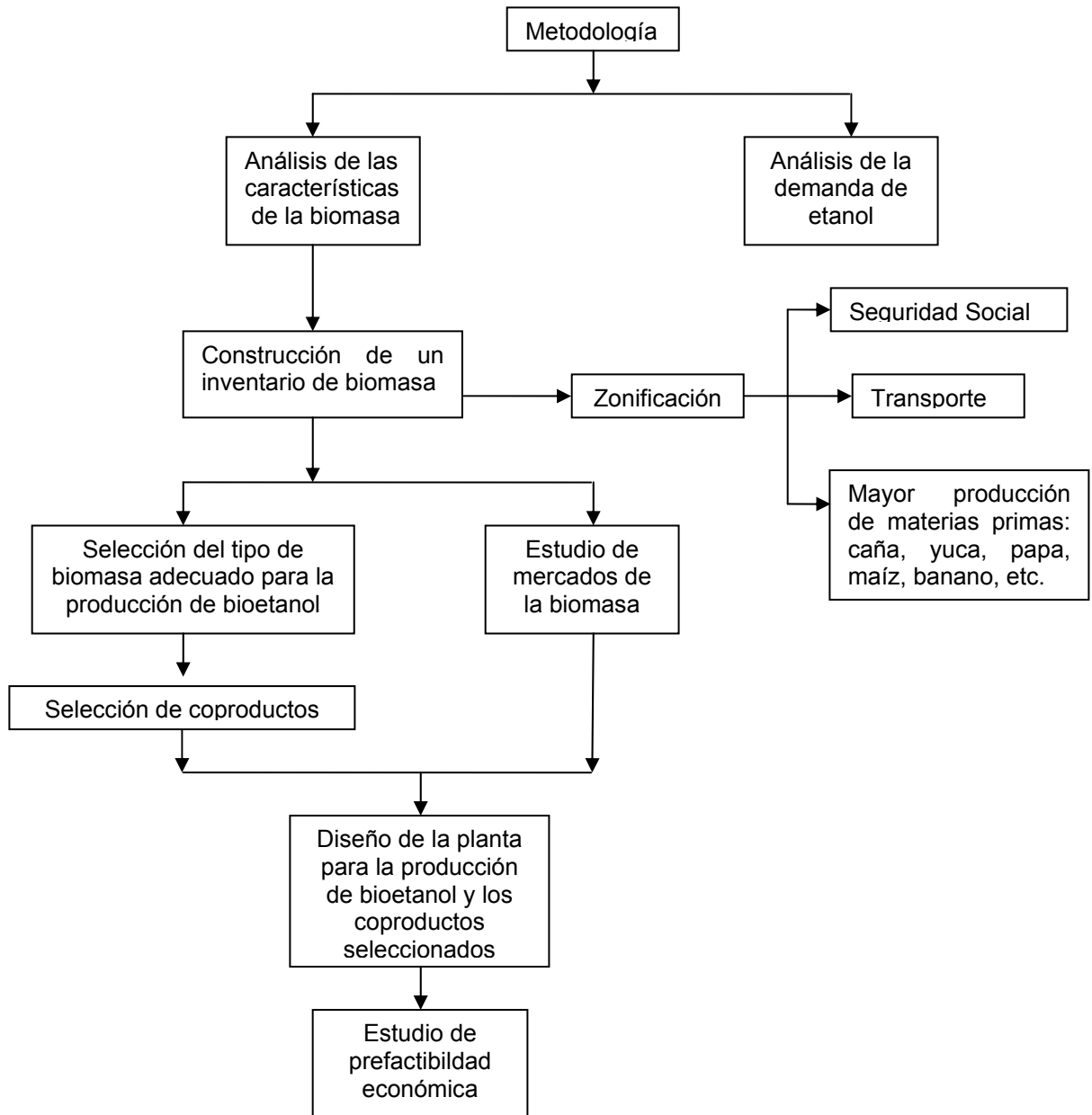


Figura 3. Metodología del proyecto

3.1 Evaluación de demanda de bioetanol en Colombia.

La demanda de etanol en el país se proyectó para las ciudades con una población mayor a 500 mil habitantes, esta demanda está representada en la cantidad de etanol requerida para adicionar a la gasolina en estos lugares, en una mezcla de 10% etanol-gasolina.

3.2 Análisis de las propiedades de la biomasa

En esta etapa se tuvo en cuenta el contenido de azúcares fermentables, el contenido de almidón, las condiciones de proceso y el rendimiento obtenido en la producción de etanol dado por diversas fuentes de biomasa primaria.

3.3 Selección de las fuentes de biomasa para la obtención de etanol

Con base en las características definidas previamente, se seleccionaron las fuentes de biomasa que se encontraran dentro de la región de estudio y que presentaran mejor producción y rendimiento para la producción de bioetanol.

3.4 Construcción de un inventario de biomasa

Para la creación del inventario de biomasa se utilizaron diferentes fuentes entre las que se encuentran las organizaciones Gubernamentales tales como el Dane (Departamento Administrativo Nacional de Estadística) y el Ministerio de Agricultura. Este inventario se basó en las hectáreas cultivadas para el año 2005 así como de la producción en toneladas para cada materia prima y cada departamento.

3.5 Revisión de mercados

El estudio se enfocó en como se afecta la oferta de la materia prima al ser estos productos de consumo básico en la canasta familiar. Los resultados de estas investigaciones se basaron en datos publicados por el ministerio de agricultura para las diferentes materias primas. Estos datos se muestran en el anexo A.

3.6 Construcción de un inventario de productos derivados del proceso de producción de etanol

Se analizó la posibilidad de producción que tienen varios co-productos que se generan durante el proceso de obtención de etanol, con base en las posibilidades tecnológicas existentes necesarias para su producción. Estos datos se muestran en el anexo B.

3.7 Síntesis de un proceso de producción de etanol y productos derivados de biomasa

Con base en las fuentes de biomasa elegidas para la obtención de etanol, y en los co-productos factibles, se diseñó un proceso conjunto para el mejor aprovechamiento tanto de las materias primas como de los subproductos originados en todo el proceso.

3.8 Evaluación de factibilidad económica

Se realizó un estudio de factibilidad económica para las dos plantas diseñadas aplicando conceptos de economía y finanzas (Peters, capítulo 6, 7, 9).

4. RESULTADOS

4.1. Demanda de bioetanol

La demanda de bioetanol se tomó para las ciudades con una población mayor a 500 mil habitantes (Figura 4). Estos datos se refieren a la cantidad de etanol que necesitan estas ciudades para adicionar a la gasolina al entrar en vigencia la ley 693 de 2001.

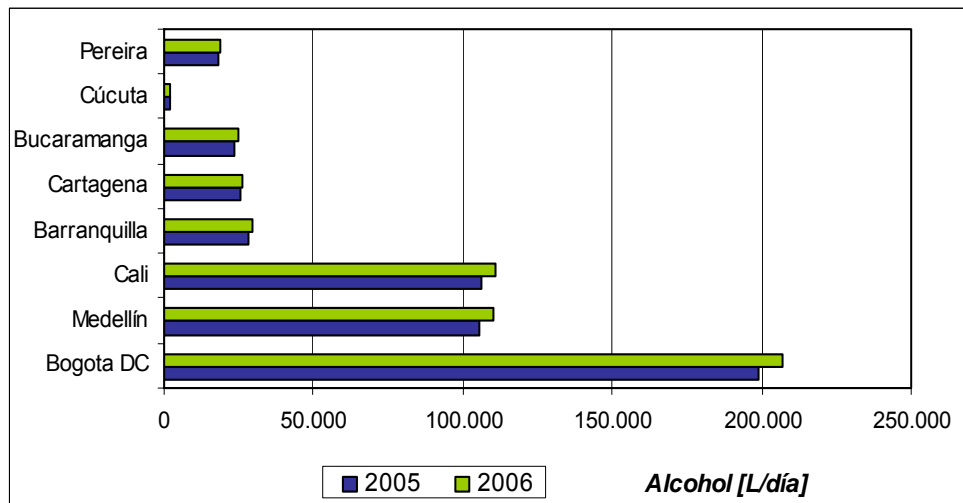


Figura 4. Demanda de bioetanol en Colombia (L/día)

4.2. Análisis de las propiedades de la biomasa

Al analizar de manera global las características de la biomasa mas recomendable para la producción de etanol (tabla 5), se observa que el rendimiento de etanol a partir de maíz y de yuca es mayor al de la caña, sin embargo es la facilidad en el proceso de producción de etanol de la caña lo que hace que ésta materia prima sea la usada preferentemente, sin embargo en un diseño integrado (bioetanol y coproductos) la producción de etanol a partir de yuca o de maíz puede llegar a dar resultados factibles.

Biomasa primaria						
	Caña	Remolacha	Banano	Papa	Maíz	Yuca
Rendimiento de cultivo [Ton/ha]	17.0	17.73	33.67	16.43	2.9	10.475
% azúcares	19.30	18.27	16.8			
% almidón			30	16	70	45
Rendimiento[Letanol/h]	70	120	82	125	400	170
Clasificación	Sacaroidea		Amiláceas			
Tecnologías aplicadas	Fermentación		Hidrólisis y fermentación			

1. Fuente: Encuesta Nacional Agropecuaria. DANE 2003.
2. Fuente: Parsons, C, Banqueth, E. 2004
3. Fuente: Thompson, R. Campbell, S. 2005
4. Fuente: Ariza, M. Forero, M. 1978

Tabla 5. Propiedades y rendimientos de materias primas

Comparativamente con respecto otras materias primas sacaroideas, la caña de azúcar tiene un rendimiento un poco menor que el de la remolacha para la producción de bioetanol, sin embargo, el proceso de obtención de etanol a partir de la caña es mas económico, por lo que se considera utilizar mejor este tipo de biomasa. Además, el proceso para la separación de azúcar de la caña es más fácil y mucho más económico que el empleado en el caso de la remolacha (lixiviación).

Al considerar las condiciones de proceso que se reportan para la producción de etanol a partir de diferentes materias primas (Tabla 6), se ve que aunque los rendimientos difieren de manera considerable no es así con los parámetros de operación (temperatura, pH, tiempo de proceso, etc.) que siguen estos procesos, lo cual favorece la posibilidad de diseñar un proceso que se ajuste a estos parámetros y que a su vez produzca resultados semejantes a los obtenidos para cada materia prima de manera individual.

Biomasa primaria										
Condiciones de proceso	Caña	Remolacha	Papa		Yuca		Banano		Maíz	
	F	F	H	F	H	F	H	F	H	F
Temperatura [°C]	30	27	63	27	25	31	60	26	62	28
pH	4.21	4.4	5.2	4.6	5.5	5	5.5	4.5	5.3	4.3
Tiempo [h]	40	60	1	42	1.08	60	1	1	1	55
Concentración [g/l]	14	11	148	12 ♦	50	16	51.28	100	152	10*

* Este dato está dado en peso/ volumen

H: Hidrólisis

F: Fermentación

1. Fuente: Rolz, C. De Cabrera, S.1980.
2. Fuente: Thompson, R. Campbell, S. 2005.
3. Fuente: Castro, J. Pérez, S. 1979.
4. Fuente: Parsons, C, Banqueth, E. 2004
5. Fuente: Ariza, M. Forero, M. 1978
6. Fuente: Kim, S., Dale, B. 2003.

Tabla 6. Condiciones de proceso para producción de etanol para diferentes materias primas

4.3 Zonificación

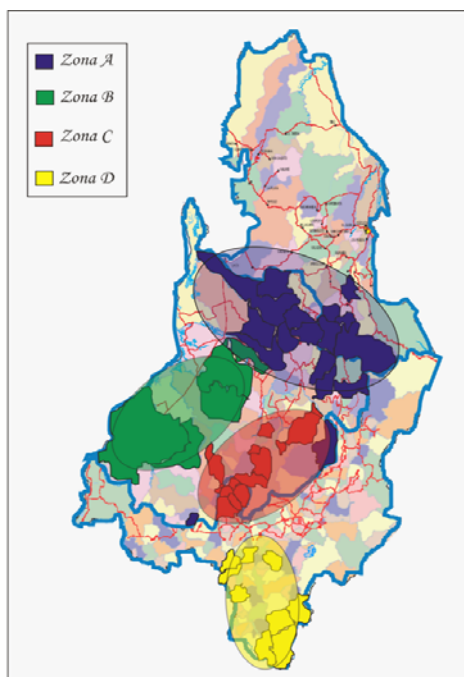


Figura 5. Zonas de mayor producción de biomasa apta para obtener etanol

En el estudio realizado en los tres departamentos de interés (Boyacá, Santander y Norte de Santander) se tuvieron en cuenta los datos reportados por el Ministerio de Agricultura del año 2005 para cada departamento, con base en los cuales se identificaron 4 zonas donde existe una producción de biomasa significativa para la producción de etanol, estas se destacan en la figura 5.

4.3.1. Zona A

Ubicada en la ciudad de Pamplona y alrededores muestra que el cultivo más abundante es la papa. Esta región tiene buenas carreteras lo que permite un transporte, y no tiene muchos problemas de orden público. En la figura 6 se aprecia la producción de diversas materias primas para obtención de bioetanol en esta zona.

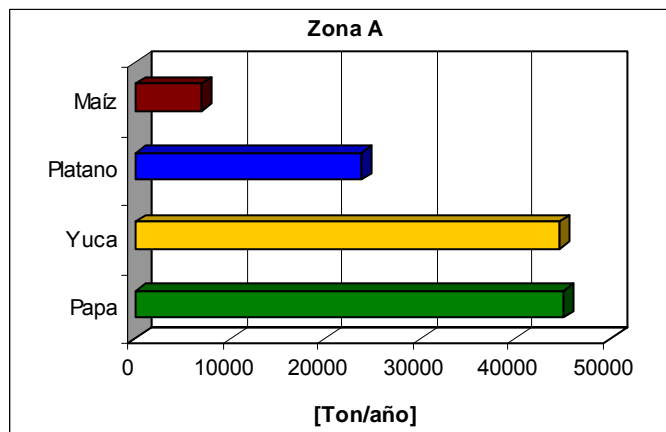


Figura 6. Producción de diversa materias primas para la obtención de bioetanol en la Zona A

4.3.2. Zona B

Ubicada en la zona de Barrancabermeja, Puerto Wilches y alrededores, El cultivo más abundante es el plátano lo cual se aprecia en la figura 7. Esta zona presenta como desventaja los problemas de orden público y la infraestructura vial no es muy buena por lo que los costos de transporte se aumentarían.

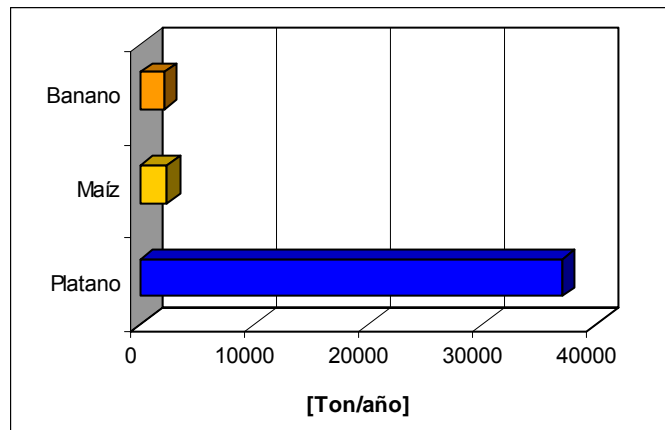


Figura 7. Producción de diversa materias primas para la obtención de bioetanol en la Zona B

4.3.3. Zona C

Ubicada en la Hoya del Río Suárez, en el municipio de Chitaraque (Boyacá) y alrededores, en la cual el cultivo por excelencia es la caña panelera como se muestra en la figura 8. Su infraestructura vial es buena. La dificultad más grande es llevar la caña a centros de recolección debido a la topografía irregular del terreno para luego ser llevados a la planta productora de bioetanol.

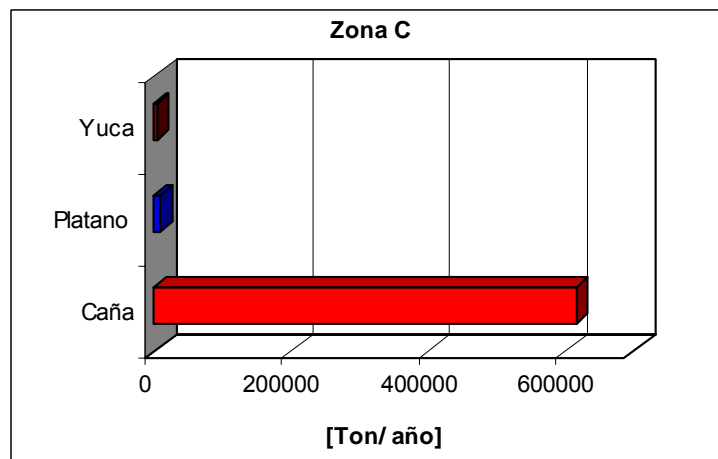


Figura 8. Producción de diversa materias primas para la obtención de bioetanol en la Zona C

4.3.4. Zona D

Ubicada en la parte baja del departamento de Boyacá, es una zona de clima frío, que favorece la producción de papa como se muestra en la figura 9, aunque su infraestructura vial es aceptable, el bajo nivel en volumen de producción de materias primas para la producción de bioetanol es el mayor inconveniente que posee.

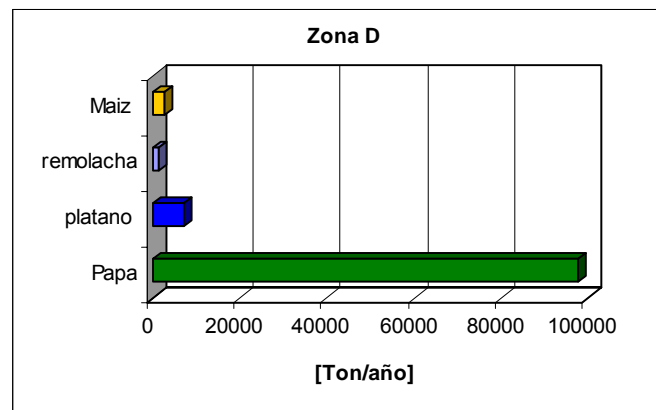


Figura 9. Producción de diversa materias primas para la obtención de bioetanol en la Zona D

4.3.5 Análisis comparativo de la Producción de Bioetanol en la Región

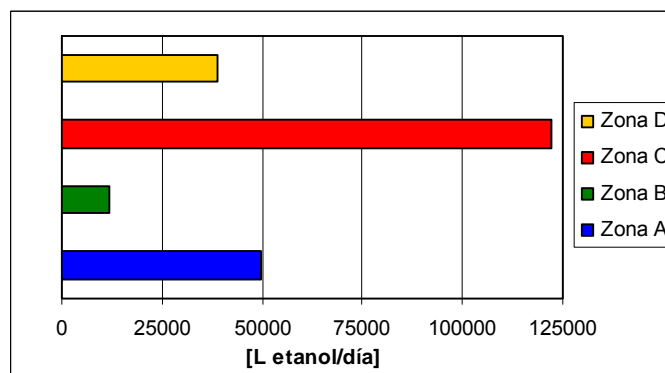


Figura 10. Producción estimada de bioetanol para cada las zonas identificadas

De las zonas identificadas y descritas anteriormente se seleccionan dos, la zona A y la zona C puesto que reúnen las mejores condiciones para el montaje de las

plantas, como disponer de las mayores cantidades de materia prima en producción y poseer los menores problemas de transporte. En estas dos zonas es donde se propone la ubicación de las plantas para la producción de bioetanol.

4.4. DISEÑO DE LA PLANTA: ZONA A

En esta zona se propone el diseño de una planta que aproveche la diversidad de materias primas existentes, esto con el fin de cumplir el objetivo de producir 50 mil litros de etanol diarios y dar flexibilidad a la planta en cuanto a los insumos necesarios para su operación. Un esquema De esta planta se muestra en la figura 10.

