

Agosto, 1980

Memorias

# I SIMPOSIO COLOMBIANO SOBRE ALCOHOL CARBURANTE

CIAT, Cali, Colombia  
Mayo 18 - 22, 1980



CIAT

COLECCION HISTORICA

Editores:

Trudy Brekelbaum

Julio César Toro

Victoriano Izquierdo

71  
250  
Agosto, 1980

Memorias



I SIMPOSIO  
COLOMBIANO  
SOBRE ALCOHOL  
CARBURANTE

CIAT, Cali, Colombia,  
Mayo 18 - 22, 1980

CIAT  
BIBLIOTECA  
54961

**Editores:** Trudy Brekelbaum  
Julio César Toro  
Victoriano Izquierdo

## Contenido

<i>PREFACIO</i>	5
<i>ABREVIATURAS</i>	7
<i>DISCURSO DE APERTURA</i>	9
 <i>GRUPO AGRICOLA</i>	
Aptitud de las tierras de las regiones del Caribe y la Orinoquia colombiana para explotación agroindustrial <b>A. Cortes</b>	17
La potencialidad de la zona cafetera para explotar caña y yuca para alcohol carburante <b>A. Grisales</b>	33
Recomendaciones sobre el cultivo de la yuca para alcohol carburante en Colombia <b>J.C. Toro &amp; J.H. Cock</b>	35
Aspectos económicos de la producción de yuca en los Llanos Orientales de Colombia <b>J. Jaller</b>	45
Aspectos económicos de la producción de yuca en la Costa Atlántica <b>R.O. Diaz</b>	57
Situación actual y perspectivas del cultivo de la caña de azúcar en Colombia <b>P. Domínguez</b>	65
 <i>GRUPO INDUSTRIAL</i>	
Programa para producir alcohol etílico carburante en Colombia <b>A. Navarro</b>	79
Algunas implicaciones económicas del alcohol carburante <b>M.C. Bennett</b>	87
Modelo industrial para un programa de alcohol <b>J. Colmenares</b>	93
Producción de alcohol de yuca - El caso brasileño <b>T.J. Barreto de Menezes</b>	133
Producción de etanol vía hidrólisis de celulosa <b>H. Salazar</b>	145
El alcohol y el aceite vegetal como combustibles para motores <b>U.E. Stumpf</b>	155
Perspectivas de la demanda de azúcar y alcohol carburante en los Estados Unidos <b>N. Rivero</b>	167

<i>GRUPO POLITICO</i>	
Implantación y desarrollo del Programa Nacional del Alcohol en Brasil <b>T.B. de Souza Lima</b>	177
Aspectos legales de la producción de alcohol en Colombia <b>J.H. Botero</b>	195
<i>CONCLUSIONES</i>	201
<i>DISCURSO DE CLAUSURA</i>	205
ORGANIZADORES, CONFERENCISTAS, PARTICIPANTES E INVITADOS	209
<i>ANEXO</i>	216

## PREFACIO

El Comité Organizador del Primer Simposio Colombiano sobre Alcohol Carburante presenta con orgullo y satisfacción las memorias de este evento. Tanto el Comité como las instituciones del sector público y privado que le brindaron su apoyo, quisieron propiciar un diálogo abierto y constructivo para concertar ideas y principios que servirán de impulso para crear una política que sea a la vez propósito nacional. Esto facilitará al Gobierno la estructuración de un programa firme, que le haga frente a la crisis energética y sus secuelas sociales y económicas.

Frente al previsible y cercano agotamiento de las reservas petrolíferas del mundo, surge una pregunta inquietante, la cual demanda respuesta urgente y concreta. ¿De dónde procederá en el futuro la energía necesaria para sostener e impulsar el desarrollo económico y social del mundo?

Tal como se pudo apreciar clara y ampliamente en el transcurso de este Simposio, el alcohol es un combustible eficiente, limpio, que no contamina el ambiente y que además proviene de una fuente renovable. Esta es una de las mejores alternativas para resolver gran parte del problema energético, principalmente en aquellos países que cuentan con tierras disponibles y un clima adecuado, como es el caso de Colombia.

Estas memorias comprenden desde los aspectos agrícolas y económicos de la caña de azúcar y la yuca, cultivos que fueron el temario principal, hasta la tecnología de destilación disponible.

Vale la pena destacar la presencia de ilustres representantes del Gobierno de Colombia, de la empresa privada, de técnicos y científicos nacionales y extranjeros, quienes demostraron constantemente su interés en encontrar las mejores soluciones a la crisis que nos amenaza. En el Simposio se distinguió la selecta delegación brasileña, la cual dio a conocer y examinar con sinceridad sus experiencias agrícolas, técnicas y políticas, las cuales se tendrán en cuenta para beneficio de una programación e implementación más eficiente en Colombia.

Si el gobierno colombiano se decide a implementar un programa nacional de alcohol carburante, donde la biomasa juegue un papel de singular importancia, esto dará como resultado la estructuración gradual de una independencia energética para el país, con la cual se podrá preservar no sólo nuestro desarrollo económico y social, sino también la índole de nuestro sistema político y la proyección del estilo de vida de las generaciones futuras.

Creemos firmemente que el comité compuesto por personas que de buena voluntad y por iniciativa propia se reunieron por quince veces, durante año y medio, vio culminado su esfuerzo con la realización de este primer Simposio.

## LOS EDITORES

### Abreviaturas usadas

alt.	altitud
bbj	barril(es)
gal.	galones
ha	hectárea(s)
hp	caballos de fuerza
kcal	kilocalorías
kW	kilovatios
l	litro(s)
lb	libra(s)
m	mega ( $10^6$ )
mmho	microohmios
m.s.n.m.	metros sobre el nivel del mar
pulg.	pulgada(s)
t	tonelada(s)
vol	volumen

## PALABRAS PRONUNCIADAS POR EL MINISTRO DE MINAS Y ENERGIA ALBERTO VASQUEZ RESTREPO EN LA SESION INAUGURAL

Es muy satisfactorio para mí, como Ministro de Minas y Energía, tener la oportunidad de instalar este importante foro sobre el alcohol, y especialmente por tratarse de una iniciativa totalmente nueva, tomada por este Gobierno para hacerle frente a la delicada crisis energética que nos afecta, ya camino de convertirse en una importante realidad a un plazo relativamente corto. Por otra parte, es muy significativo el interés que ha despertado en todos los sectores de la economía nacional y en las empresas licoreras departamentales, que dada la infraestructura que ya hoy poseen y la experiencia adquirida, no dudo servirán para desarrollar, a través de ellas, las primeras instalaciones productoras de alcohol anhidro.

Una mirada retrospectiva a la historia del invento y desarrollo del motor de explosión interna, nos muestra cómo sus primeras versiones operaban con alcohol, y sólo el tremendo desarrollo de la industria petrolera y los muy bajos precios de los combustibles derivados de los hidrocarburos, permitieron a este recurso mantener una aplastante hegemonía como fuente energética primaria.

Cosa igual sucedió con el carbón, que desde los años 30 le cedió el primer puesto. Las numerosas posibilidades del carbón de convertirse en el primer generador de combustibles líquidos y gaseosos, fueron lamentablemente frenadas y las tecnologías ya avanzadas durante la Segunda Guerra Mundial fueron casi olvidadas. El mundo perdió la oportunidad para que la grave crisis energética, que estalló con la guerra de Yom Kippur en 1973, no lo hubiera sorprendido totalmente impreparado, obligándolo a pagar un precio tan ingente.

Siempre he considerado que este fenómeno corresponde a una de las mayores y más costosas imprevisiones de la humanidad, porque los perentorios cambios estructurales que se han presentado en la historia del paso del hombre por la tierra, han sucedido dentro de procesos que incluyen etapas preparatorias que suavizaron o permiten asimilar en forma menos traumática el efecto del cambio.

Colombia, país indudablemente privilegiado en recursos energéticos inexplorados, adoptó para su desarrollo el mismo modelo rampante de la sociedad de consumo y creyó, hasta no hace muchos años, que el futuro energético era un problema preocupante únicamente para las futuras generaciones; grave error, pues sobre este equivocado presupuesto, agotó enormes cantidades de sus escasas reservas conocidas de hidrocarburos, al aceptar un desfavorable intercambio económico, dentro del cual trocamos alegremente nuestro, en ese entonces, barato petróleo, por flamantes y costosos automóviles.

Me he permitido hacer los anteriores comentarios, porque es bueno echar miradas retrospectivas de vez en cuando, no para lamentarse de lo que se pudo hacer y no se hizo, sino

para que el pasado no se pierda en el fragor del presente como pieza ordenadora del futuro.

Realmente, Colombia está pasando por una época difícil en materia energética, capaz de comprometer buena parte de la dinámica de su desarrollo, por lo cual requiere de acciones audaces y simultáneas a corto, mediano y largo plazo, para superar lo que no debería constituir, dado nuestro reconocido potencial energético, una situación coyuntural que el país puede y debe superar en el término de la presente década y, con mayor precisión, a la mitad de ella.

Pero además, un análisis cuidadoso del problema, permite concluir sin mayor riesgo de equivocarse, que la denominada crisis energética en Colombia, podría ser más bien una crisis económica en ciernes a pocos años vista, si no logramos reducir sensiblemente las necesidades de importación de combustibles y elevar nuestras exportaciones en los años venideros, porque el único problema grave en materia de energía es la posible falta de divisas indispensables para adquirir los combustibles que para el período 80 al 85, a precios de hoy, asumiendo la declinación natural de la producción y sin incorporar ningún yacimiento nuevo o ya descubierto, pero no explotado, superaría la significativa cifra de los US\$ 5 500 millones.

Es esa, en términos sencillos, la ecuación que el país debe resolver y que, como se puede observar, tiene un carácter económico claramente definido, sin pretender por ello restarle gravedad a la situación que estamos atravesando y la que debemos afrontar, si nuestros esfuerzos en materia de exploración y explotación petrolera llegaran a fallar.

Lo anterior explica porque este gobierno ha hecho tanto énfasis en las actividades de exploración y aprovechamiento de los crudos pesados ya descubiertos, políticas que comienzan a mostrar resultados halagüeños, como se está demostrando en los Llanos Orientales. Esperamos que esto nos permita alcanzar un mínimo de 80.000 barriles para 1985, como nueva meta de producción nacional, manteniendo el mismo nivel de explotación actual.

Pero si el esfuerzo del Gobierno se ha dirigido en buena parte a tratar de restablecer la autosuficiencia energética dentro del menor tiempo posible, simultáneamente se han proyectado y avanzado definidos planes para soportar la política energética sobre una base muy amplia, de tal manera que el conjunto global de acciones asegure al país una solución energética válida a largo plazo. Creemos que durante la primera parte de esta administración, se han tomado, proseguido y ejecutado -dentro de las posibilidades reales, convencionales y no convencionales- todas las medidas fundamentales que el país requiere para que el sector energético no se convierta en un obstáculo para su desarrollo socioeconómico.

No existe duda alguna de que el hombre, en su afán de superar la coyuntura energética crecida como consecuencia de su imperdonable imprevisión en esta materia, está explorando aceleradamente la posibilidad de emplear toda la energía latente en la naturaleza, la cual, por falta de interés en ella no ha sido descubierta y ha permanecido en muy buena parte inutilizada a lo largo de toda su historia.

La energía solar, por consiguiente, entra a jugar un papel preponderante en la solución de este problema y puede hacerlo por caminos bien distintos y con muy diversos factores de eficiencia, según se la utilice en forma directa o indirecta. Dentro de la última clasificación podemos incluir la energía derivada de la biomasa, del viento y del agua.

Por sus especiales características de rendimiento y, en particular, por la forma directa y relativamente simple como puede sustituir la energía proveniente de los hidrocarburos líquidos, la biomasa merece la atención de muchos países del mundo, principalmente de aquellos, como Colombia, que reúnen las condiciones para producirla.

A comienzos de la presente década, Brasil decidió, con gran sentido práctico y previsorio, buscar en esta fuente buena parte de sus necesidades energéticas y ya sabemos como en ese gran país, avanza aceleradamente un gigantesco y exitoso programa de fabricación de etanol con fines carburantes.

En Colombia se presentan las condiciones básicas que hacen que un programa de esta naturaleza se convierta en un propósito inaplazable que debe recibir todo el apoyo necesario por parte del Gobierno y del sector privado para que se convierta en una realidad a corto plazo. La primera justificación es que el "cuello de botella" energético reside precisamente en un faltante de combustibles líquidos que el país debe importar en forma creciente, y en segundo término, las excepcionales condiciones, que, por razón de su amplia disponibilidad de tierras, sus características de radiación solar como país tropical y la mano de obra disponible, hacen de Colombia una región ideal para este tipo de programa. La mezcla de etanol con gasolina como combustible motor ha sido ya ampliamente probada y se puede incorporar de inmediato a la actividad de transporte, debido a su alta compatibilidad con la estructura tecnológica de la industria automotriz, pues una mezcla que contenga hasta un 20% de etanol no requiere modificaciones en los motores actuales, salvo leves ajustes de carburación.

Por todas las anteriores razones y consciente de su gran responsabilidad en la solución de problema energético, el Gobierno Nacional, por Decreto no. 2153 de agosto de 1979, determinó las bases para un "Programa Nacional de Alcohol" y creó el Comité Nacional asesor de tal programa, el cual viene trabajando con gran intensidad para definir todas las acciones requeridas para que dicha estrategia alcance sus fundamentales objetivos dentro del menor tiempo posible.

Para una mayor claridad sobre tan apasionante tema, vale la pena inventariar brevemente las condiciones mínimas y presupuestos básicos, dentro de los cuales es posible que el país pueda producir y utilizar esta fuente renovable de energía de una manera efectiva, desde el punto de vista económico, social y ambiental. Ellas son las siguientes:

1. Que disponga de abundantes tierras aptas para la agricultura, no utilizadas o subutilizadas.
2. Que cuente con una alta radiación solar promedio en el año.
3. Que disponga de abundante mano de obra con vocación agrícola.
4. Que el proyecto incluya la ampliación de la frontera agrícola para evitar que se sustituya la producción de alimentos por la materia prima del programa.
5. Que la infraestructura agrícola resultante sea lo suficientemente elástica para que permita atender simultáneamente posteriores ensanches de la frontera agrícola convencional.
6. Que buena parte de los beneficios del programa se canalicen preferentemente hacia la generación de una infraestructura social en las zonas rurales dentro del área de influencia del programa.

7. Que las tecnologías agrícolas e industriales se sitúen en un justo punto de eficiencia para aprovechar al máximo la capacidad del país en sus servicios de ingeniería y bienes de capital necesarios para el desarrollo del programa.
8. Que el balance neto de energía, y esto es importante, sea favorable para el país en términos de beneficio general y no necesariamente en cuanto hace a su relación de niveles energéticos.

Si pretendemos sustituir por el momento y como objetivo del programa a mediano plazo el 20 por ciento del consumo de gasolina del país, deberemos proyectar una producción de alcohol anhidro de 150.000 barriles por día, o sea, 2'500.000 litros diarios que a su vez requerirá una ampliación de la frontera agrícola de aproximadamente 300.000 hectáreas.

Si tenemos en cuenta que la extensión total del país es de 114 millones de hectáreas, de las cuales aproximadamente 5 millones están dedicadas a la agricultura, las 300.000 hectáreas representan la necesidad de incrementar en 6 por ciento la superficie cultivada.

Pero además, según datos de la Corporación Nacional de Investigación y Fomento Forestal, existe un área boscosa natural reconocida de 1,6 millones de hectáreas con vocación agrícola, de tal manera que el Programa de Alcohol sería un buen motivo para comenzar a incorporar estas tierras a la economía nacional. De acuerdo con estudios verificados, para alcanzar los objetivos del Programa Nacional de Alcohol se requeriría montar 30 unidades agroindustriales con una capacidad instalada de 100.000 litros por día.

Cada unidad necesitaría de un tren de molienda de 1500 toneladas de caña diarias, para la preparación y fermentación de jugos y destilación hasta alcohol anhidro, planta de licuación de anhídrico carbónico y equipo para la concentración de vinazas.

El costo para cada planta se ha estimado en unos US\$25 millones, de los cuales entre un 60 y un 80% sería componente nacional dependiendo del grado de desagregación de tecnología y del aprovechamiento de servicios y recursos colombianos que se hagan. La extensión de tierra cultivada requerida para cada una de estas unidades es de 10.000 hectáreas con base en un cálculo conservador de la producción promedio.

Nos hemos referido hasta aquí solamente a la caña de azúcar como posible insumo primario del etanol, pero existen otros, como la yuca y el eucalipto, que ofrecen también buenas posibilidades de rendimiento, especialmente el primero; a pesar de su importancia, no deseo detenerme en consideraciones de este tipo, pues en este simposio ya tendrán ustedes tiempo suficiente para analizarlas detenidamente. Debo agregar sí, que en Colombia el alcohol anhidro puede utilizarse no solamente mezclado con la gasolina, sino que puede sustituir casi totalmente los combustibles domésticos como el cocinol, el kerosene y las naftas, entre otros, con gran beneficio para el país, pues podría ahorrarse cerca de 8000 bbl diarios de crudo que hoy se emplean para elaborarlos, lo que representa una economía a los precios actuales superior a los US\$100 millones.

Los costos de producción de un galón de etanol hoy en día, superan los de la gasolina en el mercado internacional, pero no queda duda alguna, que mucho antes de que Colombia pueda estar en condiciones de producir alcohol anhidro, el precio de la gasolina habrá seguramente sobrepasado en mucho el que pudiera tener el alcohol en ese momento, lo que entre otras cosas, ofrece favorables perspectivas para que se puedan obtener sensibles reducciones en sus futuros costos de producción.

Esta nueva industria, cuyo desarrollo exigirá indudablemente un considerable esfuerzo al país, deberá llevarse a cabo dentro de una acción concertada del gobierno y del sector privado, porque la magnitud y complejidad del esfuerzo requerido, está más allá de lo que razonablemente podría hacer cada uno, con posibilidades de buen éxito, y la oportunidad que el programa requiere.

El primer aspecto que es necesario despejar para este propósito es el relativo al marco institucional y legal, para lo cual se hace necesario una ley de la República que permita, dentro de condiciones especiales, la producción de alcohol por entidades diferentes a los departamentos que hoy ostentan el monopolio.

Este asunto, que no deja de ser delicado y está creando mucha expectativa a nivel de las empresas licoreras departamentales, debe ser necesariamente dirimido en el próximo periodo legislativo del Congreso, con base en un proyecto de ley que, sin menguar ni poner en riesgo los beneficios que hoy reciben los fiscos departamentales por concepto de la venta de licores, permita que el sector privado pueda incorporarse a tan trascendental actividad en condiciones atractivas.

No me queda ninguna duda de que para implantar este programa será necesario, además de garantizar un precio de sustentación adecuado para toda la producción de alcohol anhidro, por lo menos en la etapa inicial, establecer ciertos estímulos especiales como por ejemplo, recursos financieros blandos, como existen en el Brasil, a no ser que el precio de la gasolina supere muy rápidamente al del etanol, y por lo tanto, éste puede elaborarse y venderse con un margen adecuado de utilidad sin tratamiento especial alguno. Hasta ahora, las labores del Comité Nacional de Alcohol se han dividido en varias subcomisiones que atienden cada una los siguientes aspectos básicos del programa:

1. Marco legal e institucional
2. Estudio agroindustrial macroeconómico
3. Políticas de concertación entre sectores público y privado
4. Estímulos e incentivos económicos y financieros
5. Esquema básico para la producción agrícola
6. Utilización óptima del exceso de capacidad de molienda en los ingenios azucareros
7. Plan nacional integrado para las industrias licoreras

Actualmente, los anteriores temas son estudiados, como ya lo dije, por distintas subcomisiones de las cuales hacen parte el Ministro de Minas y Energía, el Ministro de Desarrollo, el Ministro de Agricultura, Planeación Nacional, la ECOPETROL, la ANDI, la Asociación Colombiana de Industrias Licoreras, la ASOCAÑA y la Sociedad de Agricultores de Colombia.

Antes de finales del presente año, deberán estar perfectamente definidas todas las etapas y acciones que requiera este ambicioso programa que no sólo pretende convertirse en un componente de la solución global energética del país, sino que será, en la práctica, un vigoroso multiplicador de nuestra economía al incorporar extensos territorios y voluminosa mano de obra no calificada a la vida activa de la nación.

De aquí la importancia y conveniencia que tiene para el país avanzar en un programa como el del alcohol. Este simposio, en buena hora promovido, podrá hacer una buena evaluación del camino recorrido y proyectar las acciones faltantes para que ellas cumplan su cometido eficaz y oportunamente.

Me satisface íntimamente que mi última intervención pública en calidad de Ministro de Minas y Energía sea para impulsar un programa que vio la primera luz en el gobierno del Presidente Turbay Ayala, el cual además se ha comprometido a impulsarlo con todo vigor porque cree que en él no sólo puede estar parte de la solución energética a relativo corto plazo, sino que el desarrollo económico y social del país podrá recibir beneficioso impulso.

Me retiro, entonces, no sólo satisfecho de lo que ha podido hacer este gobierno para sortear y encontrarle solución a la difícil coyuntura energética que nos ha correspondido afrontar, sino completamente seguro de que soluciones como ésta y muchas otras que se encuentran en dinámico proceso, sacarán adelante al país en tan singular reto.

Mi ilustre y capaz sucesor en la cartera de Minas y Energía, Dr. H. Avila Mora, estoy seguro continuará dando a ustedes todo el apoyo necesario para que este programa continúe sin tropiezo alguno.

Deseo, para terminar, felicitar a todos los promotores de este Simposio por su magnífica organización y muy especialmente al Dr. Hernán Borrero Urrutia, Presidente de ASOCAÑA, gran impulsor de este programa, y a todos los organismos participantes, entre ellos a la Federación Nacional de Cafeteros que se vincula en buena hora a esta significativa tarea a la cual puede contribuir significativamente.

Al dejar, en nombre del Gobierno Nacional, solemnemente instalado el Primer Simposio sobre Alcohol Carburante, les deseo el mejor de los éxitos y que él se constituya en un nuevo y sincero acto de fé en Colombia y en sus instituciones.

Muchas gracias.

**GRUPO AGRICOLA**

COMENT  
BIBLIOTECA

# APTITUD DE LAS TIERRAS DE LAS REGIONES DEL CARIBE Y LA ORINOQUIA COLOMBIANA PARA EXPLOTACION AGROINDUSTRIAL

**Abdón Cortés Lombana\***

## Resumen

Se presenta una descripción de las características climáticas y edáficas de la Llanura del Caribe (10'000.000 ha) y de la Orinoquia (26'000.000 ha) de Colombia con el fin de establecer la capacidad de uso de la tierra en estas áreas. Se discuten los factores que limitan el uso actual y las posibilidades futuras mediante la aplicación de tecnología avanzada, con criterio ecológico.

## Introducción

El inventario de las tierras del país realizado por el Instituto Geográfico "Agustín Codazzi" en 1973 indicó que los suelos realmente aptos para agricultura, con cultivos transitorios y perennes (clases agrológicas I - IV), ocupan apenas un 20% de los suelos del país (23 millones de ha). El 80% restante tiene restricciones para su uso de tal magnitud que éste se limita principalmente a pastos, cultivos permanentes, bosques o vegetación natural con miras a la conservación de las cuencas hidrográficas y de la vida silvestre. Sin embargo, no todas las tierras con vocación agrícola se están utilizando en esta actividad; por el contrario, existen grandes áreas dedicadas a ganadería extensiva y, en algunos casos, permanecen cubiertas de vegetación natural.

Con una tecnología avanzada que incluya fertilización adecuada, encalado, riego, drenaje, selección de variedades que se adapten a

condiciones edáficas y ecológicas particulares, utilización de fuentes de energía diferentes a la leña (solar, de hidrocarburos u otros carburantes) para uso doméstico, infraestructura vial, educacional, de salud, etc. y alto nivel de educación ecológica, será posible ampliar la frontera agrícola en tal forma que permita suplir las necesidades nacionales de fibra y alimentos actuales y futuras e, inclusive, dejar excedentes para la exportación.

El propósito de este trabajo es señalar las zonas aptas para el desarrollo agroindustrial en la región del Caribe y en la Orinoquia, presentando, en primer lugar, aquellas cuyos suelos requieren la menor cantidad de riego supletorio y obras costosas de adecuación (drenaje, desalinización, etc.). Es también objetivo fundamental indicar las áreas nuevas para la producción de cultivos que pueden ser transformados en alcohol carburante, de tal manera que no haya necesidad de disminuir el área útil para la producción de alimentos.

---

\* Agrólogo, Instituto Geográfico Agustín Codazzi, Carrera 30 no 48-51, Bogotá, D.E., Colombia.

## La Llanura del Caribe

Toda la región del Caribe, incluyendo la Guajira, semiárida, tiene una superficie aproximada de 13 millones de ha (11,4% del territorio nacional). Aquí se hace referencia sólo a la llamada Llanura del Caribe, es decir, descontando la Sierra Nevada de Santa Marta y el territorio correspondiente a la alta y media Guajira. La Llanura ocupa una extensión aproximada de 10 millones de ha (8,7% de la superficie total del país).

Es necesario aclarar que cuando se habla de la gran llanura se está involucrando una extensa área de colinas de relieve suave, desarrolladas en sistemas de pliegues terciarios o en acumulaciones cuaternarias. La planicie propiamente dicha está conformada por abanicos, terrazas y llanuras inundables o estacionalmente inundables; éstas últimas ocupan una gran extensión en la depresión del Magdalena y del Cauca, en el Bajo Sinú y en el antiguo Delta del Magdalena.

Hydrográficamente la principal arteria de la región del Caribe es el río Magdalena, con sus afluentes Cauca, Cesar y San Jorge. La zona de confluencia es una gran depresión de origen tectónico, caracterizada por la abundancia de ciénagas, y afectada por inundaciones estacionales de diversa duración. La segunda cuenca hidrográfica en importancia es la del río Sinú. En su parte baja tiene, al igual que la del Magdalena, una considerable superficie de ciénagas y de tierras inundables.

### Aspectos climáticos

El clima de esta región se caracteriza, en general, por una disminución de las condiciones de humedad en dirección nordeste (10).

En la clasificación de Köppen los climas de la Llanura Caribe se distribuyen de sur a norte en la siguiente forma: Af, Am, Aw", Bsw" h' y clima de desierto, muy caliente (6).

En la depresión Momposina, en el Bajo Cauca y en áreas del San Jorge y Sinú, las llanuras inundables y los cuerpos de agua contribuyen a mantener una humedad suficiente o excesiva para el crecimiento de la vegetación. En el resto

del área hay déficit de agua aprovechable durante un período del año cuya duración varía, haciéndose más largo a medida que se avanza en dirección nordeste.

### Aspectos edáficos

El clima y el relieve son los factores más importantes en la formación y distribución de los suelos de esta importante región. El predominio de la precipitación sobre la evapotranspiración determina la presencia de suelos desaturados ácidos en toda la zona sur del área, mientras que, hacia el norte y nordeste en donde el clima es definitivamente seco, aparecen suelos saturados, con pH neutro o alcalino, con carbonatos y, en algunas áreas, con exceso de sales.

En orden de importancia, las unidades fisiográficas en las cuales se reparten los suelos son:

### Suelos de las colinas

Ocupan la mayor extensión de la región y se caracterizan por un relieve ondulado y en algunos lugares quebrado (*Serranías de Abibe, San Jerónimo, San Jacinto y Pijó*) y por su régimen de humedad údico en la zona sur húmeda y ústico en el resto del área. Hacia la faja de litoral, los suelos se tornan tan secos que su régimen de humedad es el arídico o está muy próximo a éste. Una característica común a todos los suelos de las colinas es su alta saturación de bases y, por consiguiente, su pH cercano a la neutralidad.

Los suelos se han desarrollado a partir de materiales de arcilla y/o areniscas y otros materiales sedimentarios calcáreos o no de edad terciaria y cuaternaria. En algunas áreas hay capas de diferente espesor de arenas eólicas (**dunas**) que dan origen a suelos arenosos muy poco revolucionados (**Ustipsamments**).

Taxonómicamente los suelos más comunes son los Inceptisoles (**Ustropepts**), los cuales algunas veces están asociados con suelos más jóvenes del orden Entisol (**Usthorents**), con suelos oscuros y ricos en materia orgánica en el horizonte superficial (**Mollisoles**) y con suelos arcillosos que se agrietan (**Vertisoles**). En algunas áreas de relieve quebrado ocurren afloramientos rocosos o la roca se encuentra próxima a la superficie del suelo.

Gran parte de las colinas se encuentran dedicadas a ganadería extensiva o están cubiertas con vegetación natural. Algunas áreas se utilizan en agricultura de subsistencia y en cultivos comerciales como el tabaco, el ñame, la yuca, el maíz y el plátano. El fenómeno erosivo es notorio en toda el área, particularmente en las partes más secas y de relieve más fuerte.

### **Suelos en las planicies aluviales de los grandes ríos y zonas de origen lacustre.**

Son suelos de origen aluvial y/o lacustre, la mayor parte mal drenados y sometidos a la acción periódica de las inundaciones (**Aquents**, **Aquepts** e **Histosoles**). Los suelos no inundables están ubicados en terrazas de niveles altos y en los diques naturales de los ríos. Estos suelos son, en general, fértiles (**Tropepts**) profundos, mecanizables aunque varían ampliamente en su composición. Algunos son Molisoles (**Ustolls**, **Udolls**) y otros Vertisoles.

En algunas terrazas amplias de los ríos Magdalena y San Jorge, principalmente, existen suelos cuyas características ocasionan un paisaje de sabana de baja productividad desde el punto de vista agrícola o ganadero. Por lo general éstos son pobres en nutrimentos. (**Dystropepts**), tienen tendencia a la compactación, muestran evidencias de regímenes ácuicos antiguos, y en algunos sectores presentan el fenómeno de la traslocación de arcilla (**Ustulta**). En los lechos de antiguas ciénagas hay depósitos de materiales orgánicos que alternan con suelos minerales de origen lacustre.

Los suelos inundables de la planicie costeña, cuyos representantes más típicos se encuentran en la Depresión Momposina y en áreas aledañas a los ríos Cauca, Magdalena, San Jorge, Sinú y Cesar, en la actualidad son aptos únicamente para ganadería en épocas secas.

Los suelos no inundables y mejor drenados son aptos para una amplia gama de cultivos y para ganadería. La intensificación de la agricultura requiere, en casi toda el área, de la instalación de sistemas de riego, algunas prácticas de adecuación de tierras y de conservación de la calidad del medio ambiente.

### **Suelos de planicie aluvial de Piedemonte**

Son suelos desarrollados sobre una serie de abanicos coalescentes o no formados por los ríos y cauces que bajan de la Sierra Nevada de Santa Marta y de otras serranías como las del Abibe, Piojó, San Jacinto, San Jerónimo y Perijá. El espesor de los conos de deyección o abanicos depende de las fuerzas de las corrientes de agua y de la distancia al lugar de origen. La granulometría de los materiales que forman los suelos varía desde el ápice o sitio de emergencia hasta el pie o punto de contacto con la llanura aluvial. Los materiales más gruesos ocurren cerca al ápice y se van tornando más finos en dirección de la pendiente a través del cuerpo del abanico.

Estrechamente ligados a esta unidad están los llamados valles aluviales de amplitud variable, labrados entre los abanicos, cuyos materiales corresponden a bandas de arenas gruesas y arcillas.

En los abanicos se encuentran suelos arcillosos que se agrietan profundamente en la época seca (**Vertisoles**), suelos que han sufrido traslocación de arcilla de horizontes superiores a inferiores (**Allisoles**) y suelos jóvenes bien drenados (**Tropepts**). En algunos sectores hay suelos arenosos (**Psamments**) y con drenaje pobre (**Aquents** y **Aquepts**).

Los suelos ubicados en el abanico que cubre la región de los Venados en el Departamento del Cesar merecen atención especial por las características edáficas y climáticas que presentan, las cuales se reflejan en un paisaje de sabanas semiáridas y erodadas de muy baja productividad. Los suelos son superficiales por la existencia de capas compactas; hay presencia de sales y sodio, y la deficiencia de humedad aprovechable para las plantas es marcada. Aunque no se han estudiado desde el punto de vista genético y taxonómico, se presume la presencia de **Ustropepts**, **Haplustalfs** y **Natrustalfs**, principalmente.

Los suelos de éstas planicies aluviales de Piedemonte son, en general, aptos para agricultura comercial con cultivos propios del clima tropical húmedo o seco y para ganadería con pastos mejorados. Casi siempre necesitan riego

supletorio y prácticas de manejo que aseguren su conservación.

### Suelos de la planicie marina

Son suelos de origen marino y/o lacustre casi siempre con influencia aluvial reciente. Se distribuyen en una gama de formas entre las cuales sobresalen las zonas de manglar, las barras de playa y los playones, las terrazas marinas, las dunas de Litoral, etc. Los materiales parentales varían desde bancos coralinos, depósitos orgánicos y materiales salobres de distinta granulometría, hasta sedimentos finos y medios, arenas calcáreas y no calcáreas y arenas de origen eólico.

En los manglares se encuentran suelos orgánicos (**Histosoles**) cuyos materiales constitutivos están en distintos grados de descomposición y suelos muy poco evolucionados (**Aquents**), por lo general con contenidos altos de materiales sulfurosos (**Sulfuquents**). En las barras de playa y en los playones salinos dominan los suelos arenosos bien drenados (**Psammenta**) y mal drenados (**Aquents**), casi siempre con alto contenido de sales. Suelos similares se forman en los paisajes de dunas. En el resto de la planicie marina pueden aparecer Vertisoles, Mollisoles, Inceptisoles, Entisoles e inclusive Aridisoles, dependiendo de las condiciones locales, las cuales determinan tendencias genéticas específicas.

La capacidad de uso de éstos suelos varía considerablemente; aquellos ubicados en las barras y los playones son aptos únicamente para el crecimiento de la vegetación natural propia de estos materiales arenosos y salinos. Igual afirmación se puede hacer en el caso de los suelos de manglar, los cuales permanecen inundados con aguas salobres permitiendo solamente el crecimiento de manglares que sirven de refugio a la fauna silvestre. En el resto de la planicie los suelos son aptos, en su estado actual, para ganadería extensiva y cultivos de subsistencia para cultivos comerciales, frutales y ganadería intensiva habrá que adecuarlos mediante prácticas que incluyen drenajes, desalinización y riego supletorio.

*Factores que limitan el desarrollo del recurso tierra*

El desarrollo del recurso tierra en la región del Caribe está limitado por factores de naturaleza edáfica y ecológica y por fenómenos que pertenecen a la dimensión socioeconómica

### Factores edáficos

Entre los factores de naturaleza edáfica figuran:

**1. Déficit de agua aprovechable para los cultivos.** En la mayor parte de la Llanura del Caribe ocurre un déficit de agua disponible para los cultivos durante estaciones secas prolongadas, lo cual determina la necesidad de riego en el caso de una explotación agrícola intensiva.

La escasa precipitación pluvial, la mala distribución de las lluvias y la alta evapotranspiración se combinan con factores tales como el relieve característico de las colinas o con las texturas arenosas de los depósitos eólicos o aluviales para agudizar el problema de la humedad del suelo. Áreas extensas de terrenos planos o ligeramente planos aptos para agricultura sólo pueden dedicarse a tal actividad si se asegura un suministro adecuado de agua por medio del riego.

**2. Las inundaciones.** Una vasta extensión de tierras localizadas en la llamada Depresión Momposina y en las planicies de inundación de los ríos Magdalena, Cauca, San Jorge, Sinú y Cesar sufren inundaciones cuya duración puede ser menor de 3 meses durante el año en algunas áreas, mientras que en otras pueden persistir entre 6 y 12 meses. El área inundable se caracteriza por una gran abundancia de ciénagas que sufren el fenómeno de llenado (*mar. a nov.*) y vaciado (*dic. a feb.*).

El mayor incremento en el almacenamiento se produce en los meses de abril, mayo y junio. Las inundaciones ocurren principalmente en oct. o nov. (7), lo que indica que en el comportamiento de esta zona lacustre influyen más los aportes de la zona misma que los de los ríos Magdalena y Cauca. Los caudales de los ríos San Jorge y Cesar y las lluvias que caen en el área son básicamente los aportes propios de la zona (2).

**3. El relieve.** El relieve es un factor físico que limita el desarrollo del recurso tierra en la Llanura del Caribe en varias formas. En el área de colinas (*50% de la región*), el relieve ondulado y quebrado contribuye a hacer más drástico el problema del agua aprovechable para las plantas, a la vez que impide, en muchos casos, la práctica del riego. Este factor incide también en el fenómeno erosivo propiciándolo, cuanto más fuerte es la pendiente del terreno.

En las zonas planas con depresiones el relieve juega un papel fundamental en el almacenamiento de agua dentro y sobre la superficie del suelo. Generalmente en estas áreas las tierras tienen un drenaje muy pobre y sufren inundaciones prolongadas.

**4. Presencia de sales y/o sodio.** El predominio de la evapotranspiración sobre la precipitación en la mayor parte de la Llanura del Caribe, la presencia de sedimentos de origen marino, de materiales parentales ricos en minerales que, por alteración, liberan elementos químicos como el sodio, y la influencia del agua de mar en las capas freáticas, principalmente en las áreas cercanas al Litoral, hacen que éstos suelos estén afectados por sales y/o sodio, o sean susceptibles de salinización si se manejan inadecuadamente.

El riego, que sería la redención de muchas tierras con vocación agrícola, podría convertirse en un causante de deterioro del recurso si no se practica en una forma altamente técnica y de acuerdo a principios científicos precisos.

**5. Erosión.** Es evidente que en una región de clima predominantemente seco, y en la cual una buena parte de su territorio presenta relieve ondulado y quebrado, se manifiesta la erosión, particularmente en aquellas áreas cuya condición natural fue o está siendo alterada por el hombre.

La erosión por escurrimiento difuso es el proceso dominante en el área de colinas de relieve suave, y las remociones en masa lentas (*caminos de ganado o "patas de vaca" y terracetos*) y rápidas (*deslizamientos*) co-

mienzan a hacerse notorios en las serranías o colinas de relieve quebrado.

La destrucción de la cobertura vegetal original y las prácticas agropecuarias inadecuadas (*cultivos limpios, sobrepastoreo*) contribuyen a acelerar los procesos erosivos.

La mala distribución de la propiedad rural obliga a los campesinos sin tierra a establecerse en áreas quebradas (*serranías*) en donde se dedican a talar el bosque para convertir el lugar en terrenos de cultivo o pastizales trayendo consigo el problema de la erosión.

La erosión en la Llanura del Caribe, en términos generales, no es un problema serio, debido a que una amplia extensión está constituida por tierras planas, algunas veces con depresiones, generalmente sometidas a procesos de sedimentación e inundación y a la utilización extensiva en ganadería, la principal actividad agropecuaria de la región. Sin embargo, se debe tener en cuenta que los suelos de las áreas quebradas son erosinables y, por tanto, deben ser mantenidos bajo vegetación permanente o manejados con sumo cuidado en el caso de explotación ganadera o agrícola.

## Factores ecológicos

En el campo ecológico hay factores que, de continuar operando, se constituirán en limitantes graves para el desarrollo del recurso tierra en la Llanura del Caribe:

**1. Utilización excesiva de fitoquímicos.** La agricultura tecnificada implica la utilización de productos químicos (*fertilizantes y correctivos de acidez o alcalinidad, herbicidas, insecticidas y fungicidas*), algunos de los cuales son altamente tóxicos y de efecto residual persistente en el suelo. La aplicación inadecuada de éstos productos provoca, por lo tanto, problemas de contaminación de aguas y afecta la fauna silvestre y al hombre, acrecentándose a través de cadenas alimenticias que actúan como concentradores biológicos de elementos tóxicos.

El uso indiscriminado de los plaguicidas en cultivos como el algodón y el arroz ha conducido a la aplicación de cantidades mayores de estos compuestos, presentándose serios problemas de contaminación y resistencia de plagas a los insecticidas de tal manera que si no se solucionan a tiempo con un manejo adecuado de plagas, se tornarán en limitantes severos para la utilización agrícola de esos terrenos.

- 2. La tala y la quema.** Gran parte de la Llanura del Caribe ha sido alterada, de tal manera que sus paisajes de bosques y vegetación original se han convertido en campos de ganadería extensiva en su gran mayoría, o de labranza en algunos sectores. El bosque como tal permanece únicamente en las colinas altas o serranías que bordean o interrumpen la Llanura pero, aun en éstas áreas, sucumbe a ritmo acelerado ante el avance de la colonización. Esto trae como consecuencia la erosión de los suelos, el acarreo de sedimentos hacia las partes bajas, la paulatina disminución de las fuentes de agua y el repliegue o la desaparición de la fauna silvestre. Mucha de la vegetación talada es convertida en carbón o en pulpa para papel; no se conocen planes de reforestación.

La quema se utiliza para limpiar los terrenos para la siembra en las áreas de colonización y en sitios enrastrados. Esta práctica destruye cantidades significativas de materia orgánica y expone el suelo a los efectos de los agentes atmosféricos. Se debe adelantar investigaciones para conocer los verdaderos efectos de las quemas y controlar alternativas para regularlas o suspenderlas definitivamente.

- 3. Destrucción de los reductos ecológicos.** Algunas pocas áreas de la Llanura del Caribe son reductos ecológicos por sus condiciones naturales limitantes (*inaccesibilidad, topografía muy quebrada o abrupta, clima muy húmedo, etc*) o porque han sido declaradas por el Estado parques naturales por su interés científico y/o conservacionista. Estas áreas naturales están seriamente amenazadas por la acción colonizadora (*Serranías de Abibe, San Lucas, San Jerónimo, Perijá, Sierra de Santa Marta*) o por intereses económicos que pretenden convertir estos santuarios de la

naturaleza en complejos turísticos o industriales (*Isla de Barú, Tayrona, Isla de Salamanca*).

Sería un error desarrollar actividades agropecuarias en el futuro, a costa del equilibrio ecológico al desecar, por ejemplo, todas las ciénagas de una región para convertirlas en campos de cultivo. Estos cuerpos de agua mantienen el equilibrio hidrológico, ayudan a regular el clima y son refugio de muchas especies faúnicas. De igual manera, algunas áreas boscosas y de litoral deben ser preservadas como bancos de germoplasma, por su belleza escénica o por su importancia como áreas de conservación de suelos y aguas.

- 4. Contaminación de las aguas.** La Llanura del Caribe no escapa al problema de la contaminación de las aguas. El río Magdalena, por ejemplo, llega hasta su territorio cargado de sedimentos y, seguramente, de contaminantes que no alcanza a eliminar o disolver en su recorrido. Este, como otros ríos que cruzan la región reciben, a lo largo de su curso, cantidades apreciables de basura y aguas negras que aumentan su contaminación. En las áreas agroindustriales los plaguicidas y otros productos químicos contaminan las aguas de los arroyos y ríos que las atraviesan. Ni siquiera las aguas del mar se salvan de la polución.

El desarrollo del recurso tierra está estrechamente ligado a la calidad de las aguas y de los otros recursos naturales presentes en los ecosistemas. Por esta razón, no se pueden analizar las posibilidades de utilización agropecuaria de los suelos sin contemplar las interacciones que existen entre el suelo y los demás componentes de un sistema ecológico.

### **Factores socioeconómicos**

En la dimensión socioeconómica hay limitantes muy importantes para el desarrollo del recurso tierra en la Llanura del Caribe. Fenómenos relacionados con la estructura agraria, niveles educacionales, salubridad y servicios públicos están íntimamente ligados al uso racional de los bienes de la naturaleza. Es muy difícil llevar a efecto planes de utilización del recurso suelo en

forma técnica, que aseguren su conservación, si la comunidad que habita la región está conformada por gentes desnutridas, analfabetas, minifundistas sin tierra, carentes de crédito, explotados por intermediarios inescrupulosos, políticos, religiosos o terratenientes con mentes feudales.

La Llanura del Caribe se caracteriza por presentar áreas de grandes contrastes y desigualdades sociales. Las áreas más desarrolladas (*mayor población, mejor dotación, economía más fuerte*) presentan las mayores concentraciones de los bienes de producción (*en este caso del recurso tierra*); más del 80% de la tierra pertenece a menos de la mitad y, en muchos casos, a menos del 25% de los propietarios (7). Esto da origen a grandes latifundios subexplotados o a minifundios que no son capaces de sostener adecuadamente una familia. Ambos sistemas de explotación contribuyen a la migración campesina hacia los núcleos urbanos.

El campesino costeño carece de tradición agrícola, en su gran mayoría. La región ha sido ganadera por excelencia y este renglón se ha explotado en forma muy extensiva. Los campesinos que no se emplean en las fincas ganaderas se dedican a la pesca, la artesanía o la minería. Un porcentaje bajo de población cultiva la tierra con métodos tradicionales para producir cultivos de pancoger o en algunos casos tabaco o arroz. El algodón, el arroz, el banano, la palma africana y otros cultivos comerciales, al igual que la ganadería, están en pocas manos, económicamente pudientes.

Desde el punto de vista educacional, la región adolece de muchas fallas que repercuten en un bajo nivel de educación del campesino. El Atlas de la región muestra que la tasa de escolaridad para toda la Llanura del Caribe es de 47%, lo cual demuestra la existencia de una gran cantidad de

población que nunca recibe instrucción escolar. En las áreas rurales el problema se acentúa todavía más.

Los servicios de salud son deficientes y en muchos casos no existen. Hay municipios o conjuntos de municipios en los cuales el índice de población por médico es de 8000 y con muy pocos o ningún servicio hospitalario (7). A lo anterior se agregan las condiciones de saneamiento ambiental en los campos (*equipos de purificación de aguas, sistemas de eliminación de excrementos que son pésimos o inexistentes y las condiciones climáticas que debilitan el organismo y lo hacen susceptible a toda clase de enfermedades*).

Si se desea incrementar la actividad agropecuaria es necesario solucionar los problemas sociales. La utilización racional y el desarrollo armónico del recurso tierra sólo se logran con campesinos dueños de sus propias parcelas, bien nutridos, sanos de cuerpo y espíritu, con conciencia ecológica y educación suficiente para atender sus deberes.

### *Capacidad de uso y manejo de la tierra*

Para establecer la capacidad de uso y manejo de las tierras de la Llanura del Caribe, es necesario evaluar las características físicas, químicas y mineralógicas de los suelos. Esta evaluación conduce a una clasificación agrológica en la cual las limitaciones para el uso y el manejo de los suelos aumenta de la clase I a la clase VIII.

Para este fin se utilizó el mapa de clases agrológicas del Programa Proclas (3) y se consultaron los levantamientos agrológicos actualizados y realizados por la Subdirección Agrológica del Instituto Geográfico "Agustín Codazzi" en el período 1973-1979 (*Cuadro 1*).

**Cuadro 1. Clases de tierras en la Llanura del Caribe.**

Clases agro- lógicas	Area (ha)*	% de la clase en	
		La Llanura del Caribe	El país**
I	30 000	0,3	0,03
II	550 000	5,5	0,50
III	1'850 000	18,5	1,60
IV	2'000 000	20,0	1,75
V	970 000	9,7	0,85
VI	2'150 000	21,5	1,90
VII	1'350 000	13,5	1,20
VIII	1'100 000	11,0	0,90
<b>Total</b>	<b>10'000 000</b>	<b>100,0</b>	<b>8,73</b>

\* En el presente estudio se tuvo en cuenta únicamente la Llanura del Caribe. Se descontó el área correspondiente a la Sierra Nevada de Santa Marta (1'240 000 ha) y la Alta y Media Guajira (1'760 000 ha)

\*\* Área del país. 114'000 000 ha

Las tierras con vocación agrícola (*Clase I - IV*) en la Llanura del Caribe corresponden a un 45% del área total. Es necesario tener en cuenta que gran parte de éstas tierras necesita riego supletorio y control de la salinidad para utilizarlas en agricultura comercial tecnificada. Algunas áreas tienen suelos de texturas finas cuyas arcillas son expandibles por lo que se agrietan profundamente durante la estación seca y son difíciles de manejar; sin embargo, su fertilidad es de moderada a alta.

Casi todas las tierras con vocación agrícola están ubicadas en las planicies aluviales de los grandes ríos y lechos de antiguas ciénagas, con drenaje moderado a bueno, en la planicie aluvial de Piedemonte (*abanico*) y en algunos sitios de la planicie marina.

Aproximadamente un 10% de estas tierras, correspondiente a las planicies aluviales de los grandes ríos y áreas cenagosas (*Clase V*), está sujeto a inundaciones por lo que su drenaje es muy pobre y solo podría utilizarse en agricultura mediante obras de adecuación de alta ingeniería y estudios ecológicos previos que determinen la conveniencia o no de desecar grandes ciénagas

o de alterar el régimen hidrológico de una región determinada.

Un poco más del 45% de las tierras estudiadas presentan limitaciones tan severas que su uso se restringe principalmente a pastos y cultivos permanentes (*Clase VI*), y bosque o vegetación natural (*Clases VII y VIII*), con miras a la conservación de los suelos, las aguas y la vida silvestre.

Al hacer una zonificación de las tierras del área del Caribe de acuerdo a su aptitud agrícola y requerimientos de riego supletorio o drenaje, un 16% (1'600.000 ha) (*Clases I - IV*) están ubicadas en la formación ecológica denominada en el sistema Holdridge, bosque muy húmedo y bosque húmedo tropical y premontano (*Mapa Ecológico de Colombia*). Se trata de tierras más o menos planas con drenaje moderado a bueno, mecanizables y de fertilidad moderada a alta. La precipitación pluvial es abundante y mejor repartida durante el año que en el resto del área del Caribe; se presentan períodos cortos de sequía durante los cuales habría necesidad de regar pero los requerimientos de riego supletorio son los mínimos en toda la región estudiada. En algunas áreas puede haber suelos mal drenados por

lo que, a nivel local, sería necesario llevar a efecto obras de adecuación. Las tierras que conforman este 16% están localizadas en el Valle del río San Jorge y parte alta del Valle del río Sinú.

Existe otra zona de 2'700.000 ha (27% de la Llanura del Caribe) de tierras con vocación agrícola (Clase I - IV), cuyas condiciones climáticas se caracterizan por una precipitación deficiente que conduce a periodos de sequía prolongados (*Bosque seco y muy seco Tropical de la clasificación Holdridge*) por lo que se requiere riego para desarrollar la agricultura a nivel industrial. Los suelos de esta área son más o menos bien drenados, mecanizables y de fertilidad aceptable, y están ubicados en las planicies aluviales de los grandes ríos (Sinú, Magdalena y Cesar), principalmente en la planicie aluvial de Piedemonte (abanicos) y en algunas áreas con influencia marina o lacustre (*lechos de antiguas ciénagas*). Algunas áreas pueden estar afectadas por sales y/o sodio pero su recuperación en la mayoría de los casos es factible. Hay sectores en donde estas tierras no forman áreas homogéneas sino que aparecen dispersas y mal drenadas. Un ejemplo de este fenómeno lo constituyen los suelos de diques bien drenados y los suelos de vega o de cuenca sujetos a inundaciones periódicas. Una empresa agrícola necesita seleccionar suelos mecanizables e irrigables que formen áreas compactas como ocurre, por ejemplo, en la zona bananera (*sector Ciénaga-Fundación*) o en gran parte del Valle del río Cesar.

Una tercera zona comprende las tierras sujetas a inundaciones periódicas de la Depresión Momposina y la planicie aluvial de los ríos Magdalena, Cauca, Sinú, San Jorge y Cesar (*clase agroológica V*). Ocupan una extensión de 970.000 ha (9,7% de la Llanura Caribe). Muchas de estas tierras permanecen inundadas la mayor parte del año y otras son ciénagas permanentes. La adecuación de estas áreas para su utilización agrícola contempla la construcción de grandes obras de ingeniería, previo estudio del posible impacto ecológico.

Un 47% de la zona estudiada (4'730.000 ha) se considera como tierras descartables con factores limitantes (*relieve, exceso de sales, textura arenosa, erosión, etc.*) que las inhabilitan para el uso agrícola intensivo. Son terrenos aptos para

ganadería extensiva, cultivos permanentes y bosque. En varias áreas se debe conservar la vegetación natural para protección de suelos y aguas.

## La Orinoquia

La aptitud de uso de las tierras de la Orinoquia colombiana está determinada principalmente por la calidad y clase de los suelos, por el clima y por aspectos relacionados con la vegetación propia de esta gran región. Otros factores que influyen en la utilización del Llano, con fines agropecuarios, tienen que ver con obras de infraestructura tales como vías, puestos de salud, escuelas, centros de mercadeo, etc. que aunque se consideran importantes no se analizan en este estudio.

### Aspectos climáticos

El clima de la Orinoquia, aunque variado, se caracteriza por una estación de sequía prolongada, particularmente en la zona que se extiende en dirección nordeste hacia el río Orinoco y hacia el río Meta en los límites con Venezuela. De acuerdo con el sistema Holdridge (10), este tipo de clima se refleja en la aparición de una gran área de bosque seco tropical en el nordeste y de bosque húmedo tropical hacia el Piedemonte andino.

La condición climática de la mayor parte de la Orinoquia determina la necesidad de riego supletorio durante la estación seca o la construcción de drenajes para evacuar exceso de lluvias en el caso de explotaciones agrícolas o ganaderas intensivas.

### Aspectos edáficos

Para entender el patrón de distribución de los suelos es necesario tener en cuenta que esta área se divide en varias subregiones con características peculiares que determinan diferentes posibilidades de utilización (*Cuadro 2*).

En esta vasta región se presentan suelos bien y mal drenados, completamente arenosos como en los médanos de la planicie eólica (*Orinoquia mal drenada*) o arcillosos como en las Gaviotas, región típica de la altillanura plano-convexa (*Orinoquia bien drenada*). Entre estos dos extre-

mos texturales se puede hallar una gran gama de tierras.

Desde el punto de vista de relieve existen suelos planos, plano-cóncavos, plano-convexos y suavemente ondulados hasta fuertemente ondulados. En el Llano hay una secuencia climática que va desde una gran región seca en el sector nordeste hasta un ambiente muy húmedo en el Piedemonte; la precipitación tiende a aumentar también hacia el sur del territorio. Como consecuencia de las variaciones climáticas existen suelos expuestos a períodos

largos de sequía y suelos que prácticamente permanecen húmedos durante todo el año o cuya estación seca es muy corta. Como no toda la vegetación es pradera, porque existen bosques a veces en áreas compactas como en Arauca (*esquina noroeste*) o al sur entre los ríos Vichada y Guaviare o en fajas estrechas a lo largo de los ríos y caños formando el llamado bosque de galería, también hay variación en las clases de suelo. La acción de la fauna edáfica, principalmente hormigas y termitas, es otro factor que contribuye a diversificar la serie de suelos propios del llano.

**Cuadro 2. Distribución de los suelos según las principales regiones fisiográficas de la Orinoquia colombiana.**

Región	Area (ha)	%
Piedemonte	653.775 *	2,5
Orinoquia mal drenada		
Llanura aluvial de desborde	2'950.625 *	11,3
Llanura eólica	2'076.875 *	8,0
Zonas aluviales recientes	1'286.875 *	5,0
Áreas pantanosas	210.625	0,8
Orinoquia bien drenada		
Terrezas aluviales	666.861 *	2,6
Altillanuras planas	4'200.000 **	16,0
Altillanuras disectadas	9'000.000 **	34,6
Andén Orinoqués	5'000.000 **	19,2
	<b>26'045.636</b>	<b>100,0</b>

\* Datos tomados del Estudio de suelos de la FAO (8)

\*\* Cifras (aproximadas) estimadas por el autor con base en imágenes de satélite.

### Factores edáficos que limitan el desarrollo del recurso tierra

El análisis de las propiedades de los suelos de la Orinoquia y de su patrón de distribución señala que para la utilización de las tierras con fines agropecuarios se deben tener en cuenta los siguientes factores:

1. Existe una marcada deficiencia de nutrimentos disponibles para la vegetación principalmente en la fase mineral del suelo.

2. Los elementos necesarios para la nutrición vegetal provienen casi exclusivamente de la fase orgánica pero ésta es escasa en el Llano, está continuamente afectada por las quemadas, expuesta a la acción directa de la energía solar, a fenómenos erosivos por agua de escorrentía y a pérdidas considerables de materia prima durante las épocas secas.

2. Los elementos necesarios para la nutrición vegetal provienen casi exclusivamente de la fase orgánica pero ésta es escasa en el Llano, está continuamente afectada por las quemadas, expuesta a la acción directa de la energía solar, a fenómenos erosivos por agua de escorrentía y a pérdidas considerables de materia prima durante las épocas secas.

3. Algunos elementos como el aluminio se encuentran en cantidades tóxicas para los cultivos lo cual determina la necesidad de neutralizar su efecto con la aplicación de grandes cantidades de fertilizantes (*práctica antieconómica*), o la búsqueda de variedades de plantas tolerantes a esa condición.
4. Aunque en general las características físicas de los suelos del Llano son favorables para un buen crecimiento de las plantas, esto es estrictamente cierto únicamente en el caso de las altillanuras planas bien drenadas y los terrenos del Piedemonte. Los suelos de las altillanuras disectadas presentan capas endurecidas, cementadas por hidróxidos y óxidos de hierro que limitan su profundidad efectiva y disminuyen notablemente su capacidad de almacenamiento de agua. Muchos suelos de los abanicos del Piedemonte, particularmente en la llamada Orinoquia mal drenada son erosionables, pedregosos y disectados; grandes áreas de la planicie aluvial y de la llanura eólica sufren inundaciones periódicas y en este último paisaje ocurren suelos arenosos de muy baja calidad. Suelos mal drenados se presentan también en las terrazas bajas de Piedemonte (*Villavicencio - Puerto López - San Martín*) y aun en las altillanuras planas. Los suelos aluviales de las vegas de los grandes ríos que drenan el área están sujetos a inundaciones periódicas y los de los esteros, aunque presentan contenido alto de materia orgánica, deben ser mantenidos bajo cobertura de bosque para proteger las aguas, la fauna y la calidad del medio ambiente.
5. Los suelos de la Orinoquia son muy susceptibles a la erosión causada por las aguas de escurrimiento o por la acción del viento. Una forma especial de erosión es la presencia de zurales o mogotes que producen una topografía irregular y difícil de manejar. Los suelos pobremente drenados de la llanura eólica y de las altillanuras están conformados por materiales de consistencia débil en términos de su cohesión y fricción lo cual puede ocasionar fenómenos de soliflujión. Estudios realizados durante el levantamiento edafológico de los Llanos Orientales por la FAO (8) y posteriormente por Goosen (1) han indicado la posibilidad de movimientos en masa en terrenos con pendientes inferiores al 1% al alcanzarse determinado grado de saturación del suelo. Este fenómeno ocurrió en los Llanos en un pasado no muy lejano y si volviera a suceder pondría en peligro la estabilidad de las obras de irrigación, drenaje y otras estructuras que se construyan.
6. La mayoría de los suelos del Llano se resecan durante períodos prolongados del año por lo que su utilización permanente con fines agropecuarios requeriría de planes gigantescos de irrigación.