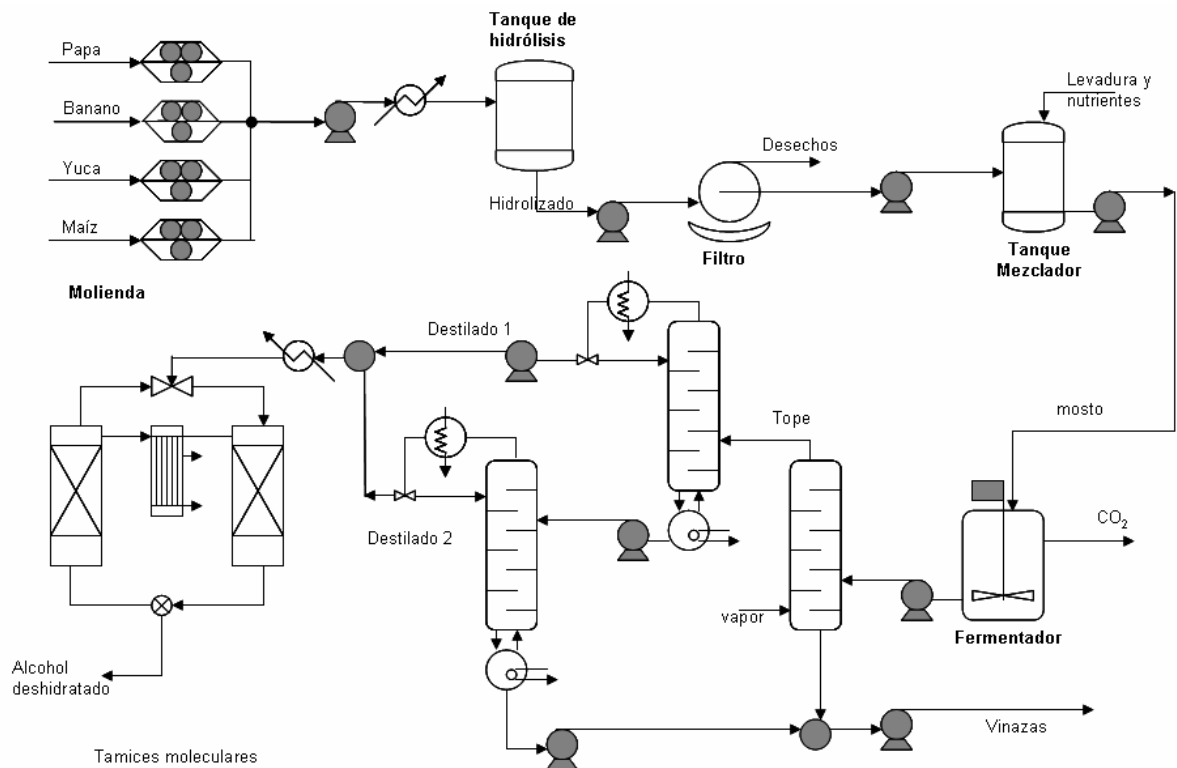


Figura 11. Diagrama de flujo de la planta para la producción de bioetanol en la zona A

El diseño de la planta se realizó de acuerdo con el proceso descrito para la producción bioetanol a partir de materias primas amiláceas.

4.4.1 Pretratamiento de la materia prima

Las materias primas amiláceas necesitan de tratamientos previos a la fermentación, en general siguen un esquema que difiere en los equipos usados para cada una de ellas. En la tabla 7 se muestra el balance de masa de almidón para cada materia prima, que se obtienen al realizar los pasos de molienda y separación del almidón.

Materia Prima	Almidón	
	Entrada [Kg/h]	Salida [Kg/h]
Yuca	2297,22	1776,79
Maíz	553,52	553,52
Papa	1389,82	1097,96
Banano	565,98	448,63

Tabla 7. Balance de masa de almidón para las materias primas bajo estudio en la zona A

4.4.1.1 Yuca

La yuca se corta, pela y ralla en tres diferentes equipos, luego se tamiza y sedimenta para realizar la extracción del almidón y posteriormente llevarlo a hidrólisis. En el anexo C se muestran los balances de masa para el tratamiento de la yuca en esta zona.

4.4.1.2 Maíz

Para el caso del maíz se usa un molino de martillos para pulverizarlo y luego agregar agua para la extracción del almidón. El balance de masa para el pretratamiento de esta materia prima se muestra en el anexo C

4.4.1.3 Papa

Para la papa el proceso es similar al de la yuca, esta se corta, pela, ralla y luego se tamiza y sedimenta para la extracción del almidón. El balance de masa para el pretratamiento de esta materia prima se muestra en el anexo C

4.4.1.4 Banano

El banano se lleva a una despulpadora la cual tiene un 80% de eficiencia. El balance de masa para el pretratamiento de esta materia prima se muestra en el anexo C

4.4.6 Balance de masa para la etapa de hidrólisis

Este balance corresponde al tanque preparador, hidrólisis, filtro, evaporador y tanque preparador. El rendimiento de la hidrólisis del almidón para la conversión a azúcar es de 96% (Ver tabla 8). Estos balances se muestran en el anexo C.

	Entrada [Kg/h]	Salida [Kg/h]
Almidón	3756,2	150,25
Azucres	0	3425,65

Tabla 8. Balance de masa de azúcar y almidón para la planta de la Zona A

4.4.7 Balance de masa fermentador

En el fermentador la conversión de azúcar en alcohol es de 0.49 kg de alcohol por kg de azúcar fermentable. Sin embargo el parte del azúcar que entra se convierte en otros productos como ácido acético, glicerol pero en mucha menor proporción En la tabla 9 Se presenta el balance para azúcar fermentable y etanol. En el anexo C se encuentra el balance total del fermentador.

	Entrada [kg/h]	A destilar [Kg/h]
Azucres	3425,65	11,3195496
Etanol	0	1646,45827

Tabla 9. Balance de masa fermentador

4.4.4. Balance de masa para la etapa de destilación

En la tabla 10 se muestran los resultados globales del sistema de destilación. En la cual el mosto ingresa con una composición del 6% (p/p) de etanol, y el destilado se obtiene con una composición del 91% (p/p).

	Entrada [Kg/h]	Salida [Kg/h]
Mosto	23047	0
vinazas	0	25489,35
Destilado	0	2657,1
Vapor	5099,45	0

Tabla 10. Balance de masa global para las torres destilación

4.4.5. Balance de masa en el tamiz molecular

El tamiz molecular es una torre empacada con zeolita (Aluminosilicato, 3A) en la cual queda retenida el agua al atravesarla la corriente gaseosa de destilado proveniente de las torres. Esta técnica se utiliza en lugar de romper el azeótropo con benceno u otro hidrocarburo (ciclohexano) debido a su alta toxicidad. En el tamiz molecular se alcanza una concentración final de etanol de 99.6% (v/v).

	Entrada [Kg/h]	Salida Etanol [Kg/h]	Salida agua[Kg/h]
Etanol	2417,961	2417,961	0
Agua	239,139	2,55	236,59

Tabla 11. Balance de masa para el tamiz molecular para la planta de la Zona A

4.4.6 Obtención de coproductos

4.4.6.1 Biogás

Las corrientes de fondos que salen de las torres de destilación son reunidas y llevadas a un intercambiador de calor donde se les disminuye la temperatura a 30°C, antes de introducir las en el reactor UASB para la digestión anaerobia.

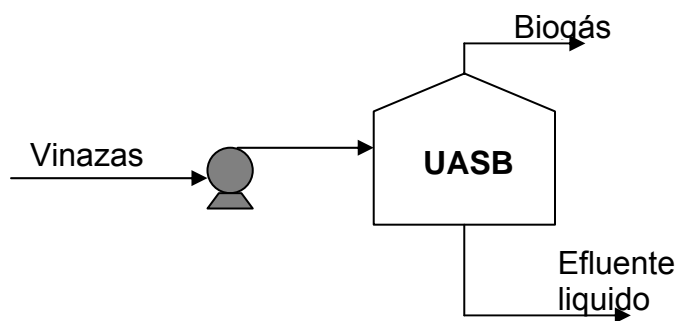


Figura 12. Diagrama de producción de biogás

	Entrada [Kg/h]	Salida biogás [Kg/h]	Salida efluentes [Kg/h]
vinazas	25489,35	-----	-----
biogás	-----	390,83	-----
efluentes	-----	-----	25098,52

Tabla 12. Balance de masa para el Reactor UASB para el tratamiento de vinazas en la planta de la Zona A

4.4.6.2 Ácido acético

El CO₂ producido en la etapa de fermentación se purifica con el empleo de un lecho de carbón activado, luego junto con la corriente de biogás que se obtiene del bioreactor UASB se procesan a ácido acético. Este proceso se esquematiza en la figura 12.

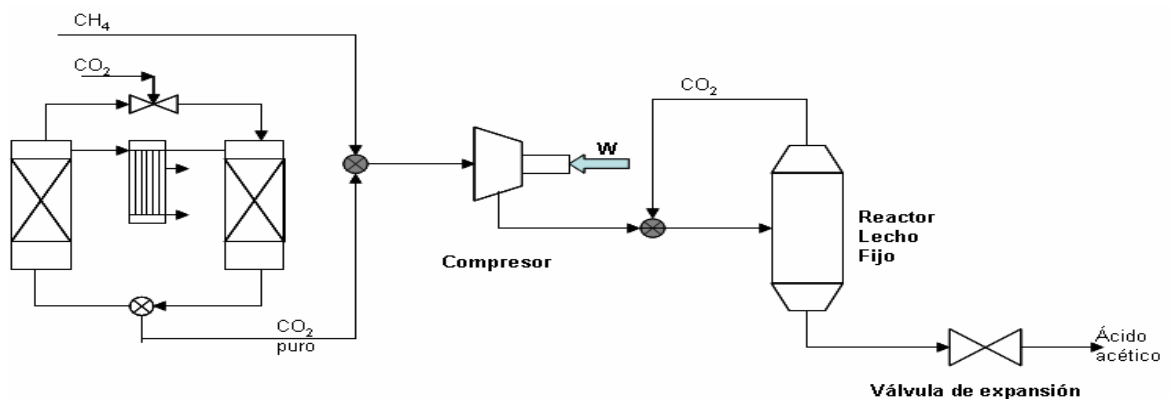


Fig. 13 Diagrama de producción de Ácido Acético

4.5 DISEÑO DE LA PLANTA ZONA C

Para la zona C se propuso el diseño de una planta de producción de bioetanol a partir de caña, cambiando un poco el proceso debido a que es necesario el proceso de la hidrólisis como en el caso de las materias primas amiláceas. El proceso se muestra en la figura 13.

4.5.1 Preparación de la materia prima (caña panelera)

Para el caso específico de la caña, esta se pasa a través de un sistema de 6 rodillos donde se obtiene una eficiencia en la extracción del jugo de un 93%. En la tabla 15 se muestra el balance de masa global para la molienda. En el anexo C se muestra el balance para cada molino.

	Entrada [Kg/h]	Salida jugo[Kg/h]	Salida Bagazo [Kg/h]
jugo	36850	34270,5	2579,5
solidos	30150	8910,33	21239,67

Tabla 15. Balance de masa para la molienda de la caña panelera en la Zona C.

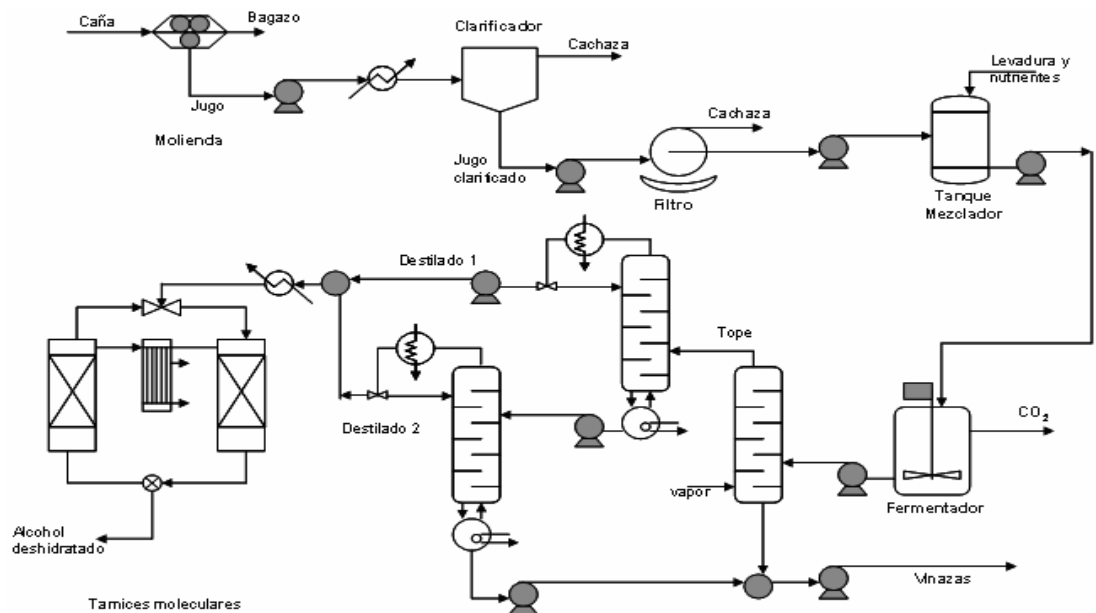


Figura 14. Diagrama de producción de Bioetanol para la Zona C

4.5.2 Preparación del mosto para la fermentación

El jugo después de la molienda se clarifica, y filtra con el fin de retirar la cachaza y otros residuos sólidos que pueda contener, luego se lleva a un tanque en el cual se le agregan los nutrientes y la levadura necesaria para la fermentación, de este sale una corriente conocida con el nombre de mosto. En este proceso la sacarosa se hidroliza a azúcares más simples como la glucosa y la fructosa. En la tabla 16

se muestra el balance de masa global para el sistema descrito anteriormente. El balance de masa para cada uno de los equipos se muestra en el anexo C.

	Entrada	mosto	Residuos
Agua	27759,105	26949,57	809,535
Azucares	6854,1	6737,392	116,708
Levadura	1,343	1,343	0
nutrientes	5,141	5,141	0
Sólidos	30150	0	30150

Tabla 16. Balance de masa para la preparación del mosto en la planta de la Zona C

4.5.3 Obtención de etanol

Los balances de masa para el fermentador, el sistema de torres de destilación, deshidratación, así como para el tratamiento de vinazas y la producción de ácido acético para la Zona C se muestran en el anexo C.

4.5.4 Tratamiento de vinazas

El tratamiento se diseñó en un Reactor UASB debido a que es una tecnología conocida, además sus costos son menores debido al no consumo de oxígeno y la producción de metano el cual es una materia prima de la cual se pueden obtener productos de valor agregado. Las especificaciones y la nomenclatura se encuentran en el Anexo C. Los datos para calcular la cantidad de biogas que se produce en el biorreactor en la zona c se muestran a continuación:

$$DQO = 47,03 \quad V_v = 25,53 \quad DQO_r = 960,67 \quad Qb = 288,22$$

Componente	Flujo másico (Kg/h)
Metano	182,46
CO₂	207,88
Hidrogeno	0,15
CO	0,11
Oxigeno	0,07
Acido Sulfhídrico	0,17

Tabla 17. Flujo de Salida de Biogás

4.6 ESPECIFICACIONES DE LOS EQUIPOS

Se diseñó cada uno de los equipos para cada una de las 2 plantas de producción de bioetanol, y así como para la producción de ácido acético. En el Anexo C se encuentran los balances de masa para cada equipo y en el anexo D se muestran los criterios de diseño utilizados, así como las especificaciones de cada equipo.

4.7 ANÁLISIS DE PREFACTIBILIDAD ECONÓMICA

En el análisis de prefactibilidad se estudió la rentabilidad de las dos plantas de producción de bioetanol para la zona A y la zona C para un ciclo de vida útil de 10 años.

4.7.1. Planta de bioetanol en la Zona A

La planta de producción de bioetanol en la zona A no es rentable debido al alto costo de la materia prima y a la baja producción de etanol (50.000 l/día), al bajo costo por galón \$3.444,5, y sumado a los altos costos de producción por la conversión de azúcar almidón por medio de la hidrólisis. El flujo neto de caja se muestra en la figura 14. El análisis completo se encuentra en el anexo E

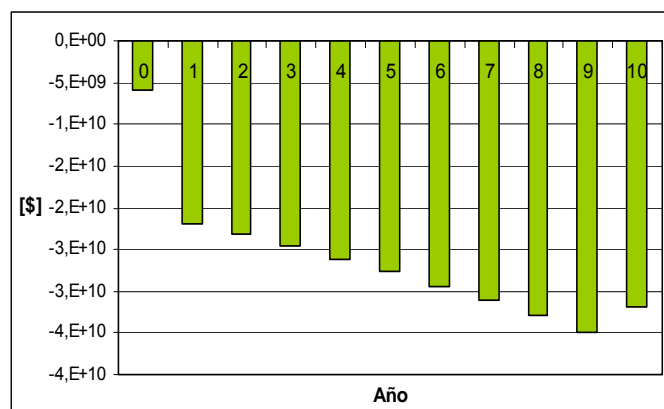


Figura 15. Flujo neto de caja para la producción de bioetanol en la Zona A

4.7.2. Producción de bioetanol mas coproductos en la Zona A

Debido al alto costo del ácido acético en el mercado (\$ 54.000 + iva) y que las materias primas son los productos de la planta de bioetanol como el CO₂ de la fermentación y el CH₄ del tratamiento de vinazas, el costo de producción de ácido acético se reduce, haciendo que una planta conjunta de ácido acético y bioetanol sea rentable. Esta planta tiene una a TIR de 2% para 4 años lo que muestra que se recupera la inversión entra el 3 y 4 año. El flujo neto de caja para este caso se muestra en la figura 15. El estudio se muestra en el Anexo E.

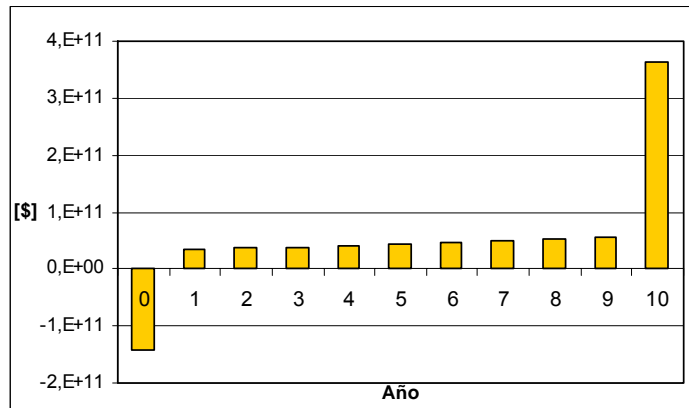


Figura 16. Flujo neto de caja para la producción de bioetanol mas coproductos en la Zona A.

4.7.3. Producción de bioetanol en la zona C

A diferencia de la zona A, la zona C es rentable debido al bajo costo de la materia prima (caña), y el doble de producción (100.000 l/día) con respecto a la planta de bioetanol de la Zona A; el valor de la TIR para 10 años es de 19% lo que da a entender que el la producción bioetanol es atractiva para los inversionistas. El flujo neto de caja se muestra en la figura 16. El estudio se muestra en el Anexo E.

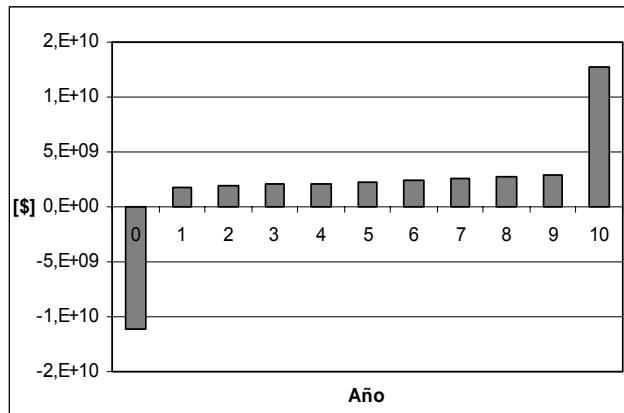


Figura 17. Flujo neto de caja para la producción de bioetanol en la Zona C

4.7.4. Producción de bioetanol más coproductos en la zona C

La rentabilidad de la Zona C adicionándole el proceso de producción de ácido acético, es muy buena, esto se debe como se dijo para la Zona A al uso de productos obtenidos en la etapa de fermentación (CO_2) y en el tratamiento de las vinazas (CH_4), como materia prima y esto sumado al alto valor que tiene el ácido acético en el mercado ($\$54000+$ iva), lo que permite que la rentabilidad de la planta sea de 33% para dos años y 139% para 10 años de vida útil. En el estudio se muestra en detalle en el anexo E.

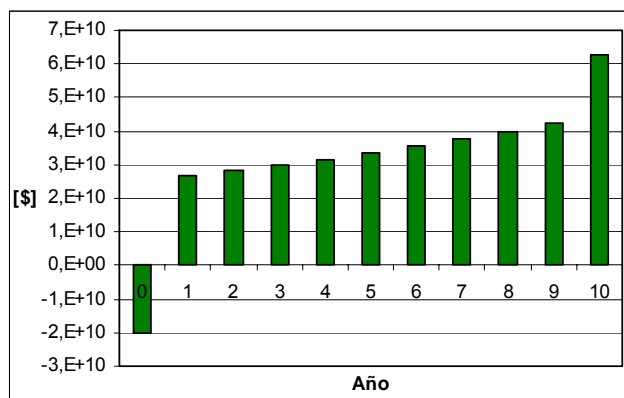


Figura 18. Flujo neto de caja para la producción de bioetanol mas coproductos en la Zona C

5. CONCLUSIONES

En el caso de cultivos como la yuca y el maíz, los rendimientos de producción de bioetanol son altos (170 y 400 l/ton respectivamente), lo cual los convierte en potenciales materias primas para la obtención de etanol, sobre todo en lugares donde existe buena producción de estos cultivos y ausencia de otros como la caña que por su mayor facilidad de producción son vistos como preferentes para este fin, sin embargo los materiales amiláceos frente a los sacaroideos tienen una clara desventaja debido a el costo de estos como materia prima y a que en su pretratamiento se incurre en gastos tanto energéticos como de tiempo, los cuales se reflejan en un incremento de los costos de operación y de mano de obra.

De las cuatro zonas encontradas solo dos poseen un potencial de producción de bioetanol por encima de los 50 mil litros diarios, esto sumado con factores de orden publico y de transporte solo viabilizan el montaje de dos plantas una empleando como materia prima la de caña panelera entre los departamentos de Santander y Boyacá y la otra a partir de papa, yuca, maíz, y banano en Norte de Santander. Por tanto la producción de bioetanol de la planta de la zona C puede enfocarse en la demanda del centro del país en ciudades como Bogotá y Tunja, pues aunque no se cubre en su totalidad representa una buena alternativa de mercado para el bioetanol.

En la planta de la zona A se prevé una producción de 50 mil litros de etanol diarios, con la cual se podría cubrir la demanda de etanol en las ciudades de Cúcuta y Bucaramanga, mientras que en la zona C con una producción de 100 mil litros diarios se completaría la demanda de bioetanol en Santander, pudiéndose lograr cierta independencia de esta zona con las zonas cañicultoras del Valle del Cauca.

Desde el punto de vista económico la planta de la zona A para la producción únicamente de bioetanol no es rentable debido a los altos costos de las materias

primas, pero bajo una producción integrada de bioetanol - ácido acético esta condición cambia debido a la posibilidad de obtener ácido acético como un coproducto de alto valor agregado de manera prácticamente pura aprovechando residuos producidos por la planta de bioetanol. Esto no solo hace rentable el proceso sino que también reduce el impacto ambiental propio de la planta de etanol, y abre una nueva posibilidad de mercado para la cadena productiva del bioetanol en Colombia.

La Hoya del Río Suárez participa en un 30 % la producción de panela en el país que corresponde a 7900 ton de panela al año (panela en barra, en bloques o redonda, panela granulada y/o pulverizada y concentrado de panela), utilizando 79.000 toneladas de caña panelera, lo que deja un sobrante de 536.000 toneladas de caña aptas para la producción de bioetanol. Para producciones mayores a 100 mil litros día, se debe implementar un eficiente programa de desarrollo agrícola para mejorar el rendimiento del cultivo de la caña panelera en términos de tonelada por hectárea.

6. BIBLIOGRAFIA

1. Muñoz M. L., Junio, 2005. Periódico: Vanguardia liberal, Bucaramanga.
2. Hertwig, T.A., Hopper, J.R., Indala, S., Knopf, F.C., Pike, W.R., Xu, A., Yaws, C.I., 2005. Development and integration of new processes consuming carbon dioxide in multi-plant, chemical production complexes. *Clean Techn Environ Policy* 7: 97–115.
3. Centro de estudios e investigaciones técnicas de Guipúzcoa. www.ceit.es
4. CARCELLER, J.M., marzo de 2003. *Experiencias prácticas en la optimización de un sistema de depuración biológico (anaerobio-aerobio) para una industria agroalimentaria*. GRUPO DAMM.
5. Hertwig, T.A., Hopper, J.R., Indala, S., Knopf, F.C., Ozyurt, D.B., Pike, W.R., Xu, A., Yaws, C.I., 2003. Development and integration of new processes for greenhouse gases management in multi-plant, chemical production complexes.

Annual meeting: NATO CCMS pilot study on clean products and processes
may 11-15

6. Morales, Y., Sanchez, I. 2004. Diseño conceptual y comparación técnica de los procesos de hidrólisis acida y enzimática para la producción de glucosa a partir de almidón de yuca. Universidad Industrial de Santander. Tesis de pregrado.
7. Acosta, A., Bendeck, J., Cárdenas, J., Cala, D., 2004. El gran Desafío, a propósito de los alcoholes carburantes. 2ª Edición. Editorial EdiSion Ltda. Bogotá D. C.
8. Parsons, C., Banqueth, E., 2004. Diseño de una planta piloto para la producción de etanol a partir del bagazo de la caña de azúcar. Tesis de Pregrado. Universidad Industrial de Santander. Bucaramanga
9. Thompson, R., Campbell, S., 2005. Sugar Beet Preliminary feasibility of ethanol production from sugar beet in NE Tasmania.
10. Rolz, C., De Cabrera, S., 1980. Ethanol from Sugar Cane: Flask Experiments Using the EX-FERM Technique., Central American Research Institute for Industry Guatemala City, Guatemala. Applied and environmental microbiology, p. 466-471 Vol. 40, No. 3
11. Castro, J., Pérez, S., 1979. Obtención de etanol, butanol, y acetona por fermentación a partir de la papa., Universidad Industrial de Santander. Bucaramanga.
12. Kim, S., Dale, B., 2003. Global potential bioethanol production from wasted crops and crop residues., Biomass and Bioenergy 26 361 – 375.
13. Bermúdez. R. C., Rodríguez. S., Martínez. M. C., Terry A. I., 1999. Ventajas del empleo de reactores UASB en el tratamiento de residuales líquidos para la
14. Cepeda Chacón, H, Ríos, R. Diseño de una planta piloto para la Producción de bioetanol como portador de Hidrógeno para Celdas combustibles a partir de Caña de Azúcar. Universidad Industrial de Santander. Tesis de Pregrado. 2005
15. Fernández., N. El Bagazo y las Fibras Anuales: Presente Y Futuro Para Su Industrialización. Congreso Iberoamericano de Investigación en Bagazo y Papel. Union de Investigacion Produccion de la Celulosa del Bagazo Cuba-9 (UIP Cuba 9). 2000
16. http://www.clayuca.org/PDF/libro_yuca/capitulo26.pdf

17. Acevedo G. J., Espinal, G., Martínez. H., Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural. Observatorio Agrocadenas Colombia. Noviembre 2005. la cadena e cereales, alimentos balanceados para animales, vicultura y porcicultura en colombia una mirada global de su estructura y dinamica. <http://www.agrocadenas.gov.co>.
18. Acevedo G. J., Beltran L. L., Espinal, G., Martínez. H., Ortiz H, L., Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural. Observatorio Agrocadenas Colombia. Enero 2006. la cadena agroindustrial de la panela en colombia una mirada global de su estructura y dinamica. <http://www.agrocadenas.gov.co>.
19. Barrios U, C., Espinal, G., Martínez. H., Pinzon R, N., Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural. Observatorio Agrocadenas Colombia. Enero 2006. la cadena de la papa en colombia una mirada global de su estructura y dinamica 1991-2005. <http://www.agrocadenas.gov.co>.
20. Espinal, G., Martínez. H., Peña M, Y., Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural. Observatorio Agrocadenas Colombia. Enero 2006. la cadena de platano en colombia una mirada global de su estructura y dinamica 1991-2005. <http://www.agrocadenas.gov.co>.
21. Espinal, G., Martínez. H., Peña M, Y., Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural. Observatorio Agrocadenas Colombia. Enero 2006. la cadena del banano en colombia una mirada global de su estructura y dinamica 1991-2005. <http://www.agrocadenas.gov.co>
22. Kristiansen B., Basic Biotechnology. 1987. Editado por Bu'lock J., Weizmann Microbial Laboratory, Department of Chemistry, University of Manchester, Manchester M13 9PL, England.

23. Zlokarnik M., Scale-up in Chemical Engineering. 2003 editorial © Wiley-vch Verlag GmbH, Germany
24. Zanetti, L., Sabino da Silva, E., Da Cruz Pradella, J. Production of poly(3-hydroxybutyrate) in an airlift bioreactor by *Ralstonia eutropha*. *Biochemical Engineering Journal* 18 (2004) 21–31
25. Bucci, D.Z, Tavares, L.B.B., Sell I. Product Performance PHB packaging for the storage of food products. Departamento de Engenharia Química, Laboratório de Processamento de Alimentos, Centro de Ciências Tecnológicas, Universidade Regional de Blumenau (FURB),.2005. 564–571
26. Prasad, B., Srivastava, Vimal C., Swamy¹, Mahadeva M. I. Adsorptive removal of phenol by bagasse fly ash and activated carbon: Equilibrium, kinetics and thermodynamics. Mishra *Department of Chemical Engineering, Indian Institute of Technology* July 2005
27. Fouad, B., Jover, j., González, E. Hidrólisis del Bagazo con ácido sulfúrico en la Obtención de Bioetanol. Facultad de Química Y Farmacia, UCLV. Cuba. 2005.
28. Karar, I., Khider, T., Khristova, P., Kordsachia O., Pattb, R., Environmentally friendly pulping and bleaching of bagasse. University of Khartoum. Sudan Institute of Wood Chemistry., 2005.
29. Peters, M., Timmerhaus, K. Plant Design and Economics for Chemical Engineers. McGraw-Hill. New York. 1991.

Anexo A

A.1 Definición de las zonas en la región de estudio

El inventario de biomasa se considera como la cantidad de materia prima útil para la producción de bioetanol, esta se realizó con el fin de cuantificar la producción de los diferentes cultivos de la región.

La región nororiental del país está ubicada sobre la cordillera Oriental, en la cual se puede diferenciar los pisos térmicos lo que nos da una gran variedad de climas y de cultivos para la producción de bioetanol.

a. Selección de las materias primas a inventariar.

Para la selección de las materias primas se tuvo en cuenta los siguientes aspectos:

- ✓ La producción de cada materia prima durante el año expresado en toneladas.
- ✓ El rendimiento de la materia prima para la producción de bioetanol.
- ✓ La tecnología existente para la producción de bioetanol de cada materia prima.

b. Colección de datos

Para esto utilizaron los valores reportados por el Ministerio de agricultura de los tres departamentos para cada municipio en el año 2005, de las materias primas seleccionadas.

C. Ubicación geográfica de producción de las materias primas

La ubicación geográfica se realizó tomando los cinco municipios con mayor producción de cada materia prima, para cada departamento, luego se identificaron las zonas de mayor producción.

Con base en estas zonas de mayor producción y los anteriores puntos se obtuvieron las cuatro zonas mencionadas anteriormente denominadas zona A, B, C, y D.

A.1.1 Zona A

Esta zona esta conformada en Norte de Santander por los municipios de: Pamplona, Silos, Mutiscua, Labateca, Chitagá, Cacota y en Santander por los municipios de: Guaca, Girón, Rionegro, El Playón, Lebrija.

Materia prima	Producción [Ton/año]
Papa	45092
Yuca	44725
Plátano	23768
Maíz	6927

Fuente: Ministerio de Agricultura

Tabla A1. Producción de materia prima Zona A

A.1.2 Zona B

Esta zona se encuentra ubicada al occidente del departamento de Santander y esta conformada por los siguiente municipios: Landazuri, San Vicente de Chucurí, El Carmen, Cimitarra, Betulia.

Materia prima	Producción [Ton/año]
Plátano	37041
Maíz	2405
Banano	2093

Fuente: Ministerio de Agricultura

Tabla A2. Producción de materia prima Zona B

A.1.3. Zona C

Esta zona se encuentra conformada por los departamentos de Boyacá con los siguientes municipios: Moniquirá, San José de Pare, Toguí, Chitaraque, Santana, y en Santander los municipios de Socorro, Guapota, Guepsa, Oiba, Ocamonte, La Paz, San Benito, Suaita.

Materia prima	Producción [Ton/año]
Caña	615455
Platano	9935
Yuca	3780

Fuente: Ministerio de Agricultura

Tabla A3. Producción de materia prima Zona C

A.1.3. Zona D

La zona de D encuentra ubicada al sur del departamento de Boyacá, en la que prevalece el clima frío y templado, en al que se encuentran los municipios de: Samacá, Ventaquemada, Páez, San Luis, Campo Hermoso, Santamaría.

Materia prima	Producción [Ton/año]
Papa	98000
Plátano	6859
Remolacha	1400
Maíz	2843

Fuente: Ministerio de Agricultura

Tabla A4. Producción de materia prima Zona D

A.2. Estudio de mercado

A.2.1. Caña Panelera

La panela se produce en casi todos los departamentos del país, sin embargo, las cuatro mayores regiones productoras son: La Hoya del Río Suárez, Cundinamarca, Antioquia y Nariño, que aportan el 70% de la producción nacional.

La Hoya del Río Suárez es una de las más importantes zonas para la producción de panela alcanzando un 30% de la producción total del país. Para la etapa del proceso de producción de panela se encontró que para obtener 100 kilos de panela, si se tiene un rendimiento alto se requieren 825 kilos de caña, un rendimiento medio requiere 1000 kilos de caña y un rendimiento bajo necesita 1320 kilos (Ministerio de Agricultura, Observatorio Agrocadenas 2004).

La producción de 7920 toneladas por año de panela para la región, utiliza 79200 toneladas de caña quedando un sobrante de 536.255 toneladas de caña aptas para la producción de bioetanol.

Caña panelera HRS	
Rendimiento Caña [Ton de caña/ha]:	17
Rendimiento [ton. Caña/ton panela]:	10
Rendimiento alcohol [l alcohol/ton]:	70
Producción caña Boyacá y Santander:	615455
Producción panela anual:	7920
Area sembrada [ha] :	36203,23529
Caña total producida[ton] :	615455
Caña necesaria para la producción de panela [ton]:	79200
Caña sobrante [ton/año]:	536255
Producción alcohol esperada año [l/año]:	37537850
Producción alcohol [l/día]:	102843,425

Fuente: Ministerio de Agricultura. Observatorio Agrocadenas.

Tabla A5. Caña necesaria para producción de panela.

El gobierno junto con el gremio panelero tratando de proteger a los pequeños productores creó la ley 40 de 1990 la cual permite la molienda de máximo 10 toneladas de caña por hora, lo cual impide el desarrollo a gran escala de la panela, lo que por ahora no permite pensar en realizar un complejo agroindustrial en el cual se produzca panela y se aprovechen las mieles sobrantes para la producción de bioetanol, como se hace en los complejos azucareros.

A.2.1.Yuca

En el año 2004 se produjeron en Colombia 1.943.178 Toneladas de yuca en cerca de 178.000 Hectáreas. En el continente americano el país ocupa el tercer lugar como productor de éste tubérculo después de Brasil y Paraguay. De la producción total, más del 90% se utiliza como producto fresco para consumo humano y menos del 10% se procesa con destino a la alimentación animal o para obtener productos industriales, como almidones y pasabocas.

La utilización de la yuca en la fabricación de productos de consumo humano en el país se encuentra estancada, a pesar que se han establecido diferentes proyectos para impulsar la utilización del almidón agrio de yuca en la producción de pasabocas y productos de panadería. No obstante, sigue siendo más importante, en cuanto a consumo humano, el uso de la yuca fresca. Debe notarse, que en la mayoría de los casos los tubérculos considerados son productos que compiten entre ellos, al igual que sus subproductos industriales.

El departamento de Santander participa con el 8% del total de la producción de yuca en Colombia lo cual corresponde a 158400 toneladas de este tubérculo al año mientras que el departamento de Norte de Santander participa con el 7 % de la producción nacional correspondiente a 136106 toneladas. La producción de bioetanol en la Zona A afecta la oferta de yuca en el departamento de Santander en un 165 correspondiente a 25042 toneladas de yuca mientras en el

departamento de norte de Santander afecta en un 14% correspondiente a 19683 toneladas de yuca.

A.2.2 Papa

En Colombia la producción se distribuye en cerca de 14 departamentos, pero sólo tres concentraron en el 2004 el 80% de la misma y el 80% de la superficie cultivada. Los cuatro mayores productores son: Cundinamarca (42%), Boyacá (23%), Nariño (14%) y Antioquia (8,8%). La papa tiene dos periodos de cosecha dependiendo de la temporada de lluvias. El primer periodo es de Marzo a Junio mientras el segundo es de Septiembre a Noviembre. Una pequeña parte se destina a la industria y lo demás es como alimento de consumo humano. (Fuente: Ministerio de Agricultura. Observatorio Agrocadenas).

En el caso de la zona A la producción de papa se encuentra en el departamento de Norte de Santander la producción de papa corresponde a 2% de la producción nacional lo que corresponde en papa pastusa a 28035 ton de papa al año y en papa Criolla o amarilla a 11257 toneladas año. Para la producción de bioetanol se vería afectada toda la oferta de papa para el departamento de Norte de Santander y para esto se propone la compra de semilla certificada par el cultivo de la papa y así pasar de un rendimiento de producción de 17 toneladas por hectárea a 35 ton por hectárea, lo que significa un incremento en le costo de la materia prima y un aumento de la producción en 100%.

A.2.3 Maíz

Colombia se encuentra entre los 10 países que importan en conjunto el 63% del mercado mundial de maíz. Sin embargo la producción de maíz se encuentra destinada como se muestra en la tabla A5. Para la producción de bioetanol se va utilizar 6927 ton al año de maíz distribuidas 5636 ton correspondiendo al 12% del

total de la producción para el departamento de Santander y 1291 ton que corresponden al 6 % de la producción maíz de Norte de Santander.

Uso	%
ABA	65
Molienda	9
Trilla	7
Cervecería	4
Otros	15
Total	100

Fuente: Ministerio de Agricultura. Observatorio Agrociencias.

ABA: Alimento Balanceado para Animales.

Tabla A6. Usos del Maíz

A.2.4 Plátano y Banano

El banano es uno de los productos más exportados del país junto al café y las flores. El banano en Colombia es cultivado para la exportación y el banano criollo. El banano para exportación tiene origen en el Urabá antioqueño (municipios de Apartadó, Carepa, Chigorodó y Turbo) y en la región norte del departamento del Magdalena (municipios de Córdoba, Río Frío, Orihueca, Sevilla y Aracataca). Hay diferencias importantes en calidad y tamaño de la fruta entre las dos regiones, debido a las variaciones climáticas propias de cada zona. Así por ejemplo el banano de Santa Marta es de menor tamaño que el de Urabá debido a que los periodos de lluvia son más cortos, aunque es precisamente esta cualidad la que le permite mayor aceptación en el mercado europeo. El departamento de Antioquia corresponde al 70% del total de banano exportado, mientras el departamento del Magdalena corresponde al 30%. El total de banano producido es de 1.5 millones de toneladas correspondiendo al banano de exportación de 88.5%, osea, un total de 1.32785 millones de toneladas.

El banano criollo es el utilizado para consumo interno, tiene menores rendimientos de cosecha en un promedio nacional de 9.7 toneladas por hectárea

mucho menor que los rendimientos para banano de exportación los cuales se encuentran sobre las 30 toneladas por hectárea.

Específicamente para el departamento de Santander, la participación en la producción de banano criollo es de 1.45% de la producción nacional lo que corresponde aproximadamente a 3417 toneladas al año. En el caso de la zona A el banano utilizado para la producción de bioetanol afecta el 71% de la oferta de banano en el departamento de Santander correspondiendo a 2440 toneladas al año.

Para el caso del plátano al igual que el banano se diferencia la producción de plátano tipo exportación, y el plátano de consumo interno. La producción de plátano de exportación se ha concentrado en la región de Urabá. Actualmente cerca de un 4% de la producción nacional de plátano se destina al mercado de exportación, el restante se destina para el consumo interno en fresco y una muy pequeña proporción, menos del 1%, se destina como materia prima para la agroindustria nacional. Los departamentos de Antioquia, Tolima, Quindío, Meta y Córdoba reunieron aproximadamente el 50% de la producción nacional de plátano para consumo interno. En promedio el rendimiento del plátano para consumo interno expresado en toneladas por hectárea es de 8.3.

Para el caso específico de la zona A, el departamento de Santander participa con un 3.59% de la producción nacional correspondiendo a 95408 toneladas por año mientras el departamento de Norte de Santander participa con 2.89% correspondiendo a 74988 toneladas por año.

El consumo de plátano para la producción de bioetanol es de 13000 toneladas para el departamento de Santander lo que corresponde al 13% del total producido del departamento, mientras para el departamento de Norte de Santander se afecta la oferta de plátano en un 11% correspondiendo a 8328 ton de plátano al año.