### Capacidad de uso y manejo de la tierra

#### Bajo condiciones actuales

La gran mayoría de las tierras que conforman esta área son aptas para ganadería extensiva; con prácticas de manejo adecuadas se puede incrementar considerablemente la producción ganadera. Verdadera vocación agrícola sólo tienen las tierras de algunos abanicos del Piedemonte y la zona de las terrazas ubicadas entre los ríos Uplá y Ariari en los extremos norte y sur, respectivamente, y la Cordillera Oriental y el río Metica. También se consideran aptos para el desarrollo de la agricultura los suelos aluviales situados en las vegas de los grandes ríos, aunque tienen el peligro de las inundaciones (*Cuadro 3*).

En general en las sabanas o altillanuras planas de la Orinoquia bien drenada se puede intensificar la producción ganadera con pastos mejorados y adición de fertilizantes. El pasto *brachiaria* (*Brachiaria decumbens*) es uno de los que ha producido los mejores resultados. También han demostrado buena adaptación los pastos puntero (*Hyparrhenia rufa*), gordura o chopin (*Melinis minutiflora*) y pasto negro (*Paspalum plicatulum*) (9). Áreas seleccionadas pueden dedicarse a la agricultura de subsistencia; las investigaciones con arroz, tabaco rubio, maní, marañón, cítricos, nueces y cauchos han demostrado que éstas plantas son bastante tolerantes a las condiciones ecológicas y edáficas de esta región(4) por lo que podría pensarse en su cultivo comercial cuando se logre, en el futuro, superar con fertilizantes, encalado, riego, drenaje, utilización de la energía solar e infraestructura de toda clase, los obstáculos con que hoy cuenta la agricultura en el Llano.

En el Centro de Desarrollo Integrado "Las Gaviotas", Comisaría del Vichada se está practicando, con excelente resultado, lo que su director Paolo Lugari (*com. pers.*) llama "agricultura ambiental en condiciones de invernadero productivo". Se trata de cultivos de legumbres y otros vegetales en invernaderos sencillos cubiertos de tela plástica, con uso mínimo de fertilizantes y productos químicos (*plaguicidas*) y por lo tanto sin el peligro de la contaminación que trae consigo la agricultura comercial.

Los resultados logrados en "Las Gaviotas" están demostrando que ha comenzado a desarrollarse una tecnología especial para el medio llanero que permitirá descubrir posibilidades insospechadas de aprovechamiento de la Orinoquia mediante prácticas de manejo que aseguren la conservación de la armonía de ese ecosistema. También es importante anotar que en algunas sabanas planas se están desarrollando con éxito plantaciones considerables de pino caribe (*Pinus caribea*) (*Lugari, com. pers.*).

Las altillanuras disectadas o sabanas onduiadas sólo son aptas para pastos naturales por sus limitaciones de relieve, profundidad efectiva y régimen de humedad desfavorable. La ganadería debe ser extensiva para conservar los suelos y ciertas áreas deben ser mantenidas con cubierta vegetal protectora. Se encuentran algunas áreas pequeñas de suelos planos conocidas como "bajos" en los que se pueden establecer con éxito pastos mejorados y cultivos de subsistencia.

Las tierras de la Orinoquia mal drenada son aptas para ganadería extensiva con pastos naturales. En la llanura aluvial de desborde ocurren inundaciones y hay presencia de zurales profundos. En áreas seleccionadas, especialmente en los diques, se pueden sembrar pastos mejorados (*puntero, guinea, gordura, brachiaria*), cultivos de subsistencia, frutales particularmente mangos, cítricos, mamoncillos, marañón y anonáceas (5). Los suelos de algunos abanicos presentan las mejores condiciones para el desarrollo de programas agrícolas. Los abanicos disectados deben conservarse con la vegetación natural o reforestarse para que la cobertura vegetal se constituya en protectora de los suelos y en refugio de la vida silvestre. En toda la Orino-

quia el bosque de galería debe mantenerse para defensa de las aguas, de la belleza del paisaje y como habitat de la fauna.

Los suelos de las terrazas aluviales del Piedemonte tienen aptitud agropecuaria y en ellos se desarrollan actualmente cultivos comerciales como cacao, arroz de secano y de riego, algodón, ajonjolí, palma africana, cítricos, maíz, sorgo, soya, maní y plátano. Las frutas tropicales, los cultivos de subsistencia y los pastos mejorados completan el paisaje de esta zona que entró de lleno a formar parte de la frontera agrícola del país. Desafortunadamente la falta de planeación de los programas agrícolas y el abuso de los pesticidas ha ocasionado serios problemas de contaminación.

Las tierras que forman el Andén Orinoqués son aptas, en las condiciones actuales, para ganadería extensiva con pastos naturales. En las vegas de los principales ríos se puede ubicar la agricultura de subsistencia y probablemente cultivos de arroz. El fenómeno de las inundaciones afecta zonas extensas de esta región.

El cuadro 4 resume en cifras la aptitud de uso y manejo de los suelos de la Orinoquia. De acuerdo a estos datos solamente un 8,3% de las tierras del Llano son aptas para agricultura de tipo comercial en las condiciones actuales de desarrollo. El área comprende los suelos de las terrazas aluviales, de algunos abanicos de Piedemonte y de gran parte de las vegas aluviales de los grandes ríos. El resto del Llano tiene vocación ganadera extensiva o semi-intensiva según se trate de la Orinoquia mal drenada, de las sabanas disectadas o de las altillanuras planas.

### **Con tecnología avanzada**

El desarrollo futuro de la Orinoquia depende de la creación de una tecnología propia de ese medio ecológico, cuya utilización permita la explotación de los recursos naturales conservando y ojalá mejorando la calidad del medio ambiente. Por eso la ampliación de la frontera agrícola hasta el confín de las sabanas planas supone la realización de prácticas tales como fertilización adecuada, enclado, riego, drenaje, selección de variedades de cultivos que toleren las condiciones edáficas y ecológicas del Llano,

utilización de energía solar para usos domésticos, infraestructura vial, educacional, de salud, etc. y alto nivel de educación ecológica.

Llevando a efecto las obras y realizando las actividades mencionadas se calcula que las tierras aptas para agricultura comercial podrían alcanzar hasta un 26% del territorio total de la Orinoquia (Cuadro 4). Las nuevas tierras que se incorporarían a la empresa agrícola están ubicadas principalmente en las altillanuras planas, en los diques y bancos de la llamada Orinoquia mal drenada y en áreas nuevas de vegas aluviales.

La agricultura del futuro, principalmente aquella destinada a producir legumbres y frutas, tendrá que ser del tipo de la "agricultura ambiental" que ya se practica en el Centro de Desarrollo

Integrado "Las Gaviotas" en condiciones de invernaderos productivos.

Los cultivos de caña, yuca y otras materias primas para la producción de alcohol carburante podrían ubicarse en algunas áreas de las terrazas y valles aluviales, en las altillanuras planas y en los diques y bancos de Casanare y Arauca. En esta forma, el país podría dedicar en el futuro, cuanta área necesitara para la producción de alcohol, puesto que tendría disponible, solamente en esta región, 6 millones de ha. aproximadamente que, mediante prácticas especiales de manejo, pueden llegar a ser utilizadas en agricultura de tipo comercial. De esta extensión, más de un millón de ha son tierras que disfrutan de un clima húmedo tropical en las cuales las necesidades de riego son mínimas.

**Cuadro 3. Capacidad de uso de las tierras de la Orinoquia bajo condiciones actuales.**

Suelos	Tipo de actividad agrícola	Area (ha)	%
Piedemonte	Agricultura comercial y ganadería intensiva	200.000+	0,7
	Ganadería extensiva, reforestación o conservación de la vegetación natural	453.775+	1,7
Orinoquia mal drenada	Ganadería extensiva, agricultura de subsistencia en los diques, áreas para explotación forestal	5'027.500+	19,3
Zonas aluviales recientes	Agricultura comercial. Ganadería intensiva- áreas con peligro de inundaciones	1'286.875+	5,0
Areas pantanosas	Vegetación natural; conservación de vida silvestre	210.625+	0,8
Terrazas aluviales	Agricultura comercial; ganadería intensiva y semi-intensiva	666.861+	2,6
Altillanuras planas	Ganadería extensiva y semi-intensiva, agricultura de subsistencia	3'150.000++	12,0
	Conservación de la vegetación natural (esteros)	1'050.000++	4,0
Altillanuras disectadas	Ganadería extensiva; agricultura de subsistencia	6'750.000++	26,0
	Conservación de la vegetación natural (vallecitos)	2'250.000++	8,6
Andén Orinoqués	Ganadería extensiva; agricultura de subsistencia	5'000.000++	19,0

+ Datos según la FAO (8)

++ Cifras aproximadas calculadas por el autor con base en imágenes de satélite

# LA POTENCIALIDAD DE LA ZONA CAFETERA PARA EXPLOTAR CAÑA Y YUCA PARA ALCOHOL CARBURANTE

**Alfonso Grisales García\***

## Resumen

Se describe la ubicación de la zona cafetera colombiana y las 3 zonas principales, de acuerdo con la posición latitudinal. Sur (1400-1800 m. de alt.), Central (1200-1600 m. de alt.) y Norte (1000-1400 m. de alt.), y la precipitación. Se hacen consideraciones sobre los factores desfavorables del cultivo de la caña de azúcar en la zona cafetera: destrucción de los suelos por erosión, desigualdad en la maduración debido a los cambios bruscos de alt., la nubosidad y la luminosidad que afectan la producción de sacarosa, dificultad para realizar labores culturales. Se concluye de lo anterior, que la región cafetera no ofrece condiciones favorables para explotaciones de caña con fines carburantes sino solamente para la obtención de panela como subsistencia. Lo mismo sucede para el cultivo de la yuca, cuyo principal problema es la degradación incalculable de los suelos.

## Ubicación de la zona cafetera

La región cafetera colombiana está localizada en las vertientes de las cordilleras Occidental, Central y Oriental, que atraviesan el país de sur a norte, desde el departamento de Nariño hasta la Sierra Nevada de Santa Marta. El país cafetero se puede dividir con base en la posición latitudinal indicada en tres zonas principales:

1. Zona sur - hasta los 3° de latitud norte - de 1400 a 1800 m. de altitud
2. Zona Central - entre 3° y 7° norte - de 1200 a 1600 m.
3. Zona Norte - comprendida entre 7° y 10° norte - de 1000 a 1400 m.

La pluviosidad en el país está regida también

por la situación latitudinal, la que determina la diferencia estacional a través del año debido al sistema de convergencia intertropical, presentándose en la región sur un régimen de lluvias poco abundantes y de baja intensidad, y un sólo periodo lluvioso en los meses de enero, febrero y marzo.

En la región central se presentan dos épocas lluviosas en los meses de abril, mayo y octubre-noviembre. La zona central es considerada, por consiguiente, como la mejor área para café, por la cantidad de lluvia anual y por la buena distribución.

En la zona norte se presenta, al igual que en la zona sur, un sólo periodo lluvioso en septiembre, octubre y noviembre, caracterizado por su gran intensidad.

## La caña de azúcar

La caña es un cultivo muy difundido en la zona cafetera, con el fin de obtener panela, alimento

---

\* Ingeniero Agrónomo-FEDERACAFÉ, Apartado Aéreo 30244, Bogotá, Colombia.

básico para la gran mayoría de los moradores de las zonas de vertiente.

En el análisis de la zona cafetera se tuvieron en cuenta parámetros que se ajustan a las exigencias del café para obtener buenos rendimientos, pero que se alejan de las necesidades de la caña para lograr tonelajes económicamente aceptables, salvo algunas áreas dispersas en la zona central, que sería un error desviar a otros usos, por su vocación eminentemente cafetera y la alta cotización de las mismas. El café se cultiva en las laderas, donde se pueden aplicar las más avanzadas tecnologías, en tanto que los adelantos tecnológicos tienen poca aplicabilidad en la mayoría de los casos, tratándose de la caña, pues aunque también prospera, en las laderas se puede correr el riesgo de destruir los suelos por la erosión.

Otros factores desfavorables que se reflejan en bajos rendimientos cuando se cultiva caña en zonas de vertiente, son los siguientes:

1. Cambios bruscos de altitud, lo que hace que la temperatura no sea uniforme, si se tiene en cuenta que por cada 100 metros de ascenso el calor disminuye entre 0,5 y 0,7° C, lo que se refleja en desigualdad en la maduración.
2. La nubosidad frecuente de las montañas afecta la producción de sacarosa, por no alcanzar el óptimo de brillo solar. La luminosidad también es afectada por la configuración montañosa, ya que la planta no recibe la plena

luz del día por la interceptación de los rayos solares en las horas de la mañana o de la tarde, según que la exposición sea oriental u occidental.

3. Las áreas de vertiente para cultivar la caña ofrecen dificultades para las labores como control de malezas, plagas, enfermedades, fertilizaciones, renovaciones, transportes, aspectos que afectan sensiblemente los rendimientos.

Por las consideraciones anteriores, la región cafetera colombiana no ofrece condiciones ambientales favorables para explotaciones de caña con fines carburantes. Sólo se obtiene panela como renglón de subsistencia, que complementa los ingresos del agricultor cafetero.

### La yuca

Las anteriores consideraciones son válidas para el cultivo de la yuca, por ser éste un cultivo que primordialmente exige áreas de topografía plana. Aunque existen áreas óptimas en la zona central cafetera, no cumplen los requerimientos para una explotación masiva, por la susceptibilidad de los suelos a la erosión, lo que sumado a la alta precipitación y a las prácticas culturales que el cultivo demanda, ocasionan trastornos de degradación incalculables, como efectivamente ha ocurrido y está ocurriendo en sectores con explotaciones yuqueras.

# RECOMENDACIONES SOBRE EL CULTIVO DE LA YUCA PARA ALCOHOL CARBURANTE EN COLOMBIA

**Julio César Toro**  
**James H. Cock\***

## Resumen

Se describen las características edafoclimáticas de las zonas del país potencialmente aptas para la explotación de la yuca con fines agroindustriales: la Costa Atlántica (*de inmediato*) y los Llanos Orientales (*a mediano plazo*). Se presenta en detalle un sistema de producción en el cual se incluyen recomendaciones sobre el tipo de suelo adecuado, preparación del terreno, material de siembra, multiplicación de "semilla" certificada, var., tratamiento de las estacas, época, posición y densidad de siembra, fertilización, mecanización, control de malezas, plagas (*con énfasis en *Erinyis ello**), enfermedades y cosecha

## Introducción

La posibilidad de utilizar inmediata y adecuadamente la bioconversión en mayor escala que la actual, parece económicamente viable para los pocos países como Colombia que reciben radiación solar abundante y, al mismo tiempo, disponen de áreas extensas todavía no aprovechadas que, por sus características edafoclimáticas, pueden ser explotadas con plantas de alto contenido de hidratos de carbono, económicamente transformables en hidrocarburos (*etanol, etileno, metanol*), combustibles de aprovechamiento más eficiente.

Una de estas plantas es la yuca (*Manihot esculenta Crantz*), una euforbiácea rústica sembrada tradicionalmente en Colombia (*aproximadamente 200.000 ha*) que, por adaptarse a una

amplia variedad de suelos y climas, puede desempeñar un papel importante para el país. Su producción de calorías/ha-día es mayor que la de cualquier otro cultivo alimenticio. Además, su follaje produce hasta 5 t de proteína cruda/ha-año (14). Su principal potencial radica en la tolerancia a períodos secos prolongados, habilidad para crecer en suelos de baja fertilidad y particularmente ácidos, además de su relativa resistencia a ataques de plagas y enfermedades.

Colombia, situada en plena zona ecuatorial, recibe anualmente un promedio de 430 cal/cm<sup>2</sup>/día lo que la coloca en condiciones privilegiadas para "cosechar el sol". La radiación solar anual equivale a la energía contenida en 1298 bbl de petróleo/ha. Si se considera una eficiencia fotosintética de 0,17% para la yuca (20 t de raíces/ha-año), se pueden cosechar 20 bbl de petróleo/ha-año.

Actualmente, Colombia consume 75.000 bbl de gasolina/día (11'925.000 l); para reemplazar el 20% se necesitarían 15.000 bbl de alcohol/día (2'385.000 l), lo que equivale a 14.029 t de yuca

---

\* Agrónomo y Coordinador, respectivamente, Programa de Yuca, Centro Internacional de Agricultura Tropical, CIAT, Apartado Aéreo 67-13, Cali, Colombia.

fresca/día, o sea 701 ha/día. Esto requeriría sembrar anualmente 255.865 ha, o sea 0,22% del territorio nacional.

### Zonas aptas para cultivar yuca

Con el cultivo de la yuca para alcohol no se pretende desplazar las tierras actualmente en uso para la producción de alimentos o fibra o las potencialmente disponibles de alta fertilidad; se ha querido más bien abrir la frontera agrícola colombiana. Las tierras subutilizadas que más se prestan para la explotación de la yuca con fines agroindustriales son la Costa Atlántica de inmediato y los Llanos Orientales a mediano plazo.

La Costa Atlántica cuenta con 13 millones de ha (11% del territorio nacional), de las cuales se siembran unas 51.000 con yuca, mientras que de los 67 millones de ha de los Llanos Orientales (59% del territorio nacional) (10), solamente se siembran unas 20.000 ha con yuca.

### Condiciones edafoclimáticas de la Costa Atlántica

De los 13 millones de ha de esta región, solamente se están aprovechando 600.000. Se encuentran suelos arenosos o arcillosos, pasando por todas las combinaciones posibles, con fertilidad desde pobre hasta rica, prevaleciendo de fertilidad intermedia.

### Condiciones edafoclimáticas de los Llanos Orientales

Esta amplia región que comprende todo el territorio situado al este de la Cordillera Oriental, ofrece las perspectivas más atractivas para un futuro cercano. La parte norte, conocida como los verdaderos Llanos Orientales, corresponde a la Orinoquia, región que pertenece a la cuenca hidrográfica del Río Orinoco, y la parte sur se conoce como la Amazonia.

La Orinoquia tiene una extensión de 22 millones de ha. (20% del territorio nacional).

La topografía es regular, con una altura de 250-300 m.s.n.m. Los suelos (*Oxisoles*, *Ultisoles* e *Inceptisoles*) son profundos y friables, y de baja

fertilidad, complicada por un alto contenido de hierro y aluminio. Tienen una capacidad de intercambio de bases casi nula, además de una retención de agua muy baja; aunque predominan los suelos de baja fertilidad, se encuentran también de fertilidad intermedia y alta, como los de aluvión o vega.

El clima, según Köppen, es Av o de sabana. Tiene una precipitación promedio de 1800 mm/año, bien distribuidos entre principios de abril y fines de noviembre. Los vientos son fuertes y prevalecen durante los meses de verano (*diciembre-marzo*).

La temperatura promedio es de 28°C, con más variación entre la máxima y mínima diaria (31-21°C) que entre los promedios mensuales. La humedad relativa consecuentemente es alta (80%) durante la estación lluviosa y baja (50-60%) en el período seco. La evapotranspiración potencial es alta al final del período seco, cuando el agua almacenada disminuye a valores mínimos, particularmente en febrero y marzo.

### Tecnología para la producción de yuca

En los últimos años se ha desarrollado una tecnología que permite sembrar yuca en forma comercial, duplicando las producciones actuales de las variedades locales en las dos regiones mencionadas anteriormente.

### Suelos

La yuca puede desarrollarse bien en una gran variedad de suelos, desde aquellos de textura arenosa hasta arcillosa. También se adapta a uno de los rangos más amplios de acidez del suelo (*pH 4, 6-8*) (2). Se debe evitar la siembra en suelos mal drenados o pedregosos, que impiden el buen desarrollo radical.

### Fertilización

Aunque la yuca se adapta bien a suelos pobres, requiere cantidades de fertilizante relativamente altas para obtener rendimientos óptimos y mantener la fertilidad del suelo. Se ha encontrado que la yuca no responde a fertilización en suelos fértiles o medianamente fértiles. Por consiguiente, no se recomienda el uso de fertilizantes en la Costa Atlántica inicialmente.

Debido a la creencia de los agricultores de que la yuca agota el suelo, la siembran de última en la rotación cuando la fertilidad ha declinado notablemente. Las deficiencias de elementos mayores no siempre se manifiestan en síntomas visibles sino que más bien se reflejan en rendimientos menores. Por este motivo, muchos agricultores no notan las deficiencias ni la capacidad real de producción del cultivo. Como la planta extrae gran cantidad de potasio, uno de los elementos que determina el contenido de almidón en las raíces, no se debe sembrar continuamente en un mismo lote, sin fertilizar adecuadamente. La deficiencia de fósforo es la más común en los Llanos Orientales. La yuca también es sensible a deficiencias de magnesio y azufre.

Entre los microelementos, la deficiencia de zinc es la más común. El cultivo es más sensible a la falta de este elemento en la fase inicial de su desarrollo. En suelos ácidos se debe aplicar cal en cantidades limitadas, no para neutralizar la acidez del suelo, sino para proporcionar calcio a la planta; aplicaciones altas pueden inducir deficiencias de los elementos menores, especialmente zinc.

La yuca es sensible a la salinidad y alcalinidad, aunque para ambos casos existen variedades tolerantes. Los problemas de salinidad generalmente ocurren en manchas de suelos de alta conductividad y alto contenido de sodio. En general puede decirse que la yuca no tolera un pH superior a 8 y una conductividad mayor que 0,5 mmho/cm. o una saturación de sodio mayor que 2,55 (2). Sin embargo, la salinidad generalmente no se presenta en suelos pobres donde se piensa sembrar yuca para producir alcohol.

**Plan de fertilización para los Llanos.** Este plan para los Oxisoles y Ultisoles infértiles de los Llanos Orientales se basa en siembras continuas de yuca en el mismo lote y en el efecto residual de los fertilizantes (Cuadro 1). Es importante notar que la yuca aprovecha bien fuentes económicas de fósforo tal como la roca fosfórica del Huila, si es parcialmente acidulada.

Para reducir problemas de agotamiento del suelo, plagas y enfermedades después de 3 años de sembrar yuca en el mismo lote, se debe hacer rotación con otro cultivo que no sea hospedante

de las plagas y enfermedades de la yuca, preferiblemente maíz y sorgo. La cal dolomítica se incorpora en el momento de la rastrillada y los otros productos se aplican en banda a ambos lados de la estaca en el momento de la siembra.

### *Preparación del terreno*

Como cualquier otro cultivo comercial, la yuca requiere una buena preparación del suelo, sobre todo porque favorece el buen desarrollo de las raíces (17).

Después de la tala se debe arar a una profundidad de 30 cm. en suelo liviano, y en forma cruzada cuando el suelo es pesado. La labranza debe hacerse cuando el suelo no está muy húmedo ni muy seco, ya que en el primer caso tiende a compactarse, formando grandes terrones que dificultan las demás labores de mecanización, y en el segundo, los implementos no penetran lo suficiente para lograr una cama adecuada para la estaca.

Se debe rastrillar una o dos veces, de acuerdo a las características del lote. En el caso de los Llanos Orientales, se debe aplicar cal antes de la rastrillada.

### **Caballones**

En regiones de suelos pesados y donde la precipitación pluvial es mayor que 1200 mm/año, se procede a la formación de caballones, una vez rastrillado el suelo (16). En suelos arenosos no hay necesidad de hacerlo, ya que los caballones tienen como objetivo principal evitar la pudrición radical que se presenta cuando la humedad es excesiva.

### *Material de siembra*

Como la yuca es perenne leñosa, se propaga mejor en forma vegetativa. La madurez fisiológica es difícil de determinar, por tanto, se cosecha entre los 7 y 24 meses de edad, dependiendo además de las condiciones ambientales locales. En las 2 regiones de interés se puede cosechar entre los 7 y 12 meses.

En un cultivo que se propaga vegetativamente, la selección del material de siembra es de vital

importancia (11). En primer lugar se deben seleccionar plantas vigorosas y sanas, es decir, que no presenten síntomas aparentes de daño por insectos o enfermedades. Los tallos no deben tener chancros en la corteza, manchas pronunciadas en la médula, ni escamas en la epidermis o galerías interiores causadas por larvas de mariposas o cucarrones. Se deben usar estacas gruesas (*plantas de 7 a 12 meses de edad*), ya que las poco lignificadas son más débiles y susceptibles a secamiento, insectos y patógenos del suelo.

Las estacas deben tener más de 5 nudos o yemas y un mínimo de 20 cm. de largo, aunque son preferibles de 25 o 30 cm. El corte se debe hacer recto, no en chaflán, preferiblemente con sierra circular o machete bien afilado. Las herramientas deben ser desinfectadas entre una planta y otra, para evitar la diseminación de enfermedades.

### **Multiplicación de "semilla" certificada**

En el sistema tradicional de producción, las estacas generalmente provienen del propio cultivo del agricultor o de sus vecinos. Aunque este sistema tiene algunas deficiencias, funciona bien, siempre y cuando el área sembrada no se quiera aumentar rápidamente.

El proyecto de alcohol en Curvelo, Brasil, tuvo muchos problemas para obtener una cantidad suficiente de estacas de variedades apropiadas, debido a que en la región donde se instaló no existía una tradición yuquera. Por otra parte, las estacas de 19 variedades que se introdujeron estaban infectadas con el añublo bacteriano (CBB). Debido al uso de estacas enfermas, el rendimiento durante los dos primeros años fue bastante bajo. Esto debe servir de ejemplo para Colombia, donde no existe una industria "semillera" de yuca. La multiplicación del material requerido para sembrar 256.000 ha con variedades seleccionadas o mejoradas tomaría unos 5 años, por consiguiente, es indispensable iniciar el programa de "semilla" certificada de yuca, tan pronto como se apruebe el proyecto, ya que una planta de alcohol se puede instalar en mucho menos tiempo.

### **Variedades**

La tecnología recomendada para producir yuca a nivel comercial se refiere exclusivamente al empleo de las mejores variedades de las 2 regiones. Estas variedades locales o criollas son las que, a través de los años, fueron seleccionadas por los agricultores por su adaptación a las condiciones de la región y su buen rendimiento, y alto contenido de almidón.

Después de 5 años de pruebas en 9 lugares de Colombia, se encontró que las variedades regionales produjeron el doble del promedio nacional mediante el uso de la tecnología sencilla y económica bosquejada aquí, que consiste básicamente en la buena selección y tratamiento de las estacas y el control adecuado de malezas (18). En estas pruebas no se usa riego ni se aplican plaguicidas. Con excepción de los Llanos Orientales, no se usa fertilizante. Además se está incorporando en estas variedades resistencia específica contra las enfermedades y plagas principales más comunes en cada región, con el fin de poder garantizar un rendimiento alto pero estable con el tiempo.

Por otra parte, el Programa de Yuca del CIAT desarrolla y evalúa variedades con un potencial de rendimiento mucho más alto que las regionales.

### **Tratamiento de las estacas**

En teoría no es necesario tratar las estacas cuando provienen de plantaciones sanas; sin embargo, para proteger las yemas de los numerosos patógenos del suelo, en la fase inicial de brotación se debe hacer un tratamiento sencillo y poco costoso para garantizar el establecimiento de las estacas. Dicho tratamiento consiste en sumergir las estacas durante 5 minutos en una suspensión que contenga uno o dos fungicidas, o un fungicida y un insecticida, según las enfermedades o plagas prevalentes en la región. Cuando no existen estos problemas, se pueden usar 6 g/l de agua de cualquiera de los siguientes fungicidas: Dithane M-45 (**mancozeb**), Manzate 80 (**maneb**), Orthocide (**captan**), Daconil (**clorotalonil**), Vitigran (**oxicloruro de cobre**), Arasan (**Tiram**), Brassicol (**PCNB**), Demosan (**cloroneb**), Difolatan (**captalol**) o Bavistin

**(carbendazim).** Al emplear mezclas con 2 de éstos productos, se usan solamente 3 g de cada uno.

Tanto en la Costa Atlántica como en los Llanos Orientales, se presentan las enfermedades de añublo bacteriano (*Xanthomonas manihotis*) y superalargamiento (*Sphaceloma manihoticola*). Por consiguiente, muchas plantas provenientes de estacas infectadas pueden estar enfermas, lo que constituye un foco primario de infección en las plantaciones nuevas. En el caso de superalargamiento se puede erradicar la enfermedad mediante el tratamiento con 8 g/l de agua de Difolatan, Orthocide o Vitigran.

Para controlar insectos escama (*Aonidomytilus albus* y *Saissetia miranda*), se mezcla 1 cc. de malation/l de agua, con cualquiera de los fungicidas mencionados anteriormente, teniendo cuidado de mezclar primero el malation con el agua antes de agregar el fungicida. Aunque el tratamiento de las estacas permite combatir enfermedades y plagas, es mejor utilizar material de siembra proveniente de plantaciones sanas, siempre y cuando sea factible.

En el tratamiento de las estacas para los Llanos, se deben incluir con la mezcla de fungicida e insecticida 20 g. de sulfato de zinc/l de agua, sumergiéndolas por un total de 15 minutos.

## Siembra

### Epoca

Como tradicionalmente la yuca se cultiva sin riego, se siembra generalmente al inicio de las lluvias. Una humedad adecuada del suelo es necesaria para la brotación inicial. A los 3 meses aproximadamente, la planta puede soportar un período seco prolongado; aunque pierde las hojas, éstas rebrotan con el inicio de las lluvias siguientes. En la Costa Atlántica se puede sembrar a principios de abril o septiembre, lo que permite escalar las siembras.

En los Llanos Orientales, en cambio, la siembra no se debe hacer al inicio de las lluvias sino hacia el final (*principios de septiembre a mediados de octubre*) para evitar la alta incidencia de enfermedades (6), mientras se obtienen variedades resistentes.

## Posición

En relación con el rendimiento final, muchas veces es indiferente sembrar las estacas en posición horizontal, inclinada o vertical en la cresta del caballón; sin embargo, en zonas de lluvias erráticas, los resultados son más favorables con la siembra vertical, la cual garantiza mejor brotación, mejor distribución de raíces alrededor del tallo y mucho mejor anclaje para evitar el volcamiento, principalmente en zonas de vientos fuertes. La mitad de la estaca debe quedar enterrada con las yemas orientadas hacia arriba.

## Densidad

Existe una densidad óptima de acuerdo a la finalidad del producto. Cuando se trata de raíces para la industrialización, lo que más interesa es la producción total y no el tamaño. Tanto para las condiciones de la Costa como de los Llanos Orientales, se recomienda una población de 15.000 plantas/ha para variedades de tipo ramificado y porte alto, y 20.000 para variedades de porte bajo o mediano.

## Mecanización

En los últimos años se han desarrollado herramientas y máquinas que facilitan y hacen más eficiente la siembra a nivel de plantaciones comerciales, ya que esta labor se debe hacer en el menor tiempo posible para aprovechar la época más apropiada.

La empresa brasileña Veragro en Felixlândia, Minas Gerais, tiene un prototipo de 2 surcos que corta la estaca, la trata y la siembra en forma horizontal. Anteriormente empleaban otra sembradora que colocaba las estacas verticalmente pero no las trataba, lo que es indispensable en esta región. En Cuba se ha desarrollado un prototipo que corta las estacas de 30 cm., las trata, las abona y las siembra en posición vertical en 4 surcos simultáneamente. Esta máquina se podría adaptar fácilmente para 6 surcos, lo que ahorraría el número de horas-tractor.

## Control de malezas

Después de una buena selección de estacas, el control de las malezas es la labor más impor-

tante si se quieren obtener altos rendimientos. El cultivo se debe mantener libre de malezas durante los primeros 4 meses porque éstas compiten con la yuca por nutrientes, luz y anhídrido carbónico (8).

El control de las malezas puede ser químico y/o manual. Para grandes plantaciones se debe usar el control químico complementándolo, si es factible, con el manual. Actualmente se conocen 19 herbicidas entre moderada y altamente selectivos en yuca, los cuales se pueden usar solos o en mezclas, según el tipo y prevalencia de las malezas en la región. Generalmente, las mezclas protegen contra un mayor número de malezas por mayor tiempo. La aplicación de herbicidas mantiene el cultivo libre de malezas entre 40 y 70 días, dependiendo del efecto residual de estos productos y de la cantidad de lluvias después de la aplicación.

El tratamiento preemergente (*preferiblemente con suelo húmedo*) más recomendado por su bajo costo y efectividad es Karmex (**dlurón**) y Lazo (**alacior**) (*Cuadro 2*); el primero controla malezas de hoja ancha y el segundo, gramíneas.

Con poblaciones altas como las recomendadas, la parte aérea cubre el suelo más rápidamente, y el control de malezas es mejor, siendo menos costoso el cultivo, ya que el número de desyerbas manuales complementarias probablemente se puede reducir a una. Si se requiere una o más desyerbas cuando el cultivo tiene más de 5 meses, se puede aplicar, en forma dirigida, una mezcla de 2 l de Gramoxone y 1 kg de Karmex/ha.

### Control de plagas

Las plagas más importantes en ambas regiones son el gusano cachón (*Erinnyis ello*) y trips (*Frankliniella williamsi*, *Corynothrips stenopterus* y *Caliothrips masculinus*). En la Costa, los ácaros (*Mononychellus tanajoa*, *Tetranychus urticae* y *Oligonychus peruvianus*) y comejenes (*Coptotermes spp.*) son comunes, y en los Llanos, el barrenador del tallo (*Chilomina clankei*).

Como la yuca es un cultivo de ciclo largo, es hospedante constante, y el uso continuo de pesti-

cidas no sólo encarecería el cultivo sino que también acabaría con los insectos benéficos. Por otra parte, la yuca posee una gran capacidad de recuperación, especialmente en lugares de lluvias abundantes y bien distribuidas. Se han encontrado variedades con resistencia a trips y ácaros principalmente, pero mientras se producen híbridos con resistencia incorporada, se recomienda el control integrado, el cual emplea insecticidas sólo en casos de ataque severo.

**Control biológico del gusano cachón.** Como no se ha encontrado resistencia varietal, se recomienda el control biológico, o sea la liberación y protección de insectos benéficos (3). Hasta el momento se han identificado 17 insectos benéficos para el control del gusano cachón, una de las plagas más severas de la yuca en Colombia.

Actualmente se están utilizando 2 especies de avispas y una bacteria. Las avispas del género **Pollistes** son predadores de las larvas. Son muy comunes en los ingenios y trapiches y fácilmente pueden ser llevadas al campo. Simplemente se hacen unos ranchos pequeños de paja a razón de 1/ha; cada uno debe contener un mínimo de 20 nidos de 200 celdas.

Otra avispa diminuta (*Trichogramma*) que se vende ampliamente en el comercio, parasita los huevos de esta mariposa. Se usan 20 pulg./ha, cada una con 3000-5000 huevos con ninfas próximas a emerger.

**Bacillus thuringiensis** es una bacteria patógena para las larvas pero no causa daño a los insectos benéficos. Se vende bajo el nombre comercial de Dipel, Turicide o Bactospeine. Se aplica en dosis de 2-3 g/l de agua en aplicaciones terrestres y 500 g en aplicaciones aéreas.

Cuando no es posible controlarlo oportunamente por los medios anteriores, se puede aplicar como último recurso un insecticida que afecta poco el control biológico como Dipterec (**triclortión**), el cual se aplica a razón de 2,5 g/l de agua (400 g/ha). También es común aplicar la mezcla de **Bacillus thuringiensis** y Dipterec (400 g/ha de cada uno).

## Control de enfermedades

Las enfermedades de más importancia económica en la Costa Atlántica son el añublo bacteriano (*Xanthomonas manihotis*) y el superalargamiento (*Sphaceloma manihoticola*). La primera puede llegar a ser grave si se siembra material proveniente de plantas enfermas; la segunda puede causar daños graves en la época más lluviosa.

En los Llanos Orientales se presenta además la antracnosis (*Glomerella manihotis*), la cual es especialmente grave por la humedad relativa y temperatura altas durante 8 a 9 meses del año y la variación amplia entre temperatura máxima y mínima diaria.

El verdadero control de enfermedades es mediante el uso de variedades resistentes o el control preventivo, el cual se debe enfatizar por su efectividad y bajo costo (12). Después que un cultivo esté afectado, no hay mucho que hacer por lo costoso de los productos químicos. Una forma de disminuir las fuentes de inóculo es cortando y quemando las plantas afectadas.

## Cosecha

Como el producto final que se persigue para transformarlo en alcohol es el almidón, se deben preferir las variedades con un alto contenido de almidón (hasta 35%) y determinar en cada lugar la época de mayor acumulación del mismo para efectuar la cosecha.

Cuando se poda una planta de yuca a 20 cm. del suelo y se espera hasta 20 días para cosecharla, se mejora la calidad de las raíces para uso

industrial (13). Como ésta característica parece favorable para la extracción de alcohol, vale la pena estudiarla más a fondo.

La cosecha requiere un gran esfuerzo físico cuando se efectúa manualmente y ocupa gran parte de la mano de obra (más del 30% de los costos de producción en Colombia). Bajo condiciones normales, un trabajador puede cosechar 600 kg. en 8 horas.

Existen en la actualidad varias herramientas y máquinas cosechadoras de yuca. CIAT desarrolló un prototipo sencillo y económico (7) que no es más que una cuchilla de lámina de acero, la cual se acopla a los 3 puntos de enganche de un tractor con sistema hidráulico. Es bastante eficiente en cualquier tipo de suelo y contenido de humedad. Este implemento cosecha una hectárea en 2 horas, si se han quitado los tallos y ramas previamente, lo cual toma 2 horas/ha. con máquina.

Existen varias máquinas más completas y costosas que, además del enganche de 3 puntos, usan el tomafuerza del tractor. Entre ellas están la fabricada por Richter Engineering Ltd., Boonah, Australia y el prototipo Cubano, que son prácticamente combinadas, las europeas Ransomes, (Agri-Projects International, Alpha-Record y G.M.D.). Todas cosechan un solo surco, mientras que el implemento del CIAT viene para 1 ó 2 surcos (7). Para las condiciones de Colombia se recomienda el del CIAT, por su eficiencia, bajo costo y sencillez. Este implemento trabaja cuando se siembra en plano o en caballón, teniendo en cuenta que el último facilita la cosecha.

**Cuadro 1. Plan de fertilización para producción continua de yuca en Oxisoles y Ultisoles de los Llanos Orientales.**

Fertilizante*	Primer año	Segundo año	Tercer año	Cuarto** año
10-20-20	1000	750	500	1000
Cal dolomítica	1000	-	-	1000
Azufre	10	10	10	10
Zinc	5	5	5	5

Fuente: Howeler, CIAT, com. per., 1976

Cuando la yuca se siembra solamente un año, el fertilizante se debe repartir según análisis del suelo.

\*\* Después del tercer año, el plan recomienda aunque es preferible rotar con otro cultivo entre el tercer y cuarto año

**Cuadro 2. Mezcla de herbicidas preemergentes (producto comercial) recomendada según textura del suelo.**

Textura	Karmex* (kg/ha)	Lazo* (l/ha)
Arcilloso	2,0	3,0
Franco limoso	1,5	2,5
Franco arcilloso	1,5	2,0
Arenoso	1,0	2,0

Fuente CIAT (6)

\* Karmex = diurón, Lazo = alaclor

## Bibliografía

1. ALVIM, R.; NACIF A. DE P. y CORREA, H. 1977. A cultura da mandioca para producao de etanol. Informe Agropecuario 3 (33): 3-13.
2. ASHER, C.J.; EDWARDS, D.G. y HOWELLER, R.H. 1980. Nutritional disorders of cassava (*Manihot esculenta* Crantz). St. Lucia, University of Queensland. Department of Agriculture. 48p.
3. BELLOTTI, A. y ARIAS, B. 1978. Biology, ecology and biological control of the cassava hornworm (*Erinnyis ello*). In Brekelbaum, T.; Bellotti, A. and Lozano, J.C., eds. Cassava Protection Workshop. Cali, Colombia, 1977. Proceedings. Cali, Colombia. Centro Internacional de Agricultura Tropical. Series CE-14.
4. ————y SCHOONHOVEN, A. VAN 1978. Plagas de la yuca y su control. Cali, Colombia. Centro Internacional de Agricultura Tropical. Serie 09SC-2. 73p.
5. CALVIM, M. 1978. Green factories. In Seminario sobre Energía de Biomassas no Nordeste, 1o., Fortaleza. 37p.
6. CENTRO INTERNACIONAL DE AGRICULTURA TROPICAL. 1976. Sistemas de producción de yuca. In ————. Informe Anual 1975. Cali, Colombia, pp. B1-B63.
7. DIAZ D., A. 1979. Un implemento para cosechar la yuca. Cali, Colombia. Centro Internacional de Agricultura Tropical. Serie 05SEN-3 14p.
8. DOLL, J.D. y PIEDRAHITA C., W. 1976. Methods of weed control in cassava. Cali, Colombia. Centro Internacional de Agricultura Tropical. Series EE-21.
9. FOOD AND AGRICULTURAL ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS. Proyecciones de la FAO sobre productos básicos. Yuca: Proyecciones de la oferta, la demanda y el comercio para 1985. Roma, Italia, ESC:PROJ/78/7 7p.
10. GUERRERO, R.M. 1975. Suelos del oriente de Colombia. In Bornemisza, E. y Alvarado, A., eds. Seminario sobre suelos del oriente de Colombia Memorias Cali, Colombia, 1974 pp.61-92.
11. LOZANO, J.C. et al. 1977. Producción de material de siembra de yuca. Cali, Colombia. Centro Internacional de Agricultura Tropical Serie GS-17.
12. ————. 1978. General considerations on cassava pathology In Brekelbaum, T.; Bellotti, A. and Lozano, J.C., eds. Cassava Protection Workshop. Cali, Colombia, 1977. Proceedings. Cali, Colombia. Centro Internacional de Agricultura Tropical. Series CE-14.
13. ————; COCK, J.H. y CASTAÑO, J. 1978. New development in cassava storage. In Brekelbaum, T.; Bellotti, A. and Lozano, J.C., eds. Cassava Protection Workshop Cali, Colombia, 1977. Proceedings. Cali, Colombia. Centro Internacional de Agricultura Tropical. Series CE-14.
14. MOORE, C.P. 1976. El uso de forraje de yuca en la alimentación de rumiantes. In Curso sobre producción de yuca. Cali, Colombia. Centro Internacional de Agricultura Tropical. pp.270-288.
15. NESTEL, B. y COCK, J.H. 1976. Cassava, the development of an international research network. Ottawa, Canada. International Development Research Centre. 69p.
16. OLIVEROS, B.; LOZANO, J.C. y BOOTH, R.H. 1974. A Phytophthora root rot of cassava in Colombia. Plant Disease Reporter 58 (8): 703-705
17. SEIXAS, B.L.S. 1976. Preparo do solo. In Curso Intensivo Nacional de Mandioca, 1o., Cruz das Almas, Brasil. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuaria. Centro Nacional de Pesquisa de Mandioca e Fruticultura. pp.183-199
18. TORO M., J.C. 1979. Three years of cassava technology evaluation in Colombia. Field Crops Research 2:291-308.

# ASPECTOS ECONOMICOS DE LA PRODUCCION DE YUCA EN LOS LLANOS ORIENTALES DE COLOMBIA

**Jairo Jaller Chamat\***

## Resumen

Se describen las características de la región de Piedemonte en el Dpto. del Meta (Colombia), donde mejor se desarrolla el cultivo. Se discuten aspectos agronómicos y de mercadeo del cultivo. Se analizan los costos de producción, según cada una de las labores: preparación del terreno, tratamiento del material de siembra, siembra, resiembra, control químico y manual de malezas, control de plagas, fertilización, cosecha, vigilancia, administración, y transporte. Se hace, además, un análisis económico.

## Características de la zona

Como desde el punto de vista agrícola el cultivo de la yuca podría tener su mejor desarrollo en el Departamento del Meta y más exactamente en el Piedemonte llanero, se hará referencia, específicamente a esta zona. El Piedemonte está constituido por terrenos planos ubicados en las estribaciones de la Cordillera Oriental. Abarca una extensión de 10.619 km<sup>2</sup> comprendidos entre los ríos Upiá, Metica, las faldas de la Cordillera Oriental y una línea imaginaria que sigue la orientación general del río Metica y se encuentra con la sierra de la Macarena (Figura 1). Es el área de mayor potencial agrícola del departamento.

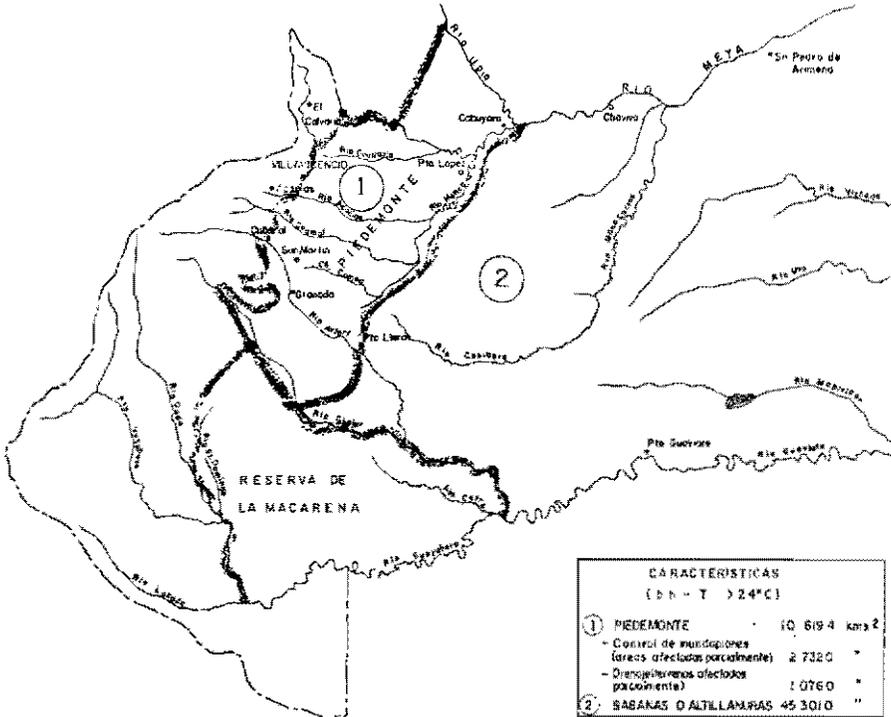
El Piedemonte es una formación de terrazas altas, medias y bajas, cortadas por los cauces de ríos y quebradas que siguen generalmente rumbo suroeste. Se distinguen los abanicos alu-

viales originados por los ríos, las mesetas superficiales planas bordeadas por barrancos y las vegas de suelos jóvenes de origen aluvial ubicados a lo largo de los ríos. En el Piedemonte ocurre el 99% de los suelos de la Clase I del departamento y dos terceras partes de los suelos de las Clases II y III. Este hecho justifica que se le dé una mayor prioridad y atención a los problemas que actualmente limitan el uso más eficiente de sus recursos naturales.

En cuanto a los factores principales que conforman el clima, se conoce lo siguiente: De acuerdo con los datos de la estación Vanguardia a 423 m.s.n.m. en el aeropuerto de Villavicencio, se registra una temperatura media de 25°C (21-31°C). En general los meses más calurosos son febrero y marzo, mientras que los más fríos son julio y agosto.

La mayor precipitación ocurre en las laderas de la cordillera, en los alrededores de Cubarral y Acacias, donde se registran más de 5 000 mm. anuales, llegando a Caño Hondo a más de 6 500 mm anuales. En lo que se refiere al Piedemonte, la precipitación varía entre 2 500 y 4 000 mm.

\* Ingeniero Agrónomo, Programa de Desarrollo y Diversificación de Zonas Cafeteras, Federación Nacional de Cafeteros de Colombia, Calle 14 no. 7-36, P. 7, Bogotá, D.E., Colombia.



Fuente: Oficina de Desarrollo Regional de la Secretaría General de la OEA y Gobernación del Departamento del Meta, 1973.

Figura 1. Croquis del Departamento del Meta. Fuente: Oficina de Desarrollo Regional de la Secretaría General de la OEA y Gobernación del Departamento del Meta, 1973

Figura 1. Croquis del Departamento del Meta.

anuales. Los meses de enero y febrero son los más secos.

La principal área de cultivo de la yuca está localizada a todo lo largo de las últimas estribaciones de la Cordillera Oriental, norte a sur, desde Cubarral hasta Acacias y San Antonio al suroeste, extendiéndose hacia el oriente hasta el río Meta. Acacias, Guamal y Restrepo son los municipios más productores.

Se cultiva la yuca en todas las vegas de los ríos, en suelos de aluvión, francos y franco limosos y suelos de terraza o de sabana de textura franco arcillosa y franco arenosa. En estos últimos se produce la yuca de mejor calidad y se obtienen altos rendimientos por hectárea, a pesar de ser más deficientes en fertilidad que los de aluvión o vega, en los que la yuca también se produce bien, pero es factible que se pudra con facilidad debido a la alta humedad del suelo.

### Aspectos agrónomicos

Las épocas de siembra de la yuca en los Llanos son de mediados de febrero a mediados de marzo y de agosto 15 a septiembre 15. Los tipos de suelos utilizados son de fertilidad media a baja. La preparación del terreno se hace con maquinaria agrícola. Las variedades más cultivadas son la Chirrosa Gallinaza ó Chirrosa Llanera y la "Tempraneta", variedades de porte mediano, apetecidas en el mercado local y de Bogotá.

Antes de la siembra se cortan y almacenan los tallos de 10 meses de edad (1 m. de largo) bajo techo durante 15 días. Las estacas son seleccionadas de la parte basal y media de la planta, las cuales se cortan con machete, en forma de bisel, de un tamaño promedio de 20 cm. y se siembran horizontalmente sin trafamiendo previo.

Las épocas de cosecha son generalmente en

junio y julio, octubre y noviembre, la cual se hace, en promedio, de los 9-10 meses después de la siembra y en forma totalmente manual. En San Martín se obtienen rendimientos promedio de 15 t/ha.

Se cree que una de las formas de aumentar la productividad de la yuca es utilizando prácticas agronómicas, tales como selección y desinfección de semillas, fertilización adecuada e introducción de nuevas variedades, lo cual aumentaría los rendimientos a 20 ó 25 t/ha.

La producción en Colombia en 1979 fue de 2'027.400 t., de las cuales corresponden a los Llanos Orientales en el Departamento del Meta alrededor de 90.000 t o sea un 4.4% de la producción nacional como puede observarse en el Cuadro 1.

**Cuadro 1. Superficie, producción y rendimientos de yuca en el Departamento del Meta, 1976-1980.**

Año	Superficie cosechada (ha)	Producción (t)	Rendimiento (kg/ha)
1976	7.286	65.574	9.000
1977	11.700	115.000	9.830
1978	8.500	80.750	9.500
1979*	9.000	90.000	10.000
1980**	9.000	90.000	10.000

\* Preliminar

\*\* Programado

Fuente: Ministerio de Agricultura. OPSA (3)

**Cuadro 2. Costos de producción por hectárea y por cosecha de yuca.**

Item	Unidad	Cantidad	Costo/ unidad	Valor total	Observaciones
<b>Labores</b>					
Preparación de la tierra	H.M.*	7,0		4.000	1 arada, 2 rastrilladas
Corte y preparación de semilla	jornal	2,0	200	400	En sitio de compra
Picada de 12 bultos de semilla	jornal	2,0	200	400	6 bultos jornal
Siembra de 12.000 semillas	jornal	8,0	200	1.600	A 100 x 80 cm.
Desyerbas (3 al año)	jornal	30,0	200	6.000	Con azadón
Aplicación de fertilizante	jornal	0,5	200	100	
Recolección y empaque	jornal	21,0	230	4.800	
<b>Insumos</b>					
Semillas	estacas	12.000	0,10	1.200	12 bultos
Fertilizantes	kg	75	18,00	1.350	10-20-20
Pesticidas	-	-	-	600	
Empaques	unidades	180	6,00	1.080	Panelero hace 100 kg
Cábuya	rollos	2,0	150	300	
<b>Otros costos</b>					
Arrendamiento tierra	ha	1,0	4.000	4.000	
Transporte San Martín-Bogotá	cupo	3,0	6.000	18.000	Un cupo con 6000 kg
Total costos				<u>43.830</u>	
Producción				kg	18.000
Ingreso Bruto					3,35
					60.300
					16.470

\* Horas-máquina

No se incluyen los costos de administración, los financieros ni prestaciones sociales.

En términos generales el costo de arrendamiento de la tierra es de \$4000/ha-cosecha; sin embargo, otra modalidad para el cultivo es que el cultivador de yuca entregue el terreno con pastos establecidos.

## Aspectos de mercadeo

La yuca llanera está dedicada a abastecer al mercado de Bogotá. De acuerdo con investigaciones realizadas por el Programa de Desarrollo y Diversificación de Zonas Cafeteras de la Federación Nacional de Cafeteros (1), se estima que con un volumen diario de 120 t de yuca que se mercadee en la Corporación de Abastos de Bogotá, S.A. (CORABASTOS), el mercado se satura, con 60 t se normaliza y con sólo 30 t diarias el producto escasea en esta central mayorista.

El precio promedio recibido por los agricultores durante el último año fue de \$3,30/kg. En cuanto a los precios al por mayor, la yuca procedente de los Llanos Orientales ha tenido de 1976 a 1979 una tendencia al alza en el mercado de Bogotá: \$2,60/kg vs. \$5,70 (2).

Al comparar el precio de la var. Llanera con la Chirosa de Armenia, encontramos que para el mercado de Bogotá en 1979, la primera se cotizó en un 80% menos que la procedente del Quindío.

Finalmente, de acuerdo con los pronósticos del Programa de Desarrollo y Diversificación de Zonas Cafeteras (Dpto. de Mercadeo), la yuca Llanera tendrá una tendencia permanente al alza en 1980.

### Costos de producción

La estructura de los costos de producción para productos agrícolas varía periódicamente debido a los aumentos en los precios de la mano de obra

y de los insumos utilizados en la producción. No obstante, en este estudio se ha pretendido establecer ciertos patrones de gasto en unidades físicas y considerar todos aquellos aspectos importantes inherentes al cultivo de la yuca, específicamente en los Llanos Orientales.

Para obtener un estimativo económico lo más cercano a la realidad, se consideraron dentro de los costos totales de producción por hectárea, tanto los costos fijos, que son aquellos que no guardan relación con respecto al volumen de producción, como los costos variables. Los precios o valores aquí relacionados están dados en pesos colombianos, cuya tasa de cambio oficial con respecto al dólar a mayo 12/80 es de \$46,10/US\$1,00.

**1. Preparación del terreno.** Los suelos más adecuados para el cultivo de la yuca en el Piedemonte son los de textura franco arenosa y franco arcillosa. La preparación con maquinaria para terrenos de este tipo requiere generalmente de una arada, dos rastrilladas y una surcada (*formación de caballones*); esta última con el fin de evitar la pudrición de las raíces por el exceso de humedad.

Cuando el cultivo se lleva a cabo en suelos denominados de sabana, la preparación del terreno difiere un poco de la anterior, ya que además se requiere una pulida o cruzada, pero no es aconsejable la surcada por la débil estructura de estos suelos.

Los costos en que se incurre por esta actividad se relacionan a continuación (*Cuadro 3*).

**Cuadro 3. Costos por preparación del terreno.**

Actividad	Unidad	Cantidad/ ha	Precio/ unidad	Costo total/ ha
<b>Suelos franco arenosos o franco arcillosos</b>				
Arada	hora	3,5	500	1750
Rastrillada (primera)	hora	2,0	400	800
Rastrillada (segunda)	hora	1,5	400	600
Surcada (caballones)	hora	1,0	400	400
Total		8,0		3550
<b>Suelos de sabana</b>				
Arada	hora	3,5	500	1750
Rastrillada (primera)	hora	2,0	400	800
Rastrillada (segunda)	hora	1,0	400	400
Pulida	hora	1,0	400	400
Total		7,5		3350

**2. Material de siembra.** La cantidad de estacas (20-25 cm. de largo) requerida para una hectárea es de aproximadamente 16.500\* que, de acuerdo con los jornales requeridos para esta

labor, tiene un costo de \$0,07/estaca, o sea \$1.200/ha. El costo del tratamiento de estas estacas (sin almacenamiento) se especifica en el Cuadro 4.

**Cuadro 4. Costo del tratamiento de estacas sin almacenamiento.**

Insumos	Unidad	Cantidad/ ha	Precio/ unidad	Costo total/ ha
<b>Fungicidas</b>				
Dithane M-45	kg	0,30	132	39,60
Manzate 80	kg	0,20	125	25,00
Vitigran P.M. (35%)	kg	0,30	75	22,50
<b>Insecticidas</b>				
Melati6n C.E. (57%)		0,25	125	31,25
Aldrex 2 (25%)		0,15	53	7,95
<b>Fertilizante</b>				
Sulfato de zinc	kg	3,0	110	330,00
<b>Otros</b>				
Empaque	costal	2,00	18	36,00
Mano de obra	jornal	0,50	200	100,00
Total				592,30

\* La densidad efectiva de siembra es de 15.000 estacas; se incluye un 10% adicional para imprevistos.

**3. Siembra y resiembra.** Se estima que para esta actividad se necesitan alrededor de 8 jornadas (\$200 jornal), o sea un valor total de \$1 600.

**4. Control químico y manual de malezas.** El control de malezas puede ser químico, manual o combinado. Usualmente la aplicación preemergente de herbicidas mantiene el cultivo libre de malezas entre 40 y 70 días, dependiendo de la cantidad de lluvias después de la aplicación. La mezcla en preemergencia más recomendada por

su costo y efectividad es la de Karmex (**diurón**) y lazo (**ataclor**). El número de desyerbas manuales podría reducirse a una. La dosis por hectárea más adecuada para los suelos de Piedemonte es de 1,5 kg de Karmex más 2,5 l de Lazo (Toro, J.C., com. pers.).

En el Cuadro 5 se establecen los costos comparativos entre la aplicación con bomba de espalda y con maquinaria, mientras que en el 6 se relacionan los costos del control manual de malezas.