ANEXO B

B.1 Inventario de Coproductos

Los coproductos son los productos de valor agregado que se pueden obtener a partir de los residuos de un proceso principal. En el caso específico de la producción de bioetanol, los residuos son el CO₂, el bagazo obtenido de la molienda de la caña, la cachaza la cual es el nombre que se le da a la torta del filtro, las vinazas, además de las cáscaras obtenidas de la papa, yuca y el plátano.

B.1.1 Coproductos a partir del Bagazo

El bagazo generalmente es usado como combustible de las calderas para la generación de vapor, de este residuo se pueden obtener innumerables productos la mayoría de ellos aun se encuentran en etapa de desarrollo prometiando un buen mercado en el futuro.

B.1.1.1 Bagazo como Combustible

El bagazo generalmente sale con una humedad del 50% de la molienda de la caña, este bagazo es utilizado en algunas industrias azucareras como combustible ya que este puede sustituir en una relación de 5.2 t. de bagazo por tonelada de fuel-oil. Esto puede ahorrar gran parte del combustible que se utiliza en la producción de vapor lo que representa una reducción en costos de producción.

B.1.1.2 Bagazo para Pulpa y Papel.

La pulpa obtenida a partir de bagazo de caña es una tecnología que se conoce desde hace 30 años en la que la primera patente fue reportada. Las tecnologías

de pulpeo del bagazo todavía se encuentran en etapa de desarrollo, entre las cuales se encuentra el pulpeo organosolv, que consiste en un método pulpeo con soluciones de hidróxido de sodio (NaOH) en concentraciones menores del 10%.

B.1.1.3 Proteína Unicelular a partir de Bagacillo y Mieles Finales

El bagacillo es la fracción más fina que resulta de tamizar el bagazo, también es una materia prima que puede estar disponible con relativa facilidad y a bajo costo. La utilización de estos productos para la alimentación animal tiene el significativo atractivo de que se requieren inversiones modestas para la construcción y operación de las instalaciones procesadoras. Su principal limitante, en comparación con otros residuos agrícolas, es el bajo nivel de digestibilidad. Para disminuir este limitante se han venido empleando mezclas de bagacillo con miel final y urea para mejorar la digestibilidad del bagacillo el cual es usado en Cuba desde hace años con resultados modestos en cuanto a un adecuado aprovechamiento del material lignocelulósico.

Con este sistema es posible elevar la digestibilidad de los materiales, desde 30-35 % hasta valores cercanos al 60%, lo cual los hace comparable a otros forrajes y residuos agrícolas tradicionales.

El gran limitante para la producción de proteína unicelular es la no producción de mieles finales debido a que este es un residuo de la industria azucarera y la planta de producción de bioetanol en la zona C realiza la fermentación directa de los jugos clarificados.

B.1.1.3 El Bagazo y sus Nuevos Proyectos Integrados para Productos de muy Alto Valor Agregado.

Para la obtención de productos de alto valor agregado a partir del bagazo como medicamentos o sus materias primas, productos para las industrias alimenticias o química, solventes y otros, implican varias premisas que deben conformar la estrategia para la correcta diversificación de esta materia prima como son:

- Disponer de tecnologías técnica y económicamente viables para la separación de los polímeros naturales que lo componen es decir disponer de las fuentes de celulosa, lignina y xilosa.
- Lograr la purificación y calidad requerida de cada uno de ellos para el producto específico.
- Integrar el proceso de producción para el producto en cuestión con las restantes corrientes que se generan que no pueden ser consideradas residuos por su magnitud y valor.
- Disponer de un mercado seguro para todos los productos integrados que garanticen la efectividad empresarial del proceso.
- Estos procesos son consumidores fuertes de energía por lo que deben ser combinados con variedades de caña energética que puedan aportar la fibra requerida y también la solución energética más favorable.
- Calificar a las personas en la cultura de estos complejos procesos y su vinculación con mercados de calidades exigentes como la biotecnología y los medicamentos o alimentos con profunda sensibilidad al cuidado del ambiente pues estos procesos generan altas cargas de DBO.
- Estos son procesos que requieren mucho capital e inversiones intensivas por lo que la garantía del mercado y la explotación a máxima capacidad son condicionantes de gran peso para emprender estos proyectos.

Así hoy se puede pensar en utilizar el bagazo como fuente de celulosa para un proyecto tan interesante como la producción de fibra dietética para el consumo humano que pueda aportar los 30g diarios de fibra que se requieren en la dieta.

B.1.1.3.1 Obtención de Furfural

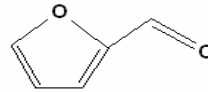


Fig. B.1 Representación de la Molécula de furfural

En la digestión ácida del bagazo de caña se produce el compuesto llamado furfural el cual se forma de los azúcares de cinco carbonos, este producto tiene importantes aplicaciones en la industria del nylon, el proceso clásico de obtención de furfural es como sigue, figura B.2

El bagazo se trata con una solución ácida de ácido sulfúrico a 153°C y 4 atm (Paturaw 1969). El vapor que se remueve continuamente del digestor en un periodo de 6 a 8 horas lleva consigo el furfural a medida que se va formando los componentes orgánicos volátiles se remueven del vapor condensado y se purifican por destilación.

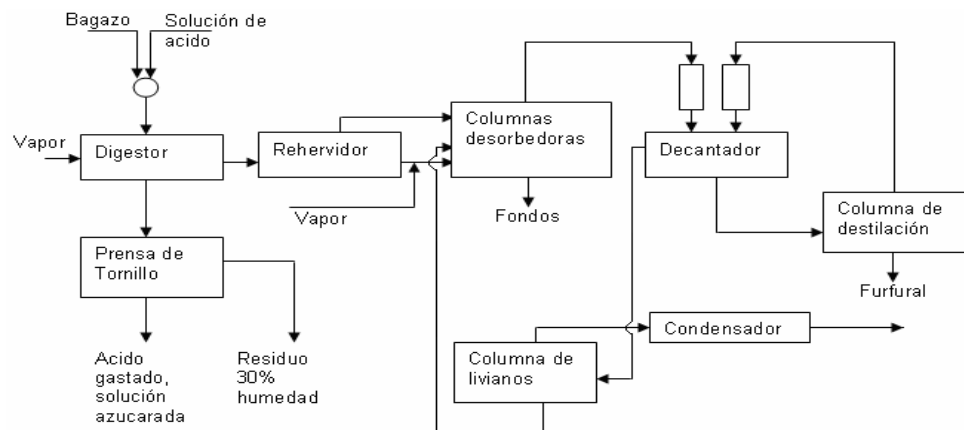


Fig B.2 Obtención de furfural.

Las dificultades de este proceso radican en el cuidado en la elección de los materiales de construcción para su operación y mantenimiento, pues no solo se opera con sustancias altamente corrosivas sino también se desarrolla a condiciones fuertes de temperatura y presión, además se debe suministrar una gran cantidad de energía para recuperar el furfural a través de procesos de destilación.

B.1.1.4 Biopolímeros

La producción de biopolímeros es un tema que aun se encuentra en fase exploratoria, entre los cuales se encuentran avances importantes para la producción de estos a partir de almidón de yuca y últimamente se estudia la producción de PHB (poly-b-hydroxybutyrate). Este es producido por el microorganismo *Ralstonia eutropha* el cual ha sido el más ampliamente usado para la producción de PHB debido a que este es el de más fácil crecimiento, acumulando largas cantidades de PHB (arriba de 80% del peso seco de la célula) en un simple medio de cultivo. La síntesis de PHB usualmente ocurre porque la enzima clave para la producción de PHB (β -ketothiolase) comienza a actuar debido al consumo de nutrientes en el medio guiando la acumulación libre de Co-A (Coenzima -A). En la figura B3 se muestra la vía metabólica para la producción de PHB.

Actualmente se estudia la cinética de consumo de oxígeno en la bacteria así como la producción PHB en un reactor airlift a escala de laboratorio (Zanetti, L et al). Además al comparar el PHB con el PP (polipropileno) se encuentran resultados buenos para el empaquetado y almacenamiento de productos alimenticios (Bucci, D. z. et al).

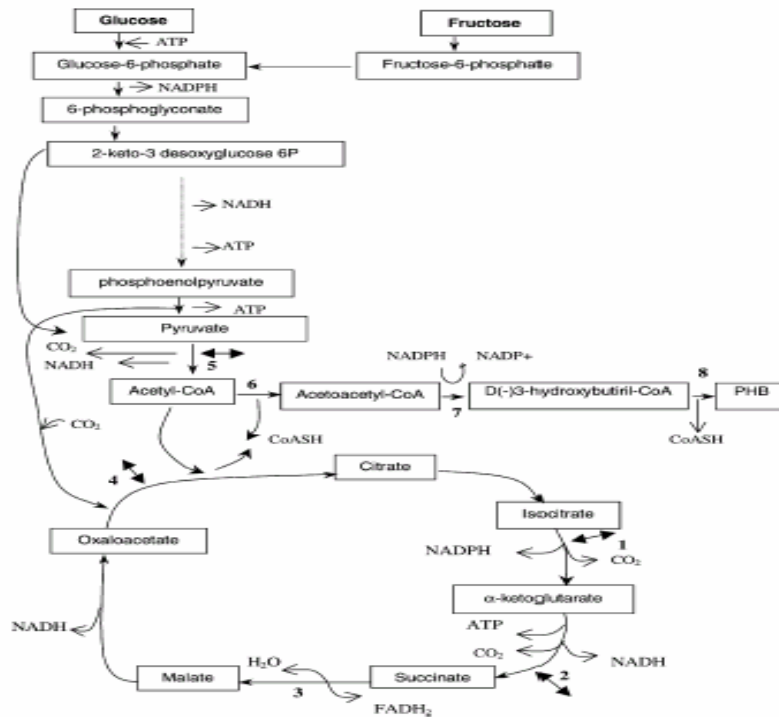


Fig B3. Vía metabólica de la bacteria *Ralstonia Eutropha*: (1) isocitrate dehydrogenase; (2) α -ketoglutarate dehydrogenase ; (3) succinate dehydrogenase; (4) citrate syntase; (5) pyruvate dehydrogenase; (6) β -ketothilase; (7) acetoacetyl-CoA reductase; (8) PHA synthase. The arrow indicates the path limitation.

Aunque existen proyectos en Europa para la producción PHB a escala industrial y se han realizado muchos esfuerzos para optimizar la producción de PHB usando substratos puros, los costos de producción aun están alrededor de 10 veces más altos que los plásticos convencionales.

B.1.1.5 Carbón Activado Granular a partir de Bagazo (Usado como filtro de Limpieza)

El bagazo es utilizado como filtro en aplicaciones como la recuperación de fenol de los efluentes líquidos (aguas de residuo), obteniendo buenos resultados cuando la solución de fenol tiene concentraciones bajas (50 mg/l). Este es una materia prima de gran importancia en la industria petroquímica, plásticos, papel, pintura, farmacéutica, industrias de acero y pesticidas (Srivastava, V. et al).

Esto aun se encuentra en su fase de laboratorio y está siendo probada para mejorar la eficiencia de absorción.

B.1.1.6 Hidrólisis Ácida de Bagazo de Caña

La hidrólisis ácida del bagazo de caña se realiza con ácido sulfúrico a concentraciones del 30%, 50% y 70% (p/p). Estos estudios se encuentran aun a escala laboratorio utilizando pequeñas cantidades de bagazo se han encontrado buenos resultados para concentraciones del 30% de ácido sulfúrico, temperatura de 80 °C alcanzando una eficiencia de conversión de azúcares del 97% para una hora de reacción (Fouad, B. et al). Otros estudios se han realizado para la hidrólisis del bagazo catalizados con ácido cítrico y el ácido clorhídrico (HCl), obteniendo resultados positivos para la conversión de azúcares, aunque con tiempos un poco mas largos para condiciones optimas de reacción (Rodríguez, A et al).

Estos estudios se encuentran a escala laboratorio, para llevarlos a escala industrial el costo de los insumos es bastante grande por lo que el proceso no es rentable.

B.1.2 Uso del Dioxido de Carbono como Materia Prima para Productos de Alto Valor Agregado

El gas carbónico es uno de los responsables del deterioro climático de nuestros tiempos y por ello muchas personas han realizado esfuerzos no solo para la disminución de emisiones de este gas en los procesos de producción, sino también en su utilización como materia prima para productos de alto valor agregado (Xu et al., 2002).

A continuación se muestran una recopilación de procesos que usan dióxido de carbono como materia prima y que están siendo estudiados por diferentes investigadores:

HIDROGENACIÓN	
$CO_2 + 3H_2 \rightarrow CH_3OH + H_2O$	Metanol
$2CO_2 + 6H_2 \rightarrow C_2H_5OH + 3H_2O$	Etanol
Síntesis de hidrocarburos	
$CO_2 + 4H_2 \rightarrow CH_4 + 2H_2O$	Metano y alcanos de alto peso molecular
$2CO_2 + 6H_2 \rightarrow C_2H_4 + 4H_2O$	Etileno y olefinas de alto peso molecular
Síntesis de ácidos carboxílicos	
$CO_2 + H_2 \rightarrow CH_2O_2$	Acido fórmico
$CO_2 + CH_4 \rightarrow C_2H_4O_2$	Acido acético
síntesis de aminas	
$CO_2 + 3H_2 + NH_3 \rightarrow CH_3NH_2 + 2H_2O$	Metil amina y aminas de alto peso molecular mayores

Tabla B1. Algunas reacciones catalíticas del CO_2

De la lista anterior se ve que el dióxido de carbono tiene muchas posibilidades de obtener productos de alto valor al ser combinado con hidrógeno, sin embargo en estos procesos se tienen el inconveniente de que este último reactivo es costoso, pues su proceso de obtención es difícil y en su mayor parte se obtiene en las refinерías como producto del petróleo, además por su difícil manejo al ser la molécula de hidrogeno tan pequeña los materiales de almacenamiento y transporte son costosos influyendo directamente en los costos de operación.

Por otro lado el proceso de producción de ácido acético ha sido estudiado por diferentes investigadores, y se han logrado buenos resultados en cuanto a conversión de metano (80 %) a condiciones de operación moderadas.

Anexo C

C.1.1. Balance de masa para la producción de bioetanol Zona A

C.1.1.1 Yuca: A continuación de muestra el balance de masa para cada uno de los equipos utilizados para la extracción del almidón de yuca.

	Entra	Salida 1	Salida2
Agua	6126,71	0	6126,71
Desechos	0	0	163,38
Yuca	5105,59	4942,21	0
Almidón	2297,52	2226,29	71,22

Tabla C1. Balance de masa Lavado yuca

	Entra	Sale
Agua	4595,03	4595,03
Desechos	0	0
Yuca	4942,21	4942,21
Almidón	2226,29	2226,29

Tabla C2. Balance de masa rallado yuca

	Entra	Salida 1*	Salida2
Agua	30123,00	30054,00	69,00
Desechos	0	0	460,01
Yuca	4942,21	4482,20	0
Almidón	2226,29	1798,96	427,34

Tabla C3. Balance de masa tamizado yuca

	Entra	Salida 1	Salida2
Agua	30054,00	247,35	29806,65
Desechos	0	0	2715,41
Yuca	4482,20	1766,79	0
Almidón	1798,96	1766,79	32,17

Tabla C4. Balance de masa Sedimentación (2 h) yuca

C.1.1.2 Maíz: El maíz molino hasta convertirse en harina con el fin de

	Entrada	Salida
Grano	790,75	-----
Harina	-----	790,75

Tabla C5. Balance de masa molino de martillos maiz

C.1.1.3 Papa: El extracción de almidón de la papa se sigue los mismos pasos que para la yuca. El tiempo de sedimentación es de 2 h

	Entra	Salida 1	Salida2
Agua	6176,99	0	6176,99
Desechos	0	0	51,47
Papa	5147,49	5096,01	0
Almidón	1389,82	1375,92	13,90

Tabla C6. Balance de masa lavador papa

	Entra	Sale
Agua	4632,74	4632,74
Desechos	0	0
Papa	5096,01	5096,01
Almidón	1375,92	1375,92

Tabla C7. Balance de masa rallador

	Entra	Salida 1*	Salida2
Agua	30370,18	30370,18	0
Desechos	0	0	3847,49
Papa	5096,01	1248,52	0
Almidón	1375,92	1117,42	258,51

Tabla C8. Balance de masa tamizado

	Entra	Salida 1	Salida2
Agua	30370,18	131,76	30238,43
Desechos	0	0	150,56
Papa	1248,52	1097,96	0
Almidón	1117,42	1097,96	19,46

Tabla C9. Balance de masa sedimentación

C.1.1.4 Banano:

	Entrada	Salida 1	Salida 2
Casara	786,840183	0	786,840183
Pulpa	1926,40183	1526,98004	399,421783
Almidón	565,976857	448,626737	117,35012

Tabla C10. Balance de masa despulpadora de Banana

C.1.2 Balance de masa para la etapa de hidrólisis

	entra	Entra	sale
Almidón	3756,20		3756,20
Agua	463,87	89684,89	90148,77

Tabla C11. Balance de masa tanque

	Entrada	sale (deposito de agua)	sale (tanque hidrólisis)
Almidón	3756,20	0	3756,19864
Agua	90148,77	56342,98	33805,79
Enzima	1239,55	0	1239,55

Tabla C12. Balance de masa evaporador

	entrada (del tanque de licuefacción)	entrada (del tanque de glucoamilasa)	sale filtro rotatorio)
Agua	33805,79	0	33805,79
Enzima	1239,55	0	1239,55
Almidón-azúcar	3756,20	0	150,25
Enzima-glucoamilasa	0	2253,72	2253,72
Azucres	0	0	3605,95

Tabla C13. Balance de masa tanque de hidrólisis

	entrada(del tanque de hidrólisis)	Salida (fermentadores)	Salida (desechos)
Agua	33805,79	33805,79	0
Enzima-amilasa	1239,55	0	1239,55
Enzima-glucosa	2253,72	0	2253,72
Azucares	3605,95	3425,65	180,30

Tabla C14. Balance de masa Filtro Rotatorio

	entrada (del filtro rotatorio)	salida (fermentador)	Salida (Tanque de agua)
Agua	33805,79	21043,30	12762,49
Azucares	3425,65	3425,65	0

Tabla C15. Balance de masa Evaporador

	Entrada	Salida (fermentador)
Agua	21043,30	21043,30
Azucares	3425,65	3425,65
Levadura	244,69	244,69
Nutrientes	0,68	0,68
Acido fosfórico	1,93	1,93

Tabla C16. Balance de masa tanque preparador

C.1.3 Balance de masa para la etapa de fermentación:

	Entrada (tanque preparador)	Salida (de etanol)	Salida CO₂
Agua	21043,30	21011,19	32,11
Levadura	244,69	244,69	0
nutrientes	0,68	0,68	0
Acido fosfórico	1,93	1,93	0
Etanol	0	1646,46	32,11
CO₂	0	0	1605,59
Azucares	3425,65	11,32	0
Glicerol	0	68,51	0
Succinato	0	17,13	0
Fusel oil	0	6,85	0
Acetato	0	23,98	0
Butilene Glicol	0	13,70	0

Tabla C17. Balance de masa fermentador

C.1.4 Balance de masa para la etapa de destilación Zona A

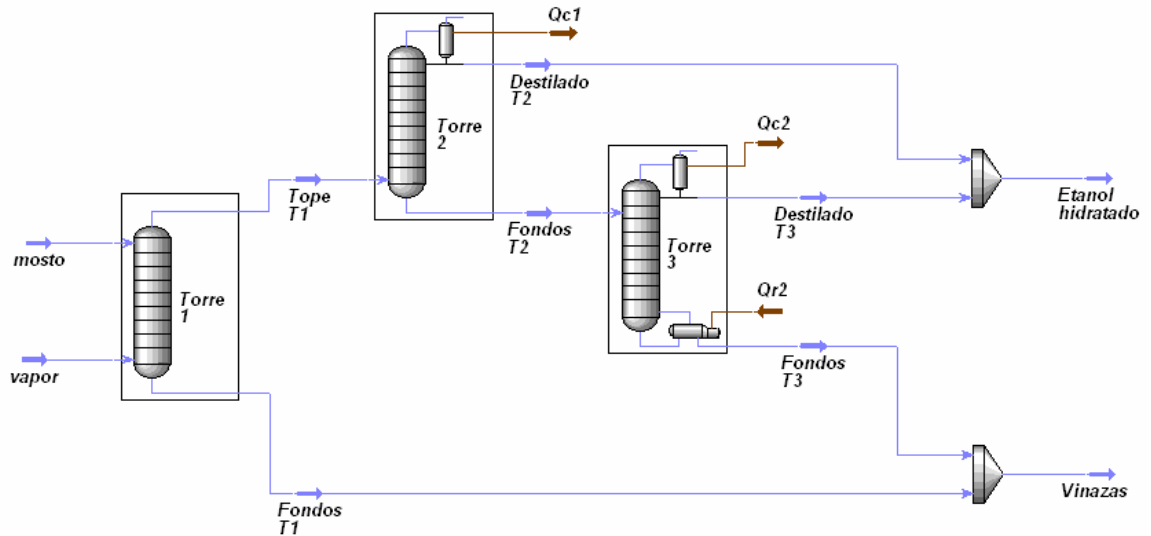


Fig. C.1 sistema de destilación zona A

Corriente	mosto	Vapor	Tope T1	Fondos T1	Destilado T2	Fondos T2
Fracción de vapor	0,00	1,00	1,00	0,00	0,00	0,00
Temperatura (°C)	30,00	140,00	87,67	101,96	78,24	81,52
Presión (Kpa)	101,32	361,26	101,32	109,36	101,32	103,85
Flujo másico (Kg/h)	23047,00	5099,45	3801,77	24344,68	486,74	3315,03