**Cuadro 5. Costos del control químico de malezas.**

Descripción	Unidad	Cantidad/ ha	Precio/ unidad	Costo total/ ha
<b>Con bomba de espalda</b>				
Karmex	kg	1,5	395	592,50
Lazo	l	2,0	180	360,00
Mano de obra	jornal	1,0	200	200,00
Total				1152,50
<b>Con maquinaria</b>				
Karmex	kg	1,5	395	592,50
Lazo	l	2,0	180	360,00
Máquina	hora	0,75	300	225,00
Total				1177,50

**Cuadro 6. Costos del control manual de malezas.**

Actividad	unidad	Cantidad/ ha	Precio/ Unidad	Costo total/ ha
Mano de obra (50 DDS)*	jornal	10	200	2000
Mano de obra (75 DDS)	jornal	10	200	2000
Mano de obra (120 DDS)	jornal	8	200	1600
Total		28	200	5600

\* Días después de la siembra

Con poblaciones altas como las recomendadas, el número de desyerbas complementarias se puede reducir probablemente a una. Sin embargo, para tener un cálculo más real, en los costos totales se consideran, además del control preemergente, tres controles manuales durante el cultivo.

**5. Control de plagas.** La yuca es atacada por un gran número de ácaros e insectos, algunos de

los cuales causan daños económicos de consideración; por lo general, se recomienda aplicar insecticidas solamente cuando el daño es severo y la planta no parece estar en condiciones de recuperarse sin la ayuda de éstos. De acuerdo con la técnica desarrollada por el CIAT, el control integrado es el más adecuado, el cual debe realizarse con base en aspersiones de **Bacillus thuringiensis**, liberaciones de **Trichogramma** y aplicaciones de **Dipterex** sp. 80 (*triflorform*).

En el caso específico del gusano cachón (*Erinnyis ello*), el programa de control podría realizarse de la siguiente manera: a) Liberaciones de **Trichogramma** una vez evaluado el porcentaje de posturas. b) El estado larval se controla con **Bacillus thuringiensis** solo o en

combinación con **Trichogramma**. En caso de que las larvas estén bastante desarrolladas y no exista en el mercado el **B. thuringiensis**, se recomienda aplicar 400 g de **Dipterex P.M.** 80/ha. Los costos en que se incurriría al llevar a cabo estos controles se detallan en el Cuadro 7.

**Cuadro 7. Costos para controlar el gusano cachón (*Erinnyis ello*).**

Descripción	Unidad	Cantidad/ Aplicación	Precio/ unidad	Costo aplicación/ ha
<b>Trichogramma (huevos)</b>				
Material	puj <sup>2</sup>	15	8,0	120
Mano de obra	jornal	0,3	200	60
Subtotal				<u>180</u>
Total 6 posibles aplicaciones				1080
<b>Bacillus thuringiensis (larvas)</b>				
Material	kg	0,4	1000	400
Mano de obra	jornal	2,0	200	400
Subtotal				<u>800</u>
Total 2 posibles aplicaciones				1600
<b>Insecticida (Larvas)</b>				
Dipterex P.M. 80	kg	0,4	285	114
Mano de obra	jornal	2,0	200	400
Subtotal				<u>514</u>
Total 2 posibles aplicaciones				1028

Fuente: DIAZ, R.O., com pers

**6. Vigilancia.** Si se usa yuca amarga para el proyecto de alcohol carburante, es muy probable que no se requiera esta labor en la época de cosecha. Sin embargo, se deberá considerar este costo cuando se trate de yuca dulce, el cual ascendería a \$1 680/ha, para un vigilante/5 ha.

**7. Administración.** Se estima que una persona puede administrar eficientemente alrededor de 20 ha de yuca. Teniendo en cuenta el valor del jornal de la región y las prestaciones sociales correspondientes, este costo sería de \$5.040/ha-año.

**8. Arriendo.** Debido a que el valor de la tierra es muy variable de una zona a otra, aun dentro del

mismo departamento, para el análisis económico se ha asumido el costo por arrendamiento de la tierra que es de \$4.000/ha-cosecha. A modo informativo podemos decir que actualmente se estima que una hectárea de tierra vale \$10.000 en el Municipio de Puerto Lleras, mientras que en los alrededores del Municipio de San Martín este valor asciende a \$25.000/ha.

**9. Fertilización.** La literatura indica que la yuca es un buen extractor de nutrientes del suelo, de allí que el cultivo sucesivo sea la causa determinante de los bajos rendimientos. Para producir yuca en forma continua en los Llanos Orientales de Colombia, debemos tener en cuenta el plan de fertilización esbozado en el Cuadro 8.

**Cuadro 8. Plan de fertilización para producción continua de yuca en los Llanos Orientales.**

Fertilizante	kg/ha		
	Primer año	Segundo año	Tercer año
a. 10-20-20 **	1000	750	500
b. Cal dolomítica ***	1000	-	-
c. Azufre	10	10	10
d. Sulfato de zinc	23	23	23

Fuente: Howeler, R.H. CIAT, com. pers. 1978

\* Para el cuarto año se inicia de nuevo el plan como si fuera el primer año

\*\* Se debe aplicar la mitad al voleo y la otra mitad en bandas.

\*\*\* Se debe aplicar antes de la primera rastrillada

Por consiguiente, el costo del plan de fertilización mencionado sería de \$25.720 para el primer año, \$17.045 para el segundo y \$12.470 para el tercero.

**10. Cosecha.** Esta labor se efectúa comúnmente en forma manual. Un trabajador en condi-

ciones normales puede cosechar entre 800-850 kg de yuca/día. Asumiendo, bajo la tecnología desarrollada, unos rendimientos de 25.000 kg/ha, se requieren aproximadamente 30 jornadas para la cosecha.

Es importante destacar que el CIAT ha diseñado un implemento arrancador de yuca que, además de sencillo, es mucho más eficiente que la cosecha manual. Se estima que este implemento puede cosechar una hectárea en 2 horas, siempre y cuando se hayan previamente removido las ramas y tallos, actividad que requiere unas 2 horas de máquina/ha.

En el Cuadro 9 se comparan los costos en que se incurre con la cosecha manual y con maquinaria.

Cuando la yuca va a ser utilizada como materia prima para obtener alcohol anhidro, es más funcional transportarla a granel desde el sitio de producción al patio de la destilería; por este motivo no se consideraron los costos que implica su empaque.

**Cuadro 9. Costos de cosecha para 25.000 kg/ha.**

Actividad	Unidad	Cantidad/ha	Precio/unidad	Costo total/ha
<b>Manual</b>				
Arrancada de raíces	jornal	30	230	6900
<b>Con maquinaria</b>				
Remoción de tallos y ramas	hora	2,0	400	800
Arrancada de raíces	hora	2,0	750	1500
Retirada de tallos y ramas	jornal	3,0	200	600
Sacada de raíces	jornal	5,0	200	1000
Descepe y cargue	jornal	8,0	200	1600
Total				5500

Fuente: Toro, J.C., CIAT, com. pers.

**11. Transporte.** Consultas realizadas con diferentes empresas agrícolas, nos permiten concluir que el costo de transporte de yuca, según el medio utilizado, es el siguiente: a) Si el transporte se realiza en camiones, su valor por km. es de \$4,50/t. b) Si el transporte es con tractores y vagones su valor por km. es de \$10,00/t.

Si consideramos un radio de acción promedio

de 10 km, el valor es de \$45,00 y \$100,00/t, respectivamente.

*Costos totales de producción por hectárea*

Las inversiones requeridas actualmente para la instalación de una hectárea de yuca en forma tecnificada en los Llanos Orientales ascienden a \$49.360 equivalentes a US\$1071, tal como se distribuyen en el Cuadro 10.

**Cuadro 10. Resumen de los costos totales de producción por hectárea.**

Actividad	Costo/ ha	% del costo total
<b>Costos de instalación y sostenimiento</b>		
Preparación del terreno	3550	7,2
Semilla y tratamiento preventivo	1793	3,6
Siembra y resiembra	1600	3,3
Control químico de malezas	1178	2,4
Control manual de malezas	5600	11,3
Control de plagas	874	1,8
Administración	5040	10,2
Arriendo	4000	8,1
Fertilización	18412*	37,3
<b>Costos de cosecha y transporte</b>		
Cosecha con maquinaria	5500	11,1
Transporte a la destilería	1813**	3,7
<b>Total</b>	<b>49360</b>	<b>100,0</b>

\* Se incluyó el valor promedio de las 3 fertilizaciones mencionadas en el Cuadro 8

\*\* Promedio del costo del sistema en camión y en tractor (\$72,50/t a una distancia promedio de 10 km)

**Análisis económico-financiero.** Si asumimos que el productor recurra a una entidad crediticia y que le sean financiables el 80% de los costos totales de producción, el agricultor incurrirá en costos financieros\* (25% anual) por valor de \$9870.

Por tanto, el costo total de producción/ha sería \$59.230 con financiación. Por tonelada de yuca serían \$1975 y \$2370, sin y con financiación, respectivamente.

En cuanto al precio de venta para el productor se consideran tres alternativas, ya sea que se cuente o no con financiación: a) un precio de venta de 2700/t de yuca amarga, puesta en la destilería. b) un precio de venta de \$3000/t de yuca amarga, puesta en la destilería; y c) el precio de venta en el mercado para la yuca dulce, que actualmente es \$3350/t.

Con base en lo anterior, podemos deducir que el negocio será atractivo para el productor, cuando el precio mínimo por tonelada de yuca esté entre \$2700 y \$3000, como se puede observar en el Cuadro 11.

Partiendo de la base de que el precio por tonelada de yuca amarga puesto en la destilería sea de \$3000 y que de una tonelada de yuca se obtengan 170 l de alcohol, el costo con respecto a la materia prima, sería \$17,65 (US\$0,38)/l de alcohol y \$66,80 (US\$1,45)/gal.

Finalmente, si de los costos totales para producir alcohol, la materia prima representa un 70% y los costos industriales el 30% restante, se tiene que el costo total para el alcohol, sería \$25,21 (US\$0,55)/l y \$95,43 (US\$2,07)/gal.

\* Estos incluyen intereses bancarios, asistencia técnica, seguro de vida y el 1% destinado para el Fondo de Asistencia Técnica para Pequeños Productores.

**Cuadro 11. Utilidad para el agricultor de acuerdo con el precio de venta por tonelada, sin hacer uso del crédito (N) y haciendo uso de él (C)**

Alternativa según precio/t	Ingresos brutos totales	Costo total prod.		Ingreso neto/cosecha		Relación beneficio / costo	
		N	C	N	C	N	C
A. \$2700/t	67.500	49.360	59.230	18.140	8.270	1,37	1,14
B. \$3000/t	75.000	49.360	59.230	25.640	15.770	1,52	1,27
C. \$3350/t	83.750	49.360	59.230	34.390	24.520	1,70	1,41

**ANEXO No. 1**

**Rendimiento marginal por la aplicación de fertilizantes**

En razón de que una de las inversiones más altas de los costos de producción para yuca es la correspondiente a fertilizantes (37%), a continuación se hará un análisis sencillo para este costo, con el objeto de determinar el Rendimiento Marginal al pasar de 75 kg de fertilizante/ha que se aplican actualmente a 783 kg/ha. Para los cálculos se usará, como promedio, la dosis correspondiente al segundo año que es la óptima recomendada para este cultivo en los Llanos Orientales.

Se entiende como Rendimiento Marginal (R.M.), el número de pesos ganados por cada peso invertido en fertilizantes, el cual se aplica para comparar inversiones alternas y se utiliza cuando tanto los insumos como los resultados pueden ser expresados en pesos y ocurren en el mismo año.

$$R.M. = \frac{\text{Resultado adicional (R.A.)}}{\text{Inversión adicional (I.A.)}} \text{ donde}$$

$$R.A. = \text{Resultado con fertilización (R}_2\text{)} - \text{Resul-$$

tado sin fertilización (R<sub>1</sub>)

$$I.A. = \text{Costo con fertilización (I}_2\text{)} - \text{Costo sin fertilización (I}_1\text{)}$$

$$I_1 = \text{Costo sin fertilización} = \$1.372,50 \text{ (75 kg de 10-20-20 a } \$18,30/\text{kg)}$$

$$R_1 = \text{Resultado sin fertilización} = \$60.300 \text{ (18.000 kg de yuca a } \$3,35/\text{kg)}$$

$$I_2 = \text{Costo con fertilización} = \$16.595 \text{ (750 kg de 10-20-20 + 10 kg de azufre + 23 kg de sulfato de zinc)}$$

$$R_2 = \text{Resultado con fertilización} = \$83.750 \text{ (25.000 kg de yuca a } \$3,35/\text{kg)}$$

$$R.M. = \frac{R_2 - R_1}{I_2 - I_1} = \frac{\$83.750 - \$60.300}{\$16.595 - \$1.372,50} = \frac{\$23.450,00}{\$15.222,50}$$

R.M.I. = 1,54 o sea que el productor ganará \$0,54 por cada peso adicional que invierta en fertilizantes. Desde luego, el "resultado adicional" es el beneficio adicional **bruto**.

## Referencias citadas

1. FEDERACION NACIONAL DE CAFETEROS DE COLOMBIA - Programa de Desarrollo-Departamento de Mercadeo. Investigación Preliminar de Mercadeo de Productos Perecederos en la ciudad de Bogotá. Abril 29/79. Bogotá, Colombia.
2. FEDERACION NACIONAL DE CAFETEROS DE COLOMBIA. Programa de Desarrollo de Mercadeo. Productos Agrícolas Perecederos. Series de Precios 1972-1979 No. 8 Bogotá, Colombia.
3. MINISTERIO DE AGRICULTURA. OFICINA DE PLANEAMIENTO DEL SECTOR AGROPECUARIO. Cifras del Sector Agropecuario 1979. Bogotá, Colombia.

# ASPECTOS ECONOMICOS DE LA PRODUCCION DE YUCA EN LA COSTA ATLANTICA COLOMBIANA

R.O. Díaz D.\*

## Resumen

Se analizan los criterios empleados para definir 3 mercados regionales de acopio en la Costa Atlántica Colombiana: Fundación, Valledupar y Montería. Con base en costos de producción de yuca estimados en la zona de influencia de Fundación, se calcula un costo de Col\$1033 (US\$22,96\*\*)/t. Se describe la infraestructura requerida para el montaje de una destilería de alcohol de 60.000 l diarios, la cual implica moler 65.520 t de yuca durante 180 días del año. Se estima un costo de US\$1,18 por gal. de alcohol producido.

## Producción agrícola

La Costa Atlántica Colombiana, con una superficie territorial de 13'222.900 ha y una población de 5 millones de habitantes, presenta una baja densidad de población, 37.8 habitantes/km<sup>2</sup>. Sólo se están aprovechando 600.000 ha, equivalentes al 15% de la tierra potencialmente agrícola.

El algodón es el cultivo sembrado en mayor extensión en la Costa Atlántica (70% de la producción nacional). La yuca ocupa el tercer lugar en función del área sembrada: 65.000 ha - 38% de la producción nacional. Otros cultivos importantes son maíz (113.600 ha) y palma africana (47.000 ha), con el 70% de la producción nacional (1).

## Mercados regionales de acopio en la Costa

De acuerdo a estudios elaborados por la

\* Economista, Programa de Yuca, Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), Apartado Aéreo 6713, Cali, Colombia.

\*\* En este trabajo la tasa de cambio utilizada fue Col. \$45/US\$1.

Oficina de Planeación, se han identificado tres mercados regionales de acopio en la Costa Atlántica (Fig. 1): Fundación, Valledupar y Montería. Son localidades urbanas ubicadas en importantes zonas de producción y están ligadas comercialmente a ocho mercados terminales: Bogotá, Medellín, Cali, Barranquilla, Bucaramanga, Cartagena, Pereira y Cúcuta.

De acuerdo al área de influencia, los centros regionales de acopio se han dividido en dos grandes zonas:

- 1. Zona noreste.** Corresponde a los mercados regionales de Fundación y Valledupar. Su influencia está repartida entre los departamentos de la Guajira, Atlántico, Magdalena, Cesar, Bolívar y Sucre. Tiene mercados terminales en Barranquilla, Cartagena y Santa Marta.
- 2. Zona noroeste.** Corresponde al mercado regional de Montería y su influencia está repartida entre los departamentos de Antioquia, Chocó y Córdoba. Tiene un mercado terminal en Medellín.

## Estudio del sector Fundación

Las razones por las cuales Planeación Nacio-

nal (2) escogió a Fundación como estudio de caso para instalar un Centro Regional de Acopio son las siguientes: 1) Existe una marcada tendencia hacia la especialización regional en el cultivo de granos, especialmente arroz y sorgo. 2) El transporte de los productos hacia el mercado de Fundación se realiza con relativa facilidad, debido a factores geográficos y de vías de comunicación como el cruce de carreteras (*Troncal-Oriental*).

Sin embargo, se han identificado los siguientes problemas: escasez de crédito para pequeños agricultores, falta de tecnología, poca o nula información de precios y mercados, amplias fluctuaciones de precios e insuficiente capacidad instalada de molinos y trilladoras.

### Costos de producción de yuca

En el caso concreto del cultivo de la yuca, los costos de producción por hectárea que se discuten a continuación se refieren principalmente a experiencias obtenidas con este tipo de cultivo en el corregimiento de Media Luna, Municipio de Pivijay, zona de influencia de Fundación. Se considerarán dos niveles de costos: 1) fijos, los cuales no varían con la producción, y 2) variables, en función de los niveles de producción obtenidos. Todas las cifras están expresadas en pesos colombianos, calculadas en marzo de este año.

#### Costos fijos

**1. Preparación del suelo.** La Costa Atlántica presenta un mosaico de suelos desde los franco-arcillosos hasta los puramente arenosos. Normalmente, un suelo franco arenoso ya trabajado anteriormente se prepara en 5 horas, empleando 3 en la arada y 2 más en la rastrillada y la surcada. En suelos arcillosos probablemente se emplea una hora más en la segunda rastrillada, y si hay problemas de subsuelo, una hora adicional en la surcada a 2 m, aumentado en \$1000 el costo en relación con el suelo arenoso (*Cuadro 1*), o sea \$3500 para suelos arcillosos.

**2. Material de siembra.** Utilizando una cantidad de 15.000 estacas/ha, el costo por unidad

sería de \$0,05 incluyendo solamente el valor de los jornales empleados en cortar las ramas y preparar las estacas. Se supone material de siembra sin costo en el lote de cosecha (*Cuadro 2*).

**Tratamiento de las estacas.** Si las estacas provienen de un cultivo sano y se han de sembrar pronto, no es necesario tratarlas con fungicidas. Un control preventivo recomendado por el Programa de Yuca del CIAT, se hace con Dithane M-45 (**mancozeb**), Manzate 800 (**maneb**) y Viti-

**Cuadro 1. Costos de preparación del suelo.**

Labor	Unidad	Precio	Cantidad	Costo
Arada	Hora	500	3	1500
Rastrillada	Hora	500	1	500
Surcada	Hora	500	1	500
Subtotal				2500

gran PM (**oxicloruro de cobre**) (35%) con un costo aproximado de Col.\$85/ha. (*Cuadro 2*). En caso de almacenar las estacas por un período de 30 días como mínimo, se obtiene mayor garantía de conservación con Orthocide (**captan**) y Bavistin (**carbendazim**) a un costo de Col.\$708/ha. (*Cuadro 2*).

Si se presentan problemas de escamas (*Aonidomytilus albus*, *Saissetia miranda*) y de termitas (*Coptotermes spp.*) habría que agregarle a la mezcla malatión C.E. (57%) y Aldrex 2 (25%), aumentándose el costo en Col.\$35/ha.

El sulfato de zinc se utiliza en sectores donde se presenta deficiencia de este elemento; además parece que estimula el crecimiento de los brotes de las estacas.

**3. Siembra y resembrado.** Esta actividad es muy importante en la planeación del cultivo de yuca. Es indispensable tener los servicios de un administrador que podría encargarse de supervisar todas las actividades de producción, atendiendo 5 ha al tiempo (*Cuadro 3*).

**Cuadro 2. Costo de preparación y tratamiento de 15.000 estacas.**

Labor	Unidad	Precio	Cantidad	Costo
Preparación				
Corte y aplamamiento de ramas	Jornal	140	1,5	210
Transporte	Bulto	5	20	100
Cargue y descarge	Jornal	140	1,5	210
Corte y empaque de estacas	Jornal	140	1,5	210
Tratamiento				
Dithane M-45	kg	128	0,33	42
Manzate 80	kg	98	0,19	19
Vitigran P.M. (35%)	kg	81	0,30	24
Orthocide	kg	161	0,30	48
Bavistin	kg	1100	0,60	660
Malatión C.E. (57%)	l	120	0,23	28
Aldrex 2 (25%)	l	46	0,15	7
Sulfato de zinc	kg	70	3,00	210
Empaque	Costal	20	1	20
Mano de obra	Jornal	140	0,25	35
Subtotal				1823

**Cuadro 3. Costo de la siembra y resiembra.**

Labor	Unidad	Precio	Cantidad	Costo
Siembra	Jornal	140	6	840
Mano de obra	Jornal/día	200	0,2	40
Supervisor				
Resiembra				
Mano de obra	Jornal	140	1	140
Subtotal				1020

**4. Control químico de malezas.** Un buen control preemergente de malezas en yuca se ha logrado con Karmex (**diurón**), para hoja ancha y Lazo (**alachlor**), para gramíneas. Con suficiente humedad en el suelo se aplican Karmex y Lazo en la relación de 1 kg: 2 l para suelo arenoso y 2 kg: 3 l para suelo arcilloso. En suelos arenosos se presenta una diferencia de \$220/ha cuando se aplica el herbicida con bomba a la espalda. (Cuadro 4).

**5. Control manual de malezas.** Normalmente, cuando se hace una aplicación preemergen-

te de herbicidas, la primera desyerba manual se efectúa a los 45 días de la siembra. Se espera que entre los 4 y 6 meses, la parte aérea de la planta cubra buena parte del suelo controlando el crecimiento de las malezas. En estas condiciones se estarían empleando 19 jornales/ha para esta actividad (Cuadro 5).

**6. Control de insectos.** En las regiones de la Costa hay poca incidencia de plagas y baja intensidad de enfermedades. Las plagas de otros cultivos como el maíz, sorgo o algodón, no son comunes en la yuca; sin embargo, se ha observado en algunos sectores de la Costa, que en las plantaciones de yuca cercanas a lotes de algodón donde se han aplicado insecticidas, se encuentra mayor incidencia del gusano cachón (*Erinnyis ello*).

Cuando esto ocurre, la decisión de la frecuencia y el tipo de control debe realizarse con base en lo siguiente: a) evaluación de las posturas, b) recolección manual de las larvas, y c) medición de las poblaciones con trampas.

**Cuadro 4. Costo del control preemergente de malezas en suelos arenosos.**

Descripción	Unidad	Precio	Cantidad	Costo
<b>Con bomba</b>				
Karmex	kg	370	1	370
Lazo	/	162	2	324
Mano de obra	Jornal	140	2	280
Subtotal				974
<b>Con maquinaria</b>				
Karmex	kg	370	1	370
Lazo	/	162	2	324
Máquina	Hora	500	1	500
Sub total				1194

**Cuadro 5. Costos del control manual de malezas.**

Labor	Unidad	Precio	Cantidad	Costo
Mano de obra 45	Jornal	140	10	1400
Mano de obra 75	Jornal	140	12	1680
Mano de obra 120	Jornal	140	7	980
Subtotal				4060

Como medida de control se recomienda el biológico (Cuadro 6). Se puede liberar **Trichogramma sp.** en los lotes para atacar los huevos, y es el tratamiento más económico por aplicación.

La iniciación del estado larval se debe controlar con aplicaciones de **Bacillus thuringiensis**. En caso de que no se pueda conseguir el **B. thuringiensis** o si las larvas están muy desarrolladas, se recomienda aplicar un insecticida en una dosis que no tenga efecto letal sobre los insectos benéficos, por ej.: Triclorfon (**Dipterex PM 80**), 400 g/ha.

En ocasiones es posible realizar un programa de control integrado: 2 aplicaciones de **Trichogramma** y una de **B. thuringiensis** ó 2 de **Trichogramma** y una de triclorfon.

**7. Vigilancia y arriendo.** Considerando un vigilante para 5 ha durante un mes (\$4200) con sus correspondientes prestaciones sociales (\$1260), el costo/ha sería de \$1092. Como retribución por el uso de la tierra, tomando un valor promedio de \$15.000/ha, con una rentabilidad mensual del 1%, se tendría un costo de \$150/ha-mes.

**Resumen de costos fijos.** Los costos fijos de producción por hectárea estimados para la Costa Atlántica consideran los siguientes aspectos: suelos franco-arenosos, estacas sin tratamiento, control químico y manual de malezas, y control integrado de insectos a base de **Trichogramma** y triclorfon (Cuadro 7). Como se puede apreciar, el control manual de malezas es la actividad más costosa.

**Costos variables.** En los suelos de la Costa y, especialmente en el sector estudiado, es posible medir el efecto de la aplicación de 500 kg/ha de fertilizantes 10-20-20 sólo a partir del tercer año cuando se ha cultivado yuca varias veces en el mismo lote. Por consiguiente, esta actividad no se ha considerado dentro de los costos estudiados.

**1. Cosecha.** Con un rendimiento promedio de 20.000 kg/ha, las raíces empacadas en bultos

**Cuadro 6. Costo de diferentes tratamientos para el control de *Erinnyis* ello.**

Tratamiento	Unidad	Precio	Cantidad/ aplic	Costo/ aplic.
<b>Trichogramma</b>				
Material	Pulg <sup>2</sup>	7,5	15	133
Mano de obra	Jornal	140	0,3	42
Subtotal				155
Total esperado*				930
<b>Bacillus thuringiensis</b>				
Material	kg	850	0,4	340
Mano de obra	Jornal	140	2	280
Subtotal				620
Total esperado**				1240
<b>Triclorfon</b>				
Materiales	kg	250	0,4	100
Mano de obra	Jornal	140	2	280
Subtotal				380
Total esperado**				760

\* No. de aplicaciones posibles, 6

\*\* Fuente: Reyes, J.A. - Entomólogo, Programa de Yuca, CIAT, com pers

**Cuadro 7. Resumen de costos fijos de producción de yuca por hectárea.**

Labor	\$/ha	US\$/ha	% costo subtotal
Preparación suelo	2500	55,56	16
Semilla	730	16,22	5
Siembra-resiembra	1 020	22,67	7
Control químico malezas	1 194	26,53	7
Control manual malezas	4 060	90,22	25
Control insectos	690	15,33	4
Vigilancia	1 092	24,27	7
Arriendo	1 800	40,00	11
Intereses (22%)	2 878	63,96	18
Subtotal	15 964	354,76	100

de 65 kg. darían una producción de 308 bultos. Cosechándose 13 bultos/jornal, se requieren 24 jornales a un costo de \$3360/ha.

**2. Transporte.** Informes suministrados por ASOCAÑA indican que, para distancias no mayores de 10 km, utilizando vagones de 5 t. de capacidad, haladas por un tractor, el costo/km/kg. podría estar entre \$5 y \$7. Con un radio de

acción de 10 km. desde el centro de producción al centro de acopio, se tendría un área de influencia de 31.400 ha, en la cual el costo de transporte por tonelada sería de \$70.

**Costos totales.** Las actividades de siembra y cosecha se realizan actualmente empleando mano de obra. En países más tecnificados se usa maquinaria para estas actividades, lo cual mini-

miza los costos de operación. Actualmente el costo de producción por hectárea en la Costa Atlántica es de US\$460,53 equivalente a US\$23,02/l producida (Cuadro 8).

**Cuadro 8. Resumen de costos de producción por hectárea.**

Costo	Col.\$	US\$
Fijo/ha	15.964	354,76
Variable/ha	4760	105,77
Total/ha	20.724	460,53
Por tonelada	1 036	23,02

#### Costo de producción de alcohol

Se estima que una planta para destilar 60.000 diarios de alcohol a partir de yuca con equipo

para lavado, cocción, sacarificación, fermentación, tamizado o filtrado, centrifugado y destilación puede costar unos US\$6'000.000. Esta planta necesita moler 364 t/día. Con un período de funcionamiento de 180 días-año, dadas las restricciones climáticas alcanzaría una producción de 2,8 millones de gal/año, equivalentes sólo al 2% de las necesidades del país.

Experiencias del Brasil, datos suministrados por ASOCAÑA y observaciones de SUCROMILES para Colombia, indican que aproximadamente el 65% del costo total en plantas procesadoras de alcohol, corresponde a materia prima y el resto al procesamiento. Bajo éstas condiciones, el costo por galón de yuca producido en la Costa Atlántica en una pequeña planta de 60.000 l diarios sería US\$1,18 una cifra muy cercana al precio actual del galón de gasolina en Colombia (US\$1,00).

## Referencias citadas

1. OFICINA DE PLANEAMIENTO DEL SECTOR AGROPECUARIO 1979 Programas Agrícolas. 120p
2. SISTEMA INTEGRAL DE PLANIFICACION URBANA Y REGIONAL 1979 La Costa Atlántica y los centros regionales de acopio. Seminario sobre Centros de Acopio. 1979 25p.

# SITUACION ACTUAL Y PERSPECTIVAS DEL CULTIVO DE LA CAÑA DE AZUCAR EN COLOMBIA

**Pablo Domínguez Salgar\***

## Resumen

Se analizan las principales áreas productoras de caña. En 1978 existían 443.320 ha sembradas en el país, de las cuales 310.700 estaban dedicadas a la producción de panela y 132.620 para fines azucareros. La característica más sobresaliente de la industria panelera es su productividad descendente debido a que es una actividad secundaria, está ubicada en zonas no aptas y a la poca tecnología aplicada (*producción promedio, 8,5 t/ha*), la industria azucarera sí ha tenido circunstancias ambientales favorables y aplicación de tecnología (*pasó de 88 t de caña/ha en 1960 a 128 en 1980*). Se describen los programas para la investigación del cultivo, efectuados desde 1978 por CENICAÑA e ICA con la introducción y evaluación de variedades y la creación del Banco de Germoplasma. Se discute la potencialidad de la caña para fines energéticos, la cantidad de energía producida de los hidratos de carbono y la composición química de la caña y del jugo, además la potencialidad del país para producir caña con fines energéticos y los costos de producción estimados. Se concluye que al incorporar estas nuevas áreas a la producción agrícola se deben afrontar no solo los problemas de adecuación de tierras y el mejoramiento de la infraestructura agrícola sino también la escasez de mano de obra para las labores agrícolas. El cultivo de la caña tiene un futuro promisorio como planta energética a mediano y largo plazo como fuente de diversificación de la agroindustria.

## Introducción

Desde el punto de vista de la comercialización de los productos derivados de la caña, la historia del dulce en Colombia se relaciona principalmente con el azúcar y la panela. Ambos están profundamente arraigados en la economía del país, siendo la panela la más antigua como alimento directo.

De acuerdo con un estudio de PRODESARROLLO, citado por Domínguez (5), Colombia es un

país que cuenta con zonas ecológicamente apropiadas para el desarrollo económicamente competitivo de la caña de azúcar. Según TECNICAÑA (12), actualmente la caña es, por su extensión, el segundo cultivo permanente en Colombia, después del café. El área dedicada a su producción equivale al 14% de la superficie bajo cultivo.

La potencialidad de la nación para producir caña, bien sea con fines azucareros o energéticos, es indiscutible. Las variedades de caña como recurso básico de la industria no han sido suficientemente explotadas en nuestro medio, así que existe un potencial latente que debería traducirse en fuente adicional de expansión del

---

\* Director de Investigación Agrícola, Ingenio Proviencia S.A., Apartado Aéreo 224, Palmira, Valle, Colombia.

cultivo. Por consiguiente, dentro de este trabajo se ha concedido mucha importancia al aspecto varietal que se considera básico para el desarrollo agroindustrial y energético de este cultivo.

### Variedades

Tradicionalmente, la variedad más utilizada en la producción azucarera y panelera de Colombia ha sido la POJ 2878, desde su introducción en 1929 por la Misión Chardón y su posterior incremento hacia 1936-1940. Los más antiguos registros en los ingenios azucareros la ubican como la variedad más comercial, junto con la POJ 2714, la segunda en área de cultivo. La razón básica por la expansión de la POJ 2878 es su resistencia al mosaico, enfermedad que atacó severamente a otras variedades comerciales en Antioquia.

Aunque en los últimos 15 años se han presentado cambios fundamentales en la composición varietal de la industria azucarera colombiana, la POJ 2878 continúa predominando en la mayoría de los ingenios y en casi toda el área panelera. El reemplazo de la POJ 2878 por otras variedades como la CP 57603 ha sido para obtener una mayor producción, y no por otros motivos, como por ejemplo, susceptibilidad a enfermedades. De hecho, esta variedad, además de ser resistente al mosaico, presenta características de resistencia a otras enfermedades graves como carbón (*Ustilago scitaminea*), roya (*Puccinia sp.*) y mancha de ojo.

La CP 57603 ya está muy extendida en el país; se teme su posible declinación debido al mosaico, razón por la cual se debe disponer de suficientes variedades de reemplazo, con características de resistencia no sólo a esta enfermedad sino al carbón y a la roya.

La selección de variedades se ha hecho tradicionalmente para buscar alta producción de azúcar cristalizabile y bajo contenido de fibra y de azúcares reductores. Los fitomejoradores han hecho la selección de variedades con base en su alto contenido de agua, descartando así material potencialmente útil para otros fines, entre ellos el energético. Irvine (11) opina que si los parámetros de selección fueran más elásticos, la frecuencia con que se producen variedades de

alto rendimiento aumentaría. La selección en favor de la fibra para producir altas cantidades de biomasa sería más fácil, ya que el rango de fibra en el género **Saccharum** es del 5 al 50%; en cambio, el del azúcar es más estrecho (3,5 a 17,5%).

Por otra parte, la introducción de genes de géneros afines a la caña permitiría aumentar el contenido de fibra de las nuevas variedades para dar mayor resistencia a éstas contra enfermedades y poder explotarlas mejor para fines energéticos. Por ejemplo, en trabajos realizados recientemente en Taiwán con los cruces de **Saccharum** con **Miscanthus**, se aumentó el contenido de fibra de 13 a 20% en el nuevo material genético del Taiwan Sugar Research Institute. Para aumentar el contenido de azúcares reductores (*glucosa y levulosa*), ellos están introduciendo de los Estados Unidos, genes de sorgo dulce (*Sorghum vulgare var. saccharatum*) variedad Río.

### Situación actual de la producción

Las áreas productoras de caña se encuentran entre el nivel del mar y los 2 100 m, comprendiendo principalmente tres zonas bien diferenciadas, especialmente por su altura sobre el nivel del mar, la temperatura y la precipitación. Fisiográficamente, las áreas cultivadas con caña están localizadas en las vertientes de los ríos Cauca y Magdalena y en los valles interandinos de los departamentos de Antioquia, Boyacá, Caldas, Cauca, Cundinamarca, Nariño, Risaralda, Santanderes, Tolima y Valle del Cauca.

Desde el punto de vista de la producción de azúcar, el Valle del Cauca representa el 90% del total nacional, seguido por los departamentos de Cauca, Risaralda y Caldas. El Departamento del Cesar también explota algunas áreas en caña con fines azucareros. El resto de la superficie cañera está dedicada a la producción de panela.

### Panela

Las últimas estadísticas de TECNICAÑA (12) indican que en 1978 existían en Colombia 443.320 ha sembradas en caña en todo el territorio nacional, de las cuales 310.700 estaban dedicadas a la producción de panela. En la mayoría

de los casos, la producción de panela es una industria familiar, existiendo aproximadamente 11.000 trapiches paneleros, distribuidos por todo el territorio colombiano.

El Cuadro 1 presenta las áreas paneleras de Colombia, de acuerdo con su división política. El Departamento de Antioquia ocupa el primer lugar en área de caña para la producción de panela, seguido de Santander, Nariño y Cundinamarca. Estos cuatro departamentos reúnen 173.000 ha. en caña para panela, o sea el 55,7% del área panelera y el 39,0% de la superficie total en caña del país. Le siguen en importancia Boyacá, Cauca, Tolima y Caldas, con 73.350 ha, equivalentes al 23,6% de la superficie panelera y el 16,5% del área total en caña.

Una de las características más sobresalientes de la industria panelera en Colombia es su productividad descendente. Han sido muy diferentes y múltiples las causas que han incidido en las bajas producciones regionales de panela, pero esto se debe principalmente a que ha sido una actividad secundaria en muchas áreas cafeteras, ubicadas en zonas con condiciones ambientales que no favorecen la concentración de los jugos de la caña. Además, el desarrollo de la tecnología no ha avanzado acorde con la importancia que ha tenido la panela en la alimentación del pueblo colombiano.

A pesar de algunos esfuerzos hechos por entidades que han reconocido la importancia de la panela como producto alterno del azúcar, han predominado prácticas rudimentarias, tanto en el manejo de los cultivos como en la elaboración de la panela en los trapiches.

El relativo estancamiento de esta importante actividad dentro de la economía nacional ha sido reflejado en la producción. Las producciones promedio de panela no han sobrepasado las 8,5 t/ha, siendo muy pocos los departamentos que han alcanzado esta cifra. Las producciones por departamentos varían considerablemente como puede observarse en el Cuadro 1. El promedio nacional de producción indica que existe un potencial por explotar para alcanzar cifras más remunerativas. Los departamentos con mayores producciones (*Quindío, Santander, Valle y Risaralda*) promedian 7,15 t/ha, en tanto que los de

menor producción apenas llegan a un promedio de 2,84 t/ha, seguramente en áreas no marginales para esta actividad, pero donde no se aplican técnicas avanzadas para mejorar la producción.

## Azúcar

Indiscutiblemente, el área sembrada para producir azúcar manifiesta características muy diferentes en comparación con la superficie panelera. Una de las más sobresalientes es su tecnificación.

En comparación con otros países tradicionalmente azucareros, Colombia ha tenido circunstancias ambientales muy favorables para el desarrollo de su industria. La baja incidencia de enfermedades serias ha sido, sin lugar a dudas, una de las más significativas. Aún, por fortuna, no existen en el Valle del Cauca las enfermedades más serias del mundo azucarero, excepto el mosaico y el raquitismo de las socas. Patógenos que son organismos causales de enfermedades graves como el carbón, la roya, fiji, escaidadura de la hoja, mildew lanoso y chamuscado de la hoja no han sido detectados en nuestras condiciones, aunque los dos primeros ya están en el país, pero limitados a sectores no decisivos dentro de nuestra producción azucarera.

El enfoque fundamental de la industria azucarera colombiana ha sido su crecimiento vertical. El incremento en la producción se ha traducido en registros superiores a las 150 t. de caña/ha en los ingenios más importantes (*5 en total*), con las nuevas variedades de altos rendimientos, con las cuales ha sido posible garantizar rendimientos de 11% en azúcar (*15 t/ha*). Con variedades precoces pueden asegurarse a la industria producciones superiores a 1,0 t de azúcar/hemas.

## Area de Influencia

El área en caña para fines azucareros es de 132.620 ha, equivalentes al 30% del total sembrado en el país. El área azucarera más importante está localizada en la parte alta del Valle geográfico del río Cauca (*3-5° lat. N*). Es un valle interandino con una altitud promedio de 1000 m., una precipitación media anual de 1.021 mm, una temperatura media de 23,7°C, un brillo solar

promedio de 5,8 h y una evaporación anual de 1 600 m (registros del Centro Experimental de Palmira).

El área con cultivos de caña se extiende desde el norte del Departamento del Cauca (*Santander de Quilichao*) hasta el Departamento de Risaralda (*Viterbo*). El sólo Valle del Cauca produce el 90% del total nacional; de los 18 ingenios en operación actualmente, según TECNICAÑA (12), 14 se encuentran ubicados en este departamento. La otra área azucarera de importancia está localizada en el Departamento del Cesar (*Codazzi*), a 100 m de altitud, con una temperatura media de 25°C. En los últimos 19 años, el área dedicada a la producción de caña de azúcar creció un 219%. Curiosamente, este crecimiento fue paralelo al aumento en la producción, como se verá más adelante. Los programas de la industria en cuanto a su expansión en cultivos fueron muy significativos a partir de 1964, año que marcó el cambio hacia una mayor participación de agricultores independientes en la producción azucarera nacional. Aunque ya existían algunos contratos entre varios ingenios, fue a partir de 1965 que se modificó la estructura de los cultivos de caña, introduciéndose la modalidad de los proveedores o colonos en la industria. De esta manera se impulsó más el área de cultivos, pasando de 70.363 en 1965 a 91.982 ha. en 1970, sobrepasando luego las 100.000 ha. en 1972. El auge de cultivos fue mayor entre este año y 1978, marcándose desde entonces una relativa etapa de estancamiento, sobre todo por los bajos precios internacionales del azúcar que desestimularon la industria nacional. Fue seguido por una etapa de cambios internos de variedades comerciales. Hacia el año de 1980, el área sembrada en caña disminuyó sensiblemente.

## Producción

Las estadísticas de TECNICAÑA (5) registran incrementos paulatinos en el área sembrada de caña entre 1960 y 1978, como ya se vió. De igual manera fue ascendente la producción por hectárea de caña y azúcar. El Cuadro 2 muestra claramente esta situación para los 18 ingenios en operación actualmente.

Las cifras para los 10 ingenios más importantes de la región muestran que aunque las produc-

ciones de caña ascendieron (con promedios de 116 t/ha en 1962; 126,5 en 1974 y 141,9 en 1978), en este mismo lapso, el porcentaje de azúcar en la caña sufrió un ligero descenso.

Durante 1978 los ingenios azucareros molieron 9,6 millones de toneladas de caña provenientes de 79.800 ha cosechadas (60% de total sembrado), para un total de 1'014.076 t de azúcar cruda, de las cuales se exportaron 132.000 por un valor de US\$25,3 millones. El consumo doméstico, según TECNICAÑA (5), fue de 856.081 t, quedando en existencia 87.902 t.

## Investigación sobre el cultivo

En 1978 se inició un programa de mejoramiento genético por parte del Centro de Investigación de Caña de Azúcar de Colombia (CENICAÑA). Según el director de investigación (*Cassalet, com. pers., 1980*), CENICAÑA inició este programa con la importación de germoplasma: 20 introducciones de la Estación de Canal Point (USDA), 29 de Luisiana (LSU), 5 de Africa del Sur (SASA) y una de la India (*Estación Experimental de Coimbatore*). Están pendientes de importación 30 variedades más de Africa del Sur y 5 de México (INIA). Además de este material, se trajeron 5 variedades del Amazonas.

Mediante el Convenio ICA-CENICAÑA se está desarrollando la etapa de cuarentena cerrada en el Centro Experimental de Tibaitatá, con todas las variedades ya mencionadas. Además, dentro del mismo convenio se estableció la colección de germoplasma en el Centro Experimental de Palmira, con 470 variedades, la cual se completará con unas 20 más existentes en Colombia. Igualmente se está llevando a cabo un programa de evaluación de variedades para observar su resistencia al carbón y a la roya. Por medio del Convenio CENICAÑA -Secretaría de Agricultura de Antioquia se está adelantando un estudio sobre la POJ 2878, con el fin de evaluar los subclones existentes de esta variedad entre los 0 y los 2.000 m de altitud.

Se ha demostrado, tanto en Colombia como en otros países con una mayor tradición azucarera (*Hawaii, Australia, Taiwán y Filipinas, entre ellos*), que no es fácil mantener un alto número de variedades, con un balance de áreas adecuado

en producción comercial. En Colombia, 2 variedades (POJ 2878 y CP 57603) ocupan el 82% del área azucarera; en Queensland, Australia y Taiwán, 2 variedades representan el 57 y 44%, respectivamente, de la superficie sembrada con caña. En Filipinas ocurre una situación similar a la de Colombia, ya que sólo 2 variedades ocupan el 81% del área comercial en caña. La situación es más favorable en Hawaii, donde la H 593775 ocupa el 48% del área, y las variedades H 507209, H 575174 y H 54775 están repartidas de una manera equilibrada.

Como conclusión puede afirmarse que, a menos que se obtengan grandes cantidades de variedades en los programas de selección en las estaciones de cruzamiento, con lo cual se lograría obtener abundante material para propagación en pruebas regionales (*lo que no siempre es posible*), persiste la necesidad de continuar dependiendo de un número reducido de variedades comerciales, aunque se disponga de un buen banco de germoplasma con una buena diversidad genética.

#### Potencialidad del cultivo para fines energéticos

##### *Capacidad de producción de biomasa*

La caña de azúcar es una de las plantas más eficientes para transformar la energía solar en hidratos de carbono. Muchos estudios han demostrado la importancia que tiene la fotosíntesis en la caña para producir biomasa.

Los mecanismos de fijación del carbono, expresados en términos de capacidad de las plantas para formar hidratos de carbono a través de la fotosíntesis, son tres, denominados según los compuestos que entran en esta fijación. El primero presenta como producto inicial de la fijación un compuesto de 3 átomos de carbono ( $C_3$ ), el ácido trifosfoglicérico. En la caña, los productos iniciales son los ácidos málico y espártico, con 4 átomos de carbono ( $C_4$ ), lo que equivale al segundo mecanismo fotosintético. La enzima que participa en este caso es la carboxilasa del ácido fosfoenol pirúvico. El tercer mecanismo se denomina CAM o metabolismo de las Crassulaceae, grupo botánico al que pertenecen la piña y el liche.

Según Irvine (11), el promedio mundial de 56,5 t de caña/ha-año es sólo la quinta parte del máximo teórico.

#### Variedades comerciales

Aunque los promedios comerciales en Colombia indican posibilidades de 150 t de caña/ha, es posible obtener incrementos sustanciales con algunas de las variedades que se cultivan actualmente. Bajo condiciones adecuadas de manejo del agua de riego y de fertilización, algunas de las variedades como la H 507209 y la PR 641791 pueden producir hasta 240 t de caña/ha; aún la tradicional POJ 2878 es capaz de producir hasta 220 t/ha. El promedio comercial de 9 variedades sembradas en el Ingenio Providencia es de 221 t/ha.

#### Variedades experimentales

Mundialmente se ha demostrado la potencialidad de la caña de azúcar para producir biomasa. Según Heinz (8), la Hawaiian Sugar Planter's Association (HSPA) ha obtenido en la Estación de Maunawili, Hawaii, algunas variedades con alta producción de biomasa (H 699092, H 699103 y H 72859), provenientes de cruces recientes entre *Saccharum spontaneum* y variedades corrientes. Las pruebas finales de selección con la H 699103 han dado hasta 578 t de caña/ha (58,7 t de sacarosa/ha) a los 48 meses de edad. Los promedios de producción de todas las variedades han sido de 430 t de caña/ha, con 12,85% de sacarosa en la caña (54 t/ha), a una edad promedio de 32,6 meses. Con variedades corrientes se han producido en estas mismas pruebas 328,2 t de caña/ha, con 13,3% de sacarosa en la caña (42,4 t/ha).

A nivel experimental, en Colombia se han obtenido hasta 306 t de caña/ha en 3 cortes, con variedades hawaianas. Las 25 variedades en experimentación en el Ingenio Providencia han dado los siguientes resultados promedio: 245,5 t de caña/ha, con 12,5% de sacarosa (30,7 t/ha), a los 17 meses de edad.

#### *Producción de energía de los hidratos de carbono y eficiencia fotosintética de la caña*

La acción fotosintética en la caña genera una

gran cantidad de energía (Cuadro 3). Una manera de calcular la eficiencia fotosintética es el modelo de la HSPA (7). Por ejemplo, con una radiación total de  $5.835 \times 10^{12}$  BTU/año sobre 89.708 ha, esta acción fotosintética convierte en azúcares cosechables y fibra el equivalente a 53 trillones de BTU/año, o sea el 1% de eficiencia.

Con una producción de 1'768.000 t de hojas y cogollos y de 10'320.000 t netas de caña, se producen 617.000 y 1'370.000 t de fibra seca, respectivamente. La cosecha de esta cantidad de caña deja en el campo 803.000 t de residuos, equivalentes a 108.200 t de fibra seca. Llevada a los molinos, la caña libera  $44 \times 10^{12}$  BTU/año, representadas en 13'000.000 t brutas de caña, o sea 9'422.000 t netas de caña. No se tiene en cuenta aquí la energía que puede producir la caña usada como semilla.

### *Composición de la caña y del jugo*

Los residuos de la caña oscilan entre el 1 y el 66% del peso fresco. La caña para molienda puede oscilar entre el 34 y 90%, con un contenido de agua del 73 al 76%; la fibra puede estar entre el 11 y el 16%, los sólidos solubles entre el 10 y el 16% y el contenido de sacarosa entre el 70 y el 88%. Los azúcares no cristalizables pueden estar entre el 0,2 y el 4%, y los minerales entre el 3 y el 4,5%. El porcentaje de ácidos orgánicos de la caña varía entre 1,5 y 5,8% y su contenido proteínico entre 0,5 y 0,6%; las gomas de 0,3 a 0,6%, las ceras y aceites de 0,05 a 0,15%, los almidones de 0,001 a 0,050%. El límite teórico de la sacarosa es 27%, o sea que la caña tiene un gran potencial de producción de azúcar no explotado suficientemente.

La fibra es uno de los componentes más importantes de la caña para producir biomasa. Contiene 36,3% de  $\alpha$ -celulosa, 28,0% de pentosanas, 20,0% de lignina y 2,3% de cenizas.

Por otra parte, Irvine (11) afirma que la producción de energía de la caña puede aumentarse si se procesan, no sólo los tallos maduros, sino también toda la biomasa producida en el campo. En ese caso, aquellas variedades de gran desarrollo vegetativo, alto contenido de fibra y de azúcares invertidos pueden aportar mayor volumen de biomasa.

El procesamiento de la caña para producir alcohol no requiere las altas purezas (sacarosa en el jugo) que se necesitan para producir azúcar. Como no se requiere la cristalización, la formación de dextranas en la caña no es tan importante.

### *Rendimientos industriales*

Según el esquema propuesto por Valdéz (13), la potencialidad de la caña para producir alcohol se puede considerar desde varios puntos de vista.

En el Cuadro 4 se presenta este esquema, con las aproximaciones respectivas para las finalidades de la industria. Aunque no se mencionan las cantidades de alcohol que puede generar el bagazo como material energético diferente al de combustible para generar vapor en las fabricas de azúcar, este subproducto de la caña es una valiosa fuente de alcohol carburante (*hidrólisis enzimática*). Su equivalente en aceite combustible es de 1,03 t. de bagazo/bbl de petróleo.

Dentro de los componentes no energéticos de la caña está la cachaza que puede transformarse en fuente de alimentos para animales, fertilizantes orgánicos y producción de ceras (*caña no quemada*).

### *La caña de azúcar versus otros cultivos energéticos*

Bennet (3) presenta la perspectiva mundial de 6 cultivos con potencialidad de producción de biomasa con fines energéticos (ver p 88). Con una producción de 40-70 t de caña/ha y 70 l de alcohol/t de caña, esta gramínea genera entre 2800 y 8400 l de alcohol/ha, seguida por la yuca que produce un máximo de 7 200 l de alcohol/ha

### *Potencialidad del país para producir caña con fines energéticos*

La superficie total del país es de 1'140.000 km<sup>2</sup>, equivalentes a 114'000.000 ha; el 20% del área es cultivable, o sea 22'800.000 ha, de las cuales unos 6'000.000 están explotadas. Las restantes (16'800.000 ha) tienen un buen potencial agrícola y pecuario.

Por sus condiciones climáticas y edáficas, podrían sembrarse unos 6 millones de ha, especialmente dentro de la frontera agrícola, en la Llanura del Caribe (*la de mayores posibilidades a mediano plazo*) y la Orinoquia (*una de las reservas del futuro*).

Las posibilidades de expansión en el área de mayor desarrollo son limitadas, pudiéndose asumir que en el valle geográfico del río Cauca es posible aumentar el área en caña en 50.000 ha, sobre 96.000 que están disponibles según la Corporación Autónoma Regional del Cauca (CVC), según cita de ASOCAÑA (2). Estas bajas posibilidades de expansión están compensadas ampliamente por la existencia de una buena infraestructura agrícola y fabril, disponiendo de una capacidad sobrante de molinos de aproximadamente 15.000 t de caña/día actualmente. De las 130.000 ha. en caña en el valle geográfico del río Cauca, se cosechan anualmente 92.000, las cuales producirán en 1980, según ASOCAÑA (2), 11,8 millones de t de caña (128 t de caña/ha). El incremento de 50.000 ha sobre el área actual significa una cosecha anual de 127.800 ha/año y 16'360.000 t de caña/año. La industria azucarera podría dedicar un 15% de su producción de caña para obtener alcohol carburante, o sea aproximadamente 2,5 millones de t, para producir 171'780.000 l de alcohol.

Las crecientes necesidades de importación de petróleo significan al país gastos de divisas equivalentes a US\$230 millones anuales; el uso de alcohol en un 20% mezclado con gasolina (**gasohol**) reducirá considerablemente esta cifra.

La sustitución de gasolina por alcohol en un 20% implica la producción anual de 870,525 millones de litros, los cuales, para una producción promedio de 80 t de caña/ha-año a razón de 70 l de alcohol/t de caña equivalen a 155.451 ha de caña. Frente al potencial de 6 millones de ha para caña, las necesidades de área adicional para producir alcohol son apenas del 2,59%.

### *Costos de producción estimados*

Uno de los aspectos más importantes dentro del marco económico de la caña son los costos

de producción. Actualmente se presenta un fenómeno alcista como resultado de los continuos reajustes de los combustibles, grasas y lubricantes y de los insumos que demanda el sector azucarero; esto resulta más dramático debido a los reajustes de salarios, que de otra parte son los más altos en la agricultura colombiana.

La adquisición de bienes de capital y las altas tasas de interés le significan al sector agroindustrial de la caña un alto porcentaje de su pasivo exigible a corto y mediano plazo, lo cual no le permite disponer de recursos adecuados para programas de expansión.

Disponiendo Colombia de posibilidades muy amplias para la producción de bienes de consumo a partir de la industria azucarera y dedicando parte de su infraestructura fabril a la producción de alcohol para fines energéticos e industriales, el futuro será promisorio en la medida que los costos de producción permitan resultados rentables.

Los costos de producir caña en algunos países han sido estimados por Irvine (11) (*Cuadro 5*). Estos costos están de acuerdo con estimaciones del sector azucarero (*\$700-800/t de caña puesta en báscula*). Estimando una producción de 120 t de caña/ha-año para el Valle del Cauca y 70 l de alcohol/t de caña, el costo de un litro de alcohol, para la tonelada de caña puesta en báscula, sería de \$10,71, o sean \$40,54/gal.

Para la Costa Atlántica (*Ingenio Sicarare*), las producciones de caña/ha-año oscilan entre \$70 y \$80, con variedades comerciales como la NCO 310 y la CP 57603.

Los costos de producción, según el asistente técnico de Ingenio Sicarare (*Rudas, com. pers., 1980*), son aproximadamente de \$400/t de caña en mata; esto significa unos costos de \$50.000 a \$60.000/ha/cosecha.

Los costos de corte, alce y transporte son similares a los del Valle del Cauca, por lo cual se puede asumir que la tonelada de caña puesta en báscula tiene un costo de \$700. Para una producción promedio de 75 t/ha-año, el costo del litro de alcohol será de \$10,00.

## Conclusiones

Es obvio que es necesario afrontar las dificultades que implica incorporar estas nuevas áreas a la producción agrícola. Aparte de los problemas propios de adecuación de tierras y de mejoramiento de la infraestructura agrícola, es necesario tener en cuenta la escasez de mano de obra para las labores agrícolas, lo que significa que se debe considerar desde ahora la mecanización casi total de las labores del cultivo, desde la siembra hasta la cosecha.

De acuerdo con ASOCAÑA (2), la puesta en marcha de un programa de alcohol carburante es más viable en el valle geográfico del río Cauca, por las siguientes razones:

1. Integración de la casi totalidad de la industria azucarera.
2. Infraestructura de cultivo y de fábrica adecuada para los fines propuestos.
3. Régimen climático favorable para el desarrollo de la caña durante todo el año
4. Disponibilidad de tecnologías agronómicas apropiadas para el cultivo de la caña, lo que ha permitido rápidos avances (*de 88 t de caña/ha en 1960 a 128 en 1980, en promedio*).
5. Experiencia en fabricación de alcohol etílico de la miel final o melaza en algunas destilerías anexas a los ingenios azucareros.
6. Capacidad sobrante de molienda de los inge-

nios azucareros, capaz de procesar la producción proveniente de los incrementos en la productividad de las plantaciones actuales y de las tierras que pueden ser incorporadas.

7. Capacidad empresarial para asumir nuevos desarrollos dentro del proceso de fabricación de azúcar.
8. Programas de investigación y mejoramiento puestos en marcha por CENICAÑA.

Por otra parte, el cultivo de la caña provee la oportunidad de diversificar en alto grado la producción, siendo el azúcar sólo uno de los muchos subproductos que se derivan de la caña (*Fig. 1*). el 40% de las entradas de la Taiwan Sugar Corporation, por ejemplo, provienen de los subproductos de la caña.

En algunos ingenios de Africa del Sur, el azúcar crudo representa un 67% de las ventas anuales; el 33% restante lo constituyen las ventas por concepto de la producción de tableros, ácido cítrico, carne de res, leche, gas metano y fertilizantes.

El cultivo de la caña tiene un futuro promisorio en la economía colombiana, ya sea como planta energética de grandes posibilidades a mediano y largo plazo, o como fuente de diversificación de la agroindustria, hacia la obtención de numerosos subproductos tanto para el consumo interno como para la exportación. La caña de azúcar tiene, por lo tanto, muy buenas perspectivas como fuente de biomasa para la producción de energía o alimentos.