Tabla C18. Balance de masa para el sistema de torres de destilación

Corriente	Destilado T3	Fondos T3	Etanol hidratado	Vinazas
Fracción de vapor	0,00	0,00	0,00	0,00
Temperatura (oC)	78,26	99,12	78,26	99,78
Presión (Kpa)	101,32	101,32	101,32	101,32
Flujo másico (Kg/h)	2170,36	1144,68	2657,09	25489,36

Tabla C19. Continuación Balances de masa para el sistema de torres de destilación

Corriente	mosto	vapor	Tope T1	Fondos T1	Destilado T2
etanol	0,045	0,000	0,407	0,001	0,803
H2O	0,954	1,000	0,592	0,998	0,197
CO2	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Metanol	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Acido acético	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000
1-Propanol	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
2-Propanol	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
1-Butanol	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
3-M-1-C4ol	0,000	0,000	0,001	0,000	0,000
2-Pentanol	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Glicerol	0,001	0,000	0,000	0,001	0,000

Tabla C20. Composición de cada corriente para las torres de destilación

Corriente	Fondos T2	Destilado T3	Fondos T3	Etanol hidratado	Vinazas
etanol	0,366	0,795	0,000	0,796	0,001
H2O	0,632	0,205	0,997	0,203	0,998
CO2	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Metanol	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Acido acético	0,000	0,000	0,001	0,000	0,000
1-Propanol	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
2-Propanol	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
1-Butanol	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
3-M-1-C4ol	0,001	0,000	0,002	0,000	0,000
2-Pentanol	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Glicerol	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001

Tabla C21. Continuación Composición de cada corriente para las torres de destilación

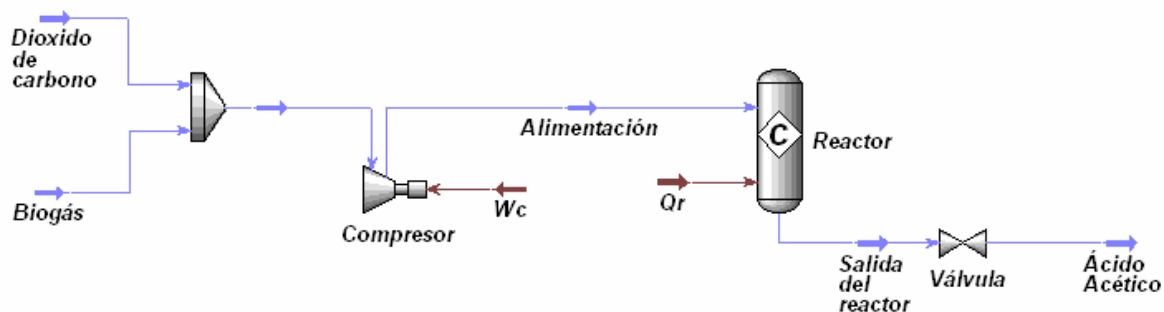


Fig C.2 diagrama de producción de ácido acético

C.1.5 Balance de masas para producción de ácido acético

Corriente	Dióxido de carbono	Biogás	Alimentación	Salida del reactor	Acido Acético
Fracción de vapor	1	1	1	0	4,71E-02
Temperatura (oC)	30,00	30,00	377,64	76,85	70,49
Presión (Kpa)	100,00	100,00	2500,00	2500,00	100,00
Flujo másico (Kg/h)	330,07	390,83	720,90	703,66	703,66

Tabla C22. Balance de masa producción de ácido acético

Corriente	Dióxido de carbono	Biogás	Alimentación	Salida del reactor	Acido Acético
H ₂ O	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Metano	0,000	0,700	0,479	0,000	0,000
CO ₂	1,000	0,290	0,514	0,039	0,039
Acido acético	0,000	0,000	0,000	0,960	0,960
Hidrogeno	0,000	0,009	0,006	0,001	0,001
Nitrógeno	0,000	0,001	0,000	0,000	0,000
CO	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Oxigeno	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
H ₂ S	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000

Tabla C23. Composición de cada corriente para la producción de ácido acético

C.2 Balance de masa para la Producción de Bioetanol Zona C

Molino	Corrientes (Kg/h)	Jugo	Bagazo
1	Entrada	36850	30150
	Salida de Jugo	25058	6515,08
	Salida Bagazo	11792	23634,92
2	Entrada	11792	23634,92
	Salida de Jugo	3685	958,1
	Salida Bagazo	8107	22676,82
3	Entrada	8107	22676,82
	Salida de Jugo	1842,5	249,106
	Salida Bagazo	6264,5	22427,714
4	Entrada	6264,5	22427,714
	Salida de Jugo	1474	383,24
	Salida Bagazo	22427,714	22044,474
5	Entrada	4790,5	22044,474
	Salida de Jugo	1105,5	287,43
	Salida Bagazo	3685	21757,044
6	Entrada	3685	21757,044
	Salida de Jugo	1105,5	287,43
	Salida Bagazo	2579,5	21469,614
Total	Salida jugo	34270,5	8680,386
Salidas	Salida Bagazo	2579,5	21469,614

Tabla C25. Balance de masa para molienda.

Componente (Kg/h)	Entrada	Salida 2	Salida al filtro
Jugo	34270,5	1233,36	33037,14
Sólidos	8910,33	6471,93	100,59
Lechada	52,88	0	52,88
Solución balsa	633,55	0	633,55
Cachaza	0	2337,810136	0

Tabla C26. Balance de masa Clarificador

Componente (Kg/h)	Entrada	salida (residuos)	Salida a tanque
Jugo	33706,07	19,11	33686,96
Sólidos	100,59	95,56	5,03

Tabla C27. Balance de masa Filtro Rotatorio

Componente (Kg/h)	entrada	Salida (al fermentador)
Agua	26949,57	26949,57
Azucares	6737,39	6737,39
Levadura	336,87	336,87
Nutrientes	1,34	1,34
Acido fosfórico	3,80	3,80

Tabla C28. Balance de masa Tanque preparador

Componente (Kg/h)	Entrada	Salida a torre	Salida CO2
Agua	26949,57	26886,41	63,16
Levadura	336,87	336,87	0
Nutrientes	1,34	1,34	0
Acido fosfórico	3,80	3,80	0
Etanol	0	3238,17	63,16
CO2	0	0	3157,786453
Azucares	6737,392248	22,26	0
Glicerol	0	134,748	0
Succinato	0	33,69	0
Fusel oil	0	13,47	0
Acetato	0	47,16	0
Butilen Glicol	0	26,95	0

Tabla C29. Balance de masa en el Fermentador

C.2.1 Balance de masa para las etapas de destilación en la zona C

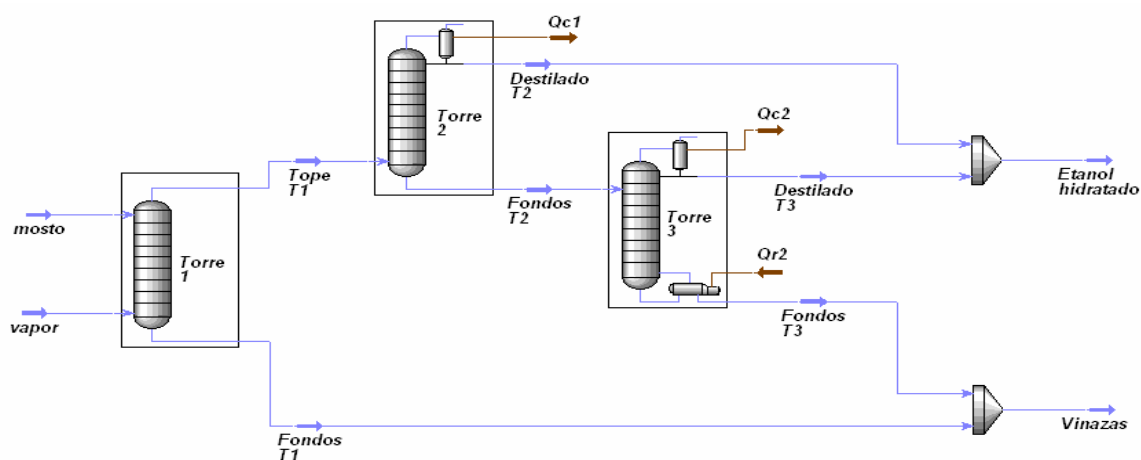


Fig C.3 sistema de destilación Zona C

Corriente	Mosto	Vapor	Tope T1	Fondos T1	Destilado T2
Fracción de vapor	0	1	1	0	0
Temperatura (oC)	30,00	140,00	90,58	100,02	78,24
Presión (Kpa)	101,32	361,26	101,32	101,32	101,32
Flujo másico (Kg/h)	30744,87	7550,00	5991,95	32302,92	486,92

Tabla C30. Balances de masa torres de destilación para la zona C

Corriente	Fondos T2	Destilado T3	Fondos T3	Etanol hidratado	Vinazas
Fracción de vapor	0	0	0	0	4,04E-06
Temperatura (oC)	81,60	78,22	99,34	78,16	99,97
Presión (Kpa)	101,32	101,32	101,32	101,32	101,32
Flujo másico (Kg/h)	5505,03	3093,92	2411,11	3093,92	34714,03

Tabla C31. Continuación Balances de masa torres de destilación para la zona C

Corriente	mosto	vapor	Tope T1	Fondos T1	Destilado T2
Etanol	0,045	0,000	0,323	0,000	0,804
H2O	0,954	1,000	0,676	0,999	0,196
Metanol	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Acido acético	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000
1-Propanol	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
2-Propanol	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
1-Butanol	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
3-M-1-C4ol	0,000	0,000	0,001	0,000	0,000
Glicerol	0,001	0,000	0,000	0,001	0,000

Tabla C32. Composición en masa de cada corriente para las torres de destilación

Corriente	Fondos T2	Destilado T3	Fondos T3	Etanol hidratado	Vinazas
Etanol	0,295	0,811	0,001	0,810	0,000
H2O	0,704	0,188	0,998	0,189	0,999
Metanol	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Acido acético	0,000	0,000	0,001	0,000	0,000
1-Propanol	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
2-Propanol	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
1-Butanol	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
3-M-1-C4ol	0,001	0,000	0,001	0,000	0,000
Glicerol	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001

Tabla C.33. Continuación Composición en masa de cada corriente para las torres de destilación

	Entrada	Salida Etanol	Salida agua
Etanol (Kg/h)	2815,47	2815,47	0
Agua (Kg/h)	278,45	2,97	275,48

Tabla C34. Balance de masa para el Tamiz molecular

C.1.5 Balance de masas para producción de ácido acético Zona C

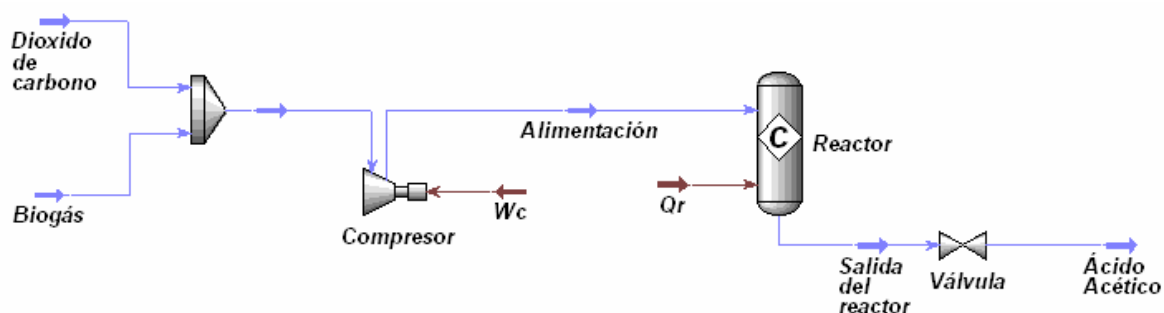


Fig C.4 diagrama de producción de ácido acético

Corriente	Dióxido de carbono	Biogás	Alimentación	Salida del reactor	Acido Acético
Fracción de vapor	1	1	1	0	4,69E-02
temperatura (°C)	30,00	30,00	377,64	76,85	70,52
Presión (Kpa)	100,00	100,00	2500,00	2500,00	100,00
Flujo másico (Kg/h)	353,00	418,44	771,44	753,26	753,26

Tabla C35. Balance de masa producción de ácido acético

Corriente	Dióxido de carbono	Biogás	Alimentación	Salida del reactor	Acido acético
H ₂ O	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Metano	0,000	0,700	0,479	0,000	0,000
CO ₂	1,000	0,290	0,514	0,039	0,039
Acido acético	0,000	0,000	0,000	0,960	0,960
Hidrogeno	0,000	0,009	0,006	0,001	0,001
Nitrógeno	0,000	0,001	0,000	0,000	0,000
CO	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Oxigeno	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
H ₂ S	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000

Tabla C37. Composición de cada corriente para la producción de ácido acético

Zona C

Anexo D

Diseño y especificaciones de los equipos

D.1. Calculo de intercambiadores de calor:

Para los cálculos de intercambiadores de calor se siguieron los métodos estándares del caso, tomando como aproximación de los diferentes coeficientes de transferencia de calor los reportados por la literatura en la heurística del diseño:

Tipo de fluido	Coficiente global de transferencia de calor BTU/(h ft ² °F)
De agua a liquido	150
En condensadores	150
De liquido a liquido	50
De liquido a gas	5
De gas a gas	5
En rehervidores	200

Fuente: Retamoso C

Tabla D1. Coeficientes globales de transferencia de calor

Con el conocimiento de las temperaturas de entrada y salida de los fluidos se calculo el Dt_{ml} para cada intercambiador en contra flujo:

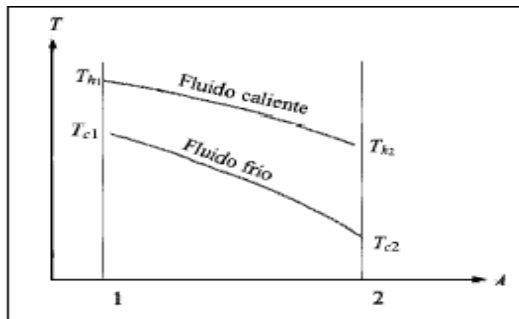


Fig. D1. Perfil de temperatura en intercambiadores de calor a contracorriente

$$\Delta T1 = Th1 - Th2$$

$$\Delta T2 = Tc1 - Tc2$$

$$Dtlm = (\Delta T1 - \Delta T2) / \ln(\Delta T1 / \Delta T2)$$

Una vez calculada la Dtlm, y conocido el calor que se transfiere entre los dos fluidos se calcula el área de transferencia.

$$Q = UADtlm$$

Intercambiador	Th1 (°C)	Th2 (°C)	Tc1 (°C)	Tc2 (°C)	Dtlm (°C)	U BTU/(h ft ² °F)	Q Btu/°F h	A (ft ²)	Dcarcaza (ft)
Evaporador	140	140	100	25	40	200	3,71E+07	2575	4.7
Condensador 1	78,32	78,32	50	27	38,69	150	4,95E+06	473,70	2,14
Condensador2	78,26	78,26	50	27	38,63	150	8,99E+06	861,98	2,72
Rehervidor 1	140	140	99,12	99,12	40,88	200	9,05E+06	614,60	2,34
Intercambiador E100	99,78	30	50	25	19,49	150	7,28E+06	1383,78	3,3
Intercambiador E103	212	212	150	150	62	150	2.757E+06	124	1.18

Tabla D2. Características de los intercambiadores de calor zona A

Intercambiador	Th1 (°C)	Th2 (°C)	Tc1 (°C)	Tc2 (°C)	Dtlm (°C)	U BTU/(h ft ² °F)	Q Btu/°F h	A (ft ²)	Dcarcaza (ft)
Evaporador	140	140	100	25	40	200	1,48E+08	1200	3.1
Condensador 1	78,32	78,32	50	27	38,69	150	8.56E+06	818,91	2,63
Condensador2	78,26	78,26	50	27	38,63	150	9,84E+06	942.27	2.81
Rehervidor 1	140	140	99,12	99,12	40,88	200	9.967E+06	679.3	2,47
Intercambiador E100	99,78	30	50	25	19,49	150	9.663E+06	1836	3,74
Intercambiador E101	212	212	150	150	62	150	3.68E+6	165	1.37

Tabla D3. Características de los intercambiadores de calor zona C

D.4 Molinos para Caña

Para el balance de masa se tomaron los porcentajes de extracción mostrados en la figura D2.

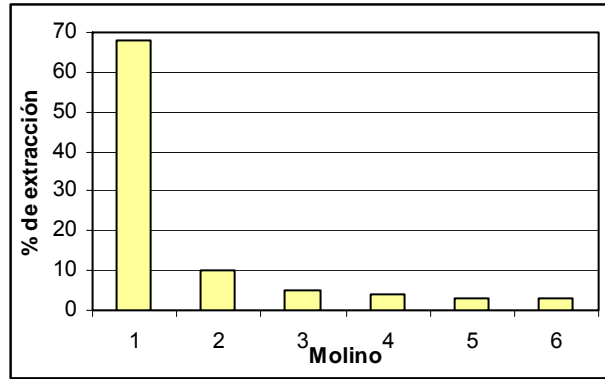


Figura D2. Valores de Extracción para los molinos

Para la potencia del molino se utilizó la siguiente ecuación :

$$HP = C * (V^{1.219} * T^{0.918}) / (71.888)$$

Donde: C: 1.5, Factor de corteza. Depende del grado de preparación de la caña.

V: velocidad de los rodillos 28 ft /min

T: Toneladas Cortas/h

Molino	Factor corteza	Velocidad de los rodillos	Entrada	potencia
	C	V [ft/min]	[toncortas/h]	Hp
1	1,5	28	81,24	68,66
2	1,5	28	39,05	35,05
3	1,5	28	33,93	31,63
4	1,5	28	31,63	29,58
5	1,5	28	29,58	27,16
6	1,5	28	28,04	25,86

Tabla D4.Potencia para los molinos de rodillos

D.3. Diseño del filtro rotatorio:

1. Se escoge el espesor de torta según recomendación de la tabla 18.8
2. Se lee en la figura 18-98 el valor del peso de torta seca W (Kg) que se genera por ciclo.
3. Se lee en la figura 18-99 el valor del tiempo de formación f (min) de torta seca que se genera por ciclo.
4. Se lee en la figura 18-102 el valor θ_d/W y se halla θ_d (tiempo de secado min)
5. Se Calculan los tiempos de ciclo C_t (m) dividiendo los tiempo de formación y el tiempo de secado por los factores dados en la tabla18.9
 $C_t = f/0.28$, $C_t = \theta_d/0.45$ y se toma el mayor (rpm)
6. Se Calculan los factores de escalado (f_c) como se muestra en Perry 18-86, para calcular la rata de filtración dividiendo con :
 $R_f = W/C_t \cdot 60 \cdot f_c$ (Kg/h \cdot m 2)
7. Se Calculan el área de filtración con:
 $A = q \cdot 1000/R_f$ (m 2)
 $q =$ flujo a filtrar (Ton /h)

Flujo de alimento [Kg/h]	34
Espesor de torta [cm]	1,5
Humedad en la torta	25
W	20
f	1,2
T_{dw}	0,04
T_d	0,817
CT_f	4,219
CT_d	1,817
Rata de filtracion	164,96
Area de filtracion [m2]	206,1

Tabla D5. Especificaciones del Filtro Rotatorio

D.4. Diseño del fermentador

Balance de masa: El balance viene dado por la ecuación:

$$V \cdot \frac{\partial X}{\partial t} = F_1 X_1 - FX + Vr_x$$

Donde F= flujo volumétrico

V= Volumen del reactor

X= concentración

Si alimentamos con medio fresco, X1 es igual a cero y $r_x = \mu$ entonces:

$$\frac{F}{V} = \mu$$

Donde μ = velocidad específica de crecimiento = 0.45 h^{-1} (microbiología industrial página 75)

Fermentadores	Zona C
Caudal	30,44
Diseño	30,44
Volumen [m3]	67,64
Diámetro	5,91
altura	2,71
Hp	137,2

Tabla D6. Diseño del fermentador Zona C

Fermentadores	Zona A
Caudal	24,72
Diseño	24,72
Volumen [m3]	54,93
Diámetro	5,52
altura	2,53
Hp	75

Tabla D7. Diseño del fermentador Zona A

D.5. Bombas

Se utilizaron las curvas características figura 10.28 y 10.29 (Perry.s Chemical Engineers. Handbook. 1999.) para el diseño de las bombas. Se leyó la capacidad, la velocidad, el diámetro del impelente y la potencia.