**Cuadro 1. Superficie sembrada en caña, por departamentos, para la producción de panela en Colombia (1978).**

Departamento	Area sembrada (ha)	Producción (t/ha)
Antioquia	60.300	3,38
Atlántico	700	3,05
Bolívar	2.000	3,50
Boyacá	24.400	5,58
Caldas	15.550	5,78
Cauca	17.200	3,58
Cesar	250	2,48
Córdoba	150	2,42
Cundinamarca	37.200	4,12
Huila	13.800	3,32
Nariño	37.400	5,10
N. Santander	12.300	3,85
Quindío	1.550	8,37
Risaralda	9.200	6,10
Santander	38.150	7,45
Tolima	16.200	3,47
Valle del Cauca	12.100	6,70
Caquetá	4.200	3,00
Otros	8.050	--
<b>Total</b>	<b>310.700</b>	
<b>Promedio</b>		<b>4,71</b>

Fuente: TECNICAÑA (12)

**Cuadro 2. Producción de caña y azúcar en Colombia entre los años 1960 y 1978**

Año	Producción de caña (t/ha)	Producción de azúcar (t/ha)
1960	88,0	8,28
1961	84,6	
1962	92,8	
1963	95,0	
1964	100,0	
1965	103,1	11,40
1966	100,1	
1967	101,9	
1968	105,8	
1969	104,3	
1970	102,4	11,50
1971	112,4	
1972	110,0	
1973	108,0	
1974	115,0	
1975	120,0	13,00
1976	104,0	
1977	103,4	
1978	120,0	
1979	127,6	13,40

Fuente: TECNICAÑA (5)

**Cuadro 3. Producción de energía de los hidratos de carbono de la caña de azúcar.**

Componentes	Por t de caña	Producción (millones de kcal)*	
		Prom. mundial	Máximo teórico
Biomasa (porción aérea de la planta)	1,36	104	515
<b>Tallos</b>	1,05	59	294
Fibra	0,61	35	172
Sacarosa	0,41	23	114
Glucosa	0,02	1	4
Fructosa	0,01	1	4
Almidones	0,0001	0,01	0,04

Fuente: Irvine (11)

\* Los valores de toneladas de caña se obtienen del contenido promedio de constituyentes de la caña, los valores del promedio mundial y de la producción máxima teórica/ha/año se basan en 56,5 y 280 t de caña/ha/año, respectivamente.

**Cuadro 4. Rendimientos industriales por tonelada de caña.**

Productos y Subproductos	kg/t	%	Producción de alcohol l
<b>Industria azucarera</b>			
Azúcar sulfitado	100	10	51,8
Melaza	30	3	10,0
Cachaza	40	4	-
Bagazo	300	30	?
<b>Industria panelera</b>			
Panela	110	11,0	58,4
Cachaza	40	4	-
Bagazo	400	40	?
<b>Mieles vírgenes</b>			
Miel virgen	170	17	64,3
Cachaza	40	4	-
Bagazo	300	30	?
<b>Jugo o guarapo</b>			
Jugo o guarapo	700	78	75
Bagazo	300	30	?

Fuente: Valdéz (13)

**Cuadro 5. Costos de producción de algunos cultivos como fuente de alcohol carburante.**

Cultivo	País	Costo (US\$/ha)
Caña de azúcar	Brasil	553
	EE.UU.	
	Louisiana	1084
	Hawaii	4628
	Colombia	1942
Sorgo dulce	EE.UU.	898
Remolacha azucarera	EE.UU.	1368
	Inglaterra	502
	Canadá	748

Fuente: Irvine (11)

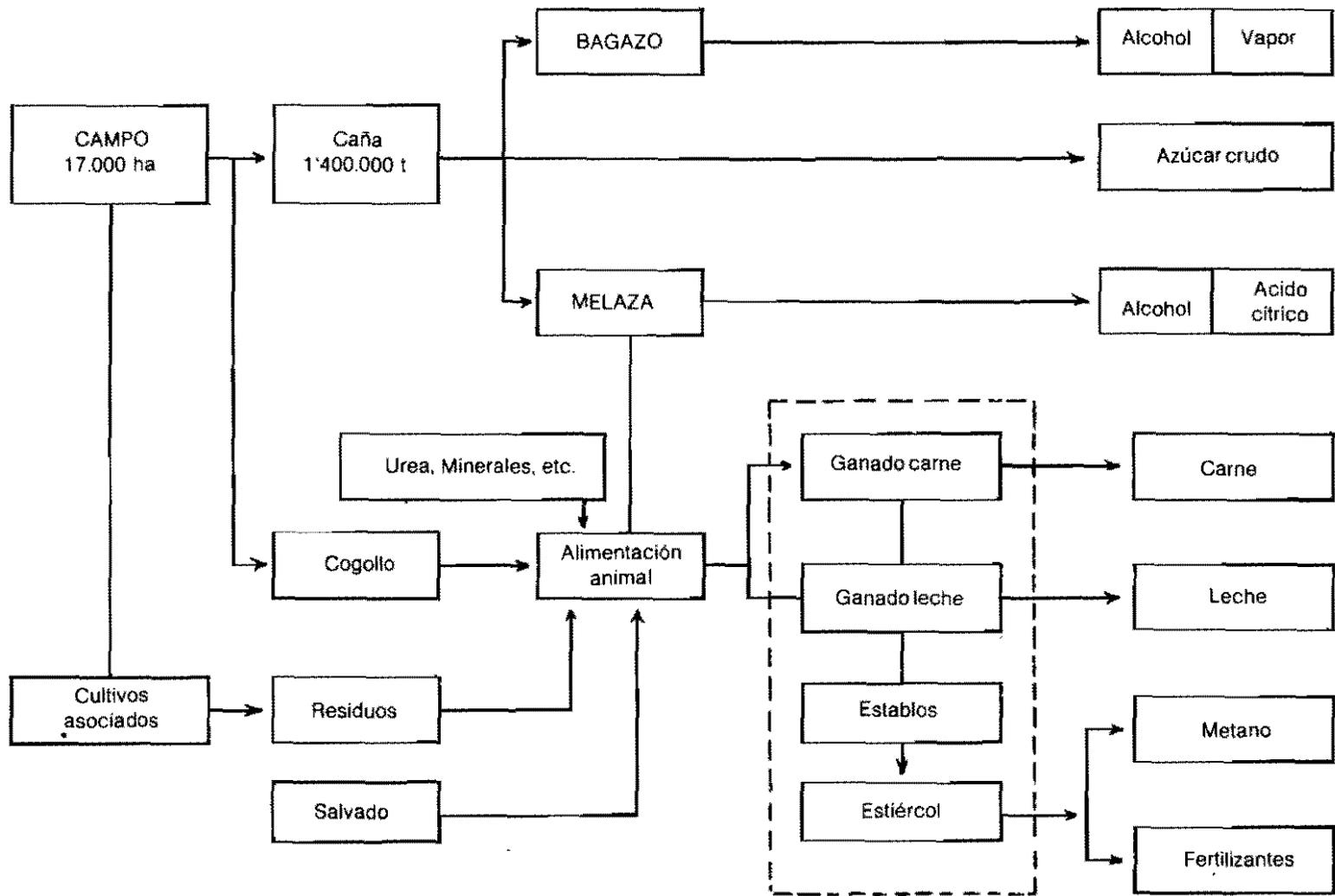


Figura 1. Diversificación de la producción en un ingenio azucarero.

## Bibliografía

1. ASOCAÑA. 1978. Información preliminar 1978. Cali. No publicado
2. ————. 1980. Maximización de la capacidad de molienda en el sector azucarero de Colombia con miras a la producción de alcohol carburante. Estudio preliminar 16p. No publicado.
3. BENNETT, M.C. 1980. Algunas implicaciones económicas del alcohol carburante. In Brekelbaum, T.; Toro, J.C. e Izquierdo B., V. eds. Primer Simposio sobre Alcohol Carburante, CIAT, Mayo 18-22, 1980
4. BUENAVENTURA, C. 1979. Breve reseña histórica de la caña de azúcar en Colombia. Documentos Nueva Frontera 43:20-21.
5. DOMINGUEZ, P. 1979. Uso de variedades comerciales de caña de azúcar en Colombia. In Primer Simposio Internacional de Variedades. TECNICAÑA, CIAT, Octubre 23-26, 1979.
6. ————. 1979. Zonas colombianas productoras de caña de azúcar. Documentos Nueva Frontera 43:27-30
7. HAWAIIAN SUGAR PLANTERS' ASSOCIATION. 1979. Annual Report. Experiment Station. 56p.
8. HEINZ, D. 1979. Improved yield through breeding of Sugarcane. In Primer Simposio Internacional de Variedades. TECNICAÑA, CIAT, Octubre 23-26, 1979.
9. IRVINE, J.E. 1977. Sugar Cane. Cane Sugar Handbook. A manual for Cane Sugar Manufactures and their Chemists. Ed. por Meade, G.P. y Chen, J.C.P. 10th Ed. New York, John Wiley and Sons pp.3-14
10. ————. 1977. Composition of Cane and Juice. Cane Sugar Handbook. A manual for Cane Sugar Manufactures and their Chemists. Ed. por Meade, G.P. y Chen, J.C.P. 10th Ed. New York, John Wiley and Sons. pp.15-29.
11. ————. 1979. Sugar-based fermentation for Fuel Alcohol. Presentado a la First Internamerican Conference on Renewable Sources of Energy. New Orleans, Louisiana. 23p.
12. IZQUIERDO B., V. ed. 1979. Manual azucarero de Colombia 1978-79. Sociedad Colombiana de Técnicos de la Caña de Azúcar - TECNICAÑA, Cali. 100p.
13. VALDEZ, H. 1979. La caña de azúcar como sustituto para la producción de combustible en Colombia. Documentos Nueva Frontera 43:17-19.

**GRUPO INDUSTRIAL**

# PROGRAMA PARA PRODUCIR ALCOHOL ETILICO CARBURANTE EN COLOMBIA

**Alfredo Navarro Serrano\***

## Resumen

Se pretende sustituir parcialmente dos de los combustibles más valiosos en el mercado internacional como son la gasolina motor y el combustible Diesel, mediante la utilización de alcohol etílico como carburante. Se enumeran los requisitos que se deben cumplir para la efectiva utilización de esta fuente renovable de energía desde el punto de vista económico, social y ambiental. La base para producir alcohol carburante es la de ahorrar divisas del orden de US\$230 millones/año. La sustitución del 20% de la gasolina corresponde a producir aprox. 2,5 millones de l/día de alcohol que se podrían obtener con 30 agroindustrias repartidas en el país. Se describen los otros posibles usos del etanol: combustibles domésticos, mezclas con combustibles Diesel, empleo del etanol hidratado al 95% en motores modificados y como materia prima en las industrias alcohol-químicas. Se discuten aspectos de la producción de caña de azúcar y yuca como materia prima para la obtención del alcohol y la instalación de las destilerías. Se describen en detalle las bases del Programa Nacional del Alcohol y se adjunta en el anexo el decreto por medio del cual se creó el Comité Nacional Asesor de este Programa.

## Consideraciones generales

Con el fin de sustituir parcialmente dos de los combustibles más valiosos en el mercado internacional como son la gasolina motor y el combustible Diesel, cuyo precio e incertidumbre de suministro para los países importadores aumentan día a día, se debe pensar en una fuente alterna de energía compatible con la estructura tecnológica actual de la industria automotriz, puesto que reemplazos o modificaciones sustanciales en la misma representan costos tan altos que sólo se pueden proyectar a largo plazo.

Dentro de las fuentes alternas de energía, el alcohol etílico o etanol cumple con esta condi-

ción básica, puesto que para motores ciclo Otto, la mezcla con gasolina motor hasta un 20 vol.% de etanol, no exige modificaciones en el motor y solo en algunos casos, requiere ajustes en la carburación debido a su efecto de empobrecimiento de mezcla. Si se quiere emplear solo, el motor debe ser modificado.

Por otra parte, para motores Diesel, el alcohol se podría mezclar con el combustible Diesel, pero debido a sus inadecuadas características de ignición en este tipo de ciclo (*Índice cetánico cercano a cero*), requeriría la presencia de aditivos detonantes, uno de los cuales podría ser el nitrato de amilo (*isoamilo*) que se puede obtener de los aceites de fusel, subproductos de la fermentación alcohólica. Por lo anterior, se proyecta utilizar el alcohol etílico casi exclusivamente en motores a gasolina.

---

\* Asistente Técnico de la Presidencia de la Empresa Colombiana de Petróleos (ECOPETROL), Apartado Aéreo 5938, Bogotá, D.E., Colombia.

Para producir y utilizar esta fuente renovable de energía de una manera efectiva desde el punto de vista económico, social y ambiental, se debe cumplir con la mayoría de las siguientes condiciones:

1. Abundancia de tierras aptas para la agricultura, actualmente subutilizadas o no utilizadas.
2. Una alta radiación solar promedio en el año para captar energía por medio de un cultivo adecuado para su transformación en alcohol.
3. Abundancia de mano de obra con "vocación agrícola" (*NO de mano de obra barata*).
4. Ampliación de la frontera agrícola para evitar, a toda costa, que la producción de alcohol interfiera con la producción agropecuaria, causando desequilibrio en los precios y en el adecuado suministro de alimentos. Antes bien, uno de los beneficios del programa del alcohol debe ser la continua ampliación de la frontera agrícola para atender a las crecientes necesidades de producción de alimentos.
5. Producción económica y abundante de alimentos en el futuro (*año 2.000 en adelante*), con la infraestructura agrícola resultante de la mencionada expansión, no solamente para satisfacer las necesidades del país sino para exportar cuando éstos recursos se hagan escasos a nivel mundial.
6. Canalización de los recursos generados por el programa al incorporar a su economía zonas antes improductivas, preferencialmente hacia la generación de una infraestructura social en zonas rurales poco desarrolladas económicamente.
7. Localización de las operaciones agrícolas e industriales en un justo punto de eficiencia para aprovechar al máximo la capacidad del país en sus servicios de ingeniería y producción de los bienes de capital necesarios para el desarrollo del programa.
8. Un balance neto de energía de la agroindus-

tria "conveniente", no en el sentido de lograr balances "super-positivos" o de aumentar significativamente la "calidad" de la energía (*con tendencias de ignorar por lo menos en los trabajos escritos, la segunda ley de la termodinámica*), sino en el de aprovechar recursos de bajo valor para la actualidad económica de un país, como son el bagazo, el carbón, un combustible pesado, difícil de utilizar y de mover de una región geográfica a otra, etc., para obtener productos valiosos como sustitutos de la gasolina.

### Bases para producir alcohol carburante en Colombia

#### *Sustitución parcial (20%) de gasolina*

Para finales del presente año, el consumo de gasolina motor en Colombia será de unos 75.000 bbl/día, con una tasa anual de aumento estimada en alrededor del 3%. Al sustituir el 20% de este consumo utilizando alcohol etílico anhidro en mezcla con la gasolina, se reemplazaría un volumen de 15.000 bbl/día, que a costos actuales de la gasolina en el mercado internacional significaría un ahorro de divisas del orden de los US\$230 millones/año. Desde ahora se puede enunciar un argumento que, no por elemental, deja de ser verdadero: en vez de entregar este dinero al exportador de hidrocarburos, por qué no darlo al agricultor nacional?

La sustitución de 20% de la gasolina motor corresponde a una producción de alcohol de aproximadamente 2,385 millones de l/día, que se podría obtener con unas 30 agroindustrias repartidas en diferentes áreas rurales del país.

#### *Otras posibles usos del alcohol*

Además de la sustitución parcial de la gasolina, existen otras utilidades que justificarían mayores producciones de etanol. Las principales son:

### **Combustibles domésticos**

En Colombia se emplean productos blancos de petróleo, tales como naftas pesadas y kerosene, en formulaciones de combustibles domésticos

para cocinas. Al reemplazar un 75% de éstos combustibles, se ahorrarían unos 8000 bbl/día de hidrocarburos, con un valor de aproximadamente US\$100 millones/año.

Esta sustitución requeriría una producción adicional de etanol de unos 2 millones de l/día.

### **Mezclas con combustible Diesel**

El consumo de combustible Diesel a fines de 1980 es del orden de los 25.000 bbl/día. Si se mezcla el alcohol etílico en proporciones de un 4 vol.%, (posiblemente sin necesidad de aditivos detonantes), representaría un reemplazo de 1.000 bbl/día, con un ahorro de unos US\$15 millones anualmente. Este reemplazo, que debe ser estudiado muy bien por su efecto sobre la calidad del combustible Diesel (*índice cetánico*), requeriría de una producción adicional de etanol de unos 160.000 l/día.

Otra posibilidad a investigar sería la inyección del alcohol en el aire de combustión entre el turbocarburetor y el posentriador. Aquí se podría reemplazar entre un 20 y un 30% del Diesel.

### **Otros**

Dos usos potenciales del alcohol en Colombia serían el empleo de etanol hidratado al 95% en motores modificados, por una parte, y su utilización como materia prima en industrias alcohol-químicas, posiblemente en la producción de cauchos tipo PBR y SBR vía butadieno.

### **Materia prima**

#### **Caña de azúcar**

Las condiciones de insolación en Colombia son muy convenientes para el cultivo de esta materia prima agrícola. Existe una buena experiencia para cultivar caña en el país, tanto en la región azucarera del Valle Geográfico del Cauca con unas 130.000 ha., como en las zonas de ladera, destinadas a la producción de panela, con una extensión de 313.000 ha aproximadamente.

Los rendimientos comerciales en Colombia

varían entre límites muy amplios: desde 30 t/ha en tierras y condiciones técnicas pobres, hasta 130 t/ha en regiones muy fértiles de ladera y en la zona azucarera. Una gran ventaja para la producción de caña en Colombia es que en extensas regiones se puede cortar de una manera continua durante todo el año.

Para efectos de alcohol carburante se ha tomado un rendimiento promedio de 80 t/ha-año que con una producción de alcohol de 70 l/t, resulta en una producción aproximada de 5 600 l/ha-año. Una producción de 2,5 millones de l/día de etanol requeriría 36.000 t de caña/día, o sea, una extensión total de 450 ha/día.

**Area de siembra necesaria.** La extensión total de Colombia es de unos 114 millones de ha, de las cuales 6 millones están dedicadas a la agricultura (*incluyendo la zona cafetera*). Una ampliación de la frontera agrícola en 164.000 ha. significa sólo un 2,73% del área actual.

En Colombia están dedicadas a la ganadería unos 40 millones de ha, de las cuales cerca de 25 millones serían aptas para la agricultura. Las 164.000 ha requeridas significan un 0,66% de éstas tierras.

Por lo anterior se puede deducir que en Colombia se dispone de tierras más que suficiente para producir alcohol etílico, sin interferencias con la producción agropecuaria.

**Unidades agroindustriales.** Cada una de las 30 unidades agroindustriales, con una capacidad instalada de 100 000 l/día cada una, necesitaría de un tren de molienda para unas 1.429 t de caña/día, unidad de preparación del jugo y fermentación, destilación hasta alcohol anhidro, planta de licuación de anhídrido carbónico y unidad de evaporación de vinazas.

El costo de una planta se ha estimado en unos US\$25 millones, de los cuales entre un 60 y un 80% sería componente nacional, dependiendo del grado de desagregación de tecnología que se haga y del aprovechamiento de servicios y recursos colombianos. La extensión de tierra requerida para cada una de estas unidades es de unas 6.520 ha para los rendimientos conservadores señalados anteriormente.

## Programa Nacional de Alcohol

El 29 de agosto de 1979, el Gobierno Nacional expidió el Decreto No. 2153 por el cual se establecieron las bases del Programa Nacional del Alcohol y se creó el Comité Nacional Asesor de este Programa (*ver Anexo no. 1*).

El Comité Nacional del Alcohol está presidido por el Ministro de Minas y Energía y tiene como secretaria coordinadora a ECOPETROL. El Comité ha venido estudiando las bases del programa por medio de las siguientes comisiones de trabajo:

### *Estudio Agroindustrial global, macroeconómico del proyecto del alcohol carburante*

La comisión, conformada por el Departamento Nacional de Planeación (DNP) y ECOPETROL, ha elaborado los "Términos de Referencia" del estudio y se está actualizando la inscripción de las firmas y entidades nacionales que tienen la experiencia requerida para dirigirlo. Así mismo se están registrando las firmas del exterior que pueden prestar asesoría especializada en las diferentes fases del estudio.

### *Marco legal para la producción de alcohol carburante*

La comisión está integrada por el Ministerio de Minas y Energía, la Asociación Nacional de Industriales (ANDI) y la Asociación Colombiana de Industrias Licoreras (ACIL). Actualmente la producción de alcohol etílico es un monopolio estatal ejercido por intermedio de los departamentos, a través de sus industrias licoreras.

En colaboración estrecha con el Congreso Nacional, se estudia un marco legal que, dejando intacto el monopolio estatal para el alcohol destinado a bebidas alcohólicas, perfumería, droguería y otras aplicaciones muy específicas, permitiría al sector privado participar en la elaboración del alcohol carburante. El marco legal prevé la participación del Estado (*empresas comerciales estatales, industrias licoreras, etc.*), asociado con la empresa privada en sociedades de economía mixta.

La concentración de vinazas de la destilación es necesaria para disponer convenientemente de las mismas y así evitar un impacto ecológico desfavorable en ecosistemas acuáticos. Aunque el costo energético de esta concentración es alto en unidades térmicas, se cuenta con exceso de bagazo y, dado el caso, con carbón. Su valor final como abono o como concentrado para alimentación de animales (*junto con los residuos de fermentación*), puede constituir un importante crédito en la economía de producción. La licuación del anhídrido carbónico y su transformación en hielo seco, es importante en zonas rurales muy pobres, pues proporciona un medio de refrigeración accesible y barato para "neveras" domésticas y cuartos de refrigeración semi-industriales que les dé a los campesinos de la zona una mayor facilidad y flexibilidad para conservar y comercializar sus productos.

## Yuca

Un cultivo interesante, tradicional en Colombia, es el de la yuca que actualmente se produce con rendimientos comerciales muy variados que van desde 8 t/ha para cultivos pequeños sin mayores técnicas y en tierras pobres, hasta 40 t/ha en mejores tierras y cultivos bastante tecnificados. Se obtiene 170 l de alcohol/t, en cosecha anual. Es necesario escoger la localización de la planta de alcohol para suplir la falta de bagazo con un combustible adecuado (*carbón o leña en el caso colombiano*). Además se debe investigar qué subproductos se podrían obtener de la parte aérea, tallos, ramas y hojas de la planta, que son ricos en fibras y proteínas y que constituyen casi el 50% del peso total de la planta.

En Colombia se piensa que una combinación de caña y yuca, contribuyendo ésta última hasta con un 20% de la materia prima, sería ideal desde el punto de vista de aprovechar cultivos de tamaño medio y de la autosuficiencia energética de la agroindustria con el bagazo de la caña. En este caso la planta de alcohol debe tener un módulo de hidrólisis de almidones, ya que permite absorber excedentes periódicos de otros productos agrícolas, como en el caso de la papa.

El valor del tren de preparación de la yuca junto con su hidrólisis, se estima en unos US\$3 millones.

### *Concertación de los sectores público y privado para la ejecución del Plan.*

La comisión, integrada por la Asociación de Cultivadores de Caña de Azúcar de Colombia (ASOCAÑA) y ECOPEPETROL, estudiará la constitución de las sociedades de economía mixta que se formen para los diferentes proyectos regionales de producción de etanol. También se establecerá un "Comité Sectorial de la Industria del Alcohol", cuyo objeto será desarrollar un "Plan indicativo" de esta actividad, dentro de la política de economía concertada del Gobierno Nacional.

### *Incentivos y estímulos económicos y financieros para la producción de alcohol carburante*

Dentro de esta comisión, conformada por la Sociedad de Agricultores de Colombia (SAC) y la ANDI, se estudian los siguientes aspectos que influirán directamente en el interés que motivará al inversionista privado a tomar parte en las sociedades que en forma integrada (*agro-industria*) o separada, sea en la producción de la materia prima agrícola o en la fase industrial, inicien la producción del alcohol carburante.

- Modalidad de compra del alcohol carburante por parte de ECOPEPETROL y manera de fijar su precio.
- Incentivos tributarios.
- Incentivos crediticios y financieros.
- Marco legal en los aspectos de tenencia de la tierra.

### *Bases para producir las materias primas agrícolas*

Integran la comisión el Ministerio de Agricultura y la SAC. Se parte del principio de que en Colombia el problema no es de escasez de tierras potencialmente aptas para los cultivos propuestos, sino de todo el complejo conjunto de variables que inciden en la adecuación de tierras y la generación de infraestructura para ampliar la frontera agrícola. Uno de los aspectos más importantes, naturalmente, es el de una adecua-

da rentabilidad económica en esta fase del proyecto.

### *Utilización óptima del exceso de capacidad de molienda en los ingenios azucareros*

Este aspecto será estudiado por ASOCAÑA. Un tren de molienda eficiente, tipo ingenio azucarero, con una extracción de azúcar de un 90% o más, constituye como el 40% de la inversión requerida en una destilería de alcohol (*incluyendo la planta de potencia a base de bagazo*). Teniendo en cuenta que los ingenios azucareros del Valle del Cauca cuentan con un sobrante de capacidad de molienda estimada en 14.500 t/día, se puede utilizar todo o parte del mismo para suministrar jugo de caña a una o dos destilerías. A título ilustrativo, 7.000 t/día de molienda podrían alimentar una producción de 490.000 l/día de operación; en términos de días calendario, la producción no sería menor de 390.000 l/día, ya que en el Valle del Cauca la cosecha y molienda de caña es casi continua durante el año. La caña adicional se puede obtener dentro del mismo valle geográfico, sin afectar los requerimientos para azúcar de la siguiente manera:

- Aumentar el rendimiento mediante el empleo de nuevas variedades de caña y mejoras tecnológicas.
- Incorporar al cultivo tierras marginales actualmente improductivas, debido a problemas de drenaje e inundaciones periódicas, que pueden ser resueltos mediante una represa hidráulica en la región.

### *Plan nacional integrado para las industrias licoreras*

La comisión, conformada por el Ministerio de Desarrollo, el DNP y la ACIL, estudia la optimización de la producción de los crecientes volúmenes de alcohol que requerirá el país en el campo de las bebidas alcohólicas, perfumería e industria farmacéutica, con el fin de que las nuevas plantas de alcohol de las industrias licoreras y sus requerimientos de materia prima (*mieles y melazas*), concuerden con el desarrollo del Plan Nacional del Alcohol.

## *Recomendaciones y guías para el desarrollo del Plan*

Con base en los estudios que adelantan las diferentes comisiones del Comité Nacional del Alcohol, el marco legal que adopte el Congreso Nacional, los resultados del estudio macroeconómico complementado por la identificación de proyectos específicos y las conclusiones del

"Primer Simposio Nacional sobre Alcohol Carburante", se espera tener, en el término de meses, un conjunto de políticas, estimaciones, recomendaciones y guías, para que tanto el Gobierno como los inversionistas privados cuenten con un "libro de alcohol" que les permita ver la forma del programa y conocer el marco institucional, legal, económico, social y ambiental, para que se proceda a la iniciación de uno o más proyectos agroindustriales.

## Anexo I

### DECRETO NUMERO 2153 DEL 29 DE AGOSTO DE 1979

- Por el cual se establecen las bases del Programa Nacional del Alcohol y se crea el Comité Nacional Asesor de este Programa-

EL PRESIDENTE DE LA REPUBLICA DE COLOMBIA

en ejercicio de las atribuciones que le confiere el Artículo 120 de la Constitución Política como suprema autoridad administrativa, y

#### CONSIDERANDO:

Que Colombia dejó de ser desde el año de 1975 autosuficiente en materia de hidrocarburos.

Que por dicha razón se ha convertido en un país importador de petróleo y sus derivados, en volúmenes crecientes, lo cual está afectando cada día más su balanza comercial.

Que dada la situación del mercado internacional de hidrocarburos se prevén alzas periódicas en sus precios y dificultades para su obtención.

Que el alcohol, en sus diversas formas, ha sido objeto de pruebas en diferentes países, como un sustituto aceptable de la gasolina.

Que Colombia posee reservas importantes de gas natural y condiciones especialmente favorables para la producción agrícola de biomasa, adecuada para la fabricación de alcoholes.

Que un programa de producción masiva de alcohol puede reemplazar un importante porcentaje de gasolina y convertirse en significativo factor de empleo rural,

#### DECRETA:

**ARTICULO PRIMERO.-** Crear el Programa Nacional del Alcohol, que debe soportar en parte y a mediano plazo, la demanda de combustibles en Colombia.

**ARTICULO SEGUNDO.-** El programa tendrá como propósito básico permitir al país, en término razonable, disponer de una infraestructura industrial y agrícola adecuada para producir volúmenes de alcoholes suficientes para sustituir combustibles líquidos en la proporción y formas que más convenga a la Nación.

**ARTICULO TERCERO.-** El programa se adelantará conjuntamente entre los sectores público y privado, de tal manera que su operación sea óptima.

**ARTICULO CUARTO.-** Los recursos necesarios para atender los gastos que este programa demande, en lo que respecta al Gobierno Nacional, serán sufragados por la Empresa Colombiana de Petróleos -Ecopetrol-.

**ARTICULO QUINTO.-** Créase el Comité Nacional del Alcohol, el cual tendrá como funciones básicas coordinar todas las acciones del respectivo programa y presentar al Gobierno Nacional las conclusiones y recomendaciones sobre la manera como el país deberá alcanzar este fundamental propósito.

**PARAGRAFO:** Dentro de un plazo máximo de ocho (8) meses a partir de la vigencia del presente Decreto, el Comité Nacional del Alcohol deberá presentar las conclusiones y recomendaciones mencionadas.

**ARTICULO SEXTO.-** El Comité de que trata el artículo anterior quedará conformado de la siguiente manera:

- El Ministro de Minas y Energía, quien lo presidirá;
- El Ministro de Desarrollo Económico, o su delegado;
- El Ministro de Agricultura, o su delegado;
- El Jefe del Departamento Nacional de Planeación, o su delegado;
- El Presidente de la Empresa Colombiana de Petróleos -Ecopetrol, o su delegado;
- El Director del Instituto de Investigaciones Tecnológicas -ITT-, o su delegado;
- El Presidente de la Asociación Nacional de Industriales -Andi-, o su delegado;
- El Presidente de la Sociedad de Agricultores de Colombia -Sac-, o su suplente;
- El Presidente de la Asociación Colombiana de Cultivadores de Caña de Azúcar -Asocaña-, o su suplente;
- Dos representantes de las Empresas Licoreras Departamentales, elegidos por los Gobernadores de los Departamentos productores, para períodos de dos (2) años.

**ARTICULO SEPTIMO.-** La Unidad de Estudios del Alcohol de la Empresa Colombiana de Petróleos -Ecopetrol- actuará como Secretaría Coordinadora del Comité.

**ARTICULO OCTAVO.-** El presente Decreto rige a partir de la fecha de su expedición.

# ALGUNAS IMPLICACIONES ECONOMICAS DEL ALCOHOL CARBURANTE \*

M.C. Bennett\*\*

## Resumen

Se describe la relación entre los diversos aspectos técnicos y económicos de la producción de alcohol carburante a partir de cultivos (e.g., *maíz, caña de azúcar, yuca, etc.*) y de otras materias primas apropiadas (e.g., *melaza, jarabe de azúcar, almidón de yuca*). Como los programas de alcohol carburante para sustituir parcialmente la gasolina revisten diferentes características en cada país, se describe, a título ilustrativo, la situación en Brasil, Tailandia y Sudán, cuyos programas ya están en ejecución. Además se analizan 3 conceptos básicos que han surgido de las diversas actitudes que han adoptado diferentes países en relación con el alcohol carburante: a) volumen que se debe fijar como objetivo, b) la utilización de excedentes que servirían como regulador económico en países con una economía agrícola muy definida (e.g., *el maíz en los EE. UU.*), y c) el aprovechamiento de los subproductos o residuos agrícolas y de las vinazas. En el campo de las implicaciones internacionales se estudia someramente la flexibilidad del mercado y la flexibilidad de la operación. Se concluye que un programa de alcohol carburante influiría significativamente en la política de producción de los ingenios (*melaza vs. azúcar crudo vs. otras materias primas*) y en la calidad del azúcar crudo.

## Introducción

El combustible líquido se ha convertido en la fuente de energía más aceptable y, en algunos casos, más económicamente viable para vehículos para carretera. A través de toda la historia de los motores de combustión interna, el alcohol ha sido considerado como un posible combustible por sus propiedades y disponibilidad casi universal.

Las mezclas de etanol y gasolina en diversas proporciones se han empleado con bastante frecuencia en muchos países (e.g., *Brasil, Irlanda, Francia, Alemania, Sudáfrica y el Reino Unido*), pero nunca se pensó en hacer un uso permanente de ellas debido a los bajos precios de la gasolina. No obstante, en vista del rápido ascenso de los precios del combustible fósil hidrocarbúrico, muchos países están estudiando la posibilidad de sustituir parte de la gasolina por alcohol fabricado a partir de cultivos agrícolas apropiados. Este tipo de combustible para motores derivado de dichas fuentes regenerables representa a) ahorros considerables de divisas fuertes en importaciones de petróleo; b) algún control sobre la disponibilidad de una parte de los requerimientos de combustible para motores; y c) un estímulo de la industria agrícola interna.

---

\* Traducido por Stella Sardi de Saicedo de la versión original "Some Economic Implications of Power Alcohol"

\*\* Tate & Lyle Agribusiness Ltd, Cosmos House, Bromley Common, Bromley, BR2 9NA, Kent, UK

Por otra parte, cada vez es mayor el interés en el alcohol como sustituto de la nafta en la fabricación de derivados petroquímicos. El etanol se puede transformar fácilmente en etileno, el principal constituyente de una amplia gama de productos comunes como el polietileno y el cloruro de polivinilo.

El concepto de alcohol carburante es, por consiguiente, de suma importancia para aquellos países que no poseen reservas adecuadas de petróleo pero que disponen de sol y agua en abundancia para producir los cultivos que servirán de materia prima.

El resurgimiento del interés por el alcohol se remonta a los acontecimientos que tuvieron lugar en Brasil después del anuncio del programa energético de PROALCOOL en noviembre de 1975. Numerosos países están considerando la posibilidad de seguir este ejemplo y algunos, como las Filipinas, los Estados Unidos y Sudán, ya se han embarcado en las primeras etapas de un programa nacional de producción de alcohol carburante. Cada país ha adoptado una actitud ligeramente diferente en relación con su propio programa y este trabajo trata de describir la relación entre los diversos aspectos técnicos y económicos.

## La tecnología de la fabricación del alcohol carburante

### Materia prima

El alcohol se fabrica mediante la fermentación de un cultivo rico en carbohidratos (*azúcares* o

*almidón*), el cual se destila para separar y purificar el alcohol (*éste debe ser anhidro a fin de poderlo mezclar con la gasolina*). Muchos factores influyen en la selección de materia prima pero los más importantes están relacionados con los recursos disponibles en cada país.

El rendimiento es de gran importancia cuando se trata de producir un cultivo para convertirlo en alcohol. El Cuadro 1 muestra el rendimiento aproximado de alcohol por hectárea por año para seis cultivos:

A fin de producir un cultivo específico para alcohol carburante se requiere no sólo que los recursos necesarios (*tierra, mano de obra y financiación*) estén disponibles, sino que se puedan organizar eficientemente.

Además de los costos agrícolas, los costos de procesamiento también pueden ser importantes. Cuando se trata de cultivos amiláceos, como la yuca o el maíz, primero se debe extraer el almidón y convertirlo en azúcares (*sacarificación*) fermentables. En el caso específico de la yuca, las raíces se deben procesar a más tardar dos días después de cosechadas para evitar su deterioro, aunque el procesamiento parcial (*e.g., en trozos secos*) es una alternativa no sólo posible sino esencial para mantener un suministro durante todo el año.

Los costos de procesamiento se minimizan cuando se dispone de materiales azucarados líquidos, ya sea en la forma de melaza o de jarabe de azúcar, provenientes de los ingenios.

Dentro del marco de la crisis energética mundial, el equilibrio energético también es

**Cuadro 1. Rendimiento en alcohol para diferentes fuentes de hidratos de carbono.**

Cultivo	Rendimiento del cultivo	Rendimiento en alcohol	
	(t/ha-año)	(l/t)	(l/ha-año)
Caña de azúcar	40 - 120	70	2800-8400
Yuca	10 - 40	180	1800-7200
Batata	10 - 40	125	1250-5000
Remolacha azucarera	10 - 40	120	1200-4800
Sorgo dulce	20 - 60	55	1100-3300
Maiz	1 - 4	400	400-1600

importante y la producción de alcohol carburante debería mostrar una ganancia de energía neta. Uno de los factores más importantes para lograr este equilibrio es la cantidad de energía requerida para operar la unidad de producción de alcohol, y es precisamente en este aspecto que la caña de azúcar resulta muy ventajosa ya que provee simultáneamente los azúcares fermentables y el bagazo para combustible. De hecho, la caña suministra más bagazo del necesario para procesar su jugo, lo que permite acumular el excedente para operar la planta en épocas de escasez de caña cuando es necesario utilizar una materia prima diferente como jarabe espeso almacenado, melaza de ingenios vecinos, yuca o almidón de yuca. El jarabe y la melaza tienen la ventaja de que se pueden fermentar directamente, pero contar con los equipos necesarios para la sacarificación le da mayor flexibilidad a la planta permitiéndole aceptar casi cualquier producto fermentable. De esta forma se aprovecha al máximo la capacidad de la planta durante todo el año, por cuanto ningún cultivo en particular constituye un limitante.

Algunos cultivos representan una ganancia de energía total negativa pero esto no los elimina toda vez que podrían constituir excedentes temporales o ser excedentes de un mercado estabilizado (como el maíz en los Estados Unidos), u ofrecer la oportunidad de convertir un combustible sólido inconveniente (madera o carbón) en uno líquido más apropiado, lo que podría justificar una pequeña pérdida de energía. Por otra parte también podrían dar subproductos como proteína que pueden ser más valiosos que las simples calorías.

Los siguientes ejemplos ilustran la gama de posibilidades:

### **Brasil**

Al fijar su objetivo de producción de alcohol en cuanto a volumen se refiere, Brasil determinó la cantidad total de productos fermentables requeridos y el de mayor disponibilidad inicialmente era la melaza, uno de los subproductos de la industria azucarera. Sin embargo, como Brasil no cuenta con la cantidad de melaza requerida para producir el volumen de alcohol deseado, ha recurrido al jugo de la caña de azúcar que procesa en las

llamadas destilerías autónomas construidas especialmente para este fin o en destilerías anexas a los ingenios, y a las raíces feculentas de la yuca. Debe mencionarse también el potencial de las nueces de babassú (*Orbinya speciosa*), actualmente sometidas a investigación y ensayo.

### **Tailandia**

Este país tiene una economía agrícola fuerte y una gran variedad de productos fermentables (e.g., caña de azúcar, yuca, maíz y arroz). De darse las condiciones de una cosecha record y bajos precios mundiales, los excedentes deberían canalizarse a la producción de alcohol carburante, lo que estabilizaría el mercado agrícola doméstico y facilitaría los planes a largo plazo. La sustitución parcial de las importaciones de petróleo compensaría los problemas técnicos y los altos costos de la inversión.

### **Sudán**

La rápidamente creciente industria azucarera del Sudán y su infraestructura de transporte incapaz de manejar la producción de melaza, terminarán obligando a este país a arrojar la melaza al desierto. Para evitar esta situación actualmente se encuentra en estudio un programa de alcohol carburante con base en la utilización de melazas que de lo contrario se convertirían en desperdicio.

Muchos otros países en desarrollo han manifestado su interés en producir alcohol carburante a partir de sus productos agrícolas. Colombia, Cuba y Filipinas están considerando la utilización de jugo de caña de azúcar, Papua Nueva Guinea la de yuca y Costa de Marfil la de melaza.

En cuanto a los países desarrollados, los Estados Unidos probablemente comenzarán un programa con base en el maíz, con miras a utilizar caña de azúcar en Louisiana y Puerto Rico, en tanto que en Europa no resulta tan obvio escoger un cultivo fermentable adecuado.

### *Procesamiento*

La caña de azúcar se debe picar y moler para separar el jugo del bagazo. Por ser ésta la primera

etapa convencional de la fabricación de azúcar, su tecnología está muy bien establecida. La melaza requiere únicamente dilución y clarificación y es, por consiguiente, el producto disponible más sencillo de procesar.

Los cultivos amiláceos como la yuca y el maíz se deben moler, pulverizar o picar antes de la sacarificación. Esto no constituye problema en el caso del maíz, ya que es la primera etapa en la elaboración del jarabe de maíz, pero es necesario desarrollar un proceso adecuado para la yuca.

La conversión de azúcares en alcohol se lleva a cabo por medio de la fermentación con levadura bajo condiciones cuidadosamente controladas. El mismo proceso se utiliza para producir alcohol potable. Casi todos los procesos de fermentación empleados actualmente son discontinuos (*i.e., por lotes*), pero cada vez se le está prestando mayor atención a la posible adaptación de procesos continuos, con el objeto de reducir costos de capital.

Después de la fermentación, el alcohol se separa por destilación, la cual consta de tres etapas: destilación primaria, rectificación y deshidratación. Esta última requiere la adición (*y, por supuesto, la recuperación*) de un tercer componente, generalmente benceno o ciclohexano, para eliminar las últimas trazas de agua del alcohol.

### Efluentes

El residuo de la destilación, conocido como vinazas, constituye un grave problema de contaminación y varios países, como Australia y Tailandia, han afirmado que no llevarán a cabo ningún programa de alcohol carburante hasta que se les garantice la disponibilidad de sistemas de tratamiento de efluentes adecuados. Las vinazas contienen minerales valiosos, principalmente potasa y algunos fosfatos, que deberían devolverse al terreno. En muchos casos, la mejor solución consiste en el tratamiento primario únicamente y la devolución por bombeo de las aguas efluentes a un sistema de irrigación. No obstante, este método únicamente puede emplearse donde la destilería y las tierras receptoras de las aguas efluentes pertenecen al mismo complejo agroindustrial.

Donde no es posible hacer uso de la irrigación, generalmente se recurre a métodos de evaporación para producir alimentos para animales o productos para incinerar, ya que el tratamiento del fango activado es muy costoso. Diversos procedimientos anaerobios de digestión que permitirían obtener combustible metánico se están desarrollando en varios países.

### El desarrollo de programas nacionales de alcohol carburante

Aunque muchos países están estudiando la posibilidad de utilizar el alcohol carburante como sustituto del petróleo, es sumamente arriesgado generalizar sobre los aspectos económicos de la producción. Cada país tiene una variedad de recursos disponibles a costos y precios del mercado diferentes, siendo fundamental evaluar estas variables para poder analizar un programa nacional.

Los principales recursos que se deben evaluar son tierra, mano de obra y capital, y se debe prestar especial atención a la identificación de excedentes agrícolas y a la capacidad de fabricación subutilizada. Los factores específicos incluyen:

1. Costos de desarrollo estatales e infraestructurales.
2. Costos agrícolas de cosecha y transporte.
3. Costo de adquisición de productos fermentables fabricados en la misma planta.
4. Costos de almacenamiento.
5. Costos de operación y de capital de la fábrica y la destilería.
6. Costos de mezclar, distribuir y almacenar el alcohol.
7. Precio, derechos de aduana e impuestos del petróleo.

En la actualidad, la producción de alcohol carburante no es económicamente viable al considerar los precios del mercado, ya que es un combustible caro cuyo costo total es aproxima-

damente US\$2/gal. Sin embargo, los precios del mercado actuales no son necesariamente pertinentes para este análisis en particular, por cuanto se pueden aprovechar los excedentes de los cultivos y sus subproductos que de otra forma se habrían desperdiciado, además de que se reducen los costos de la materia prima. Por otra parte, la adaptación de las destilerías o ingenios existentes puede significar un ahorro considerable de capital, y la financiación oficial a intereses bajos también contribuiría a reducir el costo de capital.

No obstante, hoy por hoy, el alcohol carburante costaría más que la gasolina en la mayoría de los países del mundo, y sin el estímulo y el apoyo gubernamental es poco probable que una industria de alcohol carburante se pueda considerar viable. Según el programa Gasohol de los Estados Unidos, por ejemplo, los descuentos conjuntos del impuesto estatal y del impuesto federal sobre consumos pueden ascender a US\$1,20/gal de alcohol en comparación con el precio de venta al público de la gasolina de US\$1,30/gal.

Fuera de analizar la economía doméstica se deben identificar los objetivos económicos. Los programas de alcohol carburante permiten reducir las importaciones de petróleo y beneficiar la balanza de pagos, además de que favorecen el desarrollo económico tanto en el sector agrícola como en el industrial. El alcohol carburante también contribuye al logro de objetivos estratégicos, por cuanto reduce la dependencia del petróleo importado y desarrolla o estabiliza sectores específicos de la economía.

Por estas razones, tal vez no es sorprendente que los diferentes países hayan adoptado diversas actitudes en relación con el alcohol carburante. Haciendo la salvedad de que las distinciones serán probablemente cada vez menos marcadas a medida que se ponga en ejecución el programa, han surgido tres conceptos básicos que se presentan a continuación:

### *Volumen fijado como objetivo*

Brasil ha fijado una serie de objetivos para las cantidades de alcohol que se producirán en fechas sucesivas. La capacidad de las destile-

rias con licencia de funcionamiento ya supera los 4.500 millones de l/año, y el contenido de alcohol de la gasolina fue de 12% en 1978. El objetivo actual es llegar a producir 10.700 millones de l/año para 1985, época para la cual el alcohol representará casi el 5% del requerimiento total de energía del Brasil.

Este concepto probablemente predominará en países más pequeños donde el volumen de alcohol fijado como objetivo puede estar relacionado con un programa de desarrollo agrícola específico. En Zambia, por ejemplo, 5.000 ha adicionales de caña de azúcar permitirán obtener suficiente alcohol como para que éste constituya un 15% de la mezcla.

### **El regulador económico**

Este es el concepto en Tailandia donde los excedentes de los cultivos se convertirían en alcohol carburante para estabilizar los precios domésticos de los productos agrícolas y las importaciones de petróleo se reducirían en la misma proporción. Por su alta producción de maíz, los Estados Unidos también parecen partidarios de este concepto, el cual es a todas luces atractivo para aquellos países con una economía agrícola dominante.

### **Utilización de residuos**

Sudán ilustra el caso de los países muy alejados de los mercados de exportación, como para que el exceso de melaza pueda ser realmente aprovechado. Un programa de alcohol carburante podría hacer de las melazas un sustituto valioso de las importaciones de petróleo. De esta manera la posible utilización de los residuos agrícolas se tornaría atractiva en muchos países.

### **Implicaciones internacionales**

La selección de melaza y caña de azúcar como materias primas ha tenido implicaciones importantes en el comercio mundial para la melaza y el azúcar crudo y en la estructura económica de la producción azucarera. En seguida se hace referencia a dos aspectos en particular.

#### *-Flexibilidad del mercado*

La orientación de la melaza hacia la produc-

ción de alcohol en Brasil ha influido enormemente en su precio a nivel mundial, el cual se ha mantenido siempre a un nivel alto. De igual manera, existe un precio al cual es más rentable, incluso para Brasil, exportar melazas y comprar petróleo. Esta nueva situación seguramente será aprovechada por todos los países con un potencial para exportar melazas, especialmente aquellos que pueden incrementar la producción de caña de azúcar.

El aspecto de las exportaciones de azúcar es aún más interesante. Según los términos del Convenio Internacional del Azúcar, las exportaciones de este producto se pueden limitar a cuotas acordadas. Sin embargo, cuando el precio mundial del azúcar crudo supera cierto nivel, estas cuotas se aumentan progresivamente y finalmente dejan de regir. Históricamente no ha sido posible aumentar la producción suficientemente rápido como para prevenir los tremendos ascensos en el precio mundial del azúcar, los que a su vez van seguidos por una producción excesiva y de nuevo precios bajos.

Brasil, el mayor productor de caña de azúcar del mundo, tiene la ventaja de poder producir rápidamente azúcar para exportación cuando los precios son rentables: un incremento del 20% en las exportaciones de azúcar representa únicamente 10% de la caña de azúcar necesaria para el plan PROALCOOL, y gran parte de la capacidad de producción requerida ya se encuentra disponible. Si Brasil decide orientar la producción de caña de azúcar a las exportaciones de crudo en lugar de a la elaboración de alcohol carburante, esto repercutirá en la naturaleza de la economía mundial del azúcar pudiendo incluso, de acuerdo con la magnitud del cambio, llegar a estabilizar los precios mundiales del azúcar a niveles más altos que aquellos a que estamos acostumbrados. Las implicaciones para los países exportadores de azúcar son muy significativas y todas ellas benéficas.

#### *-Flexibilidad de la operación*

El anexar una destilería de alcohol carburante a un ingenio le permite al productor seleccionar su "mezcla" de productos. Normalmente, la proporción de melaza: azúcar depende de la calidad de la caña y de la eficiencia de la fábrica,

teniendo como objetivo extraer la cantidad máxima de azúcar de la caña. No obstante, al contar con una destilería, la proporción de melaza: azúcar se puede ajustar a las oportunidades del mercado, y vale la pena mencionarse que el contenido de azúcar de las melazas destinadas a las destilerías anexadas en Brasil ha aumentado significativamente en los últimos años.

Como la extracción completa de todo el azúcar disponible de las melazas es costosa, esta mayor flexibilidad en la operación también puede contribuir a reducir el costo y a mejorar la calidad del azúcar producido. Si la calidad del azúcar alcanza el nivel de los llamados crudos de muy alta polarización ( $>99,5^\circ$ ), los costos de la refinación subsiguiente del azúcar disminuirían sustancialmente y el azúcar crudo recibiría un precio mejor.

### Conclusiones

Las implicaciones y consecuencias de los programas nacionales de alcohol carburante son de una importancia internacional considerable. Brasil fue el pionero al desarrollar la primera alternativa práctica para el petróleo y otros países están introduciendo los medios mediante los cuales se pueden estabilizar ciertos mercados de productos agrícolas básicos, para beneficio de un gran número de personas tanto en los países productores como consumidores.

El impacto del programa de alcohol carburante en la industria azucarera probablemente se manifestará de tres maneras:

1. Los ingenios tendrán que hacer las adaptaciones necesarias para procesar otras materias primas, incluyendo diferentes cultivos.
2. Por primera vez los ingenios podrán escoger entre dos productos de suma importancia, que se venden en dos mercados diferentes.
3. Se podrían tomar medidas para mejorar la calidad del azúcar crudo a un nivel tal que el refinador que la importa reciba un beneficio significativo y el productor obtenga un precio mucho más favorable.

# MODELO INDUSTRIAL PARA UN PROGRAMA DE ALCOHOL

**Jaime Colmenares\***

## Resumen

Se presenta un modelo para analizar la factibilidad de un programa de alcohol teniendo en cuenta su incidencia en el programa energético, en el desarrollo de una industria de productos químicos y finalmente en la situación agrícola.

Se hace un análisis amplio y crítico de las diferentes alternativas que tiene Colombia para resolver el problema energético con un programa agrícola que contempla principalmente la caña de azúcar y la yuca. Se analizan brevemente otras materias primas minerales como el gas natural y el carbón.

Concluye que un programa de alcohol carburante solamente es rentable si:

- 1- Se utilizan residuos o excesos de producción agrícola como materia prima;
- 2- Se mejora el aprovechamiento de las tierras marginales de caña y yuca con inversiones en infraestructura industrial;
- 3- Se complementa la producción de alcohol con panela, azúcar, almidón y levadura;
- 4- El balance energético es positivo como en el caso de la caña y se desarrolla un uso para la energía sobrante en forma de vapor y energía eléctrica.
- 5- Se le da un mejor uso al bagazo de la caña y al CO<sub>2</sub> como materias primas para la obtención del furfural, alcohol, derivados de la celulosa, amoníaco y metanol;
- 6- Se dispone de financiación adecuada con intereses bajos y, sobretodo, una política tributaria favorable.

En el caso de la yuca no incluye un análisis de los subproductos en la rentabilidad y balance energético por cuanto requiere un estudio muy profundo. Finalmente concluye que lo malo de Colombia no es tener que importar gasolina sino al contrario no tener con que importarla.

---

\* Gerente de Planta, SUCROMILES, S.A., Apartado Aéreo 20-37, Cali, Colombia.

## Introducción

Colombia, un país exportador de petróleo desde comienzos de este siglo, pasó a ser importador de energía en 1975. Para hacerle frente a este problema, se comenzó un programa intensivo de exploración de pozos, con el que se esperaba llegar a la autosuficiencia energética para 1990. Sin embargo, no solamente ha habido demoras en las metas trazadas sino también unos costos mayores que los calculados y un consumo creciente; por tanto, el país no puede llegar a ser autosuficiente en petróleo.

Debido a lo anterior, se ha adoptado la política de explotar fuentes alternas de energía, principalmente el carbón. En la Costa Atlántica se está utilizando el gas natural como combustible. Por otra parte, se ha planteado un programa nacional de alcohol como una solución parcial a la crisis energética. Sin embargo, modelos de otros programas como los del Brasil y Estados Unidos no necesariamente son viables en Colombia, por cuanto los recursos, la infraestructura, las necesidades básicas y los niveles de precios son muy diferentes.

Básicamente, un programa de alcohol es un programa agrícola para resolver un problema energético; por tanto, debe contemplar su impacto en los demás programas. Es un sistema complejo, cuyas implicaciones a corto plazo tienen que ser proyectadas a largo plazo, cuando las situaciones serán distintas.

En este trabajo se presenta un modelo para analizar la factibilidad de un programa de alcohol, teniendo en cuenta su incidencia en el programa energético, en el desarrollo de una industria de productos químicos y, finalmente, en la situación agrícola.

### Modelo conceptual para un programa de alcohol

Un programa de alcohol se ubica dentro de un programa nacional de **satisfacción de necesidades básicas**. Se debe hacer un análisis para poder clasificar éstas, según los **factores limitantes** del sistema.

El recurso **capital** es **común y limitante** para

cualquier tipo de necesidades (e.g., *educación, trabajo, vivienda, alimentos, productos químicos y energía*), mientras que el recurso **tierra** solamente es limitante para alimentos, fibras, productos químicos y energía. Puesto que el recurso **capital** se genera principalmente por la actividad en alimentos, fibras, productos químicos y energía, el modelo fundamental debe ser optimizado en cuanto a las necesidades básicas de estas actividades.

En la Figura 1 se muestra el modelo preliminar. Los recursos naturales renovables y no renovables son una manifestación de la transformación de la energía solar sobre la tierra a lo largo del tiempo. El término biomasa se refiere a la materia orgánica recolectable en el corto plazo y en forma perpetua. El petróleo, gas natural, carbón y minerales comprenden materia fósil, también recolectable en el corto plazo, pero **agotable** en el mediano y largo plazo. Tanto la biomasa como los recursos no renovables son considerados como **fuentes competitivas** para la producción de alimentos, fibras, materias primas y energía, mientras que la utilización directa de energía solar a través de sistemas de calefacción o acumulación (*hidroelectricidad*) **no compete** con el recurso limitante de la tierra.

Con base en los valores agregados de los productos terminados, se consideraría prioritaria la producción de alimentos, seguida de fibras, productos químicos y energía.

Este modelo preliminar evalúa la competencia económica entre una de las necesidades básicas, siendo necesario evaluar cada alternativa con base en su **costo de oportunidad**.

El modelo de utilización introduce el concepto de los residuos (*Fig. 2*), lo cual implica el **aumento en la producción** de biomasa o de recursos no renovables, ni pone en **competencia unas necesidades contra otras** y, por lo tanto, su factibilidad económica es independiente y altamente rentable.

Este concepto de la utilización de residuos es el primer factor económico para la **reducción en el consumo de energía** y el **control de la contaminación**. La mayor parte de la actividad industrial actual ha sido **diseñada** con antiguos criterios que **no** contemplaban el control de la conta-

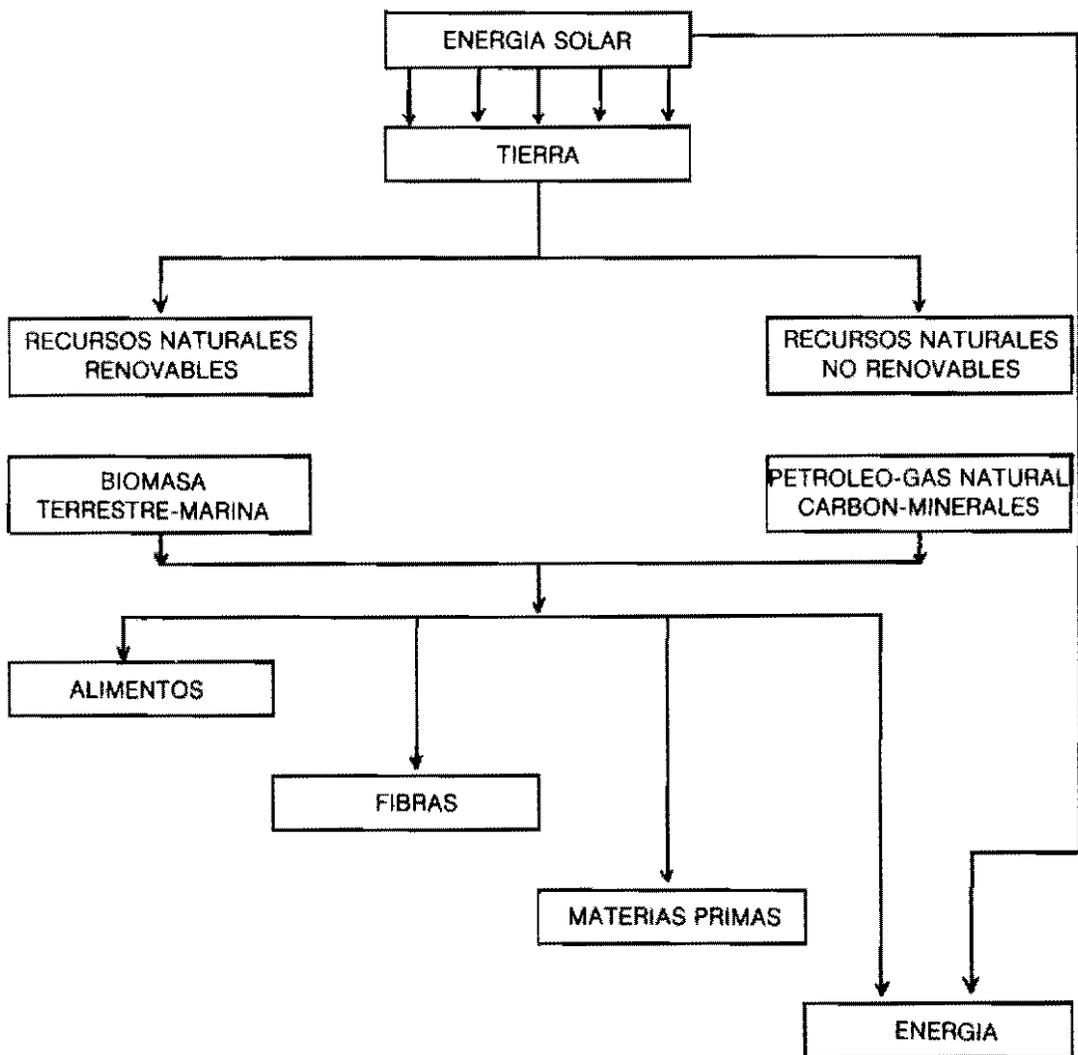


Figura 1. Modelo preliminar.

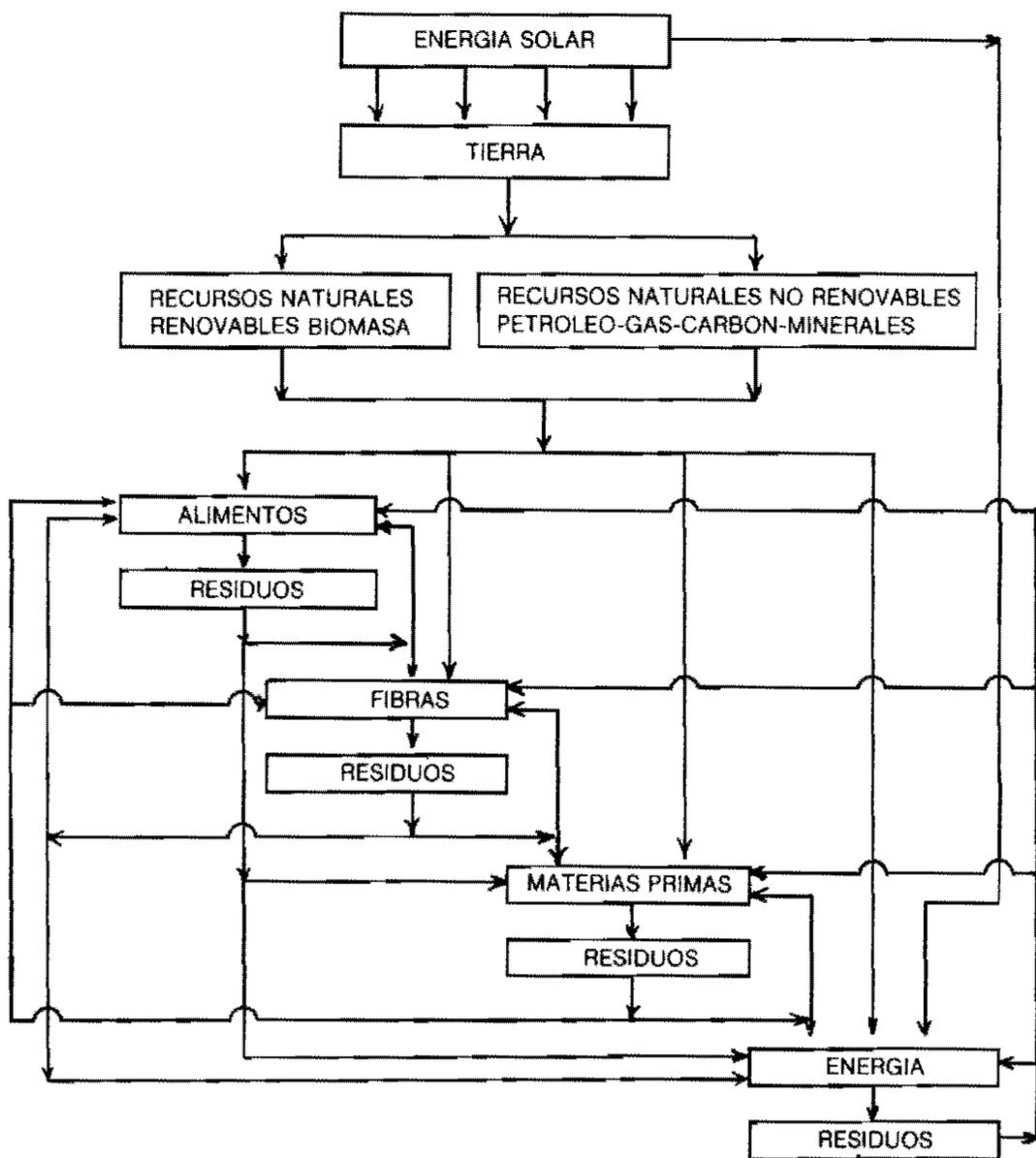


Figura 2. Modelo preliminar: conceptualización de residuos

minación ni le daban importancia al consumo de energía. Hoy día se puede aplicar el concepto de utilización de residuos y de recuperación de energía en todas las empresas con un incentivo económico: multas por contaminación y el alto costo de la energía.

Estos dos aspectos indispensablemente se deben considerar en un programa de alcohol al proyectar un gran número de nuevas destilerías e industrias derivadas del alcohol. Dicho programa se analiza dentro del modelo anterior, bajo 2 puntos de vista: la **producción de alcohol** y su **utilización** (Fig. 3).

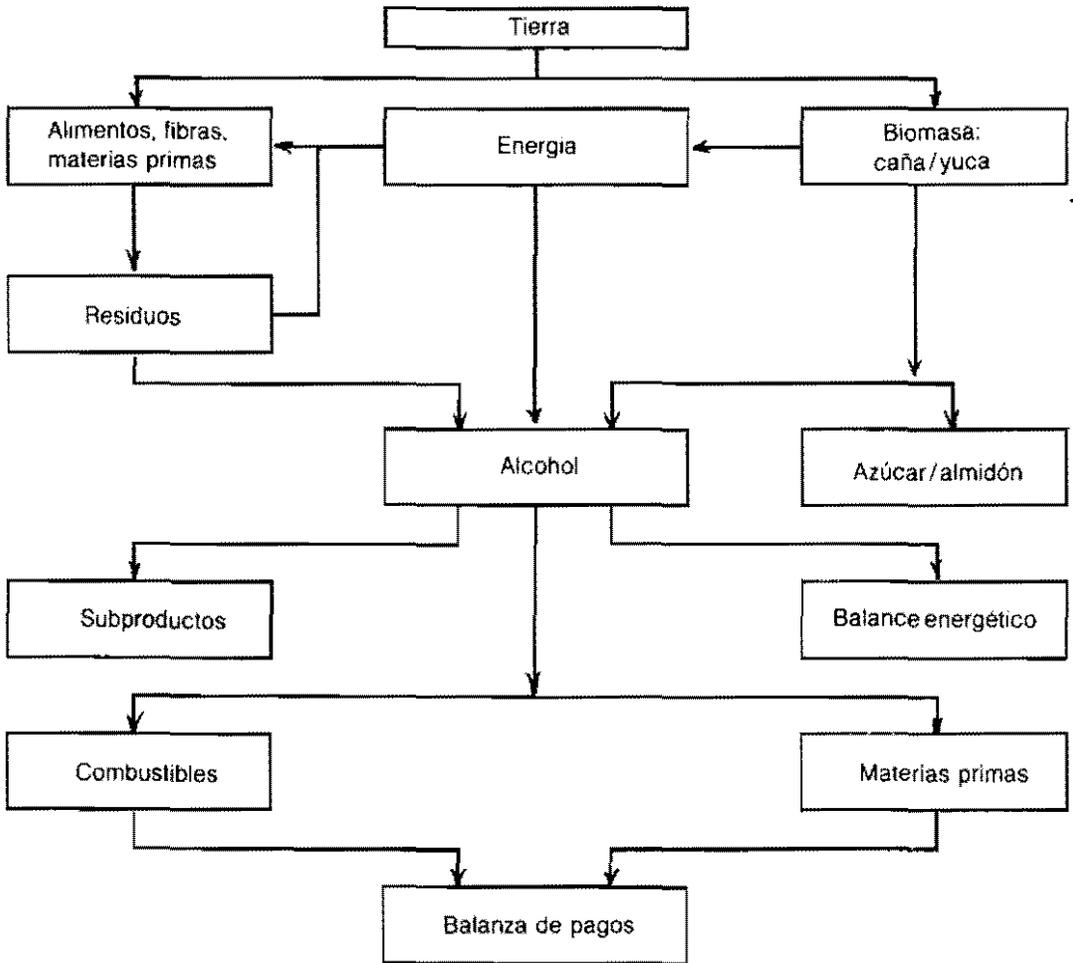


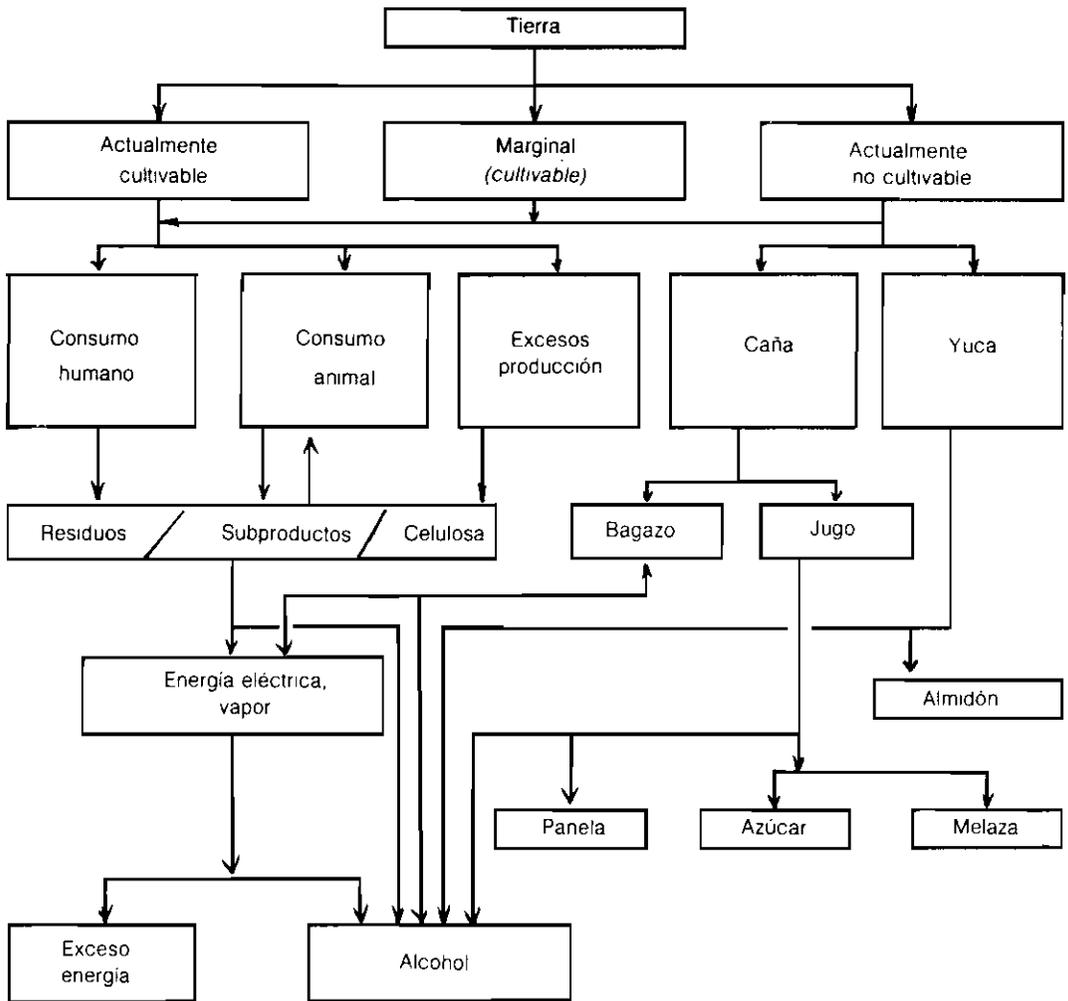
Figura 3. Factores básicos en un programa de alcohol.

Factores que inciden en la producción de alcohol

Los factores más importantes en la producción de alcohol son el **uso de la tierra**, las **materias**

**primas** y el **balance energético**, los cuales se analizan dentro del modelo presentado en la Figura 4.

La tierra se puede dividir en 3 clases: 1) tierras actualmente cultivables para la producción de



**Figura 4. La producción de alcohol: uso de la tierra, materias primas, balance energético.**

alimentos, fibras y materias primas; 2) tierras actualmente marginales, o sea las que no se están cultivando o están mal utilizadas; y 3) tierras actualmente no cultivables y disponibles para la producción de caña/yuca, previa una infraestructura agrícola.

La actividad agrícola actual da origen a un consumo humano y animal y a excesos de producción que a su vez producen residuos, subproductos y material celulósico, considerados como fuente de energía y materia prima para la producción de alcohol.

La tierra marginal y la actualmente no cultivable se analizan desde el punto de vista del costo de oportunidad; así, por ejemplo, los cultivos de caña podrían ser usados únicamente para alcohol, para panela, para estos 2 productos, o para azúcar y alcohol.

Los cultivos de yuca, a su vez, podrían ser utilizados únicamente para alcohol o para almidón industrial.

El balance energético en un programa de alcohol debe ser positivo; de lo contrario, sería

antieconómico e ilógico. La energía útil (*en forma de vapor y energía eléctrica*) debe provenir totalmente de los residuos celulósicos de la biomasa.

### *Uso de la tierra y su costo de oportunidad en la producción*

En un programa de alcohol, las materias primas tienen que ser producidas, utilizando la tierra como recurso. Esto implica que es necesario identificar **bajo qué circunstancias y en qué tiempo** la producción de alcohol compite con la producción de alimentos, fibras y materias primas.

### **Alimentos**

El aspecto más importante en el establecimiento de un programa de alcohol es su posible incidencia en la producción de alimentos, por la magnitud de las implicaciones socioeconómicas.

**Tierras actualmente cultivables.** En primer lugar, es necesario especificar que solamente una parte muy pequeña del territorio nacional es actualmente cultivable. Por otra parte, los residuos y subproductos de las **cosechas**, el transporte, **almacenamiento, distribución, consumo y posible procesamiento industrial** no se están utilizando eficientemente en la actualidad. Los excesos de producción por la fluctuación de precios y los cultivos no aptos para consumo son difícilmente aprovechables por no existir una infraestructura adecuada.

#### **1. Beneficios esperados:**

- a. No se compiten con el uso de la tierra para la producción de alimentos. La frontera agrícola es la misma, permitiendo una optimización de la actual.
- b. La producción de alcohol aumenta a medida que crece la necesidad de alimentos.
- c. Ofrece garantías y menos riesgos, tanto al agricultor como al intermediario y al consumidor, al concederle un "valor de salvamento" a los productos no aptos para consumo humano o animal.

- d. Permitiría una mayor regulación de precios de los productos agrícolas.
- e. Desarrollo socioeconómico correspondiente a una nueva actividad industrial.

#### **2. Factores limitantes:**

- a. El mayor costo de producción estaría en la recolección y transporte de los residuos. Las plantas tendrían que estar localizadas cerca de las áreas de cultivo, de distribución o de consumo; por otra parte, el tamaño de las plantas tendría que ser pequeño (*unos 20.000 l/día*).
- b. Las plantas tienen que ser diseñadas para fermentar distintos tipos de materia prima. Aunque esto implica una mayor inversión, al mismo tiempo **garantiza estabilidad**, puesto que el diseño se haría sobre la base del suministro regular de una materia prima, que en un principio sería jugo de caña o melaza.

Lógicamente, un programa de alcohol no podría sustentarse **únicamente** en la utilización de residuos y excesos de producción; es indispensable la utilización de tierras marginales dentro de la actual frontera agrícola, y de tierras actualmente no cultivables.

**Tierras marginales.** El primer atractivo de un programa de alcohol sería considerar estas tierras, puesto que se dispondría de la infraestructura agrícola necesaria, el **factor limitante** de primordial importancia para el desarrollo del programa.

Las tierras marginales más importantes son aquellas en donde se cultiva caña para jugo o panela; la caña juega un papel secundario, puesto que generalmente existe otra actividad económica (*p. ej., café, ganadería*). Normalmente, las técnicas del cultivo, **extracción** del jugo y procesamiento **no son eficientes**, perdiéndose un gran potencial de biomasa.

El área de caña cultivada para jugo o panela es 2 veces y media la cultivada para azúcar (*320.000 vs. 130.000 ha.*), mientras que la producción es **la mitad** (*1'400.000 t de azúcar y melaza vs. 700.000 t de panela*).

**La utilización de tierras marginales fortalece y complementa el primer aspecto de producir alcohol a partir de residuos y excesos de producción;** es decir, es posible que la mayor localización de las plantas sea en tierras marginales con cultivos de caña cercanos a otro tipo de cultivos

Se puede concluir que en el corto plazo, la utilización de tierras marginales sería un estrategia para iniciar el programa, de tal forma que permita la utilización de residuos y disminuya la cuantiosa inversión inicial en las obras de infraestructura agrícola de tierras no cultivables.

Nuevamente, la restricción para estas áreas son el transporte y el tamaño de las plantas que serían pequeñas, posiblemente del orden de 50.000 l/día.

La utilización de tierras marginales **compite con la expansión de la producción de alimentos en un futuro** y, por lo tanto, serán desplazadas para la producción de alimentos (*cuya actividad es más rentable*) en el corto y mediano plazo.

**Tierras actualmente no cultivables.** En el **largo plazo** se requiere una inversión alta en infraestructura agrícola (*carreteras, puentes, sistemas de irrigación, transporte, tecnología agrícola, equipo y maquinaria, acondicionamiento de tierras, mano de obra, etc.*) para llegar a la utilización de estas tierras actualmente no cultivables. Sin embargo, la utilización de estas tierras es necesaria para sustentar la magnitud de un programa de alcohol.

En el largo plazo, la necesidad de alimentos tiene que desplazar los cultivos de energía, los cuales a su vez tendrán que continuar expandiéndose (*con inversiones en infraestructura*), hasta el punto de no ser posible una mayor expansión (*por limitaciones de tierra o capital*); **en ese momento, la producción de alimentos y alcohol será competitiva.** Sin embargo, es claro que un programa de alcohol sería dinámico, con una expansión acelerada que utilizaría en forma competitiva los recursos de capital y de tierra con otras necesidades humanas básicas.

## Fibras

Hoy día, la mayor parte de las fibras textiles son

**sintéticas**, fabricadas a partir de los derivados del petróleo (*poliester, acrílicas, poliamidas, nylon*); sin embargo, el escandaloso aumento en los precios ha hecho nuevamente competitiva la producción de fibras **naturales** (*lana, algodón, seda*) o **semisintéticas** (*acetato de celulosa, rayón, viscosa, nitrocelulosa, nylon, celofán*).

Solamente las fibras naturales y las semisintéticas pueden competir en el uso de la tierra con alimentos y la producción de alcohol. La competencia con los alimentos está dentro de la problemática agrícola y, de hecho, existen las crisis clásicas que terminan en la diversificación de cultivos. Es necesario evaluar nuevamente la competencia entre fibras y alcohol para la tierra, bajo el concepto de **subproductos y residuos.**

En el caso del sector algodonero que fácilmente tiene problemas de cultivos financieros, de precios, etc., existe gran cantidad de residuos en el procesamiento, los cuales son precisamente la materia **prima clásica** para la producción de **acetato de celulosa** y derivados de la celulosa, como se vio anteriormente, estos residuos serían una materia prima ideal para la producción de alcohol por hidrólisis de celulosa.

Otro residuo del algodón es la semilla de algodón, de la cual se extrae el aceite de algodón, quedando a su vez como subproducto, la torta de algodón, y residuo, la cáscara de la semilla. Esta cáscara es una materia prima equivalente al bagazo para la producción de alcohol y furfural, y tiene también valor como complemento energético. Es importante notar que las calderas de bagazo son más eficientes al utilizar esos residuos celulósicos, por cuanto su contenido de humedad es menor del 50% que normalmente tiene el bagazo.

Las fibras **semisintéticas** se obtienen a partir de los residuos de celulosa y, por lo tanto, no compiten en el uso de la tierra. Además del acetato de celulosa, la fibra de mayor expectativa en el futuro es el nylon 66, obtenido a partir de furfural (*vía adiponitrilo-hexametilendiamina*). Este proceso fue desplazado por la obtención de productos petroquímicos de bajo costo (*benceno y butadieno*), situación que ya ha cambiado.

Dentro del concepto de **fibras** se halla también la obtención de **pulpa y papel.** La producción de

maderas para pulpa compite con el uso de la tierra en forma desfavorable por el tiempo excesivamente largo de los cultivos; por ello, es de esperarse una mayor tendencia hacia la obtención de pulpa y papel a partir de los residuos celulósicos, básicamente el bagazo. Es conveniente anotar la obtención de papel a partir de los tallos de plátano y tusas de maíz.

Finalmente, dentro de las fibras, en Colombia es de vital importancia el cultivo del **fique** para empaques. A pesar de la baja rentabilidad de estos cultivos, es de esperarse que tengan un mayor valor en el futuro, por cuanto compiten directamente con el polipropileno.

Las tierras para el cultivo del fique difícilmente son adecuadas para el cultivo de la caña o la yuca; de esta forma, el uso de la tierra para fique compite con otros cultivos, pero tal vez no para alcohol. Los residuos de fique son reactivamente pocos, pero su utilización dentro del programa de alcohol es válida.

En conclusión, un programa nacional de alcohol no compite con el uso de la tierra para fibras sino que complementa todas las actividades, bien sea dando crédito energético a los resultados celulósicos o considerándolos como materias primas para la obtención simultánea de alcohol, furfural y derivados, fibras celulósicas y papel.

## **Materias primas**

El concepto de materias primas se refiere principalmente al producto de una transformación primaria: así, por ejemplo, si el alcohol compite con el uso de la tierra y se utiliza para obtener otros productos químicos, se puede, entonces, identificar que estas **materias primas provienen indirectamente de los cultivos energéticos**. Este es el concepto básico que se desarrolla en el presente trabajo al evaluar las alternativas del uso del alcohol, como se verá más adelante.

Por otra parte, las únicas materias primas que se obtienen directamente de la tierra son el **caucho**, las **fibras**, los **colorantes** naturales que han sido prácticamente desplazados por los sintéticos, las **esencias** naturales y el **almidón**.

El cultivo del caucho merece una atención especial por los altos precios de este producto y, sobre todo, porque increíblemente aún se importa caucho natural desde Malasia. En Colombia, el cultivo del caucho está prácticamente abandonado, mientras que en otros países se está investigando la forma de optimizar las variedades de crecimiento más rápido; puesto que el latex es una mezcla de hidrocarburos, existe un gran potencial para obtener productos petroquímicos, incluso gasolinas, por la descomposición de este producto. Colombia posee no solamente variedades originales de rápido crecimiento sino también el tipo de clima y suelos para cada variedad. Sin embargo, contrario a toda lógica, se continúa sustituyendo el caucho natural por el sintético.

El almidón se obtiene normalmente a partir de la yuca y el maíz, aunque puede obtenerse a partir de cualquier otro tipo de productos amiláceos (*papa, arroz, etc.*). El uso industrial de almidón está concentrado principalmente en la industria textil y de pegantes, existiendo déficit de producción por los problemas agrícolas, sobre todo de la yuca.

Desde el punto de vista del uso de la tierra, en Colombia existe un gran potencial para la producción de yuca/almidón, pero no se ha desarrollado porque no existe mercado, ya que no hay producción suficiente. Obviamente, este círculo vicioso se rompería con un programa nacional de alcohol, siempre y cuando fuera rentable.

El almidón, al igual que el azúcar, es un hidrato de carbono cuyo costo de oportunidad debe buscarse como sustituto del azúcar, para lo cual se requiere un procesamiento adicional. El almidón y el azúcar son productos que no han sido degradados y, por lo tanto, permiten una mayor rentabilidad si son usados como tales. Al considerarlos como materias primas para alcohol, se **pierde la mitad** en forma de  $CO_2$ . El costo de oportunidad de la caña/yuca para la producción de azúcar/almidón/alcohol se analiza a continuación.

## *Materias primas y su costo de oportunidad*

### **Subproductos y residuos**

Un programa nacional de alcohol debe consi-

derar prioritariamente los **subproductos y residuos actuales** más importantes como son la melaza, el jugo de caña y la celulosa (*principalmente bagazo*); los 2 primeros por su disponibilidad, y el último por estar llamada a ser **materia prima del futuro** para la obtención de alcohol.

**Melaza.** Aunque prácticamente todo el alcohol para uso industrial y licores se produce a partir de la melaza, aún sobra para el mercado de exportación. Una pequeña parte se destina al consumo animal.

La melaza es una materia prima tradicional para la producción de alcohol, por cuanto su transporte y almacenamiento son de fácil manejo y porque es estable a temperatura ambiente. La melaza es una mezcla de azúcares: sacarosa (25-40%), glucosa y fructosa (12-35%) (*azúcares fermentables*).

Para efectos de cálculos, se puede estandarizar que melazas con contenido de 50% de azúcares fermentables tendrían un rendimiento esperado de:

3,5 kg melaza (50%)

---

Litro de alcohol (100%)

Por cada kg de azúcar se producen normalmente 0,35 kg de melaza, de tal forma que para una producción esperada de azúcar de 1.300.000 l/año, en los próximos años se obtendrían 455.000 l/año de melaza, equivalentes a 130 millones de l de alcohol/año.

Puesto que la producción total de alcohol del país no alcanza a los 60 millones de l/año, existe un potencial en la melaza para producir alcohol en 2 destilerías de 100.000 l/día (*33 millones de l/año cada una*).

La magnitud de este potencial y su continua expansión en el futuro deben ser consideradas en un programa de alcohol; sin embargo, se hacen necesarias las siguientes observaciones:

1. La producción de alcohol a partir de melaza **no implica inversiones** en infraestructura agrícola. Si se compara con la alternativa de instalar 2 destilerías nuevas a partir de

melaza o de caña en tierras **no cultivables** o marginales, se concluye obviamente la factibilidad a partir de la melaza, por cuanto la **infraestructura industrial** (*molino, caldera, generadores*) ya está en los ingenios y la menor inversión correspondería únicamente al proceso de fermentación y destilación. Esta característica merecería un análisis especial en el caso de que el programa de alcohol requiera **subsídios** o tratamientos especiales a los productores.

2. La obtención de alcohol carburante **no es rentable** a partir de melaza, a los precios actuales de ésta. Esto se debe a que el mayor consumo de melaza en el país (*más del 90%*) está en manos de las industrias licoreras que pueden absorber un precio alto de melaza para la producción de licores. El precio de la melaza es prácticamente el precio del azúcar con un descuento del 15%, el cual, en muchos casos, no compensa el alto costo del transporte de un 50% de agua o el uso de una materia prima más eficiente (*jugo, miel virgen o la misma azúcar*), así que existe una tendencia generalizada a sustituir la melaza.
3. Si el precio de la melaza es el factor limitante para intensificar su uso en la producción de alcohol, es necesario revisar la política de precios de la melaza: en primer lugar, en el mercado interno, el costo de oportunidad de la melaza tenderá a nivelarse (*por encima o por debajo del precio actual*) con el precio de las materias primas competitivas para un programa de alcohol. En segundo lugar, el precio de la melaza en el mercado internacional puede pagarse internamente dentro de un programa nacional de alcohol. En tercer lugar, se prevé un desarrollo acelerado del alcohol en el panorama mundial, de tal forma que el costo de oportunidad de la melaza estará basado en la producción de alcohol y, al mismo tiempo, relacionado con el precio internacional de la gasolina, es decir, se prevé que la **melaza, el alcohol y la gasolina** tendrán un costo equivalente; bajo esta situación de equilibrio **sería preferible la exportación de alcohol** a la de melaza, y al mismo tiempo, sería preferible el consumo interno de alcohol a su exportación; es decir,

se puede llegar a una relación que establezca el precio de la melaza **como una función equivalente al precio internacional de la gasolina.**

Finalmente, se puede asumir que en el mercado internacional los costos de transporte limitarán el precio de la melaza por su alto contenido de humedad y su bajo rendimiento; es decir, un país que importe melaza para producir alcohol tendrá que transportar 4,4 t de melaza/t de alcohol que se pretenda producir. Esta situación favorecerá el mercado internacional del alcohol directamente o de la misma azúcar cruda, cuyo costo de transporte sería la mitad.

Por otra parte, la melaza en el mercado interno es el subproducto que puede absorber un mayor costo de transporte; esta situación podría ser aprovechada dentro del esquema de utilización de otros residuos y subproductos agrícolas; es decir, en lugar de 2 destilerías de 100.000 l/día, se podría pensar entonces en 10 destilerías de 20.000 l/día, localizadas en áreas de cultivos y distribución y **la melaza sería la materia prima básica que sustentaría la utilización de los residuos** para una producción continua de alcohol.

**Jugo de caña.** Se producen anualmente unas 700.000 t de panela en un área de 310.700 ha, con una productividad equivalente a 25 t de caña/ha-año. La productividad normal de un cultivo en áreas no privilegiadas puede ser del orden de 40-60 t/ha-año, mientras que en áreas privilegiadas (*Valle, Cauca, Caldas, Cesar*) puede tener un promedio de 80 t/ha-año. Si tomamos un promedio global de 60 t/ha-año, se puede concluir que solamente se estaría aprovechando un 40% de los cultivos de caña para panela; es decir, anualmente se estarían perdiendo del orden de 11,2 millones de t de caña, equivalentes a 700 millones de l de alcohol/año.

Existiría entonces un potencial para instalar 21 nuevas destilerías de 100.000 l/día en las zonas paneleras **sin desplazar la producción actual de panela.** Este planteamiento requeriría una inversión alta en el sistema de extracción de jugo (*molinos*), manejo de caña, calderas de bagazo, generación eléctrica y destilación de alcohol.

La diferencia con la utilización de tierras **nuevas no cultivables** estaría en la **infraestructura agrícola** que tiene también un alto costo. Puesto que en estas áreas los cultivos son estacionales, se haría necesario un sistema eficiente de concentración del jugo en evaporadores al vacío para almacenarlo y posteriormente usarlo; **esto requeriría una inversión menor**, una vez que se tenga la generación de vapor en calderas de bagazo. El jugo concentrado o miel virgen sería competitivo con la melaza; por lo tanto, los planteamientos anteriores sobre la melaza son igualmente aplicables para la miel virgen.

Finalmente, no se debe pasar por alto que éste sería un aprovechamiento marginal de la caña **sin costo de materia prima**; sin embargo, puesto que la industria de la panela es de las que más se ve afectada por la fluctuación de precios, el mejor aprovechamiento de la caña y su utilización alterna con alcohol sería una solución definitiva al problema de la panela en Colombia, como se analiza más adelante.

El potencial de producción de alcohol a partir del jugo de caña marginal es ya una cifra de gran significado, equivalente a 1.980.000 l/día que con el uso de la melaza para alcohol, llegaría a los 2.098.800 l/días.

Un objetivo inicial de sustituir **hasta** un 20% de gasolina por alcohol podría ser inicialmente logrado **dentro** de la misma frontera agrícola con **la mayor de las inversiones en el sector industrial y no en el sector agrícola.**

**Celulosa.** La celulosa es un polímero de unidades de glucosa, las cuales se podrían utilizar para obtener alcohol si el polímero se pudiera descomponer fácilmente

La tecnología para producir alcohol por hidrólisis ácida fue desarrollada en Alemania (*proceso Scholler*) antes de la II Guerra Mundial. El desarrollo de esta tecnología ha sido muy lento y solamente se tienen datos de plantas en operación en la Unión Soviética (*para levadura y alcohol*). Recientemente se ha vuelto a considerar la celulosa como una materia prima potencial para la producción de alcohol, y se han llevado a cabo estudios, tanto de hidrólisis ácida como enzimática. El objetivo de todos estos ensayos es básicamente

camente bajar el costo de producción, disminuyendo la inversión (*por mejoras en el proceso*) y aumentar los rendimientos.

La tecnología desarrollada hasta el momento tiene una eficiencia de

$$\frac{2.5 \text{ kg de celulosa}}{\text{Litro alcohol (100\%)}}$$

que, si se compara con la eficiencia de la melaza, se observa que un proceso sería atractivo si tuviera una fuente con alto contenido de celulosa; esta situación correspondería a los residuos de papel y algodón

La mayoría de la celulosa (50%) en la naturaleza se halla acompañada de la lignina (25%) y la hemicelulosa (25%). Estos 2 factores hacen verdaderamente complicado el proceso de obtención de alcohol, por tanto, los residuos de algodón y papel con alto contenido de celulosa, tendrían una prioridad en el futuro por simplicidad de proceso.

El rendimiento del alcohol a base de bagazo seco (*maderas, cáscaras, etc.*) es del orden de:

$$\frac{5.0 \text{ kg de bagazo seco}}{\text{Litro de alcohol (100\%)}}$$

El potencial de obtener alcohol a partir del bagazo se estima a continuación: para una producción total de azúcar y melaza de 1,55 millones de t, se requieren 13 millones de t de caña. La producción total de caña para panela es del orden de 19 millones de t. Por lo tanto, la producción total de caña es de 32 millones de t y la de bagazo seco (14%) sería entonces de 4,5 millones de t, **que equivalen a 900 millones de l de alcohol/año**. Es decir, habría potencial para 27 nuevas destilerías de 100.000 l/día (16.981 l/día) únicamente con base en el bagazo

La obtención de alcohol a partir del bagazo tendría 2 limitantes, además de la tecnología: en primer lugar, el bagazo se está usando como combustible (*aunque ineficientemente*) y este uso es precisamente la base del balance energético positivo. Como se verá más adelante, en la producción de alcohol a partir de la caña hay un

exceso de bagazo (*o de vapor*) que se podría utilizar en la obtención de alcohol; sin embargo, si todo el bagazo se procesa para alcohol, queda un residuo de **lignina**, el cual sería la nueva fuente energética para las calderas.

Por otra parte, la hemicelulosa contenida en el bagazo sería la base para la obtención de furfural, materia básica para la fabricación de nylon, resinas, solventes, y competiría como materia prima con los productos petroquímicos si se pudiera producir a un costo bajo. Esto daría un crédito muy importante al proceso; el rendimiento del furfural (*además del alcohol*) es del orden de:

$$\frac{10 \text{ kg de bagazo seco}}{\text{kg furfural}}$$

La cantidad de celulosa que se encuentra disponible en la naturaleza (*no en forma de madera*) complementa cualquier déficit energético. Es necesario mencionar los residuos de cascarilla de café que se hallan precisamente en la mayoría de las zonas productoras de panela, y además la cascarilla de arroz, algodón, soya, tusas de maíz, coco, etc. Al darle un valor energético a éstos, es posible determinar los límites de transporte con base en su costo; estos residuos son también materias primas equivalentes al bagazo para la producción de alcohol y furfural. Si se llegara a la obtención de alcohol a partir del bagazo, el carbón podría completar el déficit energético de la lignina y los residuos celulósicos.

Como se puede observar, el uso del bagazo y de los **demás residuos celulósicos de otros cultivos** puede permitir una producción adicional de alcohol dentro de la misma frontera agrícola y sin inversiones adicionales en **infraestructura agrícola o industrial**; más importante aún, es que alarga el tiempo de necesidad de utilizar tierras cultivables y, sobre todo, aplaza aún más el momento en que la producción de alcohol compita con la producción de alimentos.

*Caña de azúcar /yuca: relaciones de equilibrio*

La materia prima juega un papel decisivo en el

programa. Con el fin de visualizar los factores más relevantes, se asume que existen 2 productores potenciales: el primero es el agricultor que estaría dispuesto a vender su producción de caña o yuca puesta en la puerta del segundo productor potencial que sería el industrial, encargado de procesar y vender a un tercero (*gobierno*) la producción de alcohol.

Cada tipo de producción requiere de una gran inversión en **Infraestructura**: para el sector agrícola estaría representada por carreteras, puentes, sistemas de riego, pozos, sistemas de cultivo y transporte, mano de obra, equipos, insumos, etc. Para el sector industrial, la inversión básica **independiente del producto final** sería sistema de manejo y recolección del producto caña/yuca; sistema de extracción (*molinos*); caldera de bagazo/carbón/residuos; sistema de generación eléctrica; y sistema de evaporación al vacío.

Dependiendo del uso final, habría una inversión adicional que sería **mucho menor** que la anterior para llegar a la producción de alcohol/azúcar/panela. Se puede estimar que el 80% de la inversión total corresponde a la infraestructura y, por lo tanto, el **factor limitante** es la **inversión inicial**.

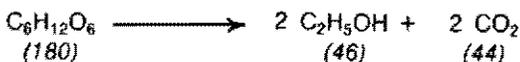
La relación entre los 2 tipos de producción es la **materia prima**; se requiere entonces determinar los factores más relevantes de cada sector que incidan sobre ésta.

Existen 2 formas de hacerlo: definir un precio variable para la materia prima caña/yuca/ o determinar el **precio mínimo al cual se podría vender el alcohol**. Si la gasolina importada está a un precio mayor o igual que el mínimo del alcohol, el proyecto es atractivo. Sin embargo, puesto que el precio de la caña/yuca no es **estable**, no está **controlado**, ni tiene una variación definida, el análisis anterior no da garantías ni es versátil al proyectar su comportamiento. El precio de la gasolina importada es más relevante que la tonelada de caña/yuca, es creciente,

tiene controles y se tiene información diaria del mismo. Se asume que el **costo de oportunidad mínimo del alcohol es el precio internacional de la gasolina**. Con base en lo anterior, se determina la rentabilidad y el costo de producción, con el cual queda fijo el precio máximo que se puede pagar por **una tonelada** de caña/yuca. Si los costos de producción y recolección son menores que dicho precio, el programa es atractivo. Este segundo análisis es el que se usa en el presente trabajo.

### Rendimientos del proceso

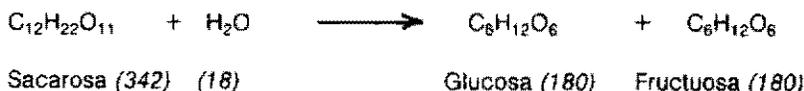
El alcohol puede ser producido por cualquier tipo de azúcar fermentable o compuestos que, por hidrólisis, produzcan azúcares fermentables. Los azúcares fermentales más comunes son la glucosa, la dextrosa y la fructuosa (*azúcares de 6 carbonos*) que, por acción de la levadura, producen alcohol y CO<sub>2</sub> en un sistema anaeróbico. La reacción que se lleva a cabo es:



El rendimiento teórico de la producción de alcohol es  $(2 \times 46) / 180 = 0,51$  kg de alcohol/kg de azúcares + 0,489 kg de CO<sub>2</sub>/kg de azúcar fermentable. Es muy importante notar que por cada kg de alcohol se producen 0,956 kg de CO<sub>2</sub>. El proceso industrial del alcohol puede garantizar un 90% de rendimiento, equivalente a 0,46 kg de alcohol/kg de azúcar fermentable; en términos volumétricos (*densidad del alcohol a 25°C = 0,785*), la relación anterior normalmente se expresa como:

$$\frac{1,71 \text{ kg de azúcares fermentables}}{\text{Litro de alcohol anhidro}}$$

La caña produce inicialmente **sacarosa**, la cual se hidroliza a los azúcares fermentables, glucosa y fructuosa, de acuerdo con la siguiente reacción:

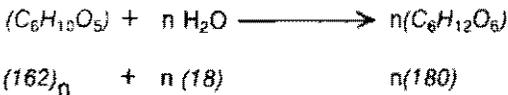


Como se puede observar, el agua se incorpora a la sacarosa, produciendo entonces  $(360)/(342) = 1,052$  kg de azúcar fermentable/kg de sacarosa. La producción de alcohol, en términos de sacarosa, sería entonces:

1,63 kg de azúcar (sacarosa)

Litro de alcohol anhidro

La yuca produce inicialmente almidón, el cual es un polímero de unidades de glucosa que al hidrolizarse (con ácidos o enzimas) produce finalmente glucosa, de acuerdo a la reacción:



En el caso del almidón hay una mayor incorporación de agua, por lo cual el almidón da un mayor rendimiento (6% más que el azúcar) si se producen  $(180)/(162) = 1,11$  kg de glucosa/kg de almidón; el rendimiento industrial, en términos de almidón, sería entonces:

1,54 kg de almidón

Litro de alcohol anhidro

### Costos de producción; inversiones

El análisis detallado de los costos de producción y de las inversiones es supremamente importante y justifica todo un estudio al respecto. Aquí se determina una **estructura** general de costos con base en datos de operación industrial recopilados de diversas fuentes. Se tomó como base una destilería de 100.000 l/día (33 millones de l/año), cuya inversión total puede ser del orden de Col\$ 1000 millones (US\$ 22 millones) que comprendería: sistema de bagazo, molino, evaporadores, fermentación, destilación, caldera de bagazo, turbogeneradores, servicios y obras civiles.

Para analizar la factibilidad de un proyecto de alcohol, se requiere encontrar una función que relacione el precio máximo que se puede pagar por una tonelada de caña con el costo de produc-

ción de alcohol y la rentabilidad, expresada de la siguiente manera:

$$Q = F(e, m, n, r, P)$$

donde:

Q = Precio máximo de una tonelada de caña, \$/t

e = Eficiencia de extracción del azúcar en la caña; se asume un valor constante del 90%.

m = Contribución de la materia prima al costo total.

n = Contenido de azúcar en la caña, 10-14%.

r = Retorno global sobre la inversión (incluyendo impuestos), expresado como un % del precio de venta del alcohol.

P = Costo de oportunidad del alcohol, equivalente al precio internacional de la gasolina en \$/gal.

De la expresión anterior se obtiene la relación de equidad R que se expresa como:

$$R = P/Q = f(e, m, n, r)$$

Esta relación es independiente de los precios, tanto de la caña como del alcohol y, por tanto, su análisis es válido en situaciones cambiantes de precios.

De las variables anteriores, la más significativa es el costo de la materia prima, ya que representa alrededor del 70% del costo total; en los casos en que el combustible es el **bagazo**, la materia prima es, prácticamente, el costo variable. Este porcentaje varía de acuerdo a la inversión; entre mayor sea la inversión, la depreciación y los gastos financieros serán mayores y, por lo tanto, el costo variable será menor.

El segundo factor de importancia es el retorno a la inversión. Como la inversión no es una variable de análisis en este trabajo, se expresa en términos equivalentes como un porcentaje de contribución respecto al precio de venta. Un

retorno a la inversión del 25% para una planta de alcohol es equivalente a un 15% de contribución sobre el precio de venta, incluyendo impuestos.

## Caña

La caña varía, tanto en su rendimiento por hectárea como en su contenido de azúcar. La producción/ha-año puede variar entre 40 y 80 t, dependiendo de la estacionalidad de los cultivos, tipo de suelo y clima. El contenido de azúcar también varía entre 10 y 14%. Un factor que agrupa estos 2 factores es el contenido equivalente de azúcar (como sacarosa/ha-año). Este parámetro varía entre 4 y 11,2 t de azúcar/año y se puede asumir un valor promedio de 7,6 t de azúcar/ha-año.

Un segundo factor de consideración sería la "eficiencia" de extracción del azúcar. Con la introducción de molinos se aumentaría la recuperación del azúcar a los niveles del 90%, de tal manera que el azúcar disponible en forma de jugo sería 6,84 t de azúcar/ha-año, equivalentes a  $(6,84/1,63) = 4200$  l/ha-año.

La variación de esta producción con base en el tipo de caña estaría entre 2200 y 6200 l/ha-año. Estos valores son significativos cuando se comparan con un promedio de 3300 l/ha-año en el caso del Brasil.

**Sistema jugo-alcohol.** El primer problema que se presenta con la utilización del jugo es que la mayoría de los cultivos de caña tienen épocas de cosecha y, por lo tanto, el jugo se produce solamente durante unos meses del año. El jugo de caña se descompone fácilmente y su transporte es antieconómico. Esto implica que las destilerías tendrían que operar únicamente una parte del año, a menos que existiera una materia prima alterna para el resto del año. Dentro de este aspecto es necesario identificar el problema laboral y la posible ocupación de la gente en épocas no productivas de caña; la simbiosis con

otros cultivos como café/yuca sería indispensable pero, por otra parte, la inversión tan alta en la infraestructura y proceso del alcohol requiere una utilización máxima de planta; para ser rentable, la solución de una materia prima alterna es atractiva, pero posiblemente no llegue a alcanzar los niveles de producción esperados (100.000 l/día).

La alternativa que se presenta sería entonces la de concentrar el jugo para evitar su descomposición y permitir el almacenamiento y posible transporte. En la época de cosecha, una parte del jugo se procesaría a alcohol directamente y la otra se almacenaría para usarse en la etapa siguiente. Esta alternativa permitiría trabajar continuamente todo el año, tendría un costo de operación adicional por la evaporación del jugo, pero también la inversión sería menor, por ser una planta de menor tamaño.

A manera de ejemplo, se evaluarían las alternativas de una planta de 100.000 l/día que trabaje 6 meses al año, contra otra de 50.000 l/día que opere todo el año. La cantidad de caña sería la misma en ambos casos.

Otro aspecto de mucha importancia en la segunda alternativa sería que haría más versátil el sistema, por cuanto el jugo concentrado tendría otro costo de oportunidad (*diferente al alcohol*) para su venta a otras destilerías del país, en el mercado de exportación o para la producción de panela. Esto requiere un análisis más detallado ya que, a pesar de ser el mismo cultivo, la inversión, los costos de operación y la rentabilidad serían diferentes, de acuerdo al tipo de sistema escogido. Aparentemente sería más atractiva la segunda opción de operación continua, aunque posiblemente las diferencias no sean significativas, ya que los países que tienen zafra como el Brasil, han escogido la primera.

El precio máximo de la tonelada de caña y las relaciones de equidad para el sistema jugo-alcohol se desarrollan así:

**Base:** 1 gal de alcohol anhidro (3,78 l de alcohol)

Azúcar necesaria:  $1,63 \times 3,78 = 6,16$  kg. de azúcar

Eficiencia de extracción (90%)  $6,16/0,9 = 6,84$  kg de azúcar

Caña necesaria ( $n\%$  azúcar).  $6,84/n$  kg de caña

Costo total ( $m\%$  materia prima):  $6,84/m \times n$  kg de caña

$$\text{Precio de venta (r\% contribuci3n): } \frac{6,84}{m \times n \times (1-r)} \text{ kg. de ca\~na}$$

$$\text{Equidad: } P (\$/gal.) = \frac{6,84}{1000 \times m \times n \times (1-r)} Q (\$/t)$$

$$\text{Precio m\~ximo de la ca\~na } Q = \frac{1000 \times m \times n \times (1-r)}{6,84} P (\$/gal.)$$

$$\text{Relaci3n de equidad } R = \frac{1000 P}{Q} = \frac{6,84}{m \times n \times (1-r)} \frac{\text{kg. de ca\~na}}{\text{gal. de alcohol}}$$

Las relaciones anteriores son generales y se pueden evaluar para valores dados de  $m$ ,  $n$  y  $r$ . As\~i, por ejemplo, si se toma el caso promedio de ca\~na con un 12% de az\~ucar ( $n$ ), la contribuci3n de la materia prima en un 70% al costo total ( $m$ ) y la contribuci3n sobre el precio de venta ( $r$ ) el 15%, las relaciones anteriores ser\~ian:

$$Q (\$/t) = \frac{1000}{95,8} P (\$/gal.)$$

$$R = \frac{1000 P}{Q} = \frac{95,8 \text{ kg de ca\~na}}{\text{gal de alcohol}}$$

La relaci3n anterior establece entonces que para un precio de \$50/gal de alcohol, el precio m\~ximo de la tonelada de ca\~na ser\~ia de \$520, o de \$1040, cuando el gal3n de alcohol cueste \$100. En ambos casos, la relaci3n de equidad es la misma, lo cual significa que se necesita la misma cantidad equivalente de ca\~na para un gal3n de alcohol, independientemente de los precios.

Puesto que los datos puntuales no permiten una proyecci3n de precios, es necesario hacer un an\~alisis de sensibilidad, variando los factores b\~asicos de la estructura de costos seg\~un el contenido de az\~ucar en la ca\~na y la contribuci3n de la materia prima al costo total.

En la Figura 5 se ha representado el comportamiento del sistema cuando el precio del alcohol

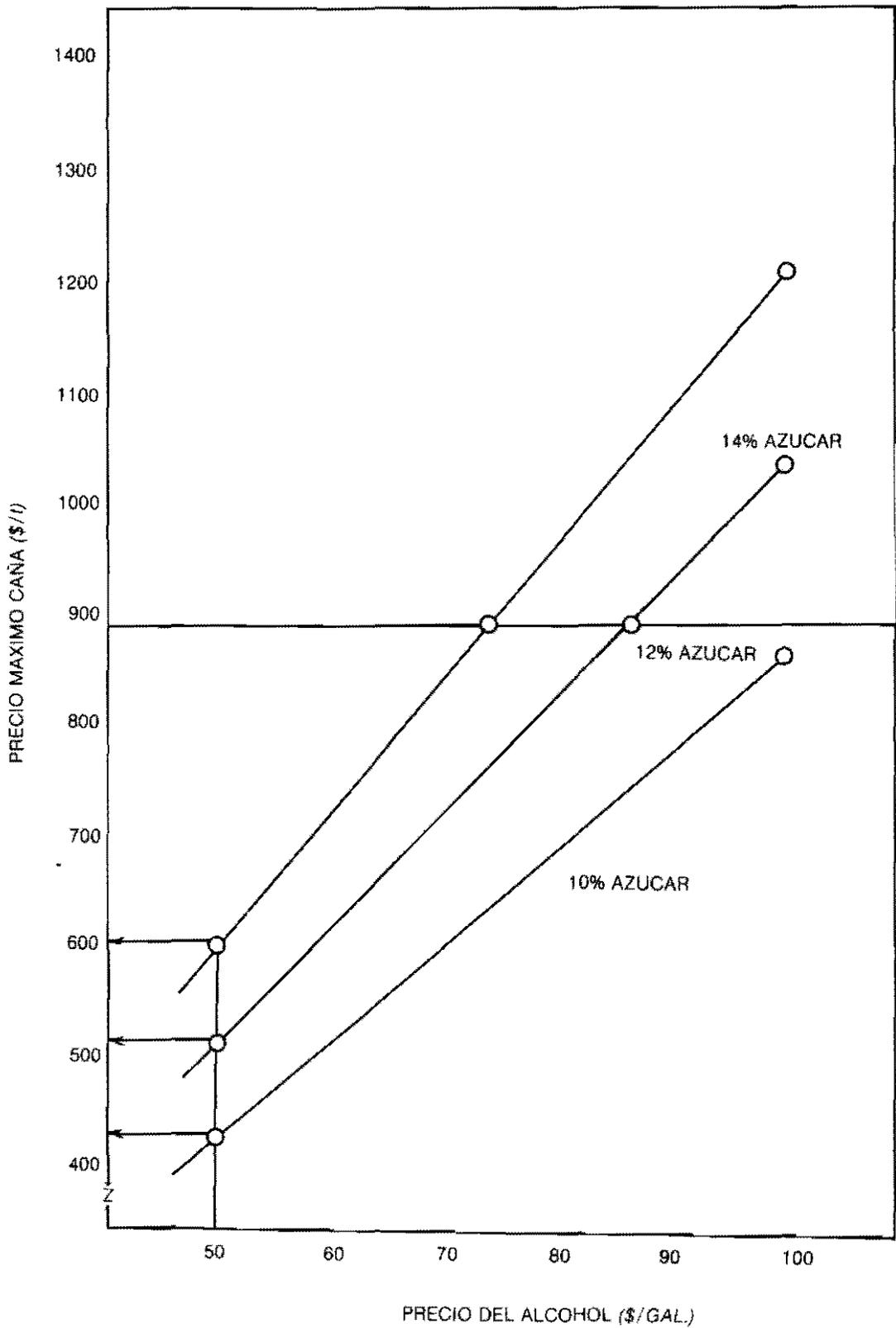
var\~ia entre \$50-100/gal y para un contenido de az\~ucar en la ca\~na entre 10 y 14%. Como se puede observar, el precio m\~ximo de la tonelada de ca\~na para un precio de \$50/gal puede variar entre \$435 y \$610, muy inferior al atractivo precio actual de \$900/t.

El sistema jugo-alcohol no es atractivo a los precios actuales (Fig. 5); solamente empezaría a ser atractivo con ca\~na, del 14 y 12%, y siempre y cuando el gal3n de alcohol tuviera un precio de \$75. Puesto que para esa \~epoca el precio equitativo de la ca\~na ser\~ia mayor, se prev\~e que solamente habr\~ia rentabilidad para ca\~na del 14% y para mayores precios del alcohol.

Si la inversi3n var\~ia o el combustible usado no es bagazo, la materia prima podr\~ia contribuir con un 65 a 75%. Para ca\~na del 12% y un precio del alcohol de \$50/gal, se tendr\~ia que una mayor inversi3n bajar\~ia el precio de la ca\~na a \$485/t (65% contribuci3n) y una inversi3n menor aumentar\~ia la contribuci3n de la materia prima (75%) y el precio de la ca\~na aumentar\~ia a \$560/t.

Como se puede observar, el rango de variaci3n en el precio de la ca\~na (\$560-485 = \$75) por variaciones en la inversi3n, es menor que el rango de variaci3n por contenido de az\~ucar en la ca\~na (\$610-435 = \$175).

En cuanto al retorno a la inversi3n, se ha asumido un 15% sobre el precio de venta como un valor aceptable incluyendo impuestos. Si este valor variara por efecto de la inversi3n o por impuestos, el precio m\~ximo de la ca\~na tambi\~en



variaría. Para un precio del alcohol de \$50/gal con caña del 12 y 70% de contribución de materia prima, el retorno podría asumirse que variara entre el 10 y el 20% sobre el precio de venta. En el primer caso, el precio de la caña sería de \$550 y en el segundo, de \$490. El rango de variación ( $550-490 = \$60$ ) es también menor que el del contenido de azúcar en la caña.

Por lo tanto, el rango más relevante de análisis es el del contenido de azúcar en la caña, sin perder de vista que todas las variaciones podrían ocurrir al mismo tiempo. El caso extremo de una caña del 14% con un 75% de contribución de materia prima y 10% de contribución sobre el precio de venta daría un precio máximo de caña de \$690 para un precio de alcohol de \$50/gal. Aunque es improbable que esto ocurra, estaría aún cerca al máximo valor (\$610) del rango por variación de contenido de azúcar.

Con base en lo anterior, los análisis que siguen se toman variando el contenido de azúcar en la caña, con una materia prima que representa el 70% del costo total y un retorno a la inversión, equivalente al 15% sobre el precio de venta.

Se puede concluir que solamente la producción de alcohol no sería suficiente para sustentar la rentabilidad de un programa; por esta razón, es

necesaria la evaluación de alternativas. Como se verá más adelante, el balance energético, la utilización de subproductos y la diversificación de usos del alcohol son indispensables para garantizar el programa en el corto plazo.

**Sistema jugo-alcohol-panela.** La producción de alcohol garantiza la utilización total de la caña, elimina los excesos de producción y estabiliza los precios de la panela, **pero no es rentable en las condiciones actuales.** La producción de panela aumenta la rentabilidad y puede hacer rentable el sistema alterno alcohol/panela.

Los casos extremos de producción de alcohol o panela permiten visualizar, a manera de ejemplo, una combinación de alcohol del 25-50-75% y el resto de panela. La distribución real estaría determinada por el **mercado de la panela.**

El precio máximo de una tonelada de caña es una combinación de las expresiones anteriores para alcohol y panela, teniendo en cuenta qué porcentaje del azúcar se destina a alcohol.

Base 1 kg de azúcar distribuido en X kg de azúcar para alcohol y (1-X) kg de azúcar para panela

$$\frac{\text{Precio máximo}}{\text{Tonelada de caña}} = Q = 1000 \times n \times (1-r)$$

$$\left[ \frac{X}{6.84} \quad m \times P + \frac{(1-X)}{1.11} \quad m_1 P_1 \right]$$

En donde, m y m<sub>1</sub> son las contribuciones de la materia prima para alcohol y panela (70 y 80%), y P (\$/gal.), P<sub>1</sub> (\$/kg.) son los precios para el alcohol y la panela.

La expresión anterior se presenta en las Figuras 6-8 para un 50, 75 y 25% de alcohol, respectivamente, variando el precio de la panela entre \$10 y \$20/kg, y el precio del alcohol entre \$50-100/gal. y considerando los casos límites de contenidos de azúcar del 10 y 14%. Las siguientes conclusiones se pueden obtener para cada combinación de alcohol/panela, tomando como punto de referencia un precio de caña aceptable de \$900/t.

**50% alcohol - 50% panela (Fig. 6).** Para un precio bajo de panela (\$10/kg, \$220/caja), no es rentable producir alcohol/panela, ni siquiera con caña de 14% de azúcar. Un precio de panela de \$15/kg (\$330/caja) mejora la rentabilidad pero no es rentable con contenidos de azúcar del 10%, y solamente es atractivo con caña entre un 12 y 14%. Si el precio de la panela es de \$20/kg (\$440/caja), sería rentable a todos los niveles de contenido de azúcar en la caña, con una pequeña restricción para un contenido de azúcar del 10% (se necesitaría un precio mínimo de \$65/gal. de alcohol).

**75% alcohol - 25% panela (Fig. 7).** El factor

más relevante es el precio del alcohol; a precios bajos del orden de \$50/gal, no es rentable para ningún precio de panela, incluso con niveles altos de azúcar en la caña. Puesto que la producción de panela es baja, la rentabilidad solamente se logra a precios altos de alcohol pero, sobre todo, a niveles muy altos de azúcar. Si el contenido de azúcar es de 10% únicamente, el proyecto no es rentable ni siquiera al precio máximo de alcohol de \$100/gal.

**25% alcohol - 75% panela** (Fig. 8). En este caso, el precio relevante es, lógicamente, el de la panela; el precio del alcohol no influye significativamente, incluso a niveles altos. Con precios de panela bajos (10/kg), el sistema no es rentable; se necesitan precios de alcohol de \$100/gal y contenidos de azúcar del 14%. Si el precio de la panela es alto (*mayor que \$15/kg*), el sistema es rentable en todo el rango de precios de alcohol, con la excepción de bajos contenidos de azúcar (10%) para panela de \$15/kg.

Se puede concluir que el sistema alcohol-panela es versátil, y permite rentabilidades de acuerdo a las variaciones de los precios en el futuro. Es un sistema dinámico que puede responder a las variaciones del mercado del alcohol y la panela.

Desafortunadamente, el mercado de la panela en Colombia es un mercado estático; desde hace 20 años se están sembrando alrededor de 310.000 ha y se consume en el país alrededor de 700.000 t; es decir, el consumo per cápita ha ido disminuyendo. Esta situación se puede ver bajo 2 puntos de vista: en primer lugar, un sistema de alcohol/panela proyectado hacia el futuro tenderá a tener una mayor proporción de alcohol que de panela, por cuanto el mercado de panela tiende a disminuir. Esto implica que el alcohol por sí mismo tendría que ser rentable. En segundo lugar, la rentabilidad de la panela tiene mucho riesgo, y es de esperarse que en el futuro, las fluctuaciones de precios se amortiguen un poco, pero no se eliminarán completamente.