Bomba	Flujo [gpm]	Cabeza [ft de liquido]	rpm	d. del impelente. [in]	Potencia [Hp]
Salida del molinos	198,15	88	3450	5	5
Salida clarificador	149,71	88	3450	5	5
Salida del filtro	148,33	88	3450	5	5
Salida del tanque	149,71	88	3450	5	5
Salida fermentador 1	136,50	88	3450	5	5
Bomba salida torre1	142,24	88	3450	5	5
Bomba salida torre2 (fondo)	24,24	28	1750	5	0,5
Bomba salida torre2 (tope)	2,14	28	1750	5	0,5
Bomba salida torre3 (fondo)	10,62	28	1750	5	0,5
Bomba salida torre3 (tope)	13,62	28	1750	5	0,5
Bomba de etanol	15,77	28	1750	5	0,5
Bomba de vinazas	152,86	88	3450	5	5

Tabla D8. Diseño de bombas Zona C

Bomba	Flujo [gpm]	Cabeza ft de liquido	rpm	d. del impelente. in	Potencia Hp
Salida del sedimentador yuca	8,95	28	1750	5	0,5
Salida sedimentador de papa	5,46	28	1750	5	0,5
Salida tanque de almacenamiento	413,91	88	3450	5	5
Salida al tanque de hidrólisis	176,13	95	3450	5	7
Salida del tanque h. al ferm.	198,15	88	3450	5	5
salida del filtro	176,13	92	3450	5	7
Entrada al fermentador	110,08	22	1750	5	1,5
Salida del fermentador	101,48	22	1750	5	1,5
Bomba salida torre1	107,38	22	1750	5	1,5
Bomba salida torre2 (fondo)	17,05	28	1750	5	0,5
Bomba salida torre2 (tope)	2,80	28	1750	5	0,5
Bomba salida torre3 (fondo)	5,34	28	1750	5	0,5
Bomba salida torre3 (tope)	12,42	28	1750	5	0,5
Bomba de etanol	15,21	28	1750	5	0,5
Bomba de vinazas	114,49	22	1750	5	1,5

Tabla D9. Diseño de bombas Zona A

D.6 Torres de Destilación

El diseño de las torres fue realizado en HYSYS 3.1, usando el paquete termodinámico NRTL recomendado para las mezclas del tipo etanol-agua.

D.6.1 Sistema de Destilación: Zona A

Torres	Diámetro (m)	Distancia entre platos (m)	Numero de platos	Presión (atm)
Torre 1	0.91	0.61	10	1
Torre 2	0.76	0.61	5	1
Torre 3	0.91	0.61	11	1

Tabla D10. Características de las torres para la zona A

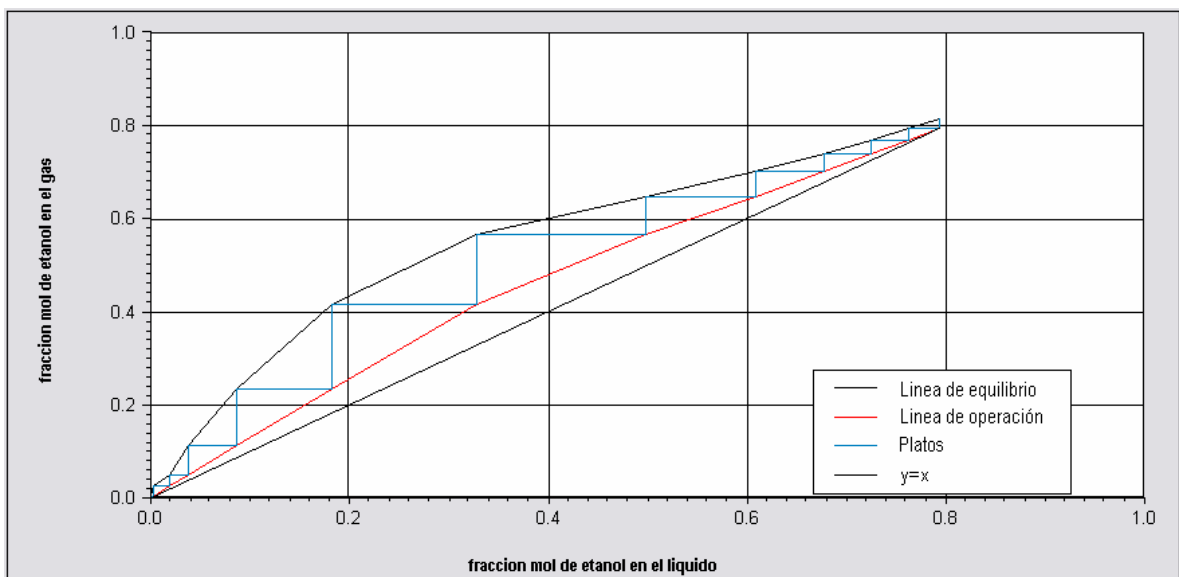


Figura D3. Representación de McCabe Thiele para la torre 2 zona A

D.6.2 Sistema de Destilación: Zona C

El diseño de las torres fue realizado en HYSYS 3.1, usando el paquete termodinámico NRTL recomendado para las mezclas del tipo etanol-agua.

Torres	Diámetro (m)	Distancia entre platos (m)	Numero de platos	Presión (atm)
Torre 1	1.5	0.5	25	1
Torre 2	1.5	0.5	5	1
Torre 3	1.5	0.55	14	1

Tabla D11. Características de las torres para la zona A

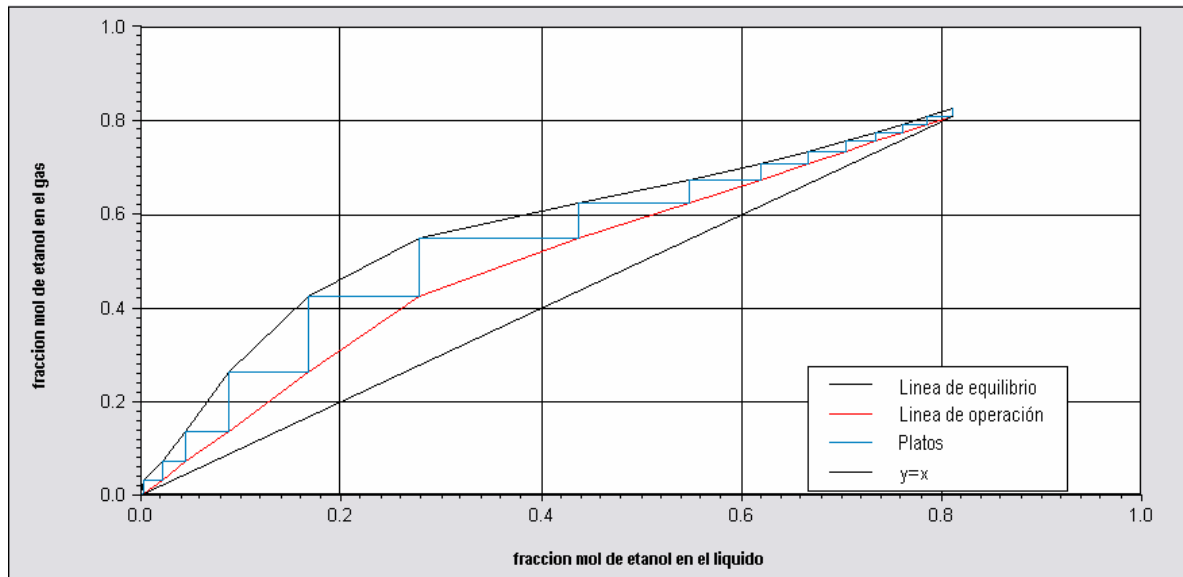


Figura D4. Representación de Mc Cabe thiele para la torre 2 zona C

D.7 Tratamiento de Vinazas

Los balances de masa se realizaron teniendo en cuenta el contenido de DQO producida por cada tipo de materia prima en las vinazas. La tabla D12 muestra esta composición para los diferentes tipos de materia prima:

Materia prima	DQO g/l
Caña	33
Maíz	56
Banana	53,7
Papa	39
Yuca	50,20

Tabla D12. DQO de la vinaza generada para cada materia prima

De acuerdo a la cantidad de vinaza que generaba cada una de estas diferentes materias para cada planta se promedió el contenido total de DQO en la vinaza producida. Con el contenido global de DQO, teniendo en cuenta la eficiencia del reactor UASB del 80% en la remoción de DQO y de 0.3 de producción de biogas por kilogramo de DQO removido, se procedió a realizar los balances de masa de la siguiente manera ¹²:

$$DQO_r = 0.8 * 1000 * DQO * V_v$$

$$Qb = 0.3 * DQO_r$$

Donde

$$DQO_r = \text{DQO removida [g/L]}$$

$$DQO = \text{DQO en la vinaza [g/L]}$$

$$V_v = \text{Flujo volumétrico de vinaza [m}^3\text{/h]}$$

$$Qb = \text{Flujo volumétrico de biogás generado [m}^3\text{/h]}$$

Una vez calculado el flujo de biogás, con la composición promedio de este gas dada en la literatura, se procede a realizar

D.7.1 Tratamiento Anaerobio de Vinazas: Zona A

$$DQO = 47,03$$

$$V_v = 25,53$$

$$DQO_r = 960,67$$

$$Qb = 288,22$$

Componente	Flujo másico (Kg/h)
Metano	182,46
CO ₂	207,88
Hidrogeno	0,15
CO	0,11
Oxigeno	0,07

Tabla D13. Flujo de biogas del Reactor UASB

D.7.2 Tratamiento Anaerobio de Vinazas: Zona C

$$DQO = 33$$

$$V_v = 34,76$$

$$DQO_r = 1028,54$$

$$Qb = 308,56$$

Componente	Flujo másico (Kg/h)
metano	195,35
CO ₂	222,56
Hidrogeno	0,16
CO	0,12
Oxigeno	0,07
Acido Sulhídrico	0,18

Tabla D14. Flujo de biogas del Reactor UASB

Para el diseño del reactor se tuvo en cuenta el THR (Tiempo Hidráulico de Retención) de 6 horas, y la carga volumétrica (flujo volumétrico), además de mantener la velocidad ascensional de el influente por debajo de 1 m/s.

Reactor UASB	Zona A	Zona C
Carga volumétrica m ³ /h	25,53	34,757
Tiempo de Retención h	6	6
Volumen [m ³]	153,19	208,542
Altura [m]	6	6
Área transversal [m ²]	25,53	34,757

Tabla D.15 Reactores de tratamiento anaerobio para las zonas A y C

Anexo E

E1. Análisis de prefactibilidad Zona A

Equipo	Capacidad	Cantidad	Valor \$	Impuestos 20%
Lavadora/peladora de yuca	2 ton/h	3	7632673,08	9159207,692
Rayador de yuca	2 ton/h	3	3816336,54	4579603,846
Colador de yuca	1500 kg/h	3	20073930,2	24088716,23
Tanques de Sedimentación	7,2 m3	5	190816827	228980192,3
Lavadora	2 ton/h	3	7632673,08	9159207,692
Rayador de papa	2 ton/h	3	3816336,54	4579603,846
Colador de papa	1500 kg/h	3	20073930,2	24088716,23
Tanques de sedimentación	7,2 m3	5	190816827	228980192,3
Despulpadora de banano	1000 kg/h	3	14820000,00	14820000,00
Pulverizadora de maíz	1500 lb/h	1	82687291,7	99224750
Tanque	26 m3	1	46906245,5	56287494,55
Evaporador	5150 ft2	2	420278181	504333816,7
Tanques de sedimentación	7,2 m3	2	76326730,8	91592076,92
Fermentadores	75 hp	1	145048544	174058252,4
Torres de destilacion1	1,5 m	10	19293701,4	23152441,67
T. de destilación 2	1,5 m	5	9646850,69	11576220,83
T de destilación 3	1.5 m	11	21223071,5	25467685,83
Condensador1	474 ft2	1	36774340,8	44129208,96
Condensador1	862 ft2	1	51484077,1	61780892,54
Rehervidor1	615 ft2	1	42027818,1	50433381,67
Intercambiador E100	1384 ft2	1	67244508,9	80693410,67
Intercambiador E102	124 ft2	1	21013909	25216690,83
Tanque de almacenamiento	8500 gal	1	55124861,1	66149833,33
Intercambiador de calor	56,8 ft2	1	5512486,11	6614983,333
Tanque del tamiz	1,33 m3	2	18742452,8	22490943,33
Tamiz (zeolita tipo 3A 4-8 mesh)*	1 kg	1800	280800	280800
Bomba centrífuga	7 hp	2	18058904,5	21670685,4
Bomba centrífuga	5 hp	3	27088356,8	32506028,1
Bomba centrífuga	1,5 hp	4	21035647	25242776,4
Bomba centrífuga	0,5 hp	7	29866649,8	35839979,7
Banda transportadora de yuca	6 ton	1	16342900	19611480
Banda transportadora de papa	6 ton	1	16342900	19611480
Banda transportadora de plátano	3 ton/h	1	16342900	19611480
Banda transportadora de maíz	1 ton/h	1	16342900	19611480
		Total	1.740.536.561	208.562.3713

Tabla E1. Costos de equipos zona A (antes de coproductos)

Equipo	Capacidad	Cantidad	Valor \$	Impuestos 20%
Reactor UASB	153,18m3	1	38587402778	46304883333
Compresor	330 ft3/min.	1	2334,7	2801,64
Reactor	28,3 m3	1	2334,7	2801,64
Válvula	1/2 in	2	4669,4	5603,28
Tanque purificador de CO2	0,21m3	1	2334,7	2801,64
Carbón Activado	1 ft3	15	35020,5	42024,6
catalizador	1 KG	214,12	499908,79	599890,55
		Total	38.587.949.381	46.305.539.257

Tabla E2. Costos de equipos zona A (coproductos)

Inversión de Capital

Costos Directos

Depreciables	Periodo	
	0	10
Costo de equipos		
Costo total equipos	2085623713,27	41712474,27
Instalación del equipo comprado 25%	506356841,2	10127136,82
Instrumentación y control 15 %	312843557	6256871,14
Instalaciones Eléctricas 10%	208562371,3	4171247,427
Edificios 18%	375412268,4	7508245,368
Tubería 8%	166849897,1	3336997,941
Servicios industriales 18%	375412268,4	7508245,368
Total	4031060916,66	80.621.218,33
No depreciables		
Terrenos 4%	44640000	0
Total	44640000	0
Total Costos Directos	4.075.700.916,66	0

Costos Indirectos

Construcción 10%	208562371,3
Ingeniería y Supervisión	417124742,7
Honorarios Contratista	83424948,53
Contingencia	260702964,2
Total costos Indirectos	761.252.655,34

Total Flujos netos

Total Costos Directos e Indirectos	4836953572,00	4156322135
Total inversión de Capital fijo	4836953572,00	
Capital de trabajo (20% Capital fijo)	967390714,40	
Total flujos netos	5.804.344.286,41	5.123.712.849

	Cantidad	Salario	mensual	Año 0	año 1	Año 2	Año 3	Año 4
Gerente	1	3000000	3000000	36000000	38160000	40449600	42876576	45449170,56
Ingenieros Químicos	4	2000000	8000000	96000000	101760000	107865600	114337536	121197788,2
Jefe de personal	1	1800000	1800000	21600000	22896000	24269760	25725945,6	27269502,34
Operadores	10	1150000	11500000	138000000	146280000	155056800	164360208	174221820,5
Aseadoras	2	808000	1616000	19392000	20555520	21788851,2	23096182,3	24481953,21
Secretaria	1	808000	808000	9696000	10277760	10894425,6	11548091,1	12240976,6
Celadores	6	808000	4848000	58176000	61666560	65366553,6	69288546,8	73445859,62
Total	25		31572000	378864000	401595840	425691590	451233086	478307071
Prestaciones Sociales								
Cesantías	8%		2525760	30309120	32127667,2	425691590	451233086	38264565,68
Primas	8%		2525760	30309120	32127667,2	425691590	451233086	38264565,68
Salud y pensión	14%		252000	53040960	56223417,6	59596822,7	63172632	66962989,94
Total			5303520	113659200	120478752	910980003	965638804	143492121,3
Aportes Parafiscales								
ICBF	3%		947160	11365920	12047875,2	12770747,7	13536992,6	14349212,13
Caja de Compensación	3%		947160	11365920	12047875,2	12770747,7	13536992,6	14349212,13
Sena	2%		631440	7577280	8031916,8	8513831,81	9024661,72	9566141,419
Total			2525760	30309120	32127667,2	34055327,2	36098646,9	38264565,68
Valor Nómina			39.401.280	522.832.320	46.5851.174	493.802.245	523.430.380	554.836.202,3

Tabla E3. Nómina para la planta de Bioetanol Zona A

Nota: Los cálculos se realizaron con un aumento de la inflación de 6% anual

Cargos	Cantidad	Salario Mensual	Año 5	Año 6	Año 7	Año 8	Año 9	Año 10
Gerente	1	3000000	48176120,79	51066688	54130689,3	57378530,7	60821242,52	64470517,08
Ingenieros Químicos	4	2000000	128469655,4	136177835	144348505	153009415	162189980,1	171921378,9
Jefe de personal	1	1800000	28905672,48	30640012,8	32478413,6	34427118,4	36492745,51	38682310,25
Operadores	10	1150000	184675129,7	195755637	207500976	219951034	233148096,3	247136982,1
Aseadoras	2	808000	25950870,4	27507922,6	29158398	30907901,9	32762375,97	34728118,53
Secretaria	1	808000	12975435,2	13753961,3	14579199	15453950,9	16381187,99	17364059,27
Celadores	6	808000	77852611,2	82523767,9	87475193,9	92723705,6	98287127,92	104184355,6
Total	25		507005495,2	537425825	569671374	603851657	640082756,3	678487721,7
Prestaciones Sociales								
Cesantías	8%		40560439,62	42994066	45573710	48308132,6	51206620,51	54279017,74
Primas	8%		40560439,62	42994066	45573710	48308132,6	51206620,51	54279017,74
Salud y pensión	14%		70980769,33	75239615,5	79753992,4	84539232	89611585,89	94988281,04
Total			152101648,6	161227747	170901412	181155497	192024826,9	203546316,5
Aportes Parafiscales								
ICBF	3%		15210164,86	16122774,7	17090141,2	18115549,7	19202482,69	20354631,65
Caja de Compensación	3%		15210164,86	16122774,7	17090141,2	18115549,7	19202482,69	20354631,65
Sena	2%		10140109,9	10748516,5	11393427,5	12077033,1	12801655,13	13569754,43
Total			40560439,62	42994066	45573710	48308132,6	51206620,51	54279017,74
Valor Nómina			588.126.374,5	623.413.957	660.818.794	700.467.922	742.495.997,3	787.045.757,2

Tabla E4. Continuación Nómina para la planta de Bioetanol Zona A

	Periodo					
	0	1	2	3	4	5
Costos de Producción						
Materia prima		25913467877,00	27468275950	29116372507	30863354857	32715156148
Mano de obra		132480000	140428800	148854528	157785799,7	167252947,7
Otros 2%		520918957,5	552174095	585304540,7	620422813,1	657648181,9
Total costos de producción	0	26566866834,54	28160878845	29850531575	31641563470	33540057278
Costos Administrativos						
Gastos Administrativos		322920000	342295200	362832912	384602886,7	407679059,9
Gastos de distribución 5%		1328343342	1408043942	1492526579	1582078173	1677002864
Otros 10%		165126334,2	175033914,2	185535949,1	196668106	208468192,4
Total	0	1816389676	1925373056	2040895440	2163349166	2293150116
Otros costos Indirectos						
Levadura	0	129567339,4	137341379,7	145581862,5	154316774,3	163575780,7
Nutrientes	0	129567339,4	137341379,7	145581862,5	154316774,3	163575780,7
Suministros (papelería, etc.)		12956733,94	13734137,97	14558186,25	15431677,43	16357578,07
Depreciaciones		783657354,1	830676795,3	880517403	933348447,2	989349354
Servicios		7774040363	8240482785	8734911752	9259006457	9814546845
Mantenimiento		664713280,4	704596077,2	746871841,9	791684152,4	839185201,5
Seguros		332356640,2	352298038,6	373435920,9	395842076,2	419592600,8
Impuestos		332356640,2	352298038,6	373435920,9	395842076,2	419592600,8
Total gastos Indirectos	0	10159215691	10768768632	11414894750	12099788435	12825775741
Total costo de operación	0	38.542.472.201,16	40.855.020.533	43.306.321.765	45.904.701.071	48.658.983.135