Se justifica, entonces, evaluar otra alternativa que ofrezca más garantías en el futuro, la cual sería la producción simultánea de azúcar-alcohol:

**Sistema Jugo-azúcar-melaza-alcohol.** Al introducir el azúcar como alternativa dentro del

programa, se pone de manifiesto que el mercado de la panela, aunque sea muy rentable, llega a estar restringido y no permite expansiones que se justificarían en el **mercado internacional**.

El azúcar permite un costo de oportunidad mejor, tanto en el mercado nacional, donde existe una demanda creciente, como en el internacional, donde los precios han iniciado una tendencia alcista que se supone se mantendrá hasta **tanto sean más rentables los sustitutos potenciales del azúcar**.

El sistema propuesto no se analiza en detalle en el presente trabajo, ya que se puede considerar como una extensión de los modelos presentados, y cuyo comportamiento es semejante. La inversión adicional es poca, comparada con la inversión inicial en infraestructura y servicios.

Con el proceso de producción de azúcar, necesariamente se produce melaza, que sería la materia prima para el alcohol; sin embargo, **si se justifica la combinación de productos** (como en el caso alcohol/panela), una parte del jugo se destinará a la producción, y la otra parte se mezclará con la melaza para la fermentación de alcohol; es decir, la cantidad de alcohol no necesariamente estaría supeditada a la proporción de producción normal de melaza.

El mercado nacional e internacional del azúcar ofrece garantías y estabilidad en el futuro. Por otra parte, el alcohol también ofrece garantías en ambos mercados como combustible o como materia prima. De esta forma, el sistema es muy versátil y se puede ajustar mejor sin pérdida de rentabilidad ante variaciones de precios en el futuro.

## Yuca

La yuca es una materia prima muy importante de analizar dentro del modelo de producción de alcohol, por las siguientes características:

La yuca de por sí es un **alimento** y, por tanto, es prioritario su desarrollo futuro. Dentro del modelo propuesto, la obtención de alcohol a partir de yuca debe mirarse, en primera instancia, como el mecanismo regulador de precios, usando los subproductos, residuos y exceso de producción.

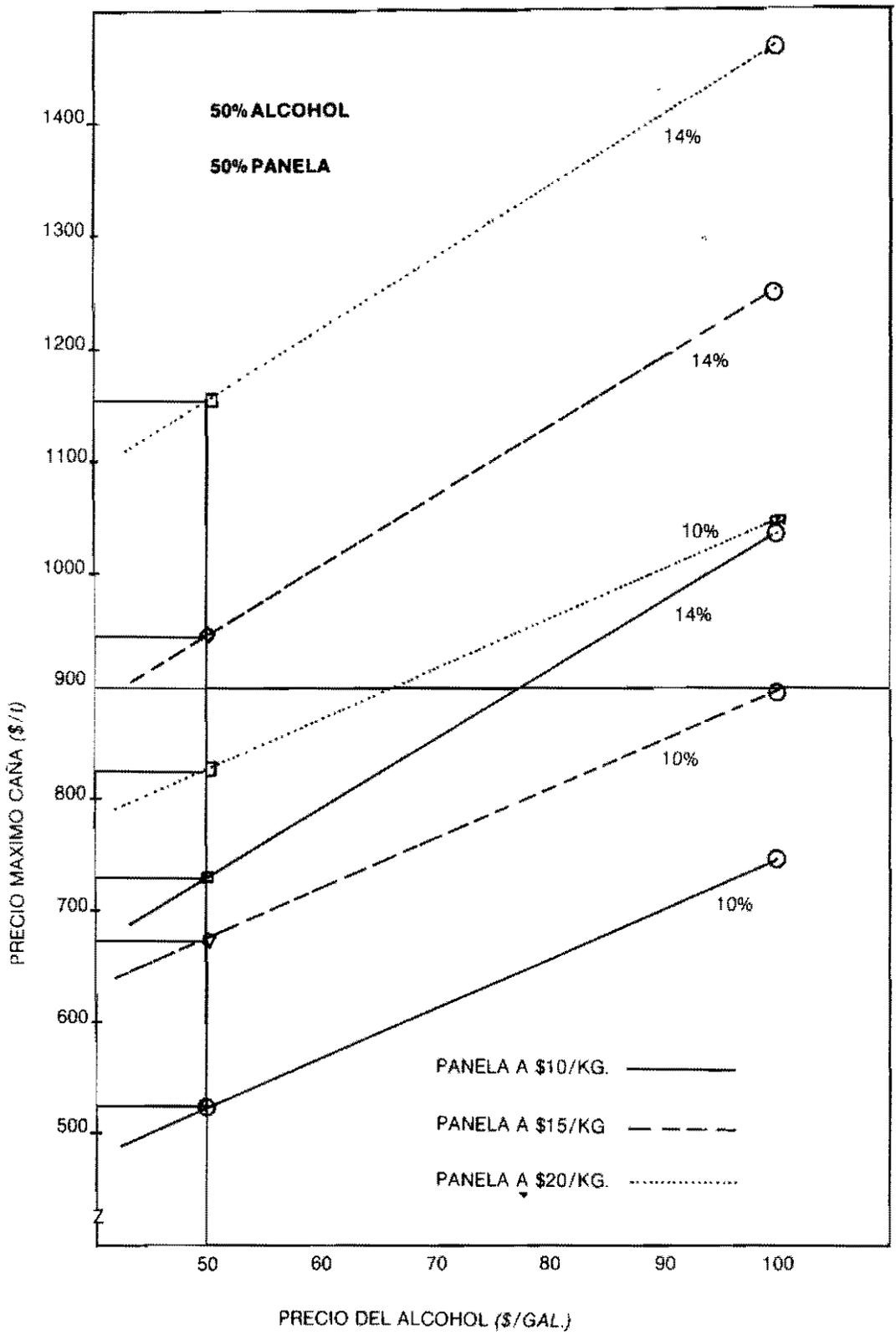


Figura 6. Precio máximo de la caña vs. Precio del alcohol/panela.

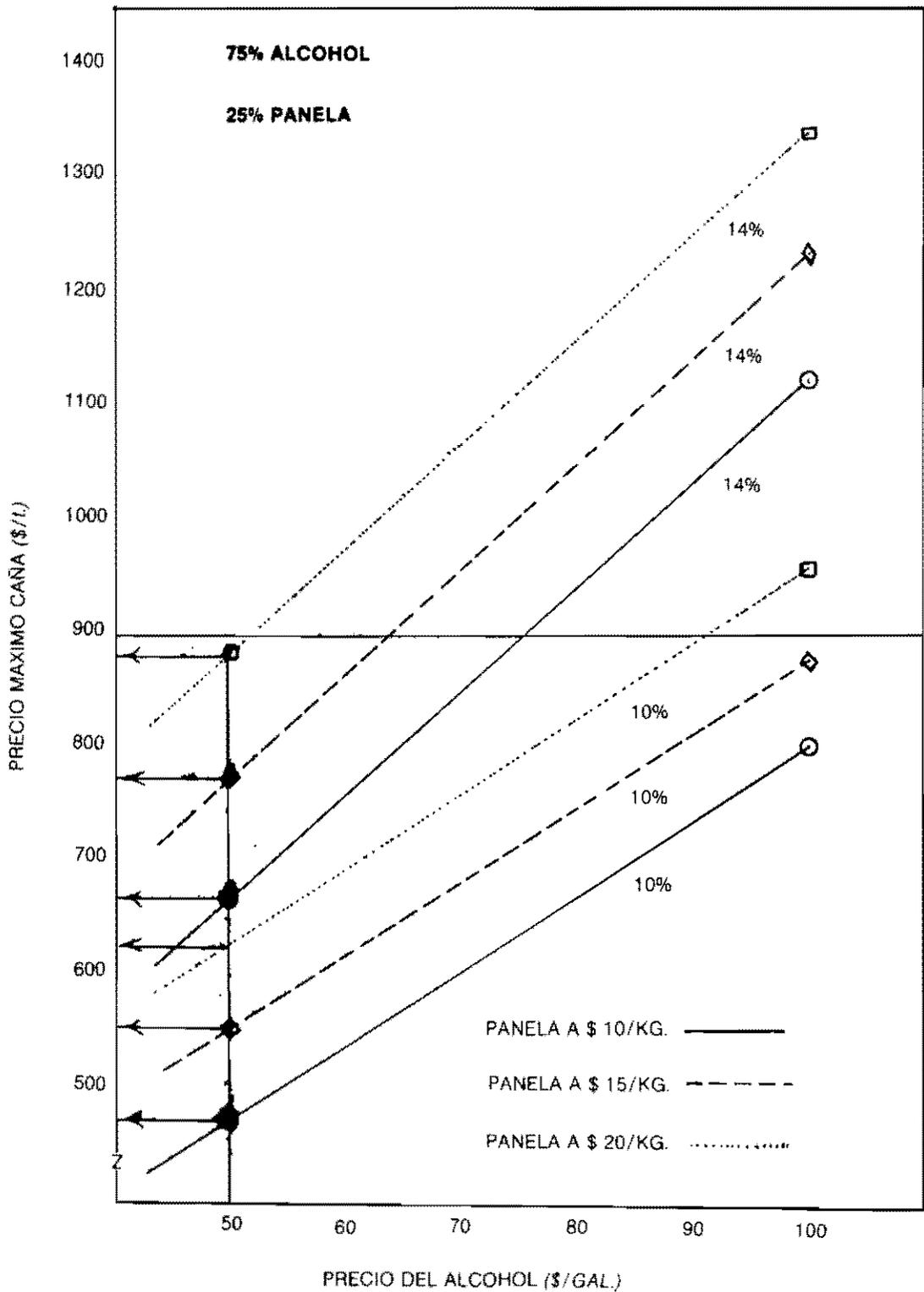


Figura 7. Precio máximo de la caña vs. Precio del alcohol/panela.

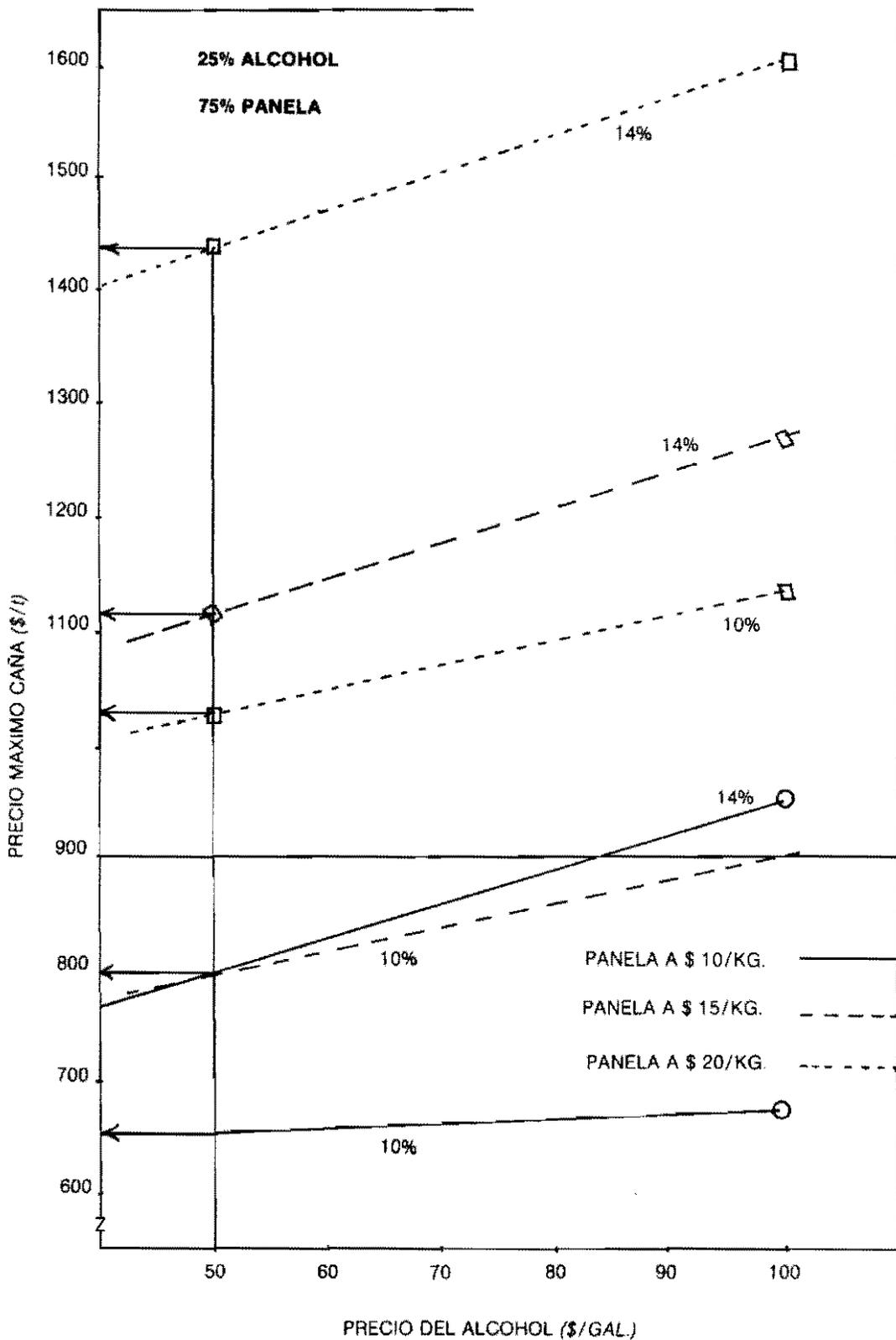


Figura 8. Precio máximo de la caña vs. Precio del alcohol/panela.

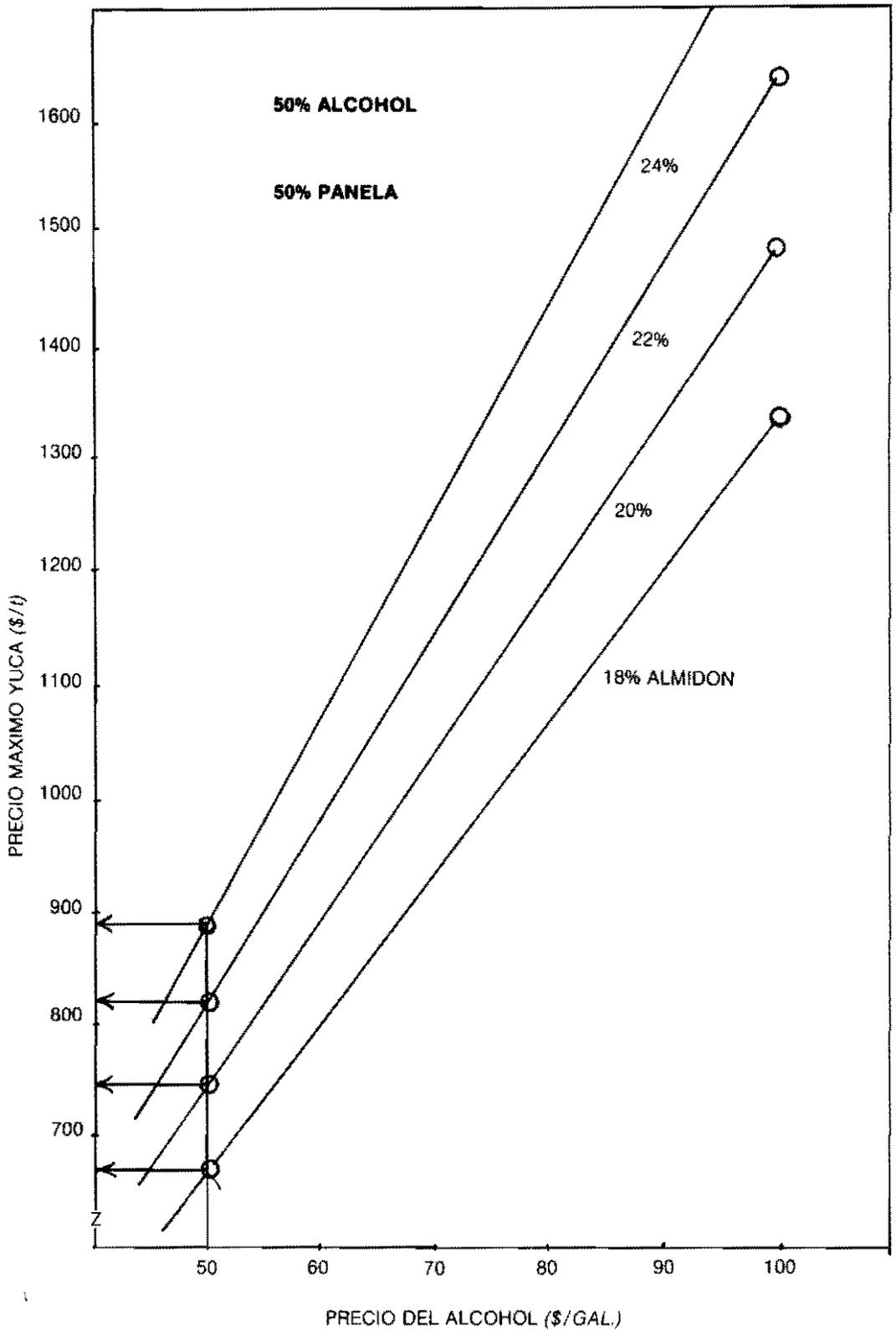


Figura 9. Precio máximo de la yuca vs. Precio del alcohol.

En Colombia solamente hay una empresa que utiliza este concepto para la obtención de almidón-glucosa, pero la falta de infraestructura agrícola ha impedido lograr los resultados esperados.

El área sembrada con yuca es de unas 200.000 ha, lo que hace que el cultivo sea muy importante y significativo para un programa. La producción de yuca también está distribuida en todo el país y la cosecha no es estacional.

En principio se puede decir que el tipo de suelos para el cultivo de la yuca no es óptimo para el cultivo de caña y otros alimentos; es decir, el uso de la tierra no sería competitivo.

En Colombia se ha desarrollado una gran tecnología en el cultivo de la yuca, a través del Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), así que existe un recurso potencial para mejorar resultados.

La caña y la yuca son 2 cultivos que tienen que analizarse bajo los mismos parámetros dentro de un programa de alcohol: infraestructura, rendimientos, costos de oportunidad, balance energético, subproductos, contaminación, etc.

Los cultivos de yuca varían, tanto en su rendimiento/ha como en su contenido de almidón. La producción/ha-año puede variar entre 10 y 30 t, con un contenido de almidón entre 18 y 25%. La producción de almidón/ha-año varía entre 1,8 y 7,5 t.

Igualmente se estima que la eficiencia de extracción normal es del orden de un 85% en el caso de tecnificar el lavado, molienda y recuperación de almidón en las aguas de lavado. El

almidón disponible/ha-año sería entonces de 3,95 t, equivalentes a  $(3950/1,54) = 2560$  l de alcohol/ha-año, cifra que se compara con un valor promedio de 2160 l en el caso del Brasil.

Si las 200.000 ha actuales se dedicaran a la producción de alcohol, se tendría un potencial máximo de 512 millones de l/año (8800 bbl/día) para ser procesados en 15 destilerías de 100.000 l/día. Si se asume que el rendimiento/ha en la mayoría de las zonas del país no alcanza las 15 t y que potencialmente podría llegar a 30 t, habría una disponibilidad **marginal** del orden de 2,01 de almidón/ha-año, equivalentes a 1300 l/ha-año, o sea 260 millones de l (4500 bbl/día) (8 destilerías nuevas). El concepto de aprovechamiento marginal se basará fundamentalmente en el aumento de productividad en los cultivos y, sobre todo, en los rendimientos de extracción y aprovechamiento de residuos.

**Sistema yuca-alcohol.** Se asume que toda la producción de almidón disponible se hidroliza para la obtención de glucosa y posterior fermentación de alcohol. En este sistema hay **2 factores críticos:** 1) un costo adicional significativo por la hidrólisis enzimática del almidón y un mayor consumo de energía (se prefiere la hidrólisis enzimática a la ácida, por rendimientos e inversión en equipos); y 2) el balance energético es negativo y, por lo tanto, es necesario complementar la energía de los tallos con bagazo, carbón y madera.

Siguiendo el mismo procedimiento que se hizo para la caña, se pretende determinar el **precio máximo** de la tonelada de yuca que se puede pagar dentro de un programa nacional de alcohol, variando los precios de la gasolina importada.

Base: 1 gal. de alcohol anhidro (3,78 l)  
 Almidón necesario:  $1,54 \times 3,78 = 5,82$  kg de almidón  
 Eficiencia de extracción (85%) =  $5,82/0,85 = 6,85$  kg. de almidón

Yuca necesaria (n% contenido de almidón):  $6,85/n$  kg. de yuca

Costo total (m% materia prima):  $\frac{6,85}{n \times m}$  kg de yuca

$$\text{Precio de venta (r\% contribuci3n): } \frac{6,85}{n \times m \times (1-r)} \text{ kg de yuca} = P \text{ (\$/gal)}$$

$$\text{Precio m3ximo} \quad Q = \frac{1000 \times n \times m \times (1-r)}{6,85} \quad P$$

$$\text{Tonelada de yuca}$$

$$\text{Relaci3n de equidad} \quad R = \frac{1000 P}{Q} = \frac{6,85}{n \times m \times (1-r)} \frac{\text{kg. de yuca}}{\text{gal de alcohol}}$$

Esta relaci3n es la misma que se obtuvo para el sistema jugo-alcohol; esto se debe a que el mayor rendimiento al usar almid3n se pierde por una menor eficiencia en la recuperaci3n del mismo (85%).

La diferencia m3s significativa se encuentra en la contribuci3n de la materia prima al costo total. Puesto que en este caso hay que incluir los costos de las enzimas y del combustible, el almid3n representa alrededor del 60% del costo total, pudiendo variar entre 55 y 65%.

El an3lisis de sensibilidad para la yuca muestra tambi3n que el factor m3s cr3tico es el contenido de almid3n y el que mayor variaci3n presenta para el costo m3ximo de la tonelada de yuca. La Figura 9 muestra la incidencia del contenido de almid3n del 18 al 24% en el precio m3ximo de la yuca, para precios de alcohol entre \$50-100/gal.

Como se puede observar, a los precios actuales del gal3n de gasolina (\$50), el precio m3ximo de la tonelada de yuca s3lo alcanza los \$900 para contenidos de almid3n del 24%. Para un precio de gasolina de \$100/gal, el precio m3ximo de \$1800/t de yuca no alcanza a ser atractivo para sustentar un programa de alcohol. Quedar3a como alternativa evaluar si los residuos y excesos de producci3n son disponibles en este rango de precios.

### El balance energ3tico

El objetivo de un balance energ3tico para la producci3n de alcohol es determinar la eficiencia de conversi3n de la energ3a inicialmente en la caña (no utilizable directamente) en alcohol (directamente utilizable).

Las eficiencias de conversi3n de energ3a var3an desde menos del 1% como en el caso de la fotos3ntesis (*transformaci3n de la energ3a solar*) hasta m3s del 90%, en el caso de los motores o turbinas (*transformaci3n de energ3a el3ctrica en mec3nica*). Sin embargo, el tipo de eficiencia m3s importante es el de una transformaci3n primaria de energ3a en calor y 3ste a su vez en otras formas 3tiles. La mayor restricci3n se presenta en este caso y las eficiencias m3ximas no alcanzan al 40%, siendo lo normal entre 20 a 25%.

El tema del balance energ3tico es realmente bastante controvertido, dependiendo de la apreciaci3n de los autores en definir los l3mites del sistema al cual se le aplica el balance. As3, por ejemplo, para un modelo agroindustrial habr3a que empezar por la energ3a solar, la energ3a adicional para un cultivo, fertilizantes, energ3a humana, mec3nica, energ3a para la recolecci3n y, finalmente, el aspecto industrial.

En el an3lisis que sigue se toman como base las 1500 t de caña puestas en planta, suficientes para producir 100.000 l de alcohol/d3a.

La aproximaci3n que se hace es que la **energ3a solar es gratuita** y lo que queda de ella en los cultivos **compensa y justifica la energ3a adicional** para el cultivo y su cosecha. Entonces, el balance que nos interesa es la eficiencia de conversi3n t3rmica de la caña en alcohol, teniendo en cuenta la energ3a que hay en la caña, la que se requiere para el proceso, la que se le cede al ambiente y la que queda en forma utilizable.

De las 1500 t de caña, se asume un 14% de fibra y un 12% de sacarosa, de tal forma que el contenido energ3tico ser3a el equivalente a los

calores de combustión (expresado en millones de kilocalorías, Mkal) de las 210 t de bagazo

seco y 180 t de azúcar.

Bagazo	(210 t)	(4,55 Mkal/t)	=	955,5 Mkal
Azúcar	(180 t)	(3,95 Mkal/t)	=	<u>711,0 Mkal</u>
Energía inicial de la caña				1666,5 Mkal

En la primera parte de extracción del jugo, se pierde un 10% del azúcar que equivale a:

$$\text{Pérdida en la extracción: } (18 \text{ t}) (3,95) = 71,1 \text{ Mkal}$$

El bagazo húmedo (50%) se quema en las calderas con una eficiencia del 60%, que es

supremamente baja. La energía inicial del bagazo se distribuye en:

$$\text{Pérdidas por eficiencia (40\%)} = (0,4) (955,5) \text{ Mkal} = 382,2 \text{ Mkal}$$

$$\text{Energía disponible en forma de vapor (alta presión)} = (0,6) (955,5) \text{ Mkal} = 573,5 \text{ Mkal}$$

Asumimos que todo el vapor se utiliza para generar energía eléctrica en un turbogenerador o directamente en turbinas separadas. A alta presión (400 psi), los kg de vapor generados/kg de bagazo húmedo varían entre 2,04 y 2,33; se asume un valor de 2,2 kg de vapor/kg de bagazo húmedo.

La producción de vapor sería:  $(2,2) (210.000) (2,2)/(0,5) (24) = 84.700$  lb de vapor/hora.

Para la generación de energía eléctrica se toman 28 lb de vapor/hora para generar 1 kW; de esta forma se dispondría de  $(84.700)/(28) = 3000$  kW; se asume una eficiencia del 90% en las turbinas y otro 90% en los generadores, de tal forma que se pierden:

$$\text{Por generación eléctrica: } (0,19) (573,3 \text{ Mkal}) = 108,9 \text{ Mkal.}$$

El vapor disponible para proceso de baja presión (o mediana presión si se hacen extracciones) sería entonces:

$$\text{Vapor disponible para proceso: } 573 - 108,9 - (3000) (24) (860) = 402,5 \text{ Mkal}$$

Este vapor se usa en la preparación del jugo, en la fermentación y, principalmente, en la destilación; se asume que se recupera la levadura y se seca. El consumo de vapor varía de acuerdo al proceso y al tipo de producto final (un alcohol para licores puede aumentar en 50% el consumo de vapor). Con base en los sistemas existentes eficientes en el consumo de vapor, se puede esperar un consumo de 2100 kcal/l, o sea 210 Mkal para una planta de 100.000 l/día. Este consumo puede mejorarse con los procesos de destilación con termorrecomprensión, vacío y fermentación de vinazas para la obtención de metano.

Se toma como referencia el valor de 2100 kcal/l y no se incluye el consumo de vapor en el proceso de tratamiento de vinazas por evaporación.

Finalmente quedarían en exceso  $402,5 - 210,0 = 192,5$  Mkal en forma de vapor de baja presión. Esta energía sobrante se acreditaría al balance global de alcohol, siempre y cuando tuviera un uso (producción de panela, azúcar o materias primas derivadas del alcohol).

El costo de oportunidad industrial de esta cantidad de energía sería equivalente a producirla en forma de vapor, utilizando aceite combustible, o sea equivalente a 6460 gal de aceite combustible (80% deficiencia) con un costo aproximado de \$130.000, o sea un crédito de 1,30/l de alcohol.

El consumo de energía eléctrica para la producción de alcohol tiene un valor promedio total de 14,5 kW hora/HI, equivalente a 600 kW; es decir, habría un sobrante de 2400 kW que se podría utilizar en la recuperación del CO<sub>2</sub> o en procesos industriales. Su costo de oportunidad sería el precio del kW hora (se asume \$1,8/kW hora), o sea 2400 x 24 x 1,8 = Col.\$100.800.

El balance energético en la forma presentada introduce el concepto del **costo de oportunidad del exceso de energía** en forma de vapor y en forma de energía eléctrica. Estos valores se

	Mkcal	%
Energía inicial (1500 t de caña)	1666,5	100
Energía final (alcohol) (100.000 l)	559,0	33,5
Energía final disponible (vapor, energía eléctrica)	242,0	14,5
Energía del proceso (vapor, energía eléctrica)	222,4	13,3
<b>Pérdidas</b>		
Caldera	382,2	23,0
Turbogenerador	108,9	6,5
Molino	71,1	4,3
Otras	80,9	4,9
<b>Total</b>	<b>1666,5</b>	<b>100</b>

Como se puede observar, el alcohol presenta un 33,5% de la energía inicial de la caña y la conversión de energía se aumenta al 48% al considerar el exceso de energía disponible en forma de vapor y electricidad.

El aspecto más significativo lo representa la caldera de bagazo por su baja eficiencia, el cual muestra un porcentaje muy alto del balance global (23%). Esta situación se identifica como un área muy importante para el costo de oportunidad de bagazo; si en un futuro se produjera alcohol a partir del bagazo, habría que tener en cuenta **lo que realmente representa el bagazo como combustible**. El balance energético sería mucho más atractivo si se usaran como combustible residuos celulósicos de bajo contenido de

podrían entonces incorporar al costo de producción de alcohol (o a la rentabilidad global del proyecto). A los precios actuales, el costo de producción de alcohol se reduciría en \$1,3/l, por concepto de vapor y en \$1,0/l, por concepto de energía eléctrica. Esto equivaldría a \$8,70/gal, lo cual es mayor que la misma rentabilidad asumida del 15% sobre el precio de venta.

Una segunda forma de analizar el proyecto es, lógicamente, introduciendo nuevos productos, además del alcohol (panela, azúcar, CO<sub>2</sub> materias primas) y analizar la rentabilidad global de todo el sistema, como se hizo en las gráficas anteriores. **Las variaciones introducidas por un balance energético justifican la evaluación más detallada de los distintos sistemas.**

El balance energético global de la producción de alcohol a partir de caña se resume a continuación y se ilustra en la Figura 10.

humedad y sobre todo carbón, ya que las eficiencias de combustión serían mayores.

En el caso de que se pensara en la utilización del carbón como combustible en un programa de alcohol, entraría a jugar su costo de oportunidad frente a otros usos potenciales, y la mayor justificación sería por un **uso más rentable para el bagazo**. El carbón podrá ser siempre un producto de exportación, mientras que el bagazo nunca podrá exportarse.

En principio se plantea que un programa de alcohol sea autosuficiente energéticamente, es decir, **que el vapor y la energía eléctrica tengan que obtenerse directamente de la biomasa sin aporte energético exterior**. Este es un concep-

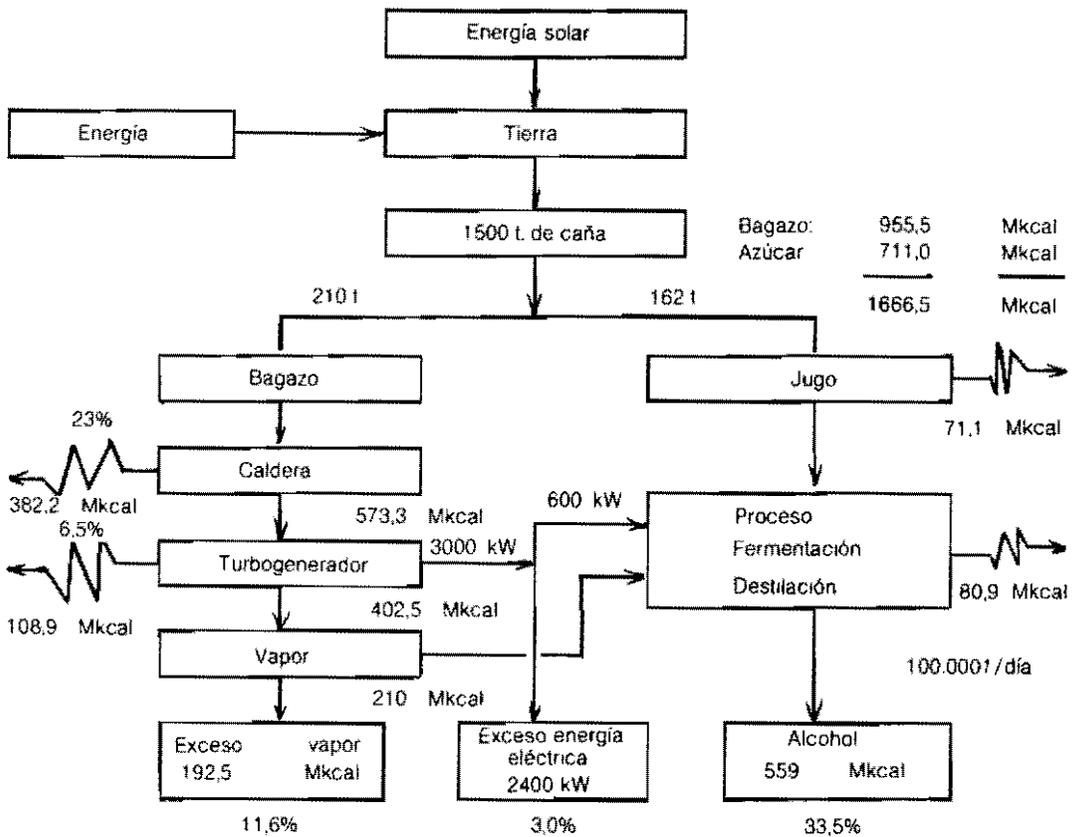


Figura 10. Balance energético para la producción de alcohol a partir de caña.

lo que se propone como **término de referencia del programa**, ya que no competiría en un futuro con usos más notables del carbón, petróleo o gas natural. En el caso de la yuca, el **balance energético resultaría negativo** si es necesario el uso del carbón o de otro combustible. **La yuca por sí misma (tallos) no alcanzaría a suministrar el vapor y energía eléctrica necesaria.**

El exceso de energía del sistema de la caña podría utilizarse también para la producción de alcohol a partir de la yuca; como se puede observar por los excesos de energía, el vapor y la energía eléctrica serían suficientes para otra planta de 100.000 l/día a partir de yuca (incluyendo los tallos) o la misma planta con materia prima alterna caña/yuca en un sistema donde la caña se produzca por cosechas y se utilicen los residuos y subproductos de la yuca.

## Subproductos

Para producir 1 kg de alcohol, se han tenido que usar 5 kg de material (2,30 kg de azúcar y 2,70 kg de bagazo seco en la caña), es decir, se recupera un 20% del material y **se pierde el 80%** (en base seca). Ese material que se pierde es lo que llamamos **subproductos**, por ser potencialmente aprovechable. A continuación se presentan algunas alternativas del uso y su posible costo de oportunidad.

**Bagazo.** El 54% del material que se perdería es el bagazo. Se ha asumido que el mejor costo de oportunidad del bagazo es su poder calorífico y, por lo tanto, todo el bagazo se quema para la producción de vapor y energía eléctrica.

De acuerdo con el balance de energía anterior, es necesario considerar el exceso de vapor y de energía como subproductos. Los valores obtenidos son:

Vapor (baja presión)  
Energía eléctrica

1925 kcal/l de alcohol  
0,57 kW hora/l de alcohol

Como se vio anteriormente, el valor de estos subproductos depende de los precios del mercado, teniendo en cuenta las eficiencias de conversión. A los precios actuales de aceite combustible y energía eléctrica habría un crédito de \$8,70/gal. Puesto que dichos precios tienden a aumentar aceleradamente en el futuro, el subproducto energético es estable y cada vez de mayor importancia.

Este sería el primer uso del bagazo; cualquier otro uso potencial tiene que justificar el valor energético neto del mismo, o sea la relación entre una tonelada de bagazo seco con una eficiencia de combustión del 60% y un combustible con un poder calorífico ( $K$ ) y eficiencia de combustión  $n$ , estaría dada por:

$$\frac{\text{Tonelada de bagazo seco}}{\text{Tonelada de combustible}} = \frac{(4550 \times 0,6)}{K \times n} = \frac{2730}{K \times n}$$

La expresión anterior para el caso del carbón (6000 kcal/kg) y eficiencia de combustión del 80% sería:

$$\frac{\text{Tonelada de bagazo seco}}{\text{Tonelada de carbón}} = 0,57$$

La anterior relación de equidad es muy importante para determinar el costo de oportunidad del bagazo en el caso en que fuera usado como materia prima para la obtención de furfural, celulosa, alcohol, gas de síntesis para amoníaco y metanol.

Cualquiera de los usos anteriores resulta **anti-económico** cuando se mira una producción aislada de cada producto; sin embargo, es de esperarse que la obtención **simultánea** de furfural y alcohol, y usando la lignina como combustible, sea realmente atractiva en el futuro.

Este tipo de proyectos justificaria el uso de otros combustibles como el carbón para fortalecer aún más un programa de alcohol.

**CO<sub>2</sub>**. Por cada kg de alcohol se producen 0,956 kg de CO<sub>2</sub> que representan el 19% del material inicial. Los principales usos del CO<sub>2</sub> requieren que éste se transforme en líquido o sólido (*hielo seco*), para lo cual se requiere básicamente un consumo de energía de 240 kW hora/l de hielo seco. Si se asume una recuperación del 80% del CO<sub>2</sub>, se podría tener una producción diaria de 60 t de CO<sub>2</sub> que requerirían 600 kW; es decir, habría energía eléctrica suficiente

para procesar todo el CO<sub>2</sub> de una planta de 100.000 l/día y sobrarian aún 1800 kW. La producción de CO<sub>2</sub> se puede tomar como:

Hielo seco 0,6 kg/l de alcohol

A los precios actuales del CO<sub>2</sub> y dándole un costo a la energía eléctrica y a la inversión, se puede estimar una contribución de Col.\$8/kg (*sin costo de materia prima*), lo cual representaría un crédito de Col.\$4,8/l o Col.\$18/gal.

El problema que se presenta es el mercado para 60 t de CO<sub>2</sub>/día, puesto que en Colombia su mayor uso es el de las bebidas carbonatadas. Un exceso de producción de CO<sub>2</sub> a bajo precio desarrollaría el transporte refrigerado, el cual complementaría los programas de necesidades de alimentos.

El uso más llamativo que se discute a continuación es del CO<sub>2</sub> como una materia prima básica, ya que se dispondría de grandes cantidades de un producto de alta pureza, a un costo de producción muy bajo. Estas características no se aprovechan porque se requiere un consumo de energía; sin embargo, si la energía está disponible a bajo costo, la utilización del CO<sub>2</sub> podría ser atractiva. Esto es precisamente lo que hace la **naturaleza** al aprovechar la energía solar y reutilizar el CO<sub>2</sub> para la producción de hidratos de carbono. Este comportamiento ha dado origen a que se optimicen los cultivos, enriqueciéndolos artificialmente con CO<sub>2</sub>. Una mayor proporción de CO<sub>2</sub> tiende a aumentar la fotosíntesis.

Finalmente, y como **tema de evaluación**, el CO<sub>2</sub> podría ser una **materia prima** para la **producción de metanol y amoníaco**, cuya producción depende de la obtención de hidrógeno.

La forma más económica de obtener hidrógeno es a partir del monóxido de carbono y agua. El monóxido se produce por oxidación parcial de hidrocarburos. El uso del CO<sub>2</sub> sería entonces para la producción del monóxido por la reacción con carbón de coque a altas presiones y temperaturas:



La reacción anterior es endotérmica y requiere 936 kcal/kg de CO<sub>2</sub> a 25°C. Para procesar las 60 t/día se requerirían como mínimo 56 Mkal, cuyo orden de magnitud está dentro del exceso de energía del sistema. Para este tipo de utilización, el exceso de energía tendría que ser transformado básicamente en energía eléctrica (o el bagazo inicial no se utilizaría totalmente para la producción de vapor).

Por cada tonelada de CO<sub>2</sub> se producirían 0,45 t de metanol y se necesitarían 0,3 t de carbón de coque. La producción potencial de metanol sería del orden de 30 t/día.

En el caso del amoníaco (puesto que el mayor componente es el nitrógeno del aire) se producirían 1,1 t de NH<sub>3</sub>/t de CO<sub>2</sub>, lo cual sería una producción potencial del orden de 70 t de amoníaco/día.

El consumo de energía para los procesos de metanol/amoníaco es supremamente grande, y normalmente por altas inversiones del proceso, las plantas petroquímicas sólo son rentables para volúmenes de producción muy altos (500-1000 t/día).

Las posibles ventajas que justificarían la evaluación de metanol/amoníaco a partir del CO<sub>2</sub> (o bagazo directamente) serían:

1. Materia prima renovable, de alta pureza, bajo costo.
2. La disponibilidad de CO<sub>2</sub> puede ser poca para una planta de 100.000 l/día, pero el programa de alcohol contemplaría destilerías

más grandes o recolección del CO<sub>2</sub>.

3. El carbón podría ser una fuente complementaria del CO<sub>2</sub>, con la ventaja de que aportaría energía al sistema por su calor de combustión parcial.
4. La inversión podría ser menor por disponer de la infraestructura de servicios, y la alta pureza del CO<sub>2</sub> implicaría menores procesos de purificación.
5. Finalmente, la producción de fertilizantes y combustibles a partir del petróleo será cada día más costosa. En el futuro se prevén soluciones alternas para la energía, pero los fertilizantes para la producción de alimentos continuarán dependiendo del agotable y costoso petróleo.

Entre el bagazo y el CO<sub>2</sub> se halla el 73% del material inicialmente perdido: cualquier proyecto que se desarrolle en éstas 2 áreas será el más significativo para un programa de alcohol. **Se debe resaltar que sin mayores esfuerzos a los precios actuales, los créditos por vapor, energía y CO<sub>2</sub> serían del orden de \$26,7/gal, o sea 53% del precio de referencia (\$50/gal).**

El crédito por subproductos no se incluye en el análisis de rentabilidad del alcohol, por cuanto merece un análisis más profundo y, sobre todo, porque el uso óptimo de subproductos **tiene implicaciones diferentes** a la simple producción de alcohol carburante.

Queda por analizar el 7% restante que, como se preve, no es tan significativo, pero no menos importante que los anteriores.

**Vinaza.** La vinaza es el residuo de la fermentación que se recoge. Es un proceso de destilación y representa un 2% de la materia inicial. El procedimiento estándar es el de la evaporación (con sistemas eficientes) para llegar a un jarabe concentrado que puede usarse como alimento animal o fertilizante. Este tratamiento es anti-económico pero, por problemas de contaminación, puede ser necesario.

Puesto que un programa de alcohol implicaría que las destilerías estén cerca de los cultivos, la solución sería retornar la vinaza al campo como

fertilizante, controlando los niveles de sales. Esta solución es la más adecuada y económica, mientras se controlen adecuadamente los cultivos.

Una segunda alternativa consiste en la fermentación aeróbica-anaeróbica para la producción de metano; actualmente existen varios procesos disponibles para aumentar la vinaza y recuperar energía en forma de metano. El sistema puede producir un crédito adicional en energía de 450 kcal/l de alcohol, o sea 45 Mkcal para una destilería de 100.000 l/día.

A pesar de que esta energía es bastante significativa, no se tienen datos concretos del balance energético global y, puesto que la transformación en metano implica el uso de parte del exceso de energía, no se puede acreditar totalmente al sistema.

Finalmente, a manera de información, si una planta de 100.000 l/día decide evaporar sus vinazas, requiere un consumo de vapor del orden de 160 Mkcal, con lo cual el exceso de vapor sería apenas 32,5 Mkcal. Estas cifras demuestran claramente **lo absurdo del sistema** y resaltan la importancia del proceso de fermentación anaeróbica y el uso en el campo.

**Levadura.** Se producen aproximadamente **0,03 kg de levadura/l de alcohol**. La levadura es un alimento excelente, cuyo costo de oportunidad es superior al de la torta de soya por tener un mejor balance de aminoácidos esenciales.

Puesto que la levadura se debe producir a partir del jugo y con un proceso de fermentación aeróbica (*consumo de energía*), la primera alternativa sería la de recircular parte de la levadura para aumentar el rendimiento del alcohol y disminuir el consumo de energía.

La segunda alternativa sería secarla para su venta al mercado; en el balance energético se ha incluido el consumo de vapor y energía para procesar la levadura. A los precios actuales, el crédito por levadura sería de  $0,03 \times 15 = \$0,45/l$ , o sea \$1,70/gal. Se tendría una producción diaria de 3 t/día para una planta de 100.000 l/día.

Normalmente se busca que la producción de levadura/alcohol sea mínima, por cuanto el subproducto es un alimento animal de bajo

precio. La levadura para alimentación humana tiene un precio muy alto, pero el mercado es restringido. Las plantas de hidrólisis de celulosa en la Unión Soviética son principalmente para la producción de levadura para alimento animal.

La producción de levadura podría aumentarse si su utilización en alimentación humana y animal fuera rentable. Los rendimientos para la producción de levadura son equivalentes a los de la producción de alcohol, y la levadura podría aumentar la rentabilidad de una planta de alcohol, es decir, si el costo de oportunidad de la levadura justificara una producción adicional, se podría pensar en un sistema alcohol/levadura, en la misma forma en que se analizó el sistema alcohol/panela.

La Figura 11 presenta un esquema de las diferentes alternativas de subproductos.

## El uso del alcohol

### Como combustible

El análisis presentado se ha fundamentado en el costo de oportunidad del alcohol como combustible a precios internacionales. De lo expuesto hasta el momento, se puede concluir que un programa de alcohol carburante **solamente es rentable si:**

1. Se utilizan residuos o excesos de producción agrícola como materia prima
2. Se mejora el aprovechamiento de las tierras marginales de caña/yuca con inversiones en infraestructura industrial
3. Se complementa la producción de alcohol con panela, azúcar, almidón y levadura
4. El balance energético es positivo (*caso de la caña*) y se desarrolla un uso para la energía sobrante en forma de vapor y energía eléctrica
5. Se le da un mejor uso al bagazo y al CO<sub>2</sub> como materias primas para la obtención de furfural, alcohol, derivados de la celulosa, amoníaco y metanol

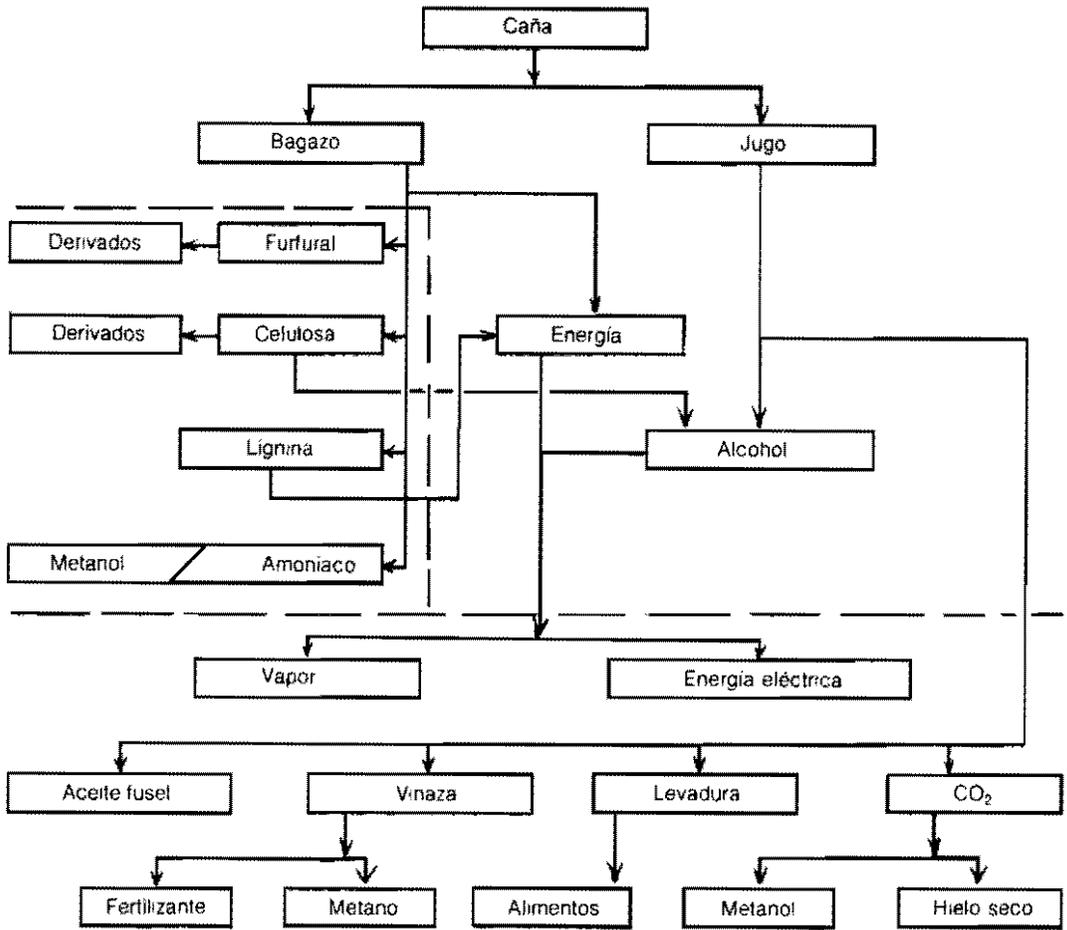


Figura 11. Subproductos.

6. Se dispone de financiación adecuada con bajos intereses y, sobre todo, una política tributaria favorable.

Por otra parte, un programa de alcohol **no tiene que ser rentable**; básicamente es la responsabilidad de un gobierno responder a las necesidades básicas del país en materia de energía, de alimentos, de empleo, de obras de infraestructura agrícola e industrial, y de buscar una estabilidad futura en la balanza de pagos.

Un programa de alcohol incide directamente en todos los aspectos anteriores y, por lo tanto, su análisis no puede ser simplista en términos de factibilidad económica. Lógicamente, si el programa es factible con estímulos o sin ellos, la

**participación del sector privado actuaría como un acelerador del mismo.** Según lo expuesto, la factibilidad del programa depende de otros factores que no son la simple producción de alcohol.

La capacidad de inversión, tanto del gobierno como del sector privado, es restringida y, por lo tanto, el programa se debe desarrollar por etapas. La primera etapa de inversión sería en el sector industrial, en tierras actualmente marginales como se ha propuesto; la segunda etapa sería en el sector agrícola e industrial, para aumentar las capacidades de producción.

Se corre el riesgo de que la inversión inicial en la parte industrial **no permita una dinámica en**

**las tierras actualmente no cultivables y, por lo tanto, el tiempo de implementación del programa puede ser muy largo.**

Con base en las consideraciones anteriores, el **uso del alcohol como combustible** se debe analizar bajo 2 puntos de vista:

### **Los sustitutos del alcohol como combustible**

El programa de alcohol sería competitivo en el corto plazo en inversiones y costos de oportunidad con:

- La obtención de metanol a partir de carbón o gas natural
- La obtención de gasolinas sintéticas a partir de carbón o gas natural.

En el largo plazo sería competitivo con:

- La energía eléctrica generada por energía nuclear o hidroeléctrica (*en el caso de Colombia*)
- El hidrógeno
- La energía solar

### **Los usos del alcohol como una materia prima petroquímica**

La gran mayoría de los productos petroquímicos (*a excepción de los aromáticos que se pueden obtener del carbón*) se pueden obtener a partir del alcohol, **compitiendo o complementando** el uso del alcohol como combustible, como se analiza a continuación.

#### *Como materia prima*

Una industria petroquímica basada en el alcohol tendría las siguientes características:

1. No se requieren volúmenes de producción tan altos, comparados con su uso como combustible
2. El tamaño económico de planta es mucho menor que si se usara petróleo como materia prima

3. El precio de venta de los productos petroquímicos es 3-4 veces mayor que el de la gasolina y continúa ascendiendo junto con el del petróleo
4. La inversión adicional en una destilería de alcohol sería menor por la utilización de la infraestructura energética, de vapor y electricidad. Los costos de los servicios serían menores
5. El consumo de energía sería menor, por cuanto el alcohol de la destilería no se condensaría sino que se usaría directamente en los procesos siguientes. El ahorro de energía sería equivalente al de condensar el alcohol y luego evaporarlo
6. Los costos de operación serían menores, y el alcohol como materia prima tendría una incidencia del 75 al 85% del costo total
7. Existe la tecnología adecuada, los procesos son catalíticos, y en algunos procesos se obtiene hidrógeno como subproducto
8. Existen incentivos para la producción y mercado de ciertos productos dentro de la programación petroquímica del Pacto Andino. Los precios desmedidos del petróleo, el mayor costo de la energía para el proceso y la inversión alta en infraestructura y procesos han puesto en tela de juicio la rentabilidad de los **derivados del petróleo a bajas capacidades de producción** como inicialmente fueron concebidos los proyectos (*antes de la crisis energética mundial*)
9. Existe la urgencia de materias primas alternas al petróleo para poder aprovechar los beneficios del Pacto Andino. Plantas nuevas de baja capacidad no son rentables
10. La expansión del alcohol y sus derivados es **modular**, las inversiones en expansiones de plantas son menores a partir del alcohol que del petróleo
11. La mayoría de estos productos químicos se están importando al país; el efecto de la balanza de pagos por **sustitución de importaciones** y generación de **exportaciones**

por los mismos productos tiene un mayor impacto que la sustitución de la gasolina importada. La balanza de pagos sería mucho más estable por la relación de precios entre la gasolina importada y los precios de los productos petroquímicos que siempre serán mayores

12. La introducción de productos químicos haría mucho más atractiva la participación del sector privado y complementaría la rentabilidad del alcohol como combustible en un sistema similar al del alcohol/panela.

La Figura 12 presenta un esquema de los productos químicos potenciales derivados del alcohol que tendrían un significado importante para el país en el corto plazo.

Para evaluar económicamente la estructura de

$$\text{Precio máximo del alcohol} \quad Q_0 = f(n_0, m_0, r_0, P_0)$$

$$n_0 \text{ Eficiencia de los procesos en términos } \frac{\text{Kg de alcohol}}{\text{kg de producto}}$$

$m_0$ : Contribución de la materia prima (alcohol) al costo total, que varía entre 75 y 85%; se toma como referencia 80%.

$r_0$ : Retorno sobre la inversión, expresado como un porcentaje del precio de venta.

$P_0$ : Precio promedio de venta tomado entre el precio local (con un 70% del recargo sobre el precio internacional) y el precio de exportación con un 30% de protección arancelario para el Pacto Andino. Lo anterior define un rango probable de precios, de acuerdo al porcentaje de exportación.

Nuevamente se establece una razón de equidad entre el precio del alcohol y el precio de los productos químicos.

$$\frac{P_0}{Q_0} = f(n_0, m_0, r_0) \frac{\text{Kg de alcohol}}{\text{kg de producto}}$$

Estas 2 relaciones permiten finalmente correlacionar directamente el precio de la caña con el precio de los productos químicos, considerando rentabilidades, tanto para el alcohol como para los productos químicos, es decir,

costos y su correlación con el precio máximo de la tonelada de caña, se toma como referencia la relación de equidad entre alcohol y caña, con base en un contenido de azúcar del 12%, una eficiencia de extracción del 90%, el costo de la materia prima como un 70% del costo total y un 15% de contribución sobre ventas.

La relación encontrada de 95,8 kg de caña/gal de alcohol es equivalente a:

$$\frac{32,3 \text{ kg de caña}}{\text{kg de alcohol}}$$

Al tomar el alcohol como materia prima, la estructura de costos determinaría el precio máximo que se puede pagar por una tonelada de alcohol, con base en el precio promedio de venta del producto petroquímico; es decir:

Precio máximo de la caña

$$Q = f(e, n, m, r, n_0, m_0, r_0, P_0)$$

$$\text{Relación de equidad } R = \frac{P_0}{Q} = \frac{\text{kg de caña}}{\text{kg de producto}}$$

$$f(e, n, m, r, n_0, m_0, r_0)$$

En el Cuadro 1 se han calculado las diferentes razones de equidad para varios productos,

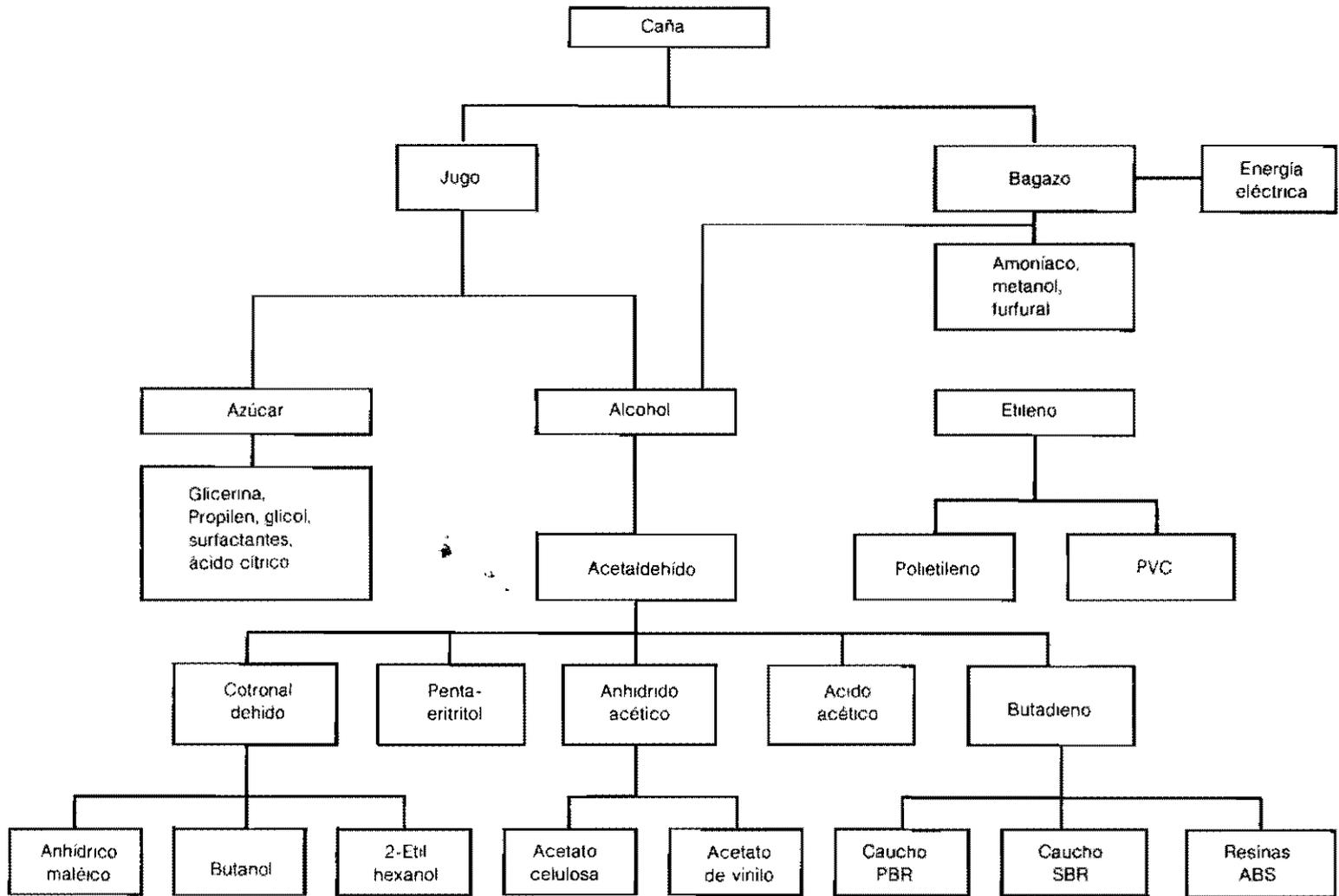


Figura 12. Principales derivados potenciales de la caña de azúcar.