Tabla E5. Costos de Producción Zona A

	Periodo				
	6	7	8	9	10
Costos de Producción					
Materia prima	34678065517	36758749448	38964274415	41302130880	43780258733
Mano de obra	177288124,5	187925412	199200936,7	211152992,9	223822172,5
Otros 2%	697107072,8	738933497,2	783269507	830265677,5	880081618,1
Total costos de producción	35552460715	37685608358	39946744859	42343549551	44884162524
Costos Administrativos					
Gastos Administrativos	432139803,5	458068191,7	485552283,2	514685420,2	545566545,4
Gastos de distribución 5%	1777623036	1884280418	1997337243	2117177478	2244208126
Otros 10%	220976283,9	234234861	248288952,6	263186289,8	278977467,2
Total	2430739123	2576583471	2731178479	2895049188	3068752139
Otros costos Indirectos					
Levadura (0.5% MP)	173390327,6	183793747,2	194821372,1	206510654,4	218901293,7
Nutrientes (0.5% MP)	173390327,6	183793747,2	194821372,1	206510654,4	218901293,7
Suministros (papelería, etc.)	17339032,76	18379374,72	19482137,21	20651065,44	21890129,37
Depreciaciones	1048710315	1111632934	1178330910	1249030765	1323972611
Servicios	10403419655	11027624835	11689282325	12390639264	13134077620
Mantenimiento	889536313,6	942908492,5	999483002	1059451982	1123019101
Seguros	444768156,8	471454246,2	499741501	529725991,1	561509550,5
Impuestos	444768156,8	471454246,2	499741501	529725991,1	561509550,5
Total gastos Indirectos	13595322286	14411041623	15275704120	16192246367	17163781149
Total costo de operación	51.578.522.124	54.673.233.451	57.953.627.458	61.430.845.105	65.116.695.812

Tabla E6. Continuación de Costos de Producción Zona A

	Periodo					
	0	1	2	3	4	5
Ingresos por Ventas	0	16617832011	17614901931	18671796047	19792103810	20979630039
Costo Total	0	38542472201	40855020533	43306321765	45904701071	48658983135
Utilidad Bruta Antes de impuestos	0	-21924640191	-23240118602	-24634525718	-26112597261	-27679353097
Impuestos	0	-7673624067	-8134041511	-8622084001	-9139409041	-9687773584
Utilidad después de impuestos	0	-14251016124	-15106077091	-16012441717	-16973188220	-17991579513
Reserva legal	0	-1425101612	-1510607709	-1601244172	-1697318822	-1799157951
Utilidad por distribuir	0	-12825914511	-13595469382	-14411197545	-15275869398	-16192421562
Depreciaciones	0	108234962,6	114729060,4	121612804	128909572,3	136644146,6
Total Flujo de Producción	0	-21.924.640.190,6	-23.240.118.602,0	-24.634.525.718,1	-26.112.597.261,2	-27.679.353.096,9

	Periodo				
	6	7	8	9	10
Ingresos por Ventas	22238407841	23572712311	24987075050	26486299553	28075477526
Costo Total	51578522124	54673233451	57953627458	61430845105	65116695812
Utilidad Bruta Antes de impuestos	-29340114283	-31100521140	-32966552408	-34944545553	-37041218286
Impuestos	-10269039999	-10885182399	-11538293343	-12230590943	-12964426400
Utilidad después de impuestos	-19071074284	-20215338741	-21428259065	-22713954609	-24076791886
Reserva legal	-1907107428	-2021533874	-2142825907	-2271395461	-2407679189
Utilidad por distribuir	-17163966855	-18193804867	-19285433159	-20442559148	-21669112697
Depreciaciones	144842795,4	153533363,1	162745364,9	172510086,8	182860692
Total flujo de producción	-29.340.114.282,7	-31.100.521.139,7	-32.966.552.408,1	-34.944.545.552,5	-37.041.218.285,7

Tabla E7. Presupuesto de Producción Zona A

Periodo	Inversión	Producción	FNC	TIR
0	5804344286,41	0	-5804344286,41	NC
1	0	-21924640190,58	-21924640190,58	NC
2	0	-23240118602,01	-23240118602,01	NC
3	0	-24634525718,13	-24634525718,13	NC
4	0	-26112597261,22	-26112597261,22	NC
5	0	-27679353096,89	-27679353096,89	NC
6	0	-29340114282,70	-29340114282,70	NC
7	0	-31100521139,67	-31100521139,67	NC
8	0	-32966552408,05	-32966552408,05	NC
9	0	-34944545552,53	-34944545552,53	NC
10	5.123.712.849	-37.041.218.285,7	-31.917.505.436,3	NC

NC: No calculado debido a una multiplicación por cero

Tabla E8. Flujo Neto de caja y TIR (Tasa Interna De retorno)

E.1.1. Análisis de prefactibilidad Zona A con Coproductos

Costos Directos

Depreciables	Año	
	0	10
Costo de equipos		
Costo total equipos	50796622237,48	1015932445
Instalación del equipo comprado 25%	12684106472	253682129,4
Instrumentación y control 15 %	7619493336	152389866,7
Instalaciones Eléctricas 10%	5079662224	101593244,5
Edificios 18%	9143392003	182867840,1
Tubería 8%	4063729779	81274595,58
Servicios industriales 18%	10159324447	203186488,9
Total	99546330498,38	1990926610
No depreciables		
Terrenos 4%	44640000	0
Total	44640000	0
Total Costos Directos	99.590.970.498,38	0

Costos indirectos

Construcción 10%	5079662224
Ingeniería y Supervisión	10159324447
Honorarios Contratista	2031864889
Contingencia	6349577780
Total costos Indirectos	18.540.767.116,68

Total Costos Directos e Indirectos	4836953572,00	4156322135
Total inversión de Capital fijo	4836953572,00	
Capital de trabajo (20% Capital fijo)	967390714,40	
Total flujos netos	5.804.344.286,41	5.123.712.849

Cargos	Cantidad	Salario	mensual	Año 0	año 1	Año 2	Año 3	Año 4
Gerente	1	3000000	3000000	36000000	38160000	40449600	42876576	45449170,56
Ingenieros Químicos	5	2000000	10000000	120000000	127200000	134832000	142921920	151497235,2
Jefe de personal	1	1800000	1800000	21600000	22896000	24269760	25725945,6	27269502,34
Operadores	12	1150000	13800000	165600000	175536000	186068160	197232250	209066184,6
Aseadoras	2	808000	1616000	19392000	20555520	21788851,2	23096182,3	24481953,21
Secretaria	1	808000	808000	9696000	10277760	10894425,6	11548091,1	12240976,6
Celadores	6	808000	4848000	58176000	61666560	65366553,6	69288546,8	73445859,62
Total	28		35872000	430464000	456291840	483669350	512689511	543450882,1
Prestaciones Sociales								
Cesantías	8%		2869760	34437120	36503347,2	483669350	512689511	43476070,57
Primas	8%		2869760	34437120	36503347,2	483669350	512689511	43476070,57
Salud y pensión	14%		5022080	60264960	63880857,6	67713709,1	71776531,6	76083123,5
Total			10761600	129139200	136887552	1035052410	1097155554	163035264,6
Aportes Parafiscales								
ICBF	3%		1076160	12913920	13688755,2	14510080,5	15380685,3	16303526,46
Caja de Compensación	3%		1076160	12913920	13688755,2	14510080,5	15380685,3	16303526,46
Sena	2%		717440	8609280	9125836,8	9673387,01	10253790,2	10869017,64
Total			2869760	34437120	36503347,2	38693548	41015160,9	43476070,57
Valor Nómina			37.431.360	594.040.320	529.298.534	561.056.446	594.719.833	630.403.023,2

Tabla E9. Nómina de planta de Bioetanol y Coproductos Zona A

Cargos	Cantidad	Salario Mensual	Año 5	Año 6	Año 7	Año 8	Año 9	Año 10
Gerente	1	3000000	48176120,79	51066688,04	54130689,32	57378530,68	60821242,52	64470517,08
Ingenieros Químicos	5	2000000	160587069,3	170222293,5	180435631,1	191261768,9	202737475,1	214901723,6
Jefe de personal	1	1800000	28905672,48	30640012,82	32478413,59	34427118,41	36492745,51	38682310,25
Operadores	12	1150000	221610155,7	234906765	249001170,9	263941241,1	279777715,6	296564378,5
Aseadoras	2	808000	25950870,4	27507922,62	29158397,98	30907901,86	32762375,97	34728118,53
Secretaria	1	808000	12975435,2	13753961,31	14579198,99	15453950,93	16381187,99	17364059,27
Celadores	6	808000	77852611,2	82523767,87	87475193,95	92723705,58	98287127,92	104184355,6
Total	28		576057935	610621411,1	647258695,8	686094217,6	727259870,6	770895462,8
Prestaciones Sociales								
Cesantías	8%		46084634,8	48849712,89	51780695,66	54887537,4	58180789,65	61671637,03
Primas	8%		46084634,8	48849712,89	51780695,66	54887537,4	58180789,65	61671637,03
Salud y pensión	14%		80648110,91	85486997,56	90616217,41	96053190,46	101816381,9	107925364,8
Total			172817380,5	183186423,3	194177608,7	205828265,3	218177961,2	231268638,9
Aportes Parafiscales								
ICBF	3%		17281738,05	18318642,33	19417760,87	20582826,53	21817796,12	23126863,89
Caja de Compensación	3%		17281738,05	18318642,33	19417760,87	20582826,53	21817796,12	23126863,89
Sena	2%		11521158,7	12212428,22	12945173,92	13721884,35	14545197,41	15417909,26
Total			46084634,8	48849712,89	51780695,66	54887537,4	58180789,65	61671637,03
Valor Nómina			668.227.204,6	708.320.836,9	750.820.087,1	795.869.292,4	843.621.449,9	894.238.736,9

Tabla E10. Nómina de planta de Bioetanol y Coproductos Zona A

	Periodo					
	0	1	2	3	4	5
Costos de Producción						
Materia prima		25913467877	27468275950	29116372507	30863354857	32715156148
Mano de obra		165600000	175536000	186068160	197232249,6	209066184,6
Otros 2%		521581357,5	552876239	586048813,3	621211742,1	658484446,7
Total costos de producción	0	26.600.649.234,54	28196688189	29888489480	31681798849	33582706780
Costos Administrativos						
Gastos Administrativos		394128000	417775680	442842220,8	469412754	497577519,3
Gastos de distribución 5%		1330032462	1409834409	1494424474	1584089942	1679135339
Otros 10%		172416046,2	182761008,9	193726669,5	205350269,6	217671285,8
Total	0	1896576508	2010371098	2130993364	2258852966	2394384144
Otros costos Indirectos						
Levadura	0	129567339,4	137341379,7	145581862,5	154316774,3	163575780,7
Nutrientes	0	129567339,4	137341379,7	145581862,5	154316774,3	163575780,7
Suministros (papelería, etc.)		12956733,94	13734137,97	14558186,25	15431677,43	16357578,07
Depreciaciones		783657354,1	830676795,3	880517403	933348447,2	989349354
Servicios		10365387151	10987310380	11646549003	12345341943	13086062459
Mantenimiento		664713280,4	704596077,2	746871841,9	791684152,4	839185201,5
Seguros		332356640,2	352298038,6	373435920,9	395842076,2	419592600,8
Impuestos		332356640,2	352298038,6	373435920,9	395842076,2	419592600,8
Total gastos Indirectos	0	12750562478	13515596227	14326532001	15186123921	16097291356
Total costo de operación	0	41.247.788.220,86	43.722.655.514	46.346.014.845	491.26.775.736	52.074.382.280

Tabla E11. Costos de producción plante de bioetanol y coproductos Zona A

	Periodo				
	6	7	8	9	10
Costos de Producción					
Materia prima	34678065517	36758749448	38964274415	41302130880	43780258733
Mano de obra	221610155,7	234906765	249001170,9	263941241,1	279777715,6
Otros 2%	697993513,5	739873124,3	784265511,7	831321442,4	881200729
Total costos de producción	35597669186	37733529338	39997541098	42397393564	44941237178
Costos Administrativos					
Gastos Administrativos	527432170,4	559078100,7	592622786,7	628180153,9	665870963,2
Gastos de distribución 5%	1779883459	1886676467	1999877055	2119869678	2247061859
Otros 10%	230731563	244575456,8	259249984,2	274804983,2	291293282,2
Total	2538047193	2690330024	2851749826	3022854815	3204226104
Otros costos Indirectos					
Levadura (0.5% MP)	173390327,6	183793747,2	194821372,1	206510654,4	218901293,7
Nutrientes (0.5% MP)	173390327,6	183793747,2	194821372,1	206510654,4	218901293,7
Suministros (papelería, etc.)	17339032,76	18379374,72	19482137,21	20651065,44	21890129,37
Depreciaciones	1048710315	1111632934	1178330910	1249030765	1323972611
Servicios	13871226207	14703499779	15585709766	16520852352	17512103493
Mantenimiento	889536313,6	942908492,5	999483002	1059451982	1123019101
Seguros	444768156,8	471454246,2	499741501	529725991,1	561509550,5
Impuestos	444768156,8	471454246,2	499741501	529725991,1	561509550,5
Total gastos Indirectos	17063128837	18086916568	19172131562	20322459455	21541807023
Total costo de operación	55.198.845.217	58.510.775.930	62.021.422.485	65.742.707.834	69.687.270.305

Tabla E11. Continuación de Costos de producción planta de bioetanol y coproductos Zona A

	Periodo					
	0	1	2	3	4	5
Ingresos por Ventas	0	75747832011	80292701931	85110264047	90216879890	95629892683
Costo Total	0	41247788221	43722655514	46346014845	49126775736	52074382280
Utilidad Bruta Antes de impuestos	0	34500043790	36570046417	38764249202	41090104154	43555510404
Impuestos	0	12075015326	12799516246	13567487221	14381536454	15244428641
Utilidad después de impuestos	0	22425028463	23770530171	25196761981	26708567700	28311081762
Reserva legal	0	2242502846	2377053017	2519676198	2670856770	2831108176
Utilidad por distribuir	0	20182525617	21393477154	22677085783	24037710930	25479973586
Depreciaciones	0	108234962,6	114729060,4	121612804	128909572,3	136644146,6
Total Flujo de Producción	0	34.500.043.789,72	36.570.046.417,11	38.764.249.202,13	41.090.104.154,26	43.555.510.403,52

	Periodo				
	6	7	8	9	10
Ingresos por Ventas	1,01368E+11	1,0745E+11	1,13897E+11	1,20731E+11	1,27974E+11
Costo Total	55198845217	58510775930	62021422485	65742707834	69687270305
Utilidad Bruta Antes de impuestos	46168841028	48938971489	51875309779	54987828365	58287098067
Impuestos	16159094360	17128640021	18156358423	19245739928	20400484324
Utilidad después de impuestos	30009746668	31810331468	33718951356	35742088438	37886613744
Reserva legal	3000974667	3181033147	3371895136	3574208844	3788661374
Utilidad por distribuir	27008772001	28629298321	30347056221	32167879594	34097952369
Depreciaciones	144842795,4	153533363,1	162745364,9	172510086,8	182860692
Total flujo de producción	46.168.841.027,73	48.938.971.489,39	51.875.309.778,76	549.878.283.365,48	58.287.098.067,41

Tabla E12. Presupuesto de Producción planta de bioetanol y coproductos Zona A

Periodo	Inversión	Producción	FNC	TIR
0	1,41758E+11	0	-1,41758E+11	NC
1	0	34500043789,72	34500043790	NC
2	0	36570046417	36570046417	-36%
3	0	38764249202	38764249202	-12%
4	0	41090104154	41090104154	2%
5	0	43555510404	43555510404	11%
6	0	46168841028	46168841028	17%
7	0	48938971489	48938971489	20%
8	0	51875309779	51875309779	23%
9	0	54987828365	54987828365	25%
10	3,05714E+11	58.287.098.067	3,64001E+11	31%

NC: No calculado debido a una multiplicación por cero

Tabla E13. Flujo neto de caja Zona A

E.2. Análisis de prefactibilidad Zona C

Zona C

Equipo	Capacidad	Cantidad	Valor [\$]	Valor+ Impuestos de importación (20%)
Molino de rodillos	75 ton/h	1	206720885	248065063
Molino de rodillos	60 ton/h	5	826883542	992260250
tanque despues de molinos	6 m3	1	27562784,7	33075341,7
Intercambiador de calor	1200 ft2	1	28201080,8	33841296,9
Clarificador	50,26 m2	1	182860334	219432401
Filtro rotatorio	210 m2	1	1210400003	1452480004
Tanque mezclador	8 hp	1	38587898,6	46305478,3
Fermentadores	137,2 hp	1	118519974	142223969
Torres de destilacion1	1.5 m	25	199830189	239796227
T. de destilacion 2	1.5 m	5	39966037,8	47959245,4
T de destilacion 3	1.5 m	14	111904906	134285887
condensador Torre 2	818 ft2	1	13230136,7	15876164
condensador Torre 3	942 ft2	1	14332648,1	17199177,7
Reboiler torre 3	4120 ft2	1	182327821	218793385
Intercambiador de calor	160 ft2	1	11025113,9	13230136,7
Intercambiador de calor	165 ft2	1	5788184,79	6945821,75
Tanque del tamiz	2,75	2	37485387,2	44982464,7
Zeolita (tipo 3A mesh 4-8)		3740	583440	700128
Bomba centrifuga	5 hp	7	63206977,9	75848373,5
Bomba centrifuga	0,5 hp	5	21333595,4	25600314,5
banda transportadora	84 ton/h	1	19293949,3	23152739,2
		Total [\$]	3.360.044.890	4.032.053.868

Tabla E14. Costos de equipos zona C (antes de coproductos)

Equipo	Capacidad	Cantidad	Valor [\$]	Valor + Impuestos de importación 20%
Reactor UASB	208m3	1	413436458	496123750
Compresor	330 ft3/min	1	281136792	337364150
Reactor	36,1m3	1	1745378188	2094453826
Válvula	1/2 in	2	4520238,61	5424286,33
Tanque purificador de CO ₂	0,21m3	1	2121204,66	2545445,59
Carbón Activado	1 ft3	42	6772089,19	8126507,03
catalizador	1 KG	278,2	227329739	272795687
		Total [\$]	2.267.258.251	2.720.709.902

Tabla E15. Costos de equipos zona C (coproductos)

Flujo de inversion

Costos directos

	Año	
	0	10
Depreciables		
Costo de equipos		
Costo total equipos	4032053868,06	80641077,36
Instalación del equipo comprado 25%	902503127,1	18050062,54
Instrumentación y control 15 %	604808080,2	12096161,6
Instalaciones Eléctricas 10%	403205386,8	8064107,736
Edificios 18%	725769696,3	14515393,93
Tubería 8%	322564309,4	6451286,189
Servicios industriales 18%	725769696,3	14515393,93
Total	7716674164,11	154333483,3
No depreciables		
Terrenos 4%	44640000	0
Total	44640000	0
Total Costos Directos	7.761.314.164,11	0

Costos indirectos

Construcción 10%	195954025,9
Ingeniería y Supervisión	391908051,8
Honorarios Contratista	78381610,36
Contingencia	244942532,4
Total costos Indirectos	715.232.194,57

Total Costos Directos e Indirectos	4546331210,14	3906828196
Total inversión de Capital fijo	4546331210,14	
Capital de trabajo (20% Capital fijo)	909266242,03	
Total flujos netos	5.455.597.452,17	4.816.094.438