**Cuadro 1. Productos alcohol-químicos potenciales, derivados de la caña.**

Producto	Capacidad planta (t/año)	Capacidad alcohol (l/día)	Capacidad caña (t/día)	Eficiencia kg de alcohol/kg de producto	Equidad kg de caña/kg de producto
Azúcar/panela	---	---	---	---	13,6
Etanol/gasolina	100.000	100.000	1500	1,0	32,3
PVC	50.000	165.000	2500	0,85	40,4
Acido acético	25.000	100.000	1500	0,93	44,2
Anhídrido acético	50.000	250.000	3250	1,33	46,0
Anhídrido maléico	10.000	50.000	750	1,33	63,2
Acetato de vinilo	40.000	200.000	3000	1,36	70,0
Butanol	35.000	200.000	3000	1,51	72,0
Etileno	50.000	325.000	4900	1,69	80,3
Polietileno BD	30.000	200.000	3000	1,77	81,7
2-Etil hexanol	25.000	175.000	2600	1,82	86,5
Butadieno	30.000	300.000	4500	2,47	117,0

considerando las eficiencias de producción normales.

La Figura 13 presenta las gráficas correspondientes al precio máximo de la tonelada de caña vs. el precio promedio de venta de los productos, con los siguientes comentarios:

- El rango de variación de precios de los productos químicos es mucho más amplio que el de la gasolina/alcohol, por cuanto intervienen tanto los precios locales como los subregionales.
- El tamaño de planta para el mercado Andino no alcanza las 50.000 t/año y la capacidad equivalente de alcohol no es mayor que 200.000 l/día (con excepción del butadieno, que no es rentable). Normalmente, una planta de 100.000 l/día sería suficiente para los volúmenes propuestos.
- Inicialmente habría justificación y mercado para 17 nuevas destilerías de 100.000 l/día que se dedicarían únicamente a la obtención de productos químicos.
- Como se puede observar, los precios máximos para la tonelada de caña son mejores que en el caso del alcohol, aunque no sustancialmente; esto se debe, en parte, a que se ha asumido una rentabilidad, tanto para el alcohol como para el producto químico. El análisis económico debe ser global, contem-

plando la inversión total y los ingresos totales. No se han tenido en cuenta los incentivos a la exportación (préstamos y CAT).

- Al incluir **los conceptos que permitirían rentabilidad al alcohol**, la gráfica anterior cambiaría e indicaría un mayor precio para la tonelada de caña o una mayor rentabilidad del producto en sí.
- En el corto plazo son atractivos el PVC y el anhídrido maléico; el primero resulta factible si en Colombia se monta una planta nueva de cloro y soda; el segundo por estar asignado **exclusivamente** a Colombia y por no ser atractiva su producción a partir del benceno. Sin embargo, en Colombia parece ser mucho más rentable la producción de PVC a partir de acetileno obtenido del carburo de calcio que precede del carbón.
- El butadieno tiene un consumo de alcohol demasiado alto y no resulta atractivo.
- El etileno es un producto que no puede analizarse aislado de su uso final. A pesar de que el costo del etileno en sí no es rentable, cuando se consideran sus derivados PVC, polietileno y acetato de vinilo, resultan rentabilidades atractivas.
- El acetato de vinilo puede obtenerse por distintos procesos, bien sea a partir de etileno (via alcohol) y ácido acético, o a partir de

acetaldehído y anhídrido acético. En cualquier caso, la eficiencia global es semejante, aunque la inversión puede ser diferente. Junto con el butanol, 2-etil hexanol y pentaeritritol forman el paquete asignado y disponible con base en su retiro del Pacto Andino.

- Los análisis de cada producto se han realizado en forma independiente, lo cual permite visualizar cada producto como tal; sin embargo, del Cuadro 1 se observa que el alcohol, el acetaldehído, el crotonaldehído y el anhídrido acético son productos **intermedios estratégicos**, de tal forma que la inversión y la rentabilidad de los productos finales pueden ser mucho más optimizados dentro de un **esquema integral**. Una planta de crotonaldehído puede **no ser rentable** para obtener butanol pero **sí** dentro de un complejo anhídrido maléico, 2-etil hexanol; la misma situación puede ocurrir para el resto de productos.

### *El efecto sobre la balanza de pagos*

El efecto sobre la balanza de pagos se analiza

tomando como base un galón de alcohol que sustituiría importaciones de gasolina por valor de \$50.

Si el mismo galón de alcohol (2,97 kg de alcohol) se convierte en productos químicos que se están importando o que pueden importarse, el efecto sería comparar los distintos valores agregados.

Del Cuadro 1 se puede tomar como promedio un consumo de alcohol del 1,5 kg de alcohol/kg de producto; es decir, se obtendrían 2 kg de producto, cuyo valor promedio de venta sería de \$60/kg para un valor total de \$120.

Se puede concluir que el uso de alcohol para productos químicos beneficiaría la balanza de pagos 2,4 veces más que si el alcohol se usa como combustible.

No es malo importar gasolina. Lo malo es no tener con qué hacerle frente a la importación de gasolina.

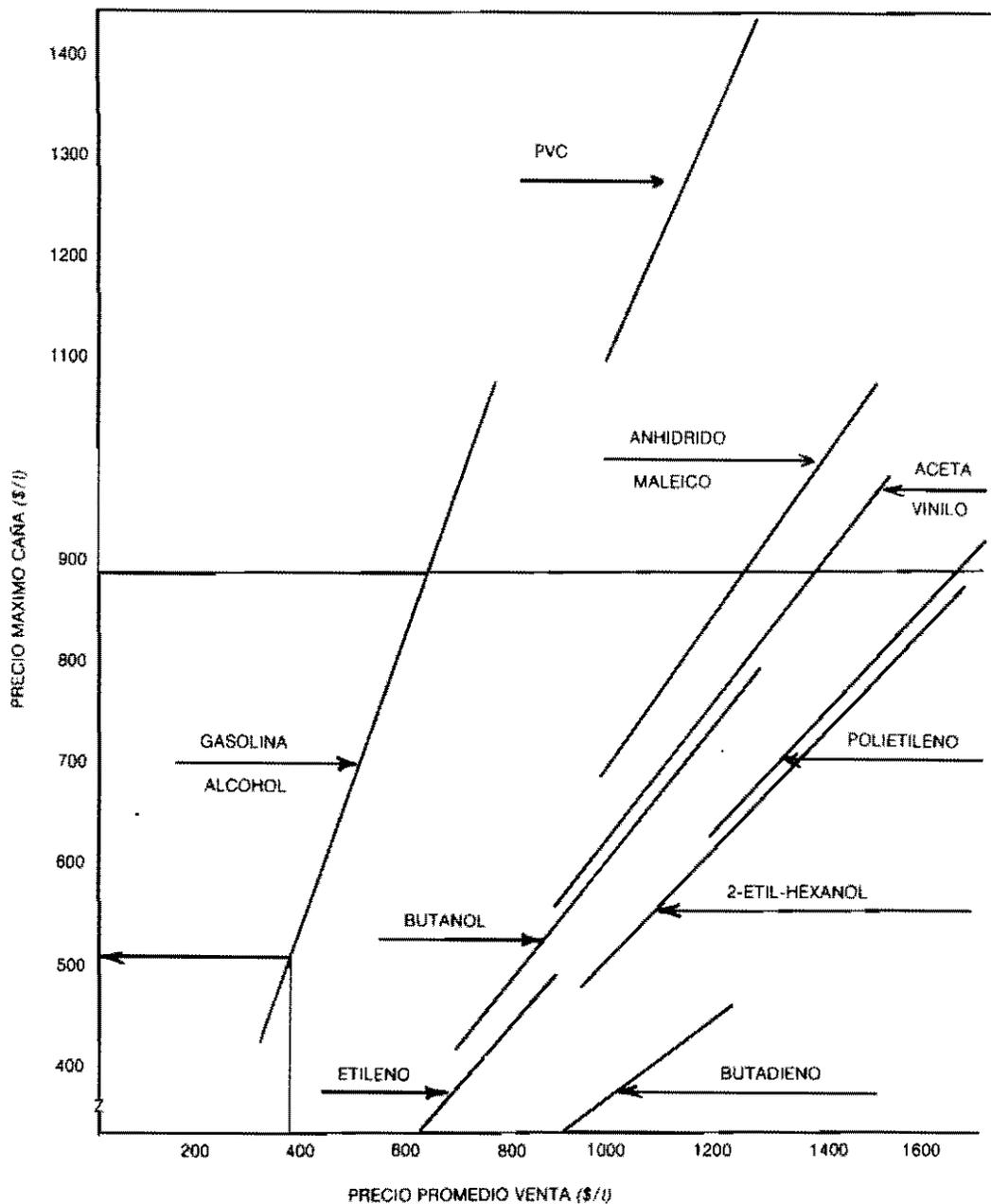


Figura 13. Precio máximo de la caña vs. Derivados del alcohol.

## Literatura consultada

- COLMENARES, J. y RENDON, J.M. 1979. Sustitutos petroquímicos derivados de la caña de azúcar. Nueva Frontera (*Documento No. 43*), diciembre.
- GASOHOL, a technical memorandum. 1979. Louisiana. 71p.
- IZQUIERDO B., V., ed. 1979. Manual azucarero de Colombia. ASOCAÑA, Cali, Colombia. 100p.
- KRETZSCHMAR, H. 1961. Levaduras y alcoholes. Buenos Aires, Argentina, Reverte. 602p.
- MEADE, G.P. y CHEN, J.C. 1977. Sugar cane handbook. New York, John Wiley, 10th edition. 947p.
- PATURAU, J.M. 1969. By products of the sugar cane industry. Amsterdam, Elsevier Publishing Company. 274p.
- RENDON, J.M. y COLMENARES, J. 1977. Agroquímica, petroquímica, carboquímica: un programa de desarrollo integral. trabajo presentado al X Congreso Nacional de Ingeniería Química. Cartagena, Colombia. 115p.
- RIBEIRO FILHO, F.A. 1979. the ethanol chemical industry in Brazil. Petroquisa. S.A. 80p.
- WEBER, E.J.; COCK, J.H. y CHOUINARD, A., eds. 1978. Workshop on Casava Harvesting and Processing, Cali, Colombia. 1978. Proceedings. Ottawa, Canada. International Development Research Centre. IDRC-114e. 83p.
- YAND, V. y TRINDADE, S.C. 1979. Brazil's Gasohol Program. Chemical Engineering Progress (*April*).11-19.

# PRODUCCION DE ALCOHOL DE YUCA - EL CASO BRASILEIRO\*

**Tobias José Barreto de Menezes\*\***

## Resumen

La yuca es uno de los cultivos indirectamente fermentables más ricos en hidratos de carbono, que podría convertirse en materia prima tan valiosa como la caña de azúcar para la producción de alcohol carburante. De hecho ya se la está empleando para este fin en varios países del mundo como Brasil, Australia, Japón y los Estados Unidos. En los dos últimos comenzarán a funcionar en breve las destilerías, y Brasil ya cuenta con dos destilerías en operación que producen 52.000 l semanales de alcohol anhidro. En este trabajo se describe detalladamente el proceso de fabricación de alcohol carburante a partir de la yuca, el cual consta de los siguientes pasos: lavado-pelado, desintegración-rallado, cocción sacarificación, fermentación, tamizado y destilación. De las diversas etapas de fabricación se obtienen subproductos valiosos (e.g., aceite combustible, alcohol secundario, CO<sub>2</sub>, residuos fibrosos) aprovechables en otras industrias.

## Introducción

En vista de la escasez mundial de combustible, actualmente se han propuesto varios sustitutos para el petróleo. Gracias a su gran extensión territorial y a la disponibilidad de suelos adecuados para la agricultura, Brasil ofrece amplias posibilidades para la investigación de cultivos ricos en hidratos de carbono, como materia prima para la producción de alcohol.

Las materias primas ricas en hidratos de carbono pueden agruparse en dos categorías desde el punto de vista de la fermentación: directa e indirectamente fermentables. Las directamente fermentables no necesitan ser

convertidas previamente en hidratos de carbono, y abarcan la glucosa, la fructosa y la sacarosa; las dos primeras se obtienen de la pulpa de frutas y la tercera de la caña de azúcar, la remolacha y el sorgo dulce. El almidón y la celulosa se consideran como indirectamente fermentables por cuanto es necesario convertirlas en hidratos de carbono antes de la fermentación, a fin de que puedan ser asimiladas por la levadura alcohólica. La yuca, la batata, el maíz, el mesocarpo de babassú (*Orbignya speciosa*), los cereales y los tubérculos en general son las principales fuentes de almidón, en tanto que la celulosa se obtiene de la madera, el bagazo de la caña de azúcar, el tamo de arroz, la cáscara de maní y la tusa del maíz.

---

\* Traducido por Stella Sardi de Salcedo del portugués "Produção de alcool de mandioca- o caso brasileiro".

\*\* Instituto de Tecnología de Alimentos (ITAL), Caixa Postal 139, 13100 Campinas, Sao Paulo, Brasil.

La relación estequiométrica entre esos hidratos de carbono, atribuyéndose un valor de 100 a la glucosa y a la fructosa y al alcohol que teóricamente se podría obtener de ellas, está indicada en la Figura 1. Aunque tanto el almidón como la

celulosa deben ser convertidos en azúcares fermentables antes de ser sometidos a la fermentación alcohólica, la transformación de la celulosa es mucho más difícil y dispendiosa. Sin embargo, el potencial de esa fuente de hidratos de carbono no debe ser menospreciado, ya que la celulosa representa cerca de las dos terceras partes de toda la materia orgánica existente en la naturaleza y podría ser necesario recurrir a ella a corto plazo.

De todas las fuentes de hidratos de carbono fermentables se deben considerar inicialmente las que presentan mayor concentración de dicho componente en la materia prima, la cual a su vez debe tener una productividad elevada. El Cuadro 1 muestra la producción de los principales cultivos productores de hidratos de carbono en Brasil, la productividad de materia prima y de hidratos de carbono y los rendimientos en alcohol. Conviene recordar que dichos valores de productividad, aunque son los obtenidos actualmente, no reflejan en absoluto la capacidad productiva real de estos cultivos.

Entre las diversas materias primas propuestas, la yuca se destaca por ser un cultivo difundido en todas las regiones del territorio brasileño, adaptada, por consiguiente, a las condiciones edáficas y climáticas del país. Algunas de sus ventajas son: no es exigente en cuanto al tipo de suelo; es razonablemente resistente a plagas y enfermedades; y tolera las condiciones climáticas adversas, principalmente la sequía prolongada.

Aun cuando la yuca se ha cultivado en Sudamérica desde el período precolombino hasta nuestros días, no ha alcanzado aún un alto nivel tecnológico y son contadas las plantaciones de importancia que emplean técnicas agronómicas modernas, a pesar de que se dispone de gran cantidad de información resultante de la investigación sobre dicha planta.

Brasil es el principal productor de yuca, con una superficie de dos millones de ha que producen cerca de 26 millones de t de raíces, cifra que representa casi el 32% de la producción mundial. El Cuadro 2 muestra la producción y el rendimiento de yuca en los estados productores de Brasil. El incremento progresivo del área cultivada explica el creciente aumento de la producción

brasileña en los últimos 20 años, ya que la productividad (kg/ha) ha permanecido estable. Normanha (10) considera que, para fines industriales, la yuca de dos ciclos vegetativos (18-24 meses) debe producir, por lo menos, 20 t de raíces/ha, y que es posible obtener rendimientos de 30.40 t/ha en cultivos extensivos.

El alcohol de yuca ya se había producido en Brasil durante el período 1932-45, cuando la disponibilidad energética de la época de guerra era bastante limitada. En aquel entonces, los técnicos ya proclamaban la fabricación de alcohol carburante, habiendo producido el país 60 millones de l de alcohol para mezclar con la gasolina. Con ese mismo fin se creó la Fábrica de Alcool Carburante de Divinópolis, de propiedad del estado de Minas Gerais, que produjo 88.000 l de alcohol rectificado (conocido comúnmente como alcohol de 96°) en 1936, para una producción total de 856.000 l durante el período 1932-36 (5). En Sorocaba (São Paulo), una de las destilerías de la Sociedad Anónima Industrias Reunidas de Amido (SAIRA) fabricaba alcohol en una instalación con un 40% de la capacidad de la fábrica de Divinópolis.

El hecho es que una vez que terminó la guerra y se normalizó el abastecimiento de petróleo, se abandonó la idea de utilizar alcohol como combustible. La destilería de Divinópolis dejó de operar y la de SAIRA se transformó en destilería para producir alcohol a partir de cereales. Es difícil explicarse el desinterés por la yuca como materia prima del alcohol, ya que su mejor calidad permitiría destinarlo a otros usos fuera del combustible. Podría argumentarse que la dificultad de la cosecha manual de las raíces sería un impedimento para la industrialización. En aquella época la mano de obra abundaba. Es posible que la rápida expansión de la producción azucarera y los excedentes de jarabe fueran más que suficientes para producir el alcohol necesario para satisfacer la demanda del producto. Además, ese período coincide con el avance tecnológico en los procesos de destilación y rectificación del alcohol, los cuales fueron incorporados a la industria brasileña. El empleo de las nuevas técnicas de rectificación disponibles permitían mejorar la calidad del jarabe residual.

En razón del recrudescimiento de la crisis energética, actualmente se está estimulando el

incremento de la producción de alcohol carburante, y de nuevo la yuca ha pasado a ser una de las más importantes materias primas proveedoras de hidratos de carbono. A pesar de que se considera que la caña tiene ventajas evidentes en relación con la yuca en el caso del Brasil, toda vez que su jugo (*guarapo*) es directamente fermentable y el bagazo se puede utilizar como combustible, lo que representa una economía en el proceso, no se mencionan los beneficios provenientes de utilizar la yuca como materia prima, como es el estímulo al desarrollo tecnológico de la industria de fermentación del país, al brindar incentivos a los fabricantes de enzimas microbianas para el proceso de sacarificación del almidón. Es necesario agregar que la tecnología de producción de alcohol a partir de sustancias amiláceas está en una fase bastante avanzada en Europa y en los Estados Unidos. Las técnicas modernas de sacarificación continua, que emplean enzimas inmovilizadas en soportes inertes, y los sistemas de fermentación continua ya conocidos, podrán convertir el proceso de fabricación en ininterrumpido y automatizado. El aumento de productividad por unidad de tiempo y las instalaciones más pequeñas y más compactas disminuirán, por consiguiente, las desventajas de utilizar la yuca como materia prima en lugar de la caña de azúcar y otros cultivos.

### Proceso de fabricación del alcohol

En general, el proceso de fabricación del alcohol de yuca es similar al del alcohol de cereales (11, 12) y se diferencia únicamente en las fases relacionadas con la preparación de la materia prima. Las principales operaciones de fabricación mediante el proceso de sacarificación ácido o enzimático se aprecian en el diagrama de la Figura 2.

#### *Lavado - pelado*

Después de pesarlas, las raíces se lavan y se pelan simultáneamente en peladores-lavadores discontinuos o intermitentes, a fin de eliminar las fibras e impurezas que podrían interferir con la penetración del calor en la operación de cocción. En algunas destilerías se acostumbraba utilizar raíces enteras, sin embargo, la cocción era demasiado lenta o menos eficiente además de

que se requería una mayor capacidad del autoclave para la misma cantidad de materia prima.

#### *Desintegración - rallado*

Esta operación se realiza en ralladores especiales, como los utilizados para fabricar, almidón o harina de yuca, y tiene por objeto aumentar la superficie de contacto de la materia prima, exponiéndola más fácilmente al calor y a los agentes sacarificantes, a fin de hacer más eficientes las operaciones subsiguientes de cocción, hidrólisis y fermentación.

Las etapas iniciales de preparación (*lavado y pelado*) no son necesarias cuando se utilizan trozos en lugar de raíces enteras. Los trozos se muelen en seco en molinos de martillos, semejantes a los empleados para moler maíz (11).

#### *Cocción*

Mediante la cocción se liberan los gránulos de almidón ligados a los compuestos lignocelulósicos, con el objeto de facilitar la reacción entre los agentes sacarificadores y el almidón en la fase siguiente. A consecuencia del calor, el gránulo de almidón absorbe agua y se hincha, ocasionando la ruptura de la pared celular, y el almidón se gelatiniza. Al final de este proceso, que tiene una duración de 30-40 minutos, la masa se licua por la acción conjunta del calor y del fraccionamiento de la  $\alpha$ -amilasa adicionada.

En las operaciones intermitentes se emplean autoclaves horizontales que tienen un dispositivo para revolver la masa y entradas de vapor directo en varios puntos del equipo. Actualmente, se recomienda el uso de autoclaves continuos que operan a presión elevada y en un período corto de tiempo. Las ventajas de la cocción continua son: tiempo reducido de la operación; economía de vapor; economía de espacio; menor inactivación de las enzimas debido al menor tiempo de exposición al calor.

#### *Sacarificación*

El proceso de sacarificación y el empleo de un agente sacarificador eficiente y de bajo costo son factores fundamentales en la fabricación del alcohol a partir de sustancias amiláceas, ya que

el almidón debe ser desdoblado en azúcares fermentables a fin de que pueda actuar la levadura alcohólica. La sacarificación se puede efectuar mediante el proceso ácido o biológico. El proceso de hidrólisis, que generalmente emplea ácido sulfúrico o clorhídrico, se considera obsoleto. Las desventajas de emplearlo son: a) bajo rendimiento del alcohol debido a que el ácido degrada parcialmente los azúcares formando compuestos que, además de no ser fermentables, pueden inhibir la actividad de la levadura; y b) el uso frecuente del ácido corroe los equipos y aumenta los riesgos de accidentes al tener que manipularlo constantemente.

El proceso biológico utiliza enzimas amilolíticas que se pueden obtener de varias fuentes. En los países occidentales usualmente se emplea malta, y en los orientales, salvado de trigo o de arroz germinados.

En años recientes se ha hecho mucho énfasis en la investigación sobre producción de enzimas elaboradas por microorganismos para ser utilizadas en la fabricación del alcohol. En Francia se desarrolló el proceso Amylo (2) utilizando especies de *Rhizopus*, y en los Estados Unidos, Banzon *et al.* (3) desarrollaron el proceso del salvado de cereales germinados con base en trabajos de Takamine, y Underkofler *et al.* (15) y Lemense *et al.* (6) el de fermentación sumergida. Este último método fue empleado con éxito por Teixeira (13) y Teixeira *et al.* (14) en la sacarificación de almidón de yuca para fabricar alcohol.

Todos esos procesos dieron rendimientos iguales o superiores a los obtenidos con la malta, por tanto, siempre son mejores que los de la hidrólisis ácida. La malta es una fuente de enzimas de origen vegetal a la que podría recurrirse, pero su producción es restringida en el país e importarla resultaría muy costoso. Las enzimas microbianas tienen un mercado cada vez mayor en relación con los procesos de fermentación sumergida y salvado de cereales germinados, ya que no requieren instalaciones adicionales costosas en las destilerías, ni mano de obra especializada.

Es conveniente describir como es la sacarificación del almidón y cómo actúan las enzimas provenientes de diversas fuentes en el proceso.

El desdoblamiento del almidón gelatinizado comprende la hidrólisis de los enlaces  $\alpha$ -1,4, los cuales unen las moléculas de glucosa en cadenas largas, y los enlaces  $\alpha$ -1,6, que forman los puntos de ramificación del componente amilopectina del almidón. La malta contiene las enzimas más importantes del desdoblamiento del almidón:  $\beta$ -amilasa y  $\alpha$ -glucosidasa, ésta última conocida como maltasa. La  $\alpha$ -amilasa rompe los enlaces  $\alpha$ -1,4 al azar dentro de la molécula, dando lugar a pequeñas cadenas de dextrosas denominadas dextrinas. Esto hace que la pasta gelatinizada del almidón sea menos viscosa y suministra un mayor número de terminales de cadenas sobre los que actúan las enzimas sacarificadoras. Si dicha enzima no rompe los enlaces  $\alpha$ -1,6, todos los puntos de ramificación, tanto de la molécula del almidón como de las dextrinas formadas por la  $\alpha$ -amilasa, permanecen intactos después del tratamiento con la  $\alpha$ -amilasa. Lo mismo que la  $\alpha$ -amilasa, la  $\beta$ -amilasa no rompe los enlaces  $\alpha$ -1,6, de modo que ambas no convierten más del 85% del almidón en azúcares fermentables (2). La  $\alpha$ -glucosidasa ataca los enlaces  $\alpha$ -1,6 de las moléculas de maltosa y, en menor grado, las dextrinas, formando glucosa. Estas tres enzimas permiten hidrolizar completamente la molécula del almidón formando azúcares fermentables.

Las enzimas microbianas  $\alpha$ -amilasa bacteriana termoestable y amiloglicosidasa fúngica también hidrolizan completamente las moléculas del almidón. La primera actúa como agente licuante y la segunda como agente sacarificador. La  $\alpha$ -amilasa bacteriana actúa de la misma manera que la  $\alpha$ -amilasa de la malta. No obstante, presenta algunas propiedades diferentes como la de poca estabilidad a un pH bajo, aunque es bastante más estable a temperaturas elevadas. La amiloglicosidasa ocasiona la ruptura de los enlaces  $\alpha$ -1,4 a  $\alpha$ -1,6 de las moléculas del almidón y de la dextrina, liberando glucosa. Esa es la principal diferencia entre esta enzima y la  $\alpha$ -amilasa de la malta que produce maltosa.

La sacarificación empleando malta se lleva a cabo en las destilerías en el sacarificador: un tanque dotado de dispositivos para enfriamiento, calentamiento y agitación. La enzima se agrega cuando la temperatura de la mezcla alcanza la temperatura de actividad de la enzima y luego se bombea la mezcla a las cubas. Cuando se utilizan

enzimas microbianas prefabricadas, el sistema de adición es semejante al empleado para la malta. Las cantidades empleadas dependen de la actividad de la enzima y de la cantidad de almidón que se va a sacarificar. Generalmente, el fabricante suministra las cantidades y las especificaciones relacionadas con su empleo, las que, en última instancia, dependerán de las propiedades bioquímicas de la enzima. La sacarificación se termina en las cubas, simultáneamente con la fermentación.

### Fermentación

Esta etapa comienza con la preparación del inóculo, cuya finalidad es multiplicar la levadura **Saccharomyces cerevisiae** hasta que alcance la cantidad necesaria para iniciar la fermentación en las cubas. Se toma el cultivo de levadura de un tubo de ensayo y se multiplica en frascos que contienen mosto esterilizado; los volúmenes crecientes se transfieren sucesivamente hasta alcanzar la etapa de inoculación en los multiplicadores de cultivo puro. La multiplicación del fermento prosigue en estos aparatos hasta obtener un volumen de inóculo correspondiente al 5-10% del volumen útil de la cuba de fermentación.

Al mosto que se está sacarificando, cuyo contenido de azúcares totales fluctúa de 15-18%, se agregan macro y micronutrientes (*principalmente sales de nitrógeno y fósforo*) antes de la levadura. El pH debe estar entre 4,0 y 5,0.

La fermentación alcohólica es un proceso exotérmico que requiere mantener la temperatura alrededor de 30°C, o sea la temperatura óptima de actividad de la levadura, evitando, al mismo tiempo, las pérdidas de alcohol por evaporación. Esto se logra equipando las cubas con un sistema de enfriamiento externo o interno. El tiempo de fermentación fluctúa de 36-48 horas. No obstante, con el proceso actual de fermentación rápida (9), el cual requiere una concentración elevada de células y determinados micronutrientes y factores de crecimiento, el tiempo se podrá reducir considerablemente a 12 horas o menos. Sin embargo, la disminución del tiempo estará limitada por la velocidad máxima que se pueda obtener de la sacarificación de las dextrinas con las enzimas amilolíticas.

La fermentación se puede efectuar mediante el sistema continuo o discontinuo. En el primer caso se alimenta la cuba continuamente con mosto y se obtiene un vino que fluye a una velocidad uniforme y que es transportado inmediatamente a las columnas de destilación (4). Este proceso exige cuidados especiales para evitar la contaminación y las posibles mutaciones de la levadura que perjudicarían toda la operación. En Brasil se emplea a menudo el proceso intermitente en la fermentación alcohólica del jugo de la caña y de la melaza, con variaciones en cuanto al sistema de tandas o lotes, aprovechamiento del inóculo y recuperación de la levadura.

### Tamizado

Concluida la fermentación, el vino se hace pasar por un tamiz para eliminar las partículas sólidas, constituidas principalmente por restos de fibras de la cáscara, que podrían perjudicar la destilación. A continuación se centrifuga el material para recuperar parte del fermento que, después de lavarlo, centrifugarlo y deshidratarlo nuevamente, podrá ser utilizado como suplemento alimenticio para animales por su gran contenido proteínico. Una parte pequeña del fermento centrifugado vuelve a las cubas para iniciar una nueva fermentación.

### Destilación

El vino resultante deberá contener de 7-11% de alcohol en volumen, el cual se separa de la mezcla hidroalcohólica por la diferencia del punto de ebullición del alcohol y del agua. Esta operación se efectúa en columnas de destilación, empleando las columnas de bajo grado para la destilación de aguardiente con cerca del 50% de alcohol en volumen. Para obtener alcohol industrial se somete el producto obtenido de la primera columna a una segunda destilación en columnas rectificadoras, cuya función es concentrar y purificar el alcohol, lo que da como resultado un contenido alcohólico máximo de 97,2% en volumen.

La deshidratación del etanol es necesaria cuando se desea obtener alcohol carburante para mezclarlo con la gasolina. Los métodos químicos utilizados emplean compuestos deshidratantes que absorben el agua del alcohol,

tales como el acetato de sodio, el óxido de calcio y otros. En uno de los dos procesos físicos se incorpora una tercera sustancia, denominada arrastradora que, por ser insoluble en uno de los dos componentes, ocasiona la separación del alcohol y del agua en una tercera columna. Mediante este proceso se obtiene 99,9% de etanol en volumen. Otro proceso físico, llamado de absorción regenerable, emplea un líquido con una alta capacidad de absorción de agua como la glicerina, el glicol y la solución de carbonato de potasio en glicerol. La ventaja de este proceso es que permite recuperar el absorbente por métodos físicos. Las bases técnicas y los pormenores del proceso de destilación se encuentran en la literatura especializada (8).

### Utilización de subproductos

Como subproductos de la destilación a nivel industrial se pueden obtener alcohol secundario y aceite combustible, a razón de 50 y 6 l por 1000 l de alcohol anhidro, respectivamente. Estos productos también se pueden obtener al destilar el vino de otras materias primas, pero en proporciones un poco diferentes.

Durante la fermentación se desprende CO<sub>2</sub>, que para una destilería con una capacidad diaria de 60.000 l equivaldría a 40 t. A nivel industrial el CO<sub>2</sub> se emplea en la gasificación de las bebidas, como medio inerte para soldar, en la fabricación de machos o ánimas de moldes para fundición, en la fabricación de puntas de caucho, en la descarbonización del hierro colado y en la refrigeración como hielo seco para transporte de alimentos perecibles (7).

Como resultado del tamizado del vino se obtiene, con respecto a la materia prima, cerca de 1,0% de residuo fibroso con 7,5-8,5% de materia seca con un contenido proteínico de 5,0-6,5%. Este producto, junto con otros residuos sólidos que quedan al pelar las raíces, se puede utilizar como suplemento de las raciones para animales.

En la fábrica de Petrobrás en Curvelo, Minas Gerais, se pretende obtener los siguientes subproductos y cantidades por año, con un régimen laboral de 320 días (7):

Raciones para animales	5.000 t
Aceite fusel	115.200 l
Alcohol secundario	960.000 l
CO <sub>2</sub>	10.000 t
Vinaza	2.400.000.000 l

Del complejo agroindustrial se obtienen diversos productos que, una vez comercializados, contribuyen a mejorar la rentabilidad de las empresas. Por ejemplo, la parte aérea de la planta, salvo los pedazos leñosos de las ramas, se puede emplear en la alimentación animal para aprovechar su alto contenido de proteínas y caroteno.

La utilización de hojas de yuca deshidratadas como subproducto para la alimentación humana, posiblemente para la preparación de sopas o de otros alimentos, también es bastante viable en razón de sus contenidos de proteína y vitamina A (Cuadro 4).

### Destilerías en operación

Actualmente hay dos destilerías de alcohol de yuca que operan a nivel industrial: la de Santa María situada en Lençóis Paulista y la de Curvelo, de Petrobrás, en Minas Gerais. La primera comenzó labores en enero de 1978, con una producción de 5000 l/día, que podría ampliarse a 20.000 l. En marzo del mismo año, la producción ya había alcanzado 40.000 l semanales. Esta destilería también procesa caña de azúcar. La destilería de la Universidad Federal do Ceará, cuya construcción fue subvencionada por Eletrobrás, tiene una capacidad de 12.000 l y está destinada a la investigación.

La Guardian Chemical Corporation de los Estados Unidos promovió la instalación de una destilería de alcohol de yuca, con una capacidad de 45.000 l diarios, cerca de Houston, Texas, la cual entrará a funcionar en breve. El etanol producido se mezclará con la gasolina en una proporción inicial del 10%, que se aumentará posteriormente al 20%.

Un caso interesante es el de Australia que, a pesar de poseer una agroindustria azucarera

muy bien establecida, dio preferencia a la yuca, incluso tratándose de un cultivo nuevo, por considerarla como una materia prima superior a la caña de azúcar para la producción de alcohol. Es posible que la utilización de un cultivo recién introducido, pero con bases tecnológicas avanzadas, alcance mayor éxito que en Brasil donde por ser la yuca un cultivo de subsistencia no ha sido hasta ahora debidamente aprovechado desde el punto de vista tecnológico.

El interés del Japón por producir alcohol de yuca es enorme, ya que el 88% de la energía primaria consumida depende de fuentes externas. Por esta razón se creó recientemente la International Mandioca Development Co. Ltd. en Tokio, cuya casa matriz se encuentra en Belém do Pará, como un esfuerzo conjunto de firmas brasileñas y el respaldo de los gobiernos de Brasil y Japón. Se estima en US\$20 millones la inversión necesaria para que la empresa pueda comenzar a funcionar. Inicialmente se limitará a proyectos experimentales en un área de 50.000 ha con un objetivo de 75 millones de l de alcohol anuales. Posteriormente se seleccionarán 40 localidades de 50.000 ha, cada una en diversas regiones del país, para producir 3.000 millones de l de alcohol por año que se mezclarán a la gasolina. El cultivo de la yuca en grande escala, para el cual se ha fijado un objetivo de 40 t/ha, se iniciará en un área de 350 ha localizada en Tomé-Açu en la Amazonia. Se pretende instalar también una fábrica piloto que entrará en operación el año entrante.

#### Destilerías anexas a fábricas de almidón

La Companhia Lorenz de Santa Catarina, la cual posee una tradición de más de 50 años en el

cultivo de la yuca y en la producción industrial de almidón y equipos para fábricas de almidón, pretende instalar en Cianorte, Paraná, una destilería de alcohol de yuca anexa a una fábrica de almidón, con una capacidad de 60.000 l diarios de alcohol. Esto tiene ciertas ventajas, entre ellas el abastecimiento permanente y seguro de materia prima a precio estable, lo que permite, por otra parte, el funcionamiento normal de las diversas fábricas de almidón ya instaladas que se encuentran en situación deficitaria en razón de las bajas cotizaciones del almidón y de los trozos de yuca en el mercado internacional.

Por otra parte, la destilería mejorará ampliamente la distribución de los ingresos ya que podrá operar 300 días/año y contará con un gran número de abastecedores de varios municipios. La caña, por el contrario, sólo copa 180 días/año y el abastecimiento de materia prima corre por cuenta de tan solo algunos empresarios grandes.

La cocción de la pulpa es necesaria para producir almidón mediante este proceso, ya que como el almidón se separa en centrifugas carece de compuestos lignocelulósicos que dificultan la hidrólisis. Como la fábrica de almidón ya está instalada, las centrifugas para la preparación del almidón no representarían una inversión adicional. Será necesario, sin embargo, adquirir los sacarificadores, las cubas y las columnas de destilación. Faltaría por determinar si la cantidad de almidón que se pierde durante la centrifugación sería apreciable y si ese desperdicio se compensa al no tener que tamizar el vino para eliminar los restos de cáscara, operación que es necesario efectuar cuando se trabaja con trozos o raíces enteras de yuca.

**Cuadro 1. Producción y rendimiento anual estimados de diversas fuentes de hidratos de carbono y su rendimiento en alcohol.**

Fuentes de hidratos de carbono	Producción brasileira (millones de t.)	Productividad (t/ha-año)	Producción media de hidratos de carbono (t/ha-año)	Rendimiento en alcohol	
				(l/t)	(l/ha)
Caña de azúcar	120 <sup>a</sup>	45	5,7	67	3015
Yuca	26 <sup>b</sup>	12	4,3	180	2160
Sorgo dulce*		35 <sup>d</sup>	5,5 <sup>d</sup>	55	1925
Batata	1,6 <sup>a</sup>	10	2,5 <sup>d</sup>	125	1250
Maíz	16 <sup>a</sup>	1,5	1,2	385	580
Babassú	12,4 <sup>c</sup>	2,5	0,4	80	200

\*Valores estimados, no existen plantaciones comerciales en Brasil.

Fuentes

a - IBGE - Anuario Estadístico Brasileiro (1977)

b - Equipo técnico de estadística agropecuaria del Ministerio de Agricultura

c - STI/MIC - Producción estimada media de tres años

d - Valores estimados del alcohol producido del tallo y de una sola cosecha anual

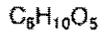
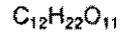
**Cuadro 2. Producción y rendimiento de yuca en 1978.**

Unidad de la federación	Area sembrada (ha)	Producción (t)	Productividad media (t/ha)
Acre	11.600	174.000	15,0
Amazonas	58.333	700.000	12,0
Pará	100.000	1'083.618	10,7
Maranhão	324.493	2'358.015	8,8
Piauí	86.923	716.557	8,24
Ceará	175.000	1'665.000	9,5
Río Grande do Norte	62.097	499.308	8,0
Paraíba	75.476	681.929	9,0
Pernambuco	200.000	2'000.000	10,0
Alagoas	45.836	458.699	10,0
Sergipe	35.503	390.533	11,0
Bahia	296.000	4'440.000	15,0
Minas Gerais	127.387	1'974.417	15,5
Espírito Santo	68.600	960.400	14,0
Río de Janeiro	15.197	219.175	14,4
São Paulo	33.000	717.000	21,7
Paraná	52.000	920.000	17,7
Santa Catarina	129.045	2'017.104	15,6
Río Grande do Sul	232.800	2'674.400	11,5
Mato Grosso	58.171	872.565	15,0
Goiás	28.000	420.000	15,0
Outras	5.065	64.328	12,7
Total Brasil	2'220.526	26'007.048	11,7

**Cuadro 3. Contenidos de proteína y vitamina A de las hojas de yuca deshidratadas.**

Variedad	Proteína (g/100g)	Vitamina A (U.I.)
Vassourinha	24,56	15.330
IAC x 352-7	23,87	11.600
No. 454 - Guaxupé	25,18	11.600
IAC 14-18	22,33	14.600
Mantiqueira	23,78	10.200

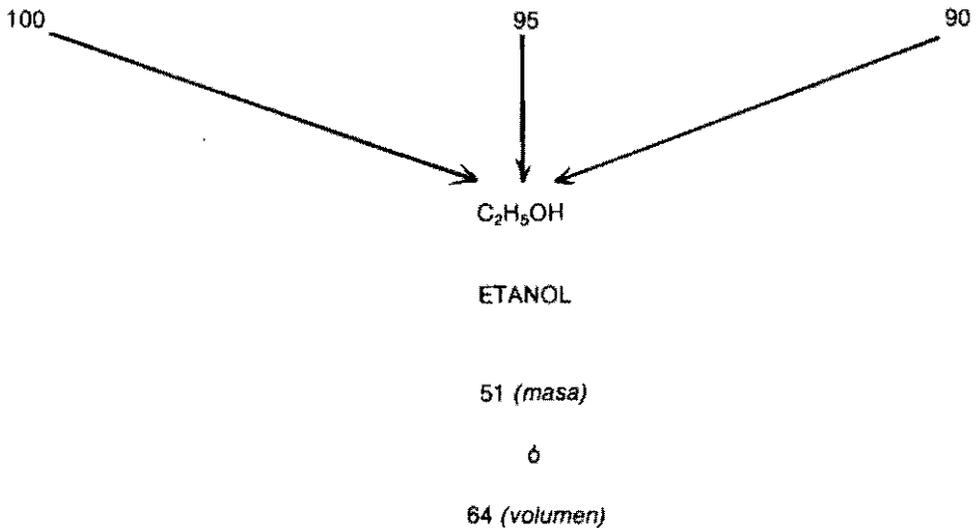
Fuente: Vitti et al. (16).



GLUCOSA  
FRUCTOSA

SACAROSA

ALMIDON  
CELULOSA



**Figura 1. Correspondencia entre hidratos de carbono y alcohol etílico.**

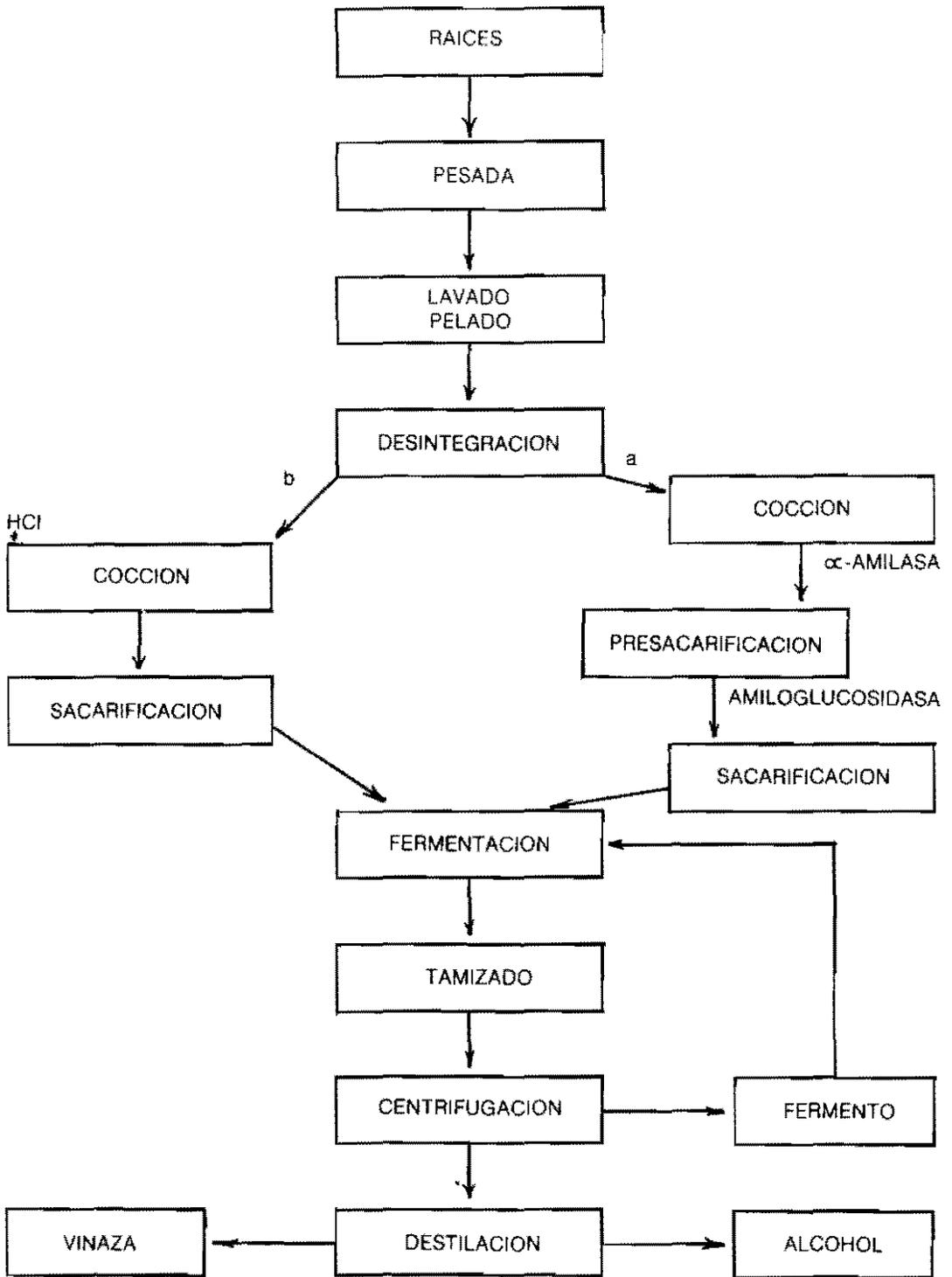


Figura 2. Diagrama del proceso de fabricación de alcohol de yuca o batata:  
 a) hidrólisis enzimática, b) hidrólisis ácida.

## Literatura citada

1. ALMEIDA, J.R. DE 1943 Fabricação de álcool da mandioca. *Jornal de Piracicaba*. 92p.
2. ASCHENGREEN, N.H. 1969. Microbial enzymes for alcohol production process. *Biochemistry* 4 (8):23-25.
3. BANZON, J.; FULMER, E.I. and UNDERKOFER, L.A. 1949 Fermentative utilization of cassava. The production of ethanol. *Iowa State College Journal of Science* 23(2):219-235.
4. GOVEA, V. DE S. 1973. Alcool de mandioca por fermentação contínua. *Revista Latinoamericana de Microbiologia* 15:147-150.
5. GRAVATA, A.G. 1943. As indústrias de mandioca. In *Manual da Mandioca*. São Paulo, Chácaras e Quintaes. 266p.
6. LE MENSE, E.H. et al. 1947 Production of mold amylases in submerged culture. *Journal of Bacteriology* 54(2): 149-159.
7. LIMA, T.B.S. 1977. Possibilidades de produção de álcool a partir da mandioca. In *Anais do I Simposio sobre Produção de Alcool no Nordeste*. Fortaleza, Ceará. pp.121-168.
8. LIMA, U.A. 1975. Produção de etanol. In *Tecnologia das Fermentações*. Edgar Blucher Ltda., São Paulo. pp.48-87.
9. NAGODAWITHANA, T.W., CASTELLANO, C. and STEINKRAUS, K.H. 1974. Effect of dissolved oxygen, temperature, initial cell count and sugar concentration on the viability of *Saccharomyces cerevisiae* in rapid fermentation. *Applied Microbiology* 28(3):383-391.
10. NORMANHA, E. 1971. Production and utilization of cavassa in Brazil. Campinas, São Paulo, Brazil, Instituto Agrônômico 11p
11. TEIXEIRA, C.G. 1966. O milho como matéria-prima. Produção de álcool de milho. In *Cultura e Adubação do Milho*. Instituto Brasileiro de Potassa, São Paulo. 541p.
12. ————1964. Produção de álcool de substâncias amiláceas. *Boletim do Centro Tropical de Pesquisa e Tecnologia de Alimentos* 1:16-27.
13. ————1950. Produção de álcool de mandioca; utilização de bolores na sacarificação do amido. *Bragantia* 10(10):277-286.
14. ————; ANDREASEN, A.A. and KOLACHOV, P. 1950. Ethyl alcohol from cassava. *Industrial and Engineering Chemistry* 42(9): 1781-1783.
15. UNDERKOFER, L.A.; SEVERSON, G.M. and GOERING, K.J. 1946. Saccharification of grain mashes for alcohol fermentation. Plant scale use of mold amylase. *Industrial and Engineering Chemistry* 38:980-985.
16. VITTI, P.; FIGUEIREDO, I.B. and ANGELUCCI, E. 1972. Folhas de mandioca desidratadas para fins de alimentação humana. *Coletânea do Instituto de Tecnologia de Alimentos (Brazil)* 4:117-125.

# PRODUCCION DE ETANOL VIA HIDROLISIS DE CELULOSA

**Hugo Salazar M.\***

## Resumen

La hidrólisis de la celulosa contenida en los residuos agrícolas se presenta como una alternativa para incrementar la producción de etanol. Dos tipos de hidrólisis se discuten: la enzimática y la ácida. Se presentan algunos resultados experimentales logrados en un estudio sobre la hidrólisis ácida de celulosa, utilizando ácido sulfúrico en dos etapas bien diferenciadas, en donde se obtuvo rendimientos de glucosa del orden de 95%. Se concluye que en un futuro, los costos de producción de etanol a partir de residuos agrícolas serán competitivos con los actuales. Se hace énfasis en la necesidad de estudiar en detalle el tratamiento y uso de los subproductos del proceso.

## Introducción

Durante los últimos años se han venido desarrollando muchos estudios referentes a la disponibilidad de recursos, tanto para fines alimenticios como para ser utilizados en la generación de energía y la elaboración de productos químicos.

La FAO, en cooperación con otros organismos, ha afrontado el problema mundial de alimentos. Otras entidades como por ejemplo la UNITAR, han organizado conferencias mundiales (14), en las cuales se ha planteado la urgente necesidad de afrontar el problema energético mediante la utilización racional de los escasos recursos no renovables aún existentes y el incremento en la producción y mejor utilización de los recursos renovables. Otras instituciones como CHEM-RAWN han reunido expertos mundiales para estudiar las futuras fuentes de recursos (2) y han concluido que la escasez de los mismos podrá

ser solucionada mediante el incremento y mejor utilización de los recursos renovables, especialmente aquellos orgánicos.

El Prof. Reddy (11) presenta un esquema donde se muestra la producción y utilización de la biomasa en forma integral (Fig. 1).

De lo anterior es fácil concluir que la demanda y, lógicamente, la producción mundial de recursos renovables, especialmente agrícolas, irán en aumento cada año, lo cual incrementará también la disponibilidad de residuos agrícolas.

Por otra parte, una de las alternativas planteadas y ya experimentadas para resolver el problema del sector energético y de productos químicos, ha sido el llamado programa alcohol-químico, cuyo principal exponente ha sido el Brasil (9, 18) con la producción a gran escala del etanol.

Colombia, con su gran potencial agrícola, reúne muchas de las características necesarias para solucionar los grandes problemas actuales

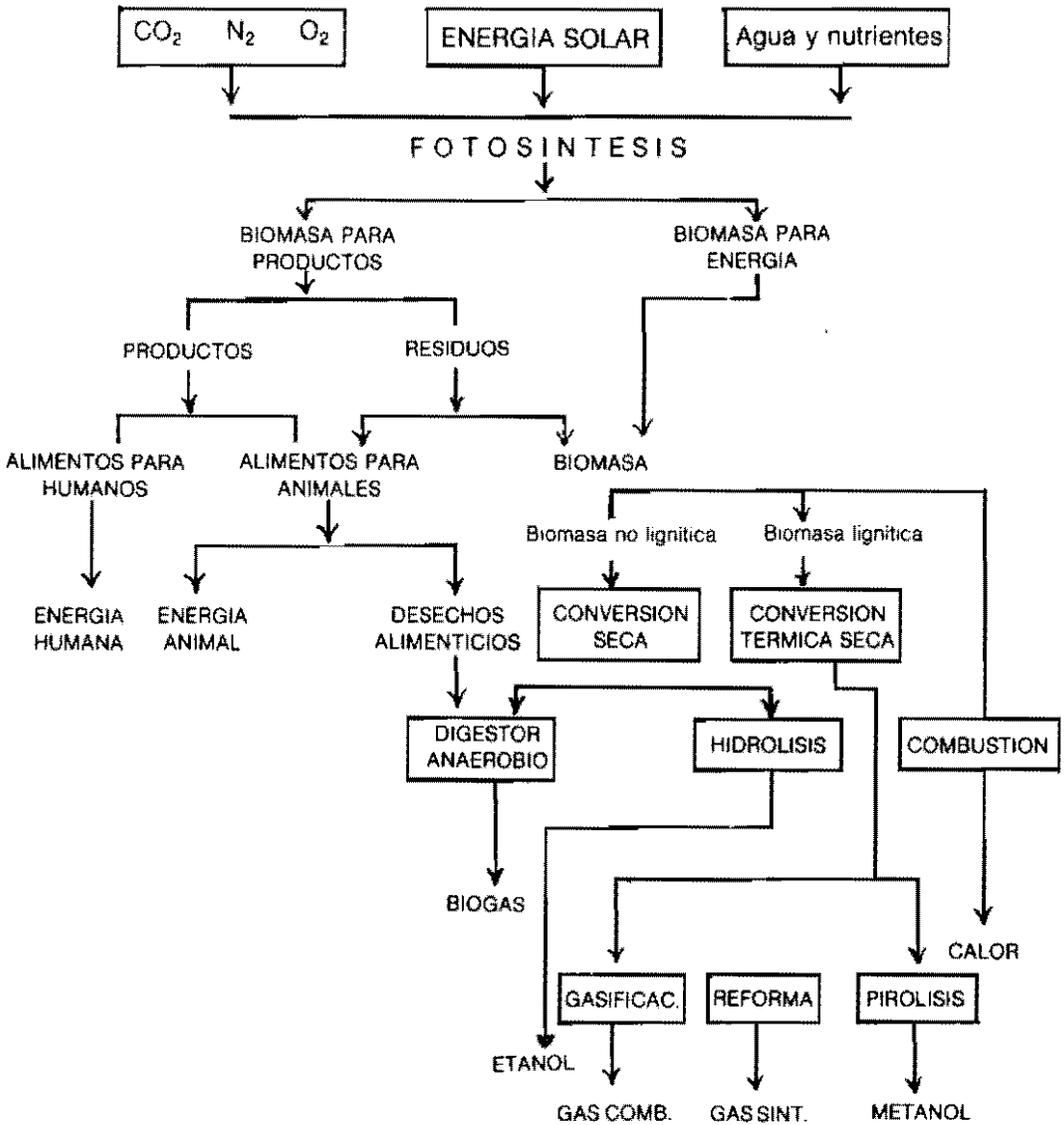
---

\* Universidad del Valle, Dpto. de Procesos Químicos y Biológicos, Apartado Aéreo 2188, Cali, Colombia.

de recursos para la alimentación, la energía y los productos químicos.

El etanol se ha venido fabricando tradicionalmente a partir de melazas y algunos ya han comenzado a producirlo a partir de la yuca y

hasta del banano; pero existe una materia prima abundante mundialmente que es la celulosa, la cual se estima en  $10^{11}$ t/año (5). Es posible convertir ésta celulosa en etanol, lo cual daría una producción potencial del orden  $10^{12}$ t/año de etanol (de 3 a 4 veces la producción actual del petróleo).



Fuente: Reddy, A.K.N. (11)

**Figura 1. Producción y utilización de la biomasa en forma integral.**

En este trabajo se da una visión general del proceso de hidrólisis de celulosa como una alternativa para la futura producción de etanol a partir de residuos agrícolas, donde se encuentra en altas proporciones (4). Parte de los datos han sido obtenidos en investigaciones preliminares realizadas en los laboratorios de la Universidad del Valle.

### La celulosa en los residuos agrícolas

La celulosa, el componente principal del tejido fibroso de la pared celular de las plantas, es un polímero natural constituido por un gran número de unidades de  $\beta$ -glucosa. El número de unidades de glucosa en la molécula es el llamado grado de polimerización (10). La celulosa consta de una parte cristalina (*arreglo ordenado*) y una parte amorfa (*estado desordenado*), cuya relación depende de la fuente (7, 8). Además, en todo material celulósico se encuentran presentes la hemicelulosa y la lignina, las cuales son polímeros de pentosas, hexosas y fenilpropano (Cuadro 1).

Como se puede apreciar en la Figura 2, los residuos agrícolas también tienen otros productos de gran importancia industrial.

Alrededor de un 95% de los productos quími-

cos orgánicos tales como plásticos, caucho sintético y fibras no celulósicas producidos actualmente, son conceptualmente derivables de los constituyentes de todo material celulósico (15).

La producción de algunos residuos agrícolas en Colombia se muestra en el Cuadro 2.

**Cuadro 2. Producción de algunos residuos agrícolas en Colombia.**

RESIDUOS	PRODUCCION (t/año)
Bagazo de caña	1'435.000 (b)
Cascarilla de café	108.000 (c)
Cascarilla de algodón	2.340 (d)
Linters de algodón	12.724 (d)
Cáscara de coco	21.000 (d)
Semilla de algodón (mota)	4.849 (d)
Afrecho de maíz	10.432 (e)
Afrecho de arroz	14.879 (e)

Fuente: Duque, A. et al (4)

(a) En base seca

(b) Valle del Cauca, 1978

(c) 1978

(d) 1975

(e) Se consumió menos del 20% de lo producido en 1975.