Cargos	Cantidad	Salario	mensual	Año 0	año 1	Año 2	Año 3	Año 4
Gerente	1	3000000	3000000	36000000	38160000	40449600	42876576	45449170,56
Ingenieros Químicos	4	2000000	8000000	96000000	101760000	107865600	114337536	121197788,2
Jefe de personal	1	1800000	1800000	21600000	22896000	24269760	25725945,6	27269502,34
Operadores	10	1150000	11500000	138000000	146280000	155056800	164360208	174221820,5
Aseadoras	2	808000	1616000	19392000	20555520	21788851,2	23096182,3	24481953,21
Secretaria	1	808000	808000	9696000	10277760	10894425,6	11548091,1	12240976,6
Celadores	6	808000	4848000	58176000	61666560	65366553,6	69288546,8	73445859,62
Total	25		31572000	378864000	401595840	425691590	451233086	478307071
Prestaciones Sociales								
Cesantías	8%		2525760	30309120	32127667,2	425691590	451233086	38264565,68
Primas	8%		2525760	30309120	32127667,2	425691590	451233086	38264565,68
Salud y pensión	14%		252000	53040960	56223417,6	59596822,7	63172632	66962989,94
Total			5303520	113659200	120478752	910980003	965638804	143492121,3
Aportes Parafiscales								
ICBF	3%		947160	11365920	12047875,2	12770747,7	13536992,6	14349212,13
Caja de Compensación	3%		947160	11365920	12047875,2	12770747,7	13536992,6	14349212,13
Sena	2%		631440	7577280	8031916,8	8513831,81	9024661,72	9566141,419
Total			2525760	30309120	32127667,2	34055327,2	36098646,9	38264565,68
Valor Nómina			39.401.280	522.832.320	39.401.280	493.802.245	523.430.380	554.836.202,3

Tabla E16. Nómina para la planta de Bioetanol Zona C

Cargos	Cantidad	Salario Mensual	Año 5	Año 6	Año 7	Año 8	Año 9	Año 10
Gerente	1	3000000	48176120,79	51066688	54130689,3	57378530,7	60821242,52	64470517,08
Ingenieros Químicos	4	2000000	128469655,4	136177835	144348505	153009415	162189980,1	171921378,9
Jefe de personal	1	1800000	28905672,48	30640012,8	32478413,6	34427118,4	36492745,51	38682310,25
Operadores	10	1150000	184675129,7	195755637	207500976	219951034	233148096,3	247136982,1
Aseadoras	2	808000	25950870,4	27507922,6	29158398	30907901,9	32762375,97	34728118,53
Secretaria	1	808000	12975435,2	13753961,3	14579199	15453950,9	16381187,99	17364059,27
Celadores	6	808000	77852611,2	82523767,9	87475193,9	92723705,6	98287127,92	104184355,6
Total	25		507005495,2	537425825	569671374	603851657	640082756,3	678487721,7
Prestaciones Sociales								
Cesantías	8%		40560439,62	42994066	45573710	48308132,6	51206620,51	54279017,74
Primas	8%		40560439,62	42994066	45573710	48308132,6	51206620,51	54279017,74
Salud y pensión	14%		70980769,33	75239615,5	79753992,4	84539232	89611585,89	94988281,04
Total			152101648,6	161227747	170901412	181155497	192024826,9	203546316,5
Aportes Parafiscales								
ICBF	3%		15210164,86	16122774,7	17090141,2	18115549,7	19202482,69	20354631,65
Caja de Compensación	3%		15210164,86	16122774,7	17090141,2	18115549,7	19202482,69	20354631,65
Sena	2%		10140109,9	10748516,5	11393427,5	12077033,1	12801655,13	13569754,43
Total			40560439,62	42994066	45573710	48308132,6	51206620,51	54279017,74
Valor Nómina			588.126.374,5	623.413.96	660.818.80	700.467.92	742.495.997,3	787.045.757,2

Tabla E17. Continuación Nómina para la planta de Bioetanol Zona C

	Periodo					
	0	1	2	3	4	5
Costos de Producción						
Materia prima		18781440000,00	19908326400	21102825984	22368995543	23711135276
Mano de obra		132480000	140428800	148854528	157785799,7	167252947,7
Otros 2%		378278400	400975104	425033610,2	450535626,9	477567764,5
Total costos de producción	0	19292198400	20449730304	21676714122	22977316970	24355955988
Costos Administrativos						
Gastos Administrativos		322920000	342295200	362832912	384602886,7	407679059,9
Gastos de distribución 5%		964609920	1022486515	1083835706	1148865848	1217797799
Otros 10%		128752992	136478171,5	144666861,8	153346873,5	162547685,9
Total	0	1416282912	1501259887	1591335480	1686815609	1788024545
Otros costos Indirectos						
Levadura	0	939072000	995416320	1055141299	1118449777	1185556764
Nutrientes	0	939072000	995416320	1055141299	1118449777	1185556764
Suministros (papelería, etc.)		9390720	9954163,2	10551412,99	11184497,77	11855567,64
Depreciaciones		783657354,1	830676795,3	880517403	933348447,2	989349354
Servicios		5634432000	5972497920	6330847795	6710698663	7113340583
Mantenimiento		664713280,4	704596077,2	746871841,9	791684152,4	839185201,5
Seguros		332356640,2	352298038,6	373435920,9	395842076,2	419592600,8
Impuestos		332356640,2	352298038,6	373435920,9	395842076,2	419592600,8
Total gastos Indirectos	0	9635050635	10213153673	10825942893	11475499467	12164029435
Total costo de operación	0	30.343.531.946,91	32.164.143.864	34.093.992.496	36.139.632.045	38.308.009.968

Tabla E18. Costos de producción planta de bioetanol Zona C

	Periodo				
	6	7	8	9	10
Costos de Producción					
Materia prima	25133803392	26641831596	28240341491	29934761981	31730847700
Mano de obra	177288124,5	187925412	199200936,7	211152992,9	223822172,5
Otros 2%	506221830,3	536595140,2	568790848,6	602918299,5	639093397,4
Total costos de producción	25817313347	27366352148	29008333277	30748833273	32593763270
Costos Administrativos					
Gastos Administrativos	432139803,5	458068191,7	485552283,2	514685420,2	545566545,4
Gastos de distribución 5%	1290865667	1368317607	1450416664	1537441664	1629688163
Otros 10%	172300547,1	182638579,9	193596894,7	205212708,4	217525470,9
Total	1895306018	2009024379	2129565842	2257339792	2392780180
Otros costos Indirectos					
Levadura	1256690170	1332091580	1412017075	1496738099	1586542385
Nutrientes	1256690170	1332091580	1412017075	1496738099	1586542385
Suministros (papelería, etc.)	12566901,7	13320915,8	14120170,75	14967380,99	15865423,85
Depreciaciones	1048710315	1111632934	1178330910	1249030765	1323972611
Servicios	7540141018	7992549479	8472102447	8980428594	9519254310
Mantenimiento	889536313,6	942908492,5	999483002	1059451982	1123019101
Seguros	444768156,8	471454246,2	499741501	529725991,1	561509550,5
Impuestos	444768156,8	471454246,2	499741501	529725991,1	561509550,5
Total gastos Indirectos	12893871201	13667503473	14487553682	15356806902	16278215317
Total costo de operación	40.606.490.566	43.042.880.000	45.625.452.800	48.362.979.968	51.264.758.766

Tabla E19. Continuación de Costos de producción planta de bioetanol Zona C

	Periodo					
	0	1	2	3	4	5
Ingresos por Ventas	0	33235664021	35229803862	37343592094	39584207620	41959260077
Costo Total	0	30343531947	32164143864	34093992496	36139632045	38308009968
Utilidad Bruta Antes de impuestos	0	2892132074	3065659999	3249599599	3444575575	3651250109
Impuestos	0	1012246226	1072981000	1137359860	1205601451	1277937538
Utilidad después de impuestos	0	1879885848	1992678999	2112239739	2238974123	2373312571
Reserva legal	0	187988584,8	199267899,9	211223973,9	223897412,3	237331257,1
Utilidad por distribuir	0	1691897263	1793411099	1901015765	2015076711	2135981314
Depreciaciones	0	108234962,6	114729060,4	121612804	128909572,3	136644146,6
Total Flujo de Producción	0	1.800.132.226,08	1.908.140.159,65	2.022.628.569,23	2.143.986.283,38	2.272.625.460,38

	Periodo				
	6	7	8	9	10
Ingresos por Ventas	1,01368E+11	1,0745E+11	1,13897E+11	1,20731E+11	1,01368E+11
Costo Total	55198845217	58510775930	62021422485	65742707834	55198845217
Utilidad Bruta Antes de impuestos	46168841028	48938971489	51875309779	54987828365	46168841028
Impuestos	16159094360	17128640021	18156358423	19245739928	16159094360
Utilidad después de impuestos	30009746668	31810331468	33718951356	35742088438	30009746668
Reserva legal	3000974667	3181033147	3371895136	3574208844	3000974667
Utilidad por distribuir	27008772001	28629298321	30347056221	32167879594	27008772001
Depreciaciones	144842795,4	153533363,1	162745364,9	172510086,8	144842795,4
Total flujo de producción	27.153.614.796,62	2.878.283.1684,42	30.509.801.585,48	32.340.389.680,61	27.153.614.796,62

Tabla E20. Presupuesto de Producción planta de bioetanol Zona C

Periodo	Inversión	producción	FNC	TIR
0	11079616591,14	0	-11079616591,14	NC
1	0	1800132226,08	1800132226,08	NC
2	0	1908140159,65	1908140159,65	NC
3	0	2022628569,23	2022628569,23	-27%
4	0	2143986283,38	2143986283,38	-12%
5	0	2272625460,38	2272625460,38	-3%
6	0	2408982988,01	2408982988,01	4%
7	0	2553521967,29	2553521967,29	8%
8	0	2706733285,32	2706733285,32	11%
9	0	2869137282,44	2869137282,44	13%
10	9.762.250.413	3.041.285.519,39	12.803.535.931,97	19%

NC: No calculado debido a una multiplicación por cero

Tabla E.21. Flujo neto de caja Zona C

E.2.1 Planta de bioetanol de la Zona C mas coproductos

Depreciables	Año	
	0	10
Costo de equipos		
Costo total equipos	7248887519,66	144977750,4
Instalación del equipo comprado 25%	1706711540	34134230,8
Instrumentación y control 15 %	1087333128	21746662,56
Instalaciones Eléctricas 10%	724888752	14497775,04
Edificios 18%	1304799754	26095995,07
Tubería 8%	579911001,6	11598220,03
Servicios industriales 18%	1304799754	26095995,07
Total	13957331448,22	279146629
No depreciables		
Terrenos 4%	44640000	0
Total	44640000	0
Total Costos Directos	311.274.776,2	0

Construcción 10%	724888752
Ingeniería y Supervisión	1449777504
Honorarios Contratista	289955500,8
Contingencia	906110940
Total costos Indirectos	2.645.843.944,68

Total Costos Directos e Indirectos	16647815392,90	14281118077
Total inversión de Capital fijo	16647815392,90	
Capital de trabajo (20% Capital fijo)	3329563078,58	
Total flujos netos	19.977.378.471,48	17.610.681.156

Cargos	Cantidad	Salario	mensual	Año 0	año 1	Año 2	Año 3	Año 4
Gerente	1	3000000	3000000	36000000	38160000	40449600	42876576	45449170,56
Ingenieros Químicos	6	2000000	12000000	144000000	152640000	161798400	171506304	181796682,2
Jefe de personal	1	1800000	1800000	21600000	22896000	24269760	25725945,6	27269502,34
Operadores	12	1150000	13800000	165600000	175536000	186068160	197232250	209066184,6
Aseadoras	2	808000	1616000	19392000	20555520	21788851,2	23096182,3	24481953,21
Secretaria	1	808000	808000	9696000	10277760	10894425,6	11548091,1	12240976,6
Celadores	6	808000	4848000	58176000	61666560	65366553,6	69288546,8	73445859,62
Total	29		37872000	454464000	481731840	510635750	541273895	573750329,1
Prestaciones Sociales								
Cesantías	8%		3029760	510635750	541273895	45900026,33	36357120	38538547,2
Primas	8%		3029760	510635750	541273895	45900026,33	36357120	38538547,2
Salud y pensión	14%		5302080	71489005,1	75778345,4	80325046,08	63624960	67442457,6
Total			11361600	1092760506	1158326136	172125098,7	136339200	144519552
Aportes Parafiscales								
ICBF	3%		1136160	13633920	14451955,2	15319072,5	16238216,9	17212509,87
Caja de Compensación	3%		1136160	13633920	14451955,2	15319072,5	16238216,9	17212509,87
Sena	2%		757440	9089280	9634636,8	10212715	10825477,9	11475006,58
Total			3029760	36357120	38538547,2	40850860	43301911,6	45900026,33
Valor Nómina			52.263.360	627.160.320	558.808.934	592.337.470	627.877.719	665.550.381,8

Tabla E22. Nómina para la planta de Bioetanol y coproductos Zona C

Cargos	Cantidad	Salario Mensual	Año 5	Año 6	Año 7	Año 8	Año 9	Año 10
Gerente	1	3000000	48176120,79	51066688,04	54130689,32	57378530,68	60821242,52	64470517,08
Ingenieros Químicos	6	2000000	192704483,2	204266752,2	216522757,3	229514122,7	243284970,1	257882068,3
Jefe de personal	1	1800000	28905672,48	30640012,82	32478413,59	34427118,41	36492745,51	38682310,25
Operadores	12	1150000	221610155,7	234906765	249001170,9	263941241,1	279777715,6	296564378,5
Aseadoras	2	808000	25950870,4	27507922,62	29158397,98	30907901,86	32762375,97	34728118,53
Secretaria	1	808000	12975435,2	13753961,31	14579198,99	15453950,93	16381187,99	17364059,27
Celadores	6	808000	77852611,2	82523767,87	87475193,95	92723705,58	98287127,92	104184355,6
Total	29		608175348,9	644665869,8	683345822	724346571,3	767807365,6	813875807,6
Prestaciones Sociales								
Cesantías	8%		48654027,91	51573269,59	54667665,76	57947725,71	61424589,25	65110064,6
Primas	8%		48654027,91	51573269,59	54667665,76	57947725,71	61424589,25	65110064,6
Salud y pensión	14%		85144548,85	90253221,78	95668415,08	101408520	107493031,2	113942613,1
Total			182452604,7	193399760,9	205003746,6	217303971,4	230342209,7	244162742,3
Aportes Parafiscales								
ICBF	3%		18245260,47	19339976,09	20500374,66	21730397,14	23034220,97	24416274,23
Caja de Compensación	3%		18245260,47	19339976,09	20500374,66	21730397,14	23034220,97	24416274,23
Sena	2%		12163506,98	12893317,4	13666916,44	14486931,43	15356147,31	16277516,15
total			48654027,91	51573269,59	54667665,76	57947725,71	61424589,25	65110064,6
Valor Nómina			705.483.404,7	747.812.409	792.681.153,5	840.242.022,8	890.656.544,1	944.095.936,8

Tabla E23. Nómina para la planta de Bioetanol y coproductos Zona C

	Periodo					
	0	1	2	3	4	5
Costos de Producción						
Materia prima		18781440000	19908326400	21102825984	22368995543	23711135276
Mano de obra		198720000	210643200	223281792	236678699,5	250879421,5
Otros 2%		379603200	402379392	426522155,5	452113484,9	479240293,9
Total costos de producción	0	19359763200	20521348992	21752629932	23057787727	24441254991
Costos Administrativos						
Gastos Administrativos		427248000	452882880	480055852,8	508859204	539390756,2
Gastos de distribución 5%		967988160	1026067450	1087631497	1152889386	1222062750
Otros 10%		139523616	147895033	156768734,9	166174859	176145350,6
Total	0	1534759776	1626845363	1724456084	1827923449	1937598856
Otros costos Indirectos						
Levadura	0	939072000	995416320	1055141299	1118449777	1185556764
Nutrientes	0	939072000	995416320	1055141299	1118449777	1185556764
Suministros (papelería, etc.)		9390720	9954163,2	10551412,99	11184497,77	11855567,64
Depreciaciones		783657354,1	830676795,3	880517403	933348447,2	989349354
Servicios		5634432000	5972497920	6330847795	6710698663	7113340583
Mantenimiento		664713280,4	704596077,2	746871841,9	791684152,4	839185201,5
Seguros		332356640,2	352298038,6	373435920,9	395842076,2	419592600,8
Impuestos		332356640,2	352298038,6	373435920,9	395842076,2	419592600,8
Total gastos Indirectos	0	9635050635	10213153673	10825942893	11475499467	12164029435
Total costo de operación	0	30.529.573.610,91	32.361.348.028	34.303.028.909	36.361.210.644	38.542.883.282

Tabla E.24. Costos de producción planta de bioetanol y coproductos Zona C

	Periodo				
	6	7	8	9	10
Costos de Producción					
Materia prima	25133803392	26641831596	28240341491	29934761981	31730847700
Mano de obra	265932186,8	281888118	298801405,1	316729489,4	335733258,7
Otros 2%	507994711,6	538474394,3	570782857,9	605029829,4	641331619,2
Total costos de producción	25907730291	27462194108	29109925754	30856521300	32707912578
Costos Administrativos					
Gastos Administrativos	571754201,6	606059453,7	642423020,9	680968402,1	721826506,3
Gastos de distribución 5%	1295386515	1373109705	1455496288	1542826065	1635395629
Otros 10%	186714071,6	197916915,9	209791930,9	222379446,7	235722213,5
Total	2053854788	2177086075	2307711239	2446173914	2592944349
Otros costos Indirectos					
Levadura	1256690170	1332091580	1412017075	1496738099	1586542385
Nutrientes	1256690170	1332091580	1412017075	1496738099	1586542385
Suministros (papelería, etc.)	12566901,7	13320915,8	14120170,75	14967380,99	15865423,85
Depreciaciones	1048710315	1111632934	1178330910	1249030765	1323972611
Servicios	7540141018	7992549479	8472102447	8980428594	9519254310
Mantenimiento	889536313,6	942908492,5	999483002	1059451982	1123019101
Seguros	444768156,8	471454246,2	499741501	529725991,1	561509550,5
Impuestos	444768156,8	471454246,2	499741501	529725991,1	561509550,5
Total gastos Indirectos	12893871201	13667503473	14487553682	15356806902	16278215317
Total costo de operación	40.855.456.279	43.306.783.656	45.905.190.675	48.659.502.116	51.579.072.243

Tabla E.25. Continuación Costos de producción planta de bioetanol y coproductos Zona C

	Periodo					
	0	1	2	3	4	5
Ingresos por Ventas	0	75747832011	80292701931	85110264047	90216879890	95629892683
Costo Total	0	30.529.573.610,91	32361348028	34303028909	36361210644	38542883282
Utilidad Bruta Antes de impuestos	0	45.218.258.399,67	47931353904	50807235138	53855669246	57087009401
Impuestos	0	15826390440	16775973866	17782532298	18849484236	19980453290
Utilidad después de impuestos	0	29391867959,79	31155380037	33024702840	35006185010	37106556111
Reserva legal	0	2939186796	3115538004	3302470284	3500618501	3710655611
Utilidad por distribuir	0	26452681164	28039842034	29722232556	31505566509	33395900500
Depreciaciones	0	108234962,6	114729060,4	121612804	128909572,3	136644146,6
Total Flujo de Producción	0	26.560.916.126,45	28.154.571.094,04	29.843.845.359,68	31.634.476.081,26	33.532.544.646,14

	Periodo				
	6	7	8	9	10
Ingresos por Ventas	1,01368E+11	1,0745E+11	1,13897E+11	1,20731E+11	1,27974E+11
Costo Total	40855456279	43306783656	45905190675	48659502116	51579072243
Utilidad Bruta Antes de impuestos	60512229965	64142963763	67991541589	72071034084	76395296129
Impuestos	21179280488	22450037317	23797039556	25224861929	26738353645
Utilidad después de impuestos	39332949477	41692926446	44194502033	46846172155	49656942484
Reserva legal	3933294948	4169292645	4419450203	4684617215	4965694248
Utilidad por distribuir	35399654530	37523633801	39775051829	42161554939	44691248235
Depreciaciones	144842795,4	153533363,1	162745364,9	172510086,8	182860692
Total flujo de producción	35.544.497.324,91	37.677.167.164,40	39.937.797.194,26	42.334.065.025,92	44.874.108.927,48

Tabla E.26. Presupuesto de Producción planta de bioetanol y coproductos Zona C

Periodo	Inversión	Producción	FNC	TIR
0	19977378471,48	0	-19977378471,48	NC
1	0	26560916126,45	26560916126,45	33%
2	0	28154571094,04	28154571094,04	103%
3	0	29843845359,68	29843845359,68	125%
4	0	31634476081,26	31634476081,26	133%
5	0	33532544646,14	33532544646,14	137%
6	0	35544497324,91	35544497324,91	138%
7	0	37677167164,40	37677167164,40	138%
8	0	39937797194,26	39937797194,26	139%
9	0	42334065025,92	42334065025,92	139%
10	17.610.681.156	44.874.108.927,48	62.484.790.083,24	139%

NC: No calculado debido a una multiplicación por cero

Tabla E.27. Flujo neto de caja Zona C