**Cuadro 1. Composición (% en peso)\* de algunos residuos agrícolas\*\***

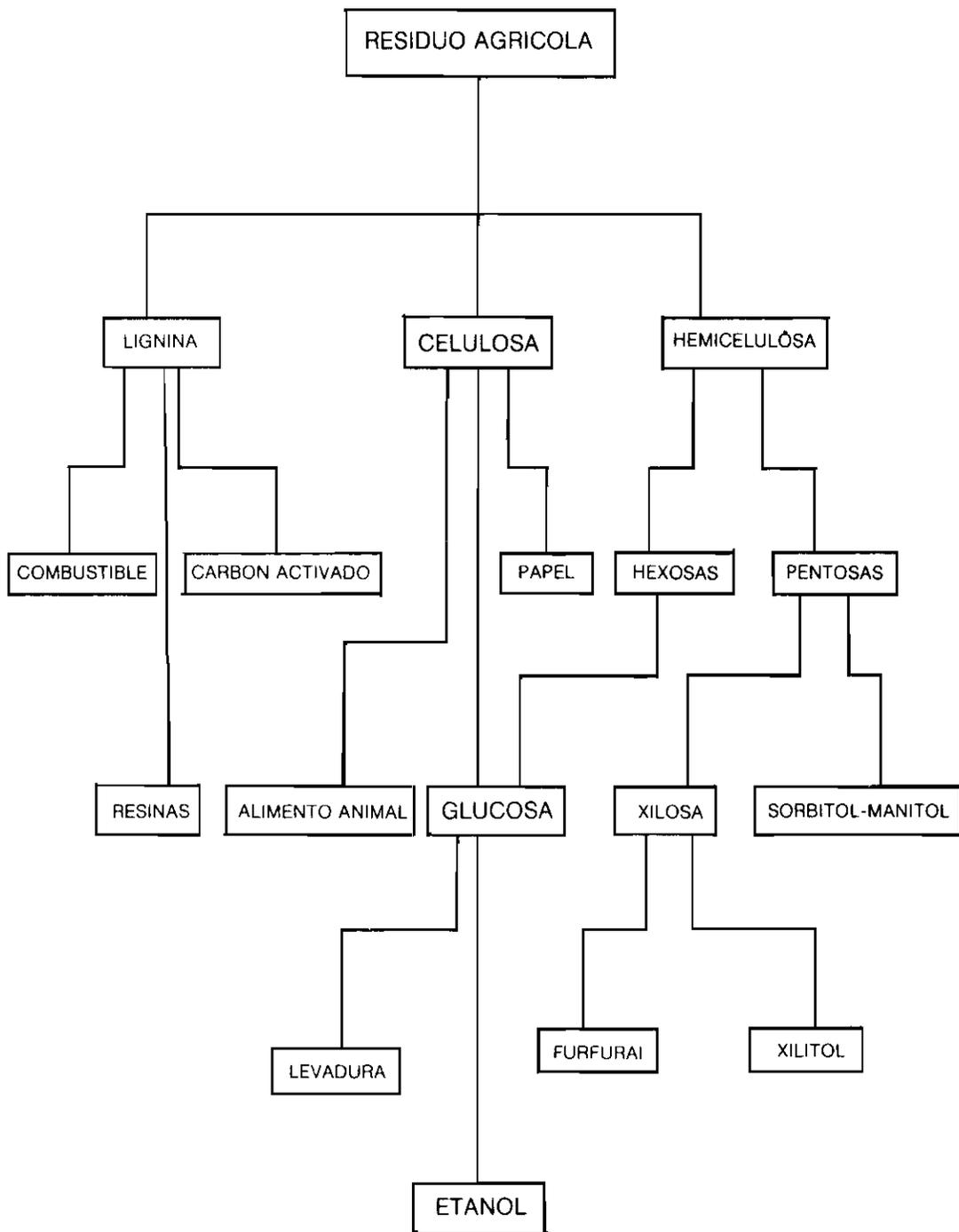
Material	Celulosa	Pentosas	Lignina
Bagazo de caña	46,0	24,5	20,0
Cascarilla de algodón	35,1	21,0	16,8
Tusas de maíz	36,5	28,1	10,4
Corteza de roble	44,8	19,6	24,8
Cáscara de mani***	45,7	18,9	-
Tallos de maíz***	38,4	27,6	-
Paja de cereales***	41,5	27,5	-
Cascarilla de arroz	28,8	-	35,8
Cáscara de coco	25,2	-	6,5
Tallos de tabaco	40,0	20,5	13,0

Fuente: Duque, A. et al (4)

\* De los principales componentes

\*\* Expresado en base seca

\*\*\* Reportado como libra cruda



Fuente Duque, A et al (4)

**Figura 2. Aprovechamiento integral de los residuos agrícolas.**

La mayoría de estos residuos no se están utilizando, ni total ni adecuadamente. Del bagazo de caña producido, sólo el 17% se consume para la industria del papel y alrededor de un 10% se quema para la producción de vapor en los ingenios.

### Hidrólisis de celulosa

Existen básicamente dos formas de hidrolizar la celulosa: mediante un proceso enzimático o mediante un tratamiento ácido. En ambas formas se ataca el enlace  $\beta$ -glucosídico.

La velocidad de degradación de la celulosa y su eficiencia es función del agente hidrolizante (enzima, hongo, ácido, etc.) de su concentración y de la temperatura como variables principales.

#### Hidrólisis enzimática

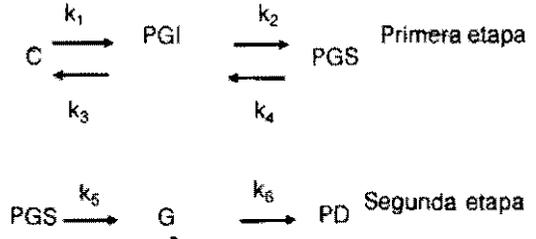
Este proceso, a pesar de ser lento, puede llegar a rendimientos de 99% de glucosa (16) si la celulosa es delignificada previamente por un proceso de autohidrólisis-extracción (17).

#### Hidrólisis ácida

Este tipo de hidrólisis ha sido bastante estudia-

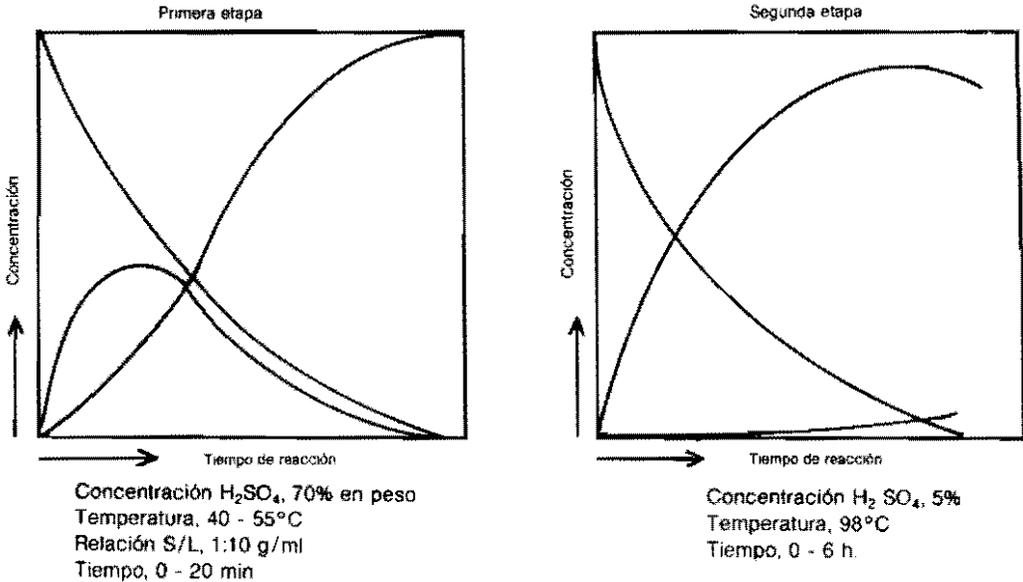
do (1, 6, 7, 8, 10, 12, 15), pero existen muchas contradicciones en los resultados de los estudios cinéticos realizados.

El mecanismo general de sacarificación se puede representar por el siguiente modelo que fue comprobado experimentalmente (4):



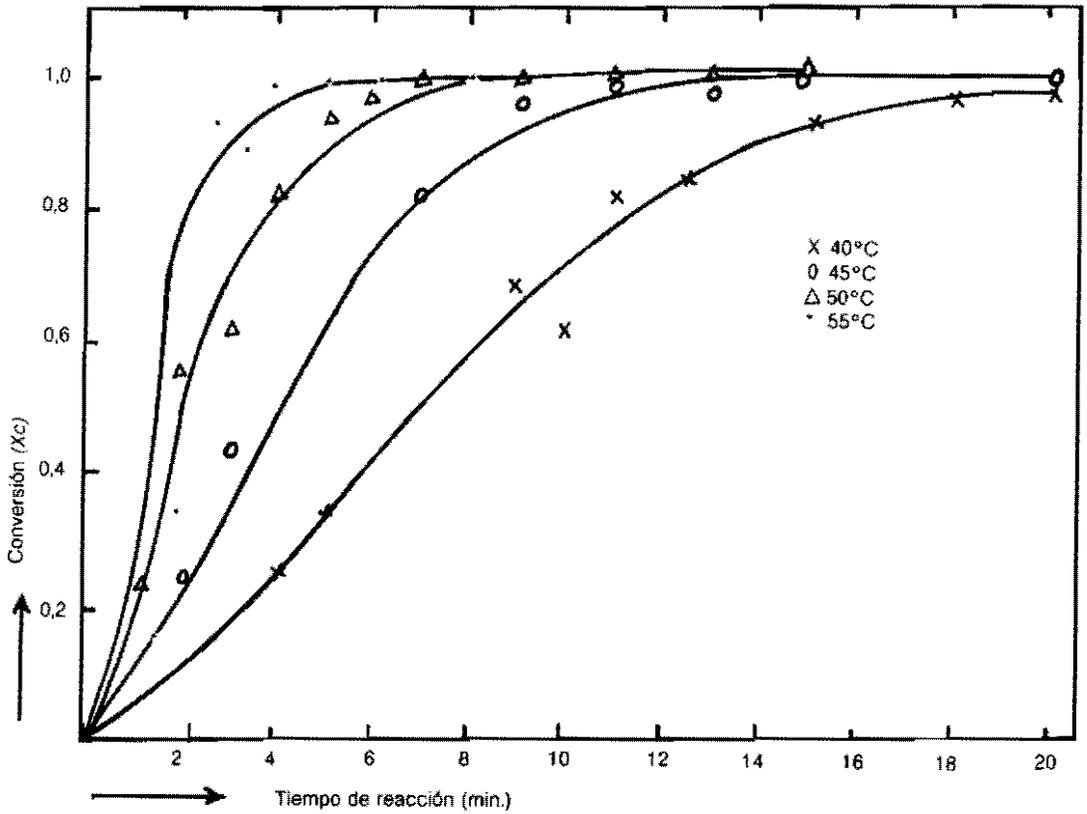
Donde, C es la celulosa, PGI son polímeros de glucosa insolubles en ácido diluido, PGS son polímeros de glucosa solubles en ácido diluido, G es glucosa y PD son productos de descomposición. El modelo se representa en la Figura 3.

La experimentación se hizo utilizando una pulpa con alto contenido de celulosa sin degradar (86%) y un grado de polimerización de 800 (4). Los resultados obtenidos se pueden observar en las Figuras 4, 5 y 6.



Fuente: Duque, A. et al (4)

Figura 3. Modelo cinético de la hidrólisis ácida de celulosa.

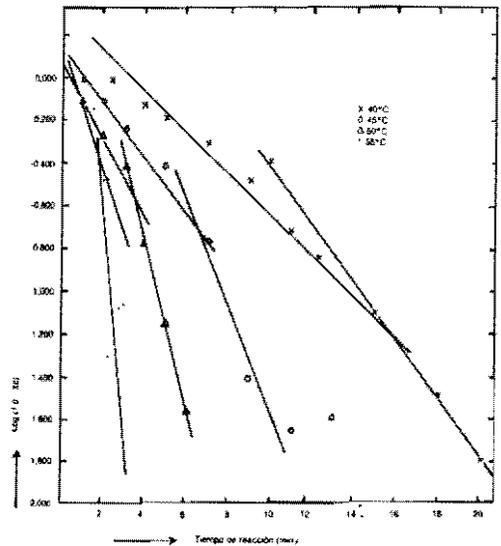


Fuente: Duque, A. et al. (4)

Figura 4. Conversi3n de celulosa a polisac3ridos solubles como funci3n de la temperatura (curvas experimentales).

Fuente Duque, A. et al. (4)

Figura 5. Determinaci3n de las constantes de velocidad de reacci3n  $k_1$  y  $k_2$ .



Algunos valores cinéticos de la primera etapa están resumidos en el Cuadro 3.

**Cuadro 3. Constantes de velocidad de reacción.**

Temp. (°C)	$k_1$ (min <sup>-1</sup> )	$k_2$ (min <sup>-1</sup> )
40	0,1909	0,3103
45	0,3010	0,3788
50	0,5525	0,9427
55	0,8302	2,6440

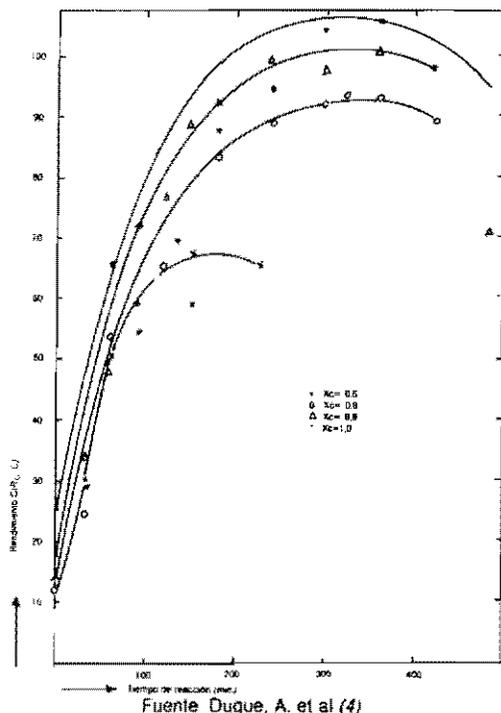
Energía de activación (kcal/mol)	20,4	28,1
----------------------------------	------	------

Fuente: Duque, A. et al. (4)

La hidrólisis ácida puede llevarse a cabo mediante dos procesos bien diferenciados: con ácido concentrado y diluido; una comparación de éstos se presenta en el Cuadro 4.

### Discusión

Antes de efectuar la hidrólisis enzimática de celulosa, se requiere un tratamiento previo,



**Figura 6. Rendimiento de glucosa a partir de diferentes valores de polímeros solubles con base en la celulosa inicial.**

además, las plantas son muy grandes y la inversión de capital es alta.

Wayman et al. (16) hacen un estudio comparativo entre la hidrólisis enzimática y la hidrólisis ácida. Sus principales conclusiones son:

	<b>Hidrólisis enzimática</b>	<b>Hidrólisis ácida</b>
Producción etanol/t de madera	517 lbs	436 lbs
% recuperación energía	42,3	37,1
Precio/gal de etanol (10 millones gal/año)	US\$ 1,34	US\$ 1,42

Aunque el proceso enzimático parece a primera vista más atractivo que el proceso ácido, esta conclusión no es totalmente cierta, debido a que los rendimientos asumidos para la hidrólisis ácida (80%) en la realidad pueden llegar al 95% o más, como se puede observar en los resultados experimentales presentados aquí. Además, la neutralización del ácido puede hacerse con

miras a obtener un producto de interés industrial como el sulfato de aluminio.

Thompson & Grethlein (13) hacen una evaluación preliminar de un posible proceso continuo de hidrólisis ácida previendo rendimientos del 50% en glucosa a condiciones de 240°C y 1% de ácido, con tiempos de resistencia de 0,22 min. Es

**Cuadro 4. Comparación entre los procesos que utilizan ácido concentrado y los procesos que utilizan ácido diluido.**

	<b>Ventajas</b>	<b>Desventajas</b>
<b>Proceso con ácido concentrado</b>	Hidrólisis a presión atmosférica y temperatura baja	El material celulósico debe estar seco
	Los rendimientos de glucosa son muy altos	Requiere equipo de material anti-corrosivo
	Se pueden obtener varios productos	Es imprescindible recuperar el ácido
<b>Proceso con ácido diluido</b>	No requiere que el material celulósico esté seco	Alta presión y temperatura requieren equipo pesado
	No hay necesidad de recuperar el ácido	Requiere equipo de material anti-corrosivo
		Las soluciones de azúcar obtenidas están limitadas a procesos de fermentación

Fuente: Duque, A. y Salguero, A. (3)

Un esquema simplificado de lo que podría ser un proceso de hidrólisis ácida utilizando bagazo

de caña como materia prima se muestra en la Figura 7.

posible que se pueda mejorar el rendimiento de este proceso si se considera la posibilidad de hacerlo en dos etapas: la primera con ácido concentrado (70%) a baja temperatura (50-60°C) y la segunda con ácido diluido (5%) y una temperatura mas alta (100°C).

### Conclusiones

En general se puede afirmar que el seguir estudiando diferentes posibilidades de hidrolizar los materiales celulósicos, traerá como consecuencia mayores rendimientos y disminución de los costos de producción.

Aunque en nuestro medio poseemos cuantiosos recursos que pueden generar directamente el etanol, si se piensa intensificar la utilización de este producto para usos energéticos y de productos químicos, la producción por medios tradi-

cionales no podrá satisfacer la demanda futura. Por tanto, es necesario continuar estudiando este tipo de tecnologías de hidrólisis de materiales celulósicos, entre los cuales se encuentran los residuos agrícolas.

También es necesario tener en cuenta que cualquiera que sea el proceso que se vaya a implantar, ellos producen grandes cantidades de residuos, algunos contaminantes, los cuales deben tratarse y/o utilizarse para evitar desequilibrios ecológico-ambientales.

### Reconocimiento

Deseo expresar sinceramente mis agradecimientos a: J. Lora, J. Colmenares, A. Duque, A. Salguero, R. Niño y M.F. Ruiz, quienes con su apoyo y colaboración han hecho posible la realización de estudios reportados en este trabajo.

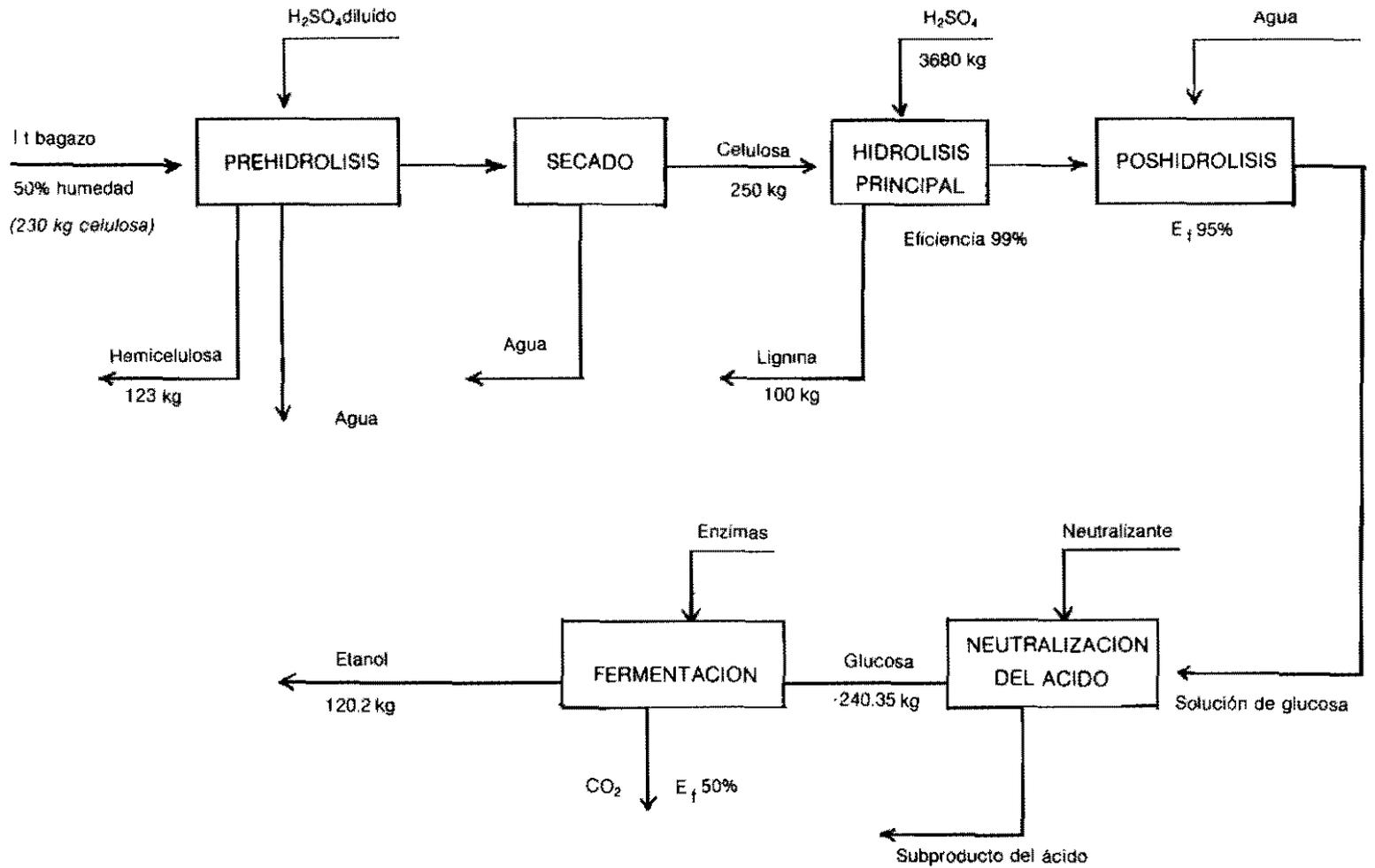


Figura 7. Balance de materia para un proceso de hidrólisis ácida de bagazo de caña.

## LITERATURA CITADA

1. ARNOLD, E. 1929. The constitution of sugars. London.
2. CHEMRAWN. 1978. World conference on future sources of organic raw materials. Toronto, Canada.
3. DUQUE, A. y SALGUERO, A. 1979. Hidrólisis ácida de celulosa. Proyecto de Grado. Ingeniería Química, Universidad del Valle, Cali, Colombia.
4. DUQUE, A.; SALGUERO, A. y SALAZAR, H. 1979. Etanol a partir de desechos agrícolas. Hidrólisis ácida de celulosa. VIII Congreso Interamericano de Ingeniería Química, Bogotá, Colombia.
5. HALL, D. 1978. Solar energy conversion through biology could it be a practical energy source. *Fuel* 57:322.
6. HAWORTH. 1928. *Helv. Chim. Acta* 11:534
7. HERMANS y WEIDINGER, J. 1949. *J. Polymer Sci.* 4:135.
8. ————; MAKROMAL. 1951. *Chem.* 6:25.
9. JACKSON, E.A. 1976. Brazil's National Alcohol Programme. *Process Biochemistry* 29.
10. OTT, C.; SPURLIN, H.M. y GRAFFIN, M. 1954. *Cellulose and cellulose derivatives*. 3 Vol., Intersc., N.Y.
11. REDDY, A.K.N. 1979. Biomass as an energy source. UNITAR Conference on longterm energy resources Montreal, Canada.
12. STOCKMAN, L. 1978. Forestry, Sweden. World Conference on future sources of organic raw materials. Toronto, Canada.
13. THOMPSON, D.R. y GRETHLEIN, H.E. 1979. Design and evaluation of a plug flow reactor for acid hydrolysis of cellulose. *Ing. Eng. Chem. Prod. Res. Dev.* 18(3):166.
14. UNITAR. 1979. Conference on long-term energy resources. Montreal, Canada.
15. VILBRAND, F.C. et al 1940. Hydrolysis of peanut hulls. *Ind. Eng. Chem.* 32(2):169.
16. WAYMAN, M., LORA, J.H. y GULBINAS, E. 1978. Material and energy balances in the production of ethanol from wood. *American Chemistry Society Symposium Series* 90.
17. ———— y LORA, J.H. 1978. Aspen autohydrolysis. *TAPPI* 61(6):55.
18. YAND, V. y TRINDALE, S.C. 1979. Brazil's Gasohol Program. *Chemical Engineering Progress* 75(4):11.

# EL ALCOHOL Y EL ACEITE VEGETAL COMO COMBUSTIBLES PARA MOTORES\*

**Urbano Ernesto Stumpf\*\***

## Resumen

Se analizan las perspectivas brasileñas para la utilización de alcohol etílico, producto de la bioconversión: 1) autosuficiencia en combustible líquido para uso automotriz, 2) solución al problema de la contaminación atmosférica, 3) economía y fuentes de divisas. Con base en este análisis, el gobierno creó el Programa Nacional del Alcohol, a través del cual se han aprobado más de 200 destilerías. Se considera a Brasil como un país privilegiado por poseer las 3 condiciones esenciales para la producción de etanol: gran extensión territorial, suelo apropiado para la agricultura y clima tropical. Se discuten las principales propiedades técnicas del etanol: 1) aumento alto del número de moléculas en la combustión, 2) combustión con mezcla pobre, 3) alto poder antidetonante, 4) alto calor latente de vaporización, 5) temperatura de ebullición constante, y 6) alta densidad. Las características especiales de éste, relacionadas con el funcionamiento de los motores son: volatilidad, lubricación y poder antidetonante. La aplicación del alcohol en los motores se puede hacer de 3 maneras: en mezcla con gasolina, en paralelo, o sea con gasolina y con aceite para motores ACPM, en motores de gasolina convertidos y en motores especiales para alcohol. Para cada uno de ellos se presentan las ventajas y desventajas de su utilización.

## Introducción

Teóricamente, cualquier alcohol podría ser usado como combustible de motores a combustión interna; sin embargo, por consideraciones económicas y técnicas, se usan principalmente 2 de estructura molecular más sencilla: el metanol y el etanol.

El metanol o alcohol metílico ( $CH_3OH$ ),

también conocido como alcohol de madera, tiene características muy especiales como combustible de motores, a punto de ser usado en automóviles de alta eficiencia (*carros de carreras*) y en los aviones de propulsión.

La producción industrial del metanol se hace a partir del gas de petróleo, la madera y el carbón mineral. Como existen extensas reservas de carbón mineral en el Hemisferio Norte, el interés por el metanol es mayor en los países que tienen carbón, principalmente Alemania, Inglaterra, Estados Unidos y Australia. En el Brasil, la materia prima más apropiada es la madera (*celulosa*).

El etanol o alcohol etílico ( $C_2H_5OH$ ) se puede obtener sintéticamente a partir del petróleo y del

---

\* Compilado y traducido por Julio César Toro, Agrónomo, Programa de Yuca, Centro Internacional de Agricultura Tropical, Apartado Aéreo 67-13, Cali, Colombia.

\*\* Profesor, Ingeniero Investigador del Centro Tecnológico Aeroespacial (CTA), São José dos Campos, São Paulo, Brasil.

carbón mineral, pero es antieconómico en países como Brasil. De mayor importancia, especialmente para el Brasil, es el etanol proveniente de la bioconversión, o sea de la energía solar captada a través de la fotosíntesis de las plantas.

Todo esto le valió a este producto de la biomasa renovable el siguiente tema: "El alcohol de fotosíntesis es energía solar en el estado líquido".

La aplicación del alcohol etílico como combustible no es ninguna novedad puesto que fue usado casi desde los principios de la era del motor a combustión. Fue usado en Alemania y Francia desde 1894, en la tentativa que tuvieron para independizarse de la importación de petróleo. En todo el mundo, las investigaciones fueron interrumpidas y reiniciadas conforme a las épocas de carencia de petróleo o de divisas. Por otra parte, varios países usaron el alcohol etílico en mezcla con otros combustibles (*benzol, éter, gasolina, etc.*) para aprovechar sus excedentes agrícolas o para atender a necesidades internas. En el Brasil hay informes de investigaciones y hasta de una carrera de automóviles con alcohol etílico en 1925. En esa época, la producción brasileña de alcohol etílico era 70 veces superior al consumo de gasolina. El interés en este producto se intensificó durante los años de 1930, 1940, 1950, 1958 y 1973. Durante la Segunda Guerra Mundial, el etanol fue usado intensamente en el nordeste del país, aunque con baja eficiencia; también fue usado en el Japón para los aviones militares de combate.

### Prespectivas brasileñas para el alcohol carburante

El empleo a gran escala de alcohol etílico, producto de la bioconversión, proporciona al país: 1) la autosuficiencia en combustible líquido para uso automotriz, sustituyendo los derivados del petróleo y dando garantías estratégicas y económicas; 2) una solución satisfactoria para el problema de la contaminación atmosférica por los gases de escape de los motores; 3) una economía y fuente de divisas.

Para esto ha sido necesario incrementar la producción de alcohol de un modo eficiente, a través del mayor cultivo de materia prima vegetal y de la instalación de un número adecuado de

destilerías. El Gobierno Federal creó el Programa Nacional del Alcohol, a través del cual ya fueron aprobadas más de 200 nuevas destilerías, entre autónomas y anexas, de las cuales más de 100 ya están financiadas.

Para dar un ejemplo del potencial de la producción de alcohol etílico en el Brasil, se necesita sembrar apenas 1% del territorio nacional. En el caso de la caña de azúcar, por ejemplo, 1% de la superficie es 85.000 km<sup>2</sup>; 1 km<sup>2</sup> de caña produce 6000 t/año y 1 t de caña produce 70 l de alcohol. Luego, 1% de la superficie del Brasil puede suministrar casi 36 billones de l de alcohol/año ( $85.000 \times 6.000 \times 70 = \text{aproximadamente } 36 \times 10^9$ ), lo que equivale al consumo actual de gasolina y ACPM.

Aplicando la misma fórmula para la yuca, y manteniendo las condiciones actuales del cultivo sin tecnología ni abono, se tendría lo siguiente: 1 km<sup>2</sup> de yuca produce 1 500 t/año; 1 t de yuca produce 160 l ( $85.000 \times 1.500 \times 160 = \text{aproximadamente } 20,4 \times 10^9$ ); luego, 1% de la superficie del país puede suministrar 23 billones de l de alcohol o más de 1,5 veces el consumo actual de gasolina.

Con la utilización de una tecnología apropiada ampliamente ensayada en varios institutos brasileños de investigación agronómica, la yuca puede producir 40 t/año ( $4.000 \text{ t/km}^2$ ) con un alto contenido de almidón, capaz de rendir 180 l/t. Entonces: 1% de la superficie produciría 60 billones de l ( $85.000 \times 4.000 \times 180 = \text{aproximadamente } 60 \times 10^9$ ), o sea 4 veces el consumo de gasolina brasileño en la actualidad. La premisa fundamental de la producción de alcohol a gran escala es que las actuales producciones de estos cultivos no sean perjudicadas para atender a las necesidades alimenticias, tanto humanas como de animales.

### El etanol

Para la producción económica del alcohol etílico y, a gran escala, se necesitan reunir 3 condiciones: 1) una gran extensión territorial, 2) un suelo apropiado para la agricultura y 3) un clima tropical. Brasil es un país bastante privilegiado, ya que posee todas esas condiciones. Entre la gran

variedad de plantas tropicales que se prestan para la producción del etanol por medio de la bioconversión se destacan, por su importancia económica en Brasil, la caña de azúcar, la yuca, el babassú (*Orbignya speciosa*) y el sorgo dulce.

### Características técnicas

La propiedad más importante de los combustibles, frecuentemente considerada como un factor decisivo negativo para el uso económico del alcohol, es su **poder calorífico de masa**, o sea la energía disponible por unidad de masa de combustible en el estado líquido. Los poderes caloríficos de los combustibles aquí considerados son:

Gasolina	10.500 kcal/kg
Alcohol etílico	6.400 kcal/kg
Alcohol metílico	4.700 kcal/kg

Otra propiedad de los combustibles es el llamado **calor de combustión**, que es la energía disponible por unidad de volumen de mezcla químicamente correcta de combustible vaporizado y de aire. Tenemos los siguientes valores:

Gasolina	0,860 kcal/l
Alcohol etílico	0,815 kcal/l
Alcohol metílico	0,760 kcal/l

La potencia de los motores es proporcional al calor de la combustión (*energía del volumen de gases dentro del cilindro*) y no al poder calorífico. Es necesario tener en cuenta que el calor de la combustión varía poco (cerca de 5%) **para todos los combustibles líquidos**, incluyendo el alcohol etílico hidratado, con excepción del metanol (13% menor que el de la gasolina).

El consumo específico de los motores es inversamente proporcional al poder calorífico. Esa influencia considerada aisladamente conduciría a un consumo mayor que el de la gasolina: 64% para el alcohol etílico anhidro y 75% para el alcohol hidratado:

Anhidro	$\frac{10.500}{6.400}$	= 1,64
Hidratado	$\frac{10.500}{6.000}$	= 1,75

Para el alcohol metílico el consumo sería un 123% mayor o más:  $\frac{10.500}{4.700} = 2,23$ . Los

alcoholes poseen, sin embargo, otras propiedades favorables para disminuir el consumo y aumentar la potencia a niveles **mayores** que los obtenidos con gasolina (*razón del uso de los alcoholes en combustiones especiales para carros de carreras*).

Se destacan las siguientes propiedades: 1) aumento alto del número de moléculas en la combustión, 2) combustión con mezcla pobre (*falta de aire*), 3) alto poder antidetonante, 4) alto calor latente de vaporización, 5) temperatura de ebullición constante, y 6) alta densidad.

La variación del número de moléculas durante la combustión corresponde a un aumento de presión dentro del cilindro del motor, independiente de los efectos térmicos de la combustión. Esa variación es mayor para el etanol que para la gasolina.

La alta eficiencia de la conversión de energía térmica en energía mecánica posible con el etanol sólo es disponible cuando se emplea una elevada tasa de compresión del motor, lo que es posible gracias al alto poder antidetonante del alcohol (*octanaje alto*). La gasolina común actualmente en uso en Brasil admite sin detonación tasas de compresión del orden de 7:5, mientras que el etanol admite tasas del orden de 12:1.

Un factor económico de importancia en los motores es el consumo de combustible. Tratándose de combustibles líquidos, los costos se evalúan, en la práctica, por unidad de volumen (*litros*) y no por unidad de masa (*kilogramos*). Esto raras veces se tiene en cuenta cuando se calcula el consumo con base en el poder calorífico del combustible (*energía / unidad de masa*) o a través del consumo específico en g/HP-hora. Desde el punto de vista económico, es más correcto expresar el consumo en términos de l/HP-hora. Como la densidad del alcohol es 0,80 y la de la gasolina, 0,73, el primero tiene una ventaja del 10%.

El calor latente de vaporización del etanol es de 216 kcal/kg y el de la gasolina, aproximadamen-

te 100 kcal/kg. Esta particularidad proporciona al motor de etanol las siguientes ventajas: 1) mayor eficiencia volumétrica, 2) menor trabajo de compresión, 3) menor pérdida de energía con la refrigeración, y 4) mayor recirculación de calor por el calentamiento en la admisión.

$$\frac{CC}{0,860} \times \frac{N}{1,055} \times \frac{n_t}{0,55} \times \frac{SC}{1,00} \times \frac{n_i}{0,70} = 1,18$$

Por consiguiente, la potencia con etanol es 18% mayor que la potencia con gasolina en un

Las relaciones numéricas de los efectos de estas propiedades para una mezcla químicamente correcta de etanol y aire tienen teóricamente los siguientes valores:

$$\frac{\text{Potencial de etanol}}{\text{Potencial de la gasolina}} =$$

mismo motor de cilindrada constante.

$$\frac{\text{Consumo de etanol}}{\text{Consumo de gasolina}} =$$

$$\frac{PC}{6\ 400} \times \frac{N}{1,063} \times \frac{n_t}{0,65} \times \frac{n_i}{0,75} \times \frac{D}{0,80} = 1,17$$

- CC = Calor de combustión
- N = Moléculas antes y después de la combustión
- $n_t$  = Rendimiento térmico
- $S_c$  = Sobrecarga efectiva
- $n_i$  = Rendimiento indicado
- $P_c$  = Poder calorífico
- D = Densidad

El consumo teórico del etanol en volumen será 17% y no 64% mayor que con gasolina, como indican los poderes caloríficos de los dos combustibles. Los resultados obtenidos en los experimentos concuerdan con los valores teóricos para la mezcla **químicamente correcta**.

Así como sucede con la gasolina, la dosificación del aire y el combustible del etanol tiene una influencia acentuada sobre la potencia y el consumo (Fig. 1 y 2). Si la carburación se regula para una mezcla rica de máxima potencia, se puede obtener una potencia 30% mayor que con la gasolina pero con un consumo mayor del 40%.

Igualmente, si la carburación se regula para la mezcla pobre de mínimo consumo, se obtiene una potencia cerca de 5% superior y un consumo aproximado de 10% superior al de la gasolina,

dependiendo de la velocidad de rotación del motor (*revoluciones por minuto*).

Cabe aquí destacar una diferencia básica que existe entre la gasolina y el alcohol: el alcohol mantiene un buen funcionamiento del motor con mezclas mucho más pobres que con gasolina. En otras palabras, los límites de inflamabilidad del alcohol son mucho mayores entre sí que los de la gasolina.

#### *Características especiales relacionadas con el funcionamiento de los motores*

La volatilidad del etanol, al contrario de lo que se supone comúnmente, es menor que la volatilidad de la fracción leve de la gasolina. La curva de destilación de la gasolina establecida por norma, presenta un inicio de ebullición próximo a los

40°C y un término cercano a los 200°C. La temperatura de ebullición del etanol puro es constante a los 80°C.

La volatilidad no ocasiona problemas de transporte y de almacenamiento, hecho ampliamente comprobado en el Brasil, donde se ha mantenido almacenado el alcohol anhidro por más de un año, sin cualquier alteración en su pureza. En tanques abiertos, con entradas de aire, siempre existe alguna evaporación de gasolina o de alcohol lo cual, debido a las bajas de temperatura, conduce a una condensación de vapor de agua atmosférica. En el caso del etanol puro, que es higroscópico, habrá hidratación uniforme. En la mezcla alcohol-gasolina habrá hidratación solamente del alcohol, seguida de la separación de fases: la gasolina quedará en la parte superior del tanque y el alcohol hidratado en la parte inferior. En el caso de la gasolina pura, la evaporación de las fracciones leves lleva también a la condensación del vapor de agua y a la separación de las fases, quedando el agua pura en la parte inferior del tanque, impidiendo el arranque o interrumpiendo el funcionamiento del motor. El alcohol hidratado separado de la gasolina dificulta un poco el arranque del motor, pero nunca interrumpirá el funcionamiento de éste como sucede con la gasolina y agua en el tanque.

Para la distribución del etanol puro, es necesario tomar medidas tales como desnaturalizar el alcohol para volverlo imponible e indicar el grado del alcohol en las distribuidoras para poder constatar fácilmente cualquier adición de agua accidental o intencional.

### *Características lubricantes*

El etanol no es aceitoso, es aún menos lubricante que la gasolina. Elementos mecánicos con fricción directa en contacto con el etanol líquido tienen que recibir lubricación adicional o tendrían que ser hechos de material que se lubriquen a sí mismos. A pesar de eso, la durabilidad de un motor de alcohol puro es mayor que la de la gasolina, lo cual ya ha sido ampliamente comprobado a nivel experimental en Brasil.

El mayor desgaste de los motores es el de los anillos y las camisas de los cilindros. Estas quizás están normalmente a una temperatura de unos

90°C; por tanto, todo hidrocarburo con un punto de ebullición mayor a 90°C se condensa en las paredes de los cilindros, diluye el aceite lubricante y se arrastra al carter. El etanol con un punto de ebullición de 80°C (*el metanol, de 65°C*) no se condensará cuando esté en contacto con las paredes a 90°C, ni se evaporará completamente si llega a las paredes en estado líquido, eliminando así cualquier dilución del aceite. En consecuencia, el etanol ocasiona un desgaste del cilindro mucho menor (*cerca del 50%*) que la gasolina. Las demás partes del motor (*cigüeñal, árbol de levas y válvulas*) son lubricadas con aceite no diluido y tienen un desgaste un poco menor.

Otro problema que se presenta con el uso del alcohol es el ataque químico o la corrosión del motor, ya que el etanol es un solvente que afecta a ciertos plásticos y otros materiales. En la construcción de los motores se deben emplear aceros básicos que no son afectados por el etanol. Por ejemplo, el diafragma de la bomba de combustible se debe fabricar de un elastómetro insoluble en alcohol.

### *Poder antidetonante*

Otra característica notable del etanol es su alto octanaje: 89 medido en el motor (*IOM*) y 106 medido en el laboratorio (*IOL*). En el uso, una gasolina de *IOM* = 73 funciona sin golpeteo (*detonación leve*) con una tasa de compresión alrededor del 7,5 una gasolina de *IOM* = 82 y una tasa de compresión en torno de 8,5, o una gasolina de *IOM* = 95 y una tasa de compresión de 9,5. Si el etanol soporta fácilmente una tasa de compresión de 12:1, el *IOM* = 89 que se le atribuye, no es representativo. El manual clásico de BOSCH presenta un índice de octano extrapolado de 160 para mezclas. Ese valor parece alto, pero sugiere que se podría establecer una especificación propia para la medida de poder antidetonante de los alcoholes.

Se debería definir un índice de metanol (*IM*), ya que podría tener un mayor poder antidetonante, que recibiría el número 100 en comparación con un determinado alcohol superior, que recibiría el número 0. Se tendría entonces el índice de octano para las gasolinas, el número de cetano para el aceite diesel y el de metanol para los alcoholes.

## Aplicaciones del alcohol en los motores

La aplicación del alcohol en los motores puede hacerse de 3 maneras: 1) en mezcla con gasolina, 2) en uso paralelo, o sea con gasolina y con aceite para motores, ACPM, y 3) en uso exclusivo en motores de gasolina convertidos y en motores especiales para alcohol.

Todas las modalidades de motores a combustión actualmente en uso, construidos para derivados del petróleo como la gasolina (*los motores diesel, los motores de gas, etc.*) funcionan también con alcohol etílico, pero con baja eficiencia, dando como resultado una mala imagen del alcohol como combustible.

Con un motor apropiado, sin embargo, el alcohol revela todas las características excelentes que posee como combustible, con una calidad global superior a la gasolina.

Se han llevado a cabo muchas investigaciones sobre el uso de etanol exclusivo o en mezcla

con la gasolina. En el Brasil, se destacan los trabajos de los ingenieros Ernesto López da Fonseca Costa y Souza Mattos, ambos en 1925; Eduardo Sabino de Oliveira (1940-1944), quien publicó el libro "Alcohol-motor y el motor a explosión".

## Rendimiento global

Se puede explicar el rendimiento término global de un motor como función inversa del consumo específico y del poder calorífico:

Rendimiento global =

$$\frac{\text{Constante}}{\text{Consumo específico} \times \text{poder calorífico}}$$

Con base en los valores usualmente obtenidos en experimentos de laboratorio (*PMO/CTA*) con un motor de gasolina y uno modificado para alcohol, se determinó lo siguiente:

Gasolina:	Consumo específico	=	220 g/HP-hora
	Poder calorífico	=	10.500 kcal/kg
Etanol:	Consumo específico	=	260 g/HP-hora
	Poder calorífico	=	6.400 kcal/kg

Siendo la constante igual a  $632 \times 10^5$ , se obtiene lo siguiente:

$$\eta_{\text{gasolina}} = 27\% \quad \text{y} \quad \eta_{\text{alcohol}} = 38\%$$

Estos números muestran que el poder calorífico más bajo del etanol está ampliamente compensado por otras propiedades favorables.

## Motores de etanol y gasolina

El alcohol etílico se mezcla perfectamente con cualquier tipo de gasolina y en cualquier proporción, resultando siempre en una combustión de buenas características. Para ser mezclado, es necesario que el alcohol sea anhidro, ya que el agua no es miscible con la gasolina. En cambio, el alcohol metílico no es miscible en ciertos hidrocarburos parafínicos y oleofínicos.

De modo general, las propiedades de la mezcla

alcohol-gasolina varían linealmente entre las propiedades individuales de los dos. Para ubicar bien los problemas de esta mezcla, es mejor hacer un análisis comparativo de las características de cada combustible. En realidad, las características del alcohol etílico están situadas entre las de la gasolina y las del alcohol metílico. Por las razones expuestas anteriormente, el interés brasileño está orientado hacia el etanol; así, las informaciones que se presentan aquí se refieren únicamente al etanol.

Recientemente el Gobierno Federal fijó el porcentaje de la mezcla de alcohol hasta un 20%; respecto a esto se pueden hacer algunas observaciones:

1. En dosis iguales o inferiores al 20% de alcohol, no es necesario modificar los motores de gasolina.
2. En dosis alrededor del 10% de alcohol, el consumo de combustible es menor que el de la gasolina pura, aún sin modificar el motor. La dosificación ideal varía un poco, según el modelo de motores.
3. En dosis superiores al 20%, es necesario hacer modificaciones progresivas correspondientes a las dosificaciones; de lo contrario, habrá un aumento sensible en el consumo, junto con una reducción en la potencia.

La necesidad de hacer modificaciones progresivas llevó a la industria automovilística a solicitar una dosis constante de alcohol. Se cree que el octanaje de la mezcla varía con el porcentaje de alcohol, siendo conveniente la adaptación de la tasa de compresión. Este factor depende de la decisión gubernamental, ya que a medida que el contenido de alcohol (*octanaje alto*) se aumenta, se puede reducir el contenido de plomo tetraetilo, que es un producto importado, costoso y tóxico. Las proporciones de alcohol y plomo deben ser tales que se mantenga constante el octanaje final.

En la actualidad existe una cantidad suficiente de alcohol tanto anhidro como de 96% para atender hasta un 12% de la demanda nacional. En éstos últimos años se ha afirmado y solidarizado la popularidad de la base tecnológica para el uso del alcohol hidratado exclusivo (o sea 100%), sin necesidad de haber pasado por porcentajes intermedios, los cuales exigían modificaciones progresivas de los motores. La conversión de los motores de gasolina actuales para el uso exclusivamente de alcohol, ha sido hecha por la industria automovilística brasileña sin ninguna dificultad. Básicamente, son modificaciones dimensionales. Aunque hubo cierto costo inicial en la conversión, el producto final no resultó tan costoso. Para la flota de vehículos en circulación, se están suministrando los componentes necesarios para hacer esta conversión.

### Propiedades de las mezclas

La dosificación químicamente correcta del

combustible con el aire en proporciones de masa varía casi linealmente entre los límites de 1:15 (0,067) para la gasolina y de 1:9 (0,11) para el etanol (Fig. 3 y 4). A medida que el porcentaje de alcohol en la gasolina aumenta (a partir de 0) sin cualquier alteración en la carburación, la mezcla gasolina-aire se vuelve progresivamente más pobre. En las mezclas con menos del 20% de alcohol, el empobrecimiento favorece un menor consumo, en tanto que por encima de un 20%, se inicia una reducción de la potencia, llevando a un gran aumento del consumo y hasta la falla del funcionamiento del motor. En las proporciones alcohol: gasolina cercanas al 10:90 (*dependiendo del motor*), el consumo del combustible es menor que el de la gasolina pura (12,5 a 15%). Una adaptación conveniente del motor para un contenido de alcohol arriba del 20% restablece el consumo normal. Esta adaptación para mejorar el nivel de consumo de combustible es progresivo para porcentajes mayores de alcohol, lo que indica que es mucho más práctico pasar directamente de un 20% de alcohol a un 100% con los motores adaptados para este fin.

El alto poder antidetonante del alcohol hace que la adición de este a la gasolina tenga un efecto igual al del plomo tetraetilo. Así, por ejemplo, podrá ser mantenido en el Brasil el octanaje actual de la gasolina (*IOM = 73*), o se podría adoptar uno más alto (*por ejemplo, IOM = 78*) por la reducción progresiva de la cantidad de plomo, a medida que aumenta la proporción de alcohol de acuerdo a la disponibilidad futura.

Con la fijación de un octanaje único se adopta una sola tasa de compresión, y el porcentaje de alcohol en la gasolina queda libre para variar.

### Motores de etanol

Para el uso exclusivo de etanol en motores a ignición por chispa existen dos alternativas: la conversión de motores de gasolina para el uso con etanol, y la construcción de motores, especialmente para el etanol, lo cual permite el uso de etanol hidratado. Comparado con el alcohol anhidro, el hidratado presenta algunas características particulares:

1. un menor costo de producción.

2. un poder antidetonante mayor (*mayor octonaje*), y
3. una capacidad favorable de refrigeración del motor.

Experimentos de laboratorio hechos en el CTA mostraron que hidrataciones hasta de un 50% de agua permitían obtener la misma potencia que con el etanol puro, desde que el motor sea adaptado para cada nivel.

El consumo de la porción alcohol puro, sin tener en cuenta el agua, se mantiene constante con pequeños porcentajes de agua (*hasta cerca de 8%*), y crece en forma razonable hasta 20% de agua, pero excesiva hasta 50% de agua.

A raíz de los experimentos del CTA se escogió un grado de hidratación de 95°GI (*5% de agua*) por ser de fácil obtención en la segunda torre de destilación, lo que permite un arranque fácil del motor, y no representa un lastre excesivo (*peso muerto*) del material no combustible en el tanque (*agua*).

### **Contaminación del aire**

Una de las características favorables del alcohol es que presenta una combustión rápida y limpia, y trabaja bien en mezclas pobres, al contrario de la gasolina, que exige mezclas ricas.

Con mezclas ricas, el etanol presenta contaminación semejante a la de la gasolina, exceptuados los hidrocarburos  $(CH)_x$  que son prácticamente ausentes en los alcoholes. Como el etanol admite un buen funcionamiento del motor con mezclas pobres, éstas pueden ser adoptadas para obtener valores bajos de CO y  $NO_x$ . Los óxidos nítricos dependen de la temperatura de combustión; siendo ésta más baja en el etanol hidratado, aquellos contaminantes son casi inexistentes. Como el alcohol posee 3 veces más aldehído acético que la gasolina, se cree que es más contaminante; sin embargo, el contenido es tan bajo que no es para preocuparse, máxime si se tiene en cuenta que el aldehído acético no es tóxico como es el aldehído fórmico, producido por el metanol.

### *Motores de gasolina convertidos*

En los motores de gasolina adaptados para el uso de alcohol anhidro o hidratado, se debe modificar la carburación y la tasa de compresión, suministrar calor latente de vaporización y adecuar algunos sistemas del motor como la inflamación, refrigeración y lubricación. La magnitud de esas adaptaciones depende del grado de hidratación del alcohol.

### *Motores especiales*

La producción de vehículos con motores diseñados especialmente para usar con alcohol, se ha desarrollado acorde con la de alcohol. En 1979-80, la producción de alcohol alcanzó 3 mil millones de l, y se espera que llegue a los 11 mil millones de l en 1985. A la vez, la fabricación de éstos vehículos fue de 20.000 en 1979-80, y se pretende tener a fines de este año 250.000 más 80.000 convertidos. En 1980-81 habrían 1'200.000 carros a alcohol, y en 1985 se espera que la mitad de los vehículos del país sean movidos totalmente a alcohol hidratado.

### *Motores diesel*

El etanol solo no es apropiado para el motor diesel, ya que no tiene un índice de cetano suficiente para inflamación por compresión. Por otro lado, debido a la alta compresión ya existente en el motor diesel y, por consiguiente, el alto rendimiento, y el menor poder calorífico del etanol prevalecen, conduciendo a consumos cerca de 60-70% mayores que con ACPM.

Para garantizar un buen funcionamiento, el índice de cetano del etanol puede obtenerse con aditivos químicos, nitratos, peróxidos, etc., o en mezcla con aceites vegetales, ya que el alcohol sólo es miscible en pequeñas cantidades con aceite mineral (*diesel*).

Existe la posibilidad de mantener una cierta fracción de la inyección de aceite diesel obrando como combustible de ignición o llama piloto y suplir paralelamente el etanol, ya sea por medio de carburación adicional o por una segunda bomba inyectora. En el primer caso, las proporciones alcohol-diesel alcanzables en los motores son del orden de 50/50, mientras que con la

inyección directa del etanol después del ACPM se puede alcanzar un 10/90.

### *Turbinas de gas*

Las turbinas de gas originalmente previstas para funcionar con derivados del petróleo también han sido adaptadas para operar con alcohol. El primer esfuerzo se hizo en el CTA a comienzos de 1976 para usar alcohol hidratado en una turbina diesel de 100 HP.

La conversión consistió en el ajuste de la relación de inyección y modificaciones en el sistema de la bomba inyectora. Esta turbina de gas convertida a alcohol se instaló en una isla de Bahía en 1976, bajo el patrocinio de la compañía brasileña de electricidad, ELETROBRAS. Después de estas operaciones durante 2 años, se llevó al CTA para evaluación. Se encontró limpia y en perfecto estado de funcionamiento; sin embargo, como el consumo de alcohol era un 74% mayor que con gas, se decidió adelantar investigaciones con fabricantes extranjeros para aproximar los valores al consumo.

Se cree que la factibilidad de hacer este sistema económico es mediante el uso del calor que genera la turbina para emplearlo en las mini-destilerías, principalmente en pueblos alejados de los centros distribuidores.

Un segundo turbogenerador de 800 HP se adaptó para alcohol obtenido de yuca y se comprobó que la turbina funcionó sin problemas de fricción o acumulación de residuos, ofreciendo una vida útil, aceptablemente buena. Desde el punto de vista estratégico, en caso de falta de petróleo, el funcionamiento de turbinas de alcohol es un hecho perfectamente asegurado.

### **Aceite vegetal por ACPM**

En el CTA se han realizado investigaciones, las cuales indican que es posible sustituir el ACPM por aceite vegetal. El uso del aceite vegetal como combustible ya había sido anticipado por Rudolph Diesel, quien dijo en 1911 que el aceite vegetal sería el combustible de los países agrícolas.

Aunque se reconoce el uso del aceite vegetal actualmente, también se admiten ciertos inconvenientes, como son un consumo mayor y el alto precio de éstos en el mercado internacional, quizás causados por la producción insuficiente.

Referente a la parte técnica se puede decir que, siempre y cuando un aceite vegetal sea limpio, es posible adaptar el motor diesel para ello. Lo más importante de tener en cuenta es el punto de fusión; los que tienen un punto de fusión alto se comportan como sólidos a ciertas temperaturas, requiriendo un trato diferente. Una de las modificaciones que se hace en el motor es justamente para elevar la temperatura, de tal manera que la viscosidad sea igual a la del ACPM. Esto es fundamental para que el motor trabaje correctamente; de lo contrario, el aceite se carbonizará.

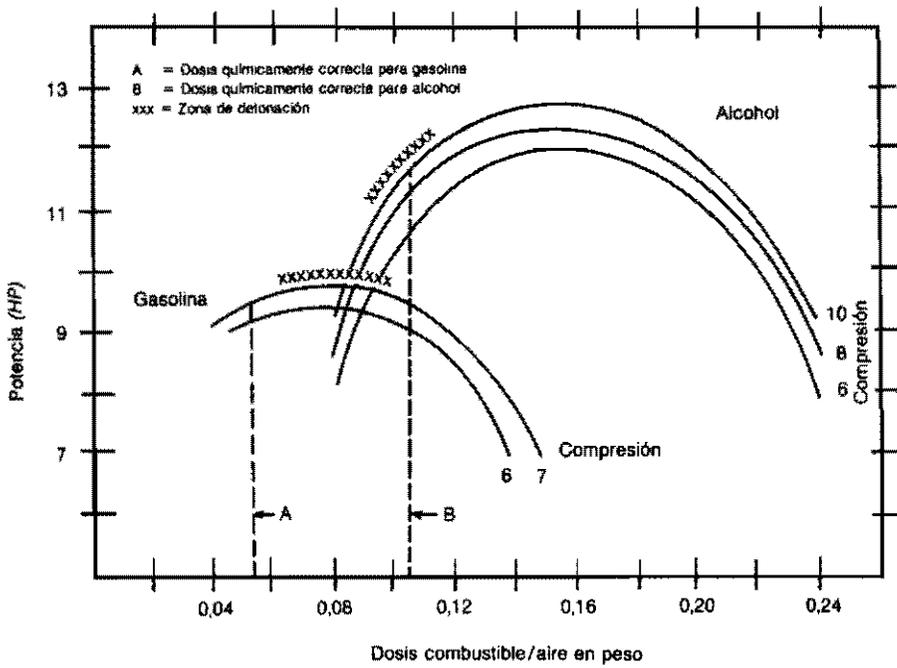
Como se puede ver en el Cuadro 1, el aceite vegetal de mayor poder calorífico es el del dendê, proveniente de una palma de aceite brasileña, cuyo aceite se usa para fines lubricantes en la industria siderúrgica y también para cocinar, principalmente en el Estado de Bahía. Si se tiene en cuenta que la energía promedio de estos aceites vegetales es de 8 723 kcal/kg, el aumento de consumo, a raíz de la sustitución, sería de un 15%.

Hay una tendencia a preferir el aceite de maní a corto plazo y el de dendê a largo plazo, debido a las ventajas del cultivo del primero. El aceite de higuierilla se ha considerado como el lubricante del futuro, pero no como carburante.

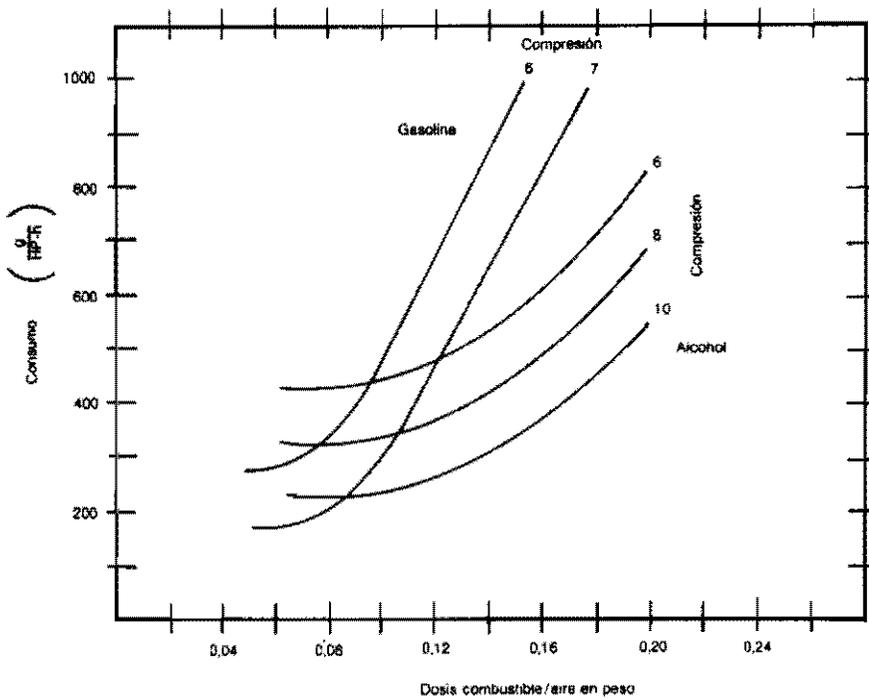
### **1. Características de aceites vegetales comparados con ACPM.**

Aceite	Kcal/kg
ACPM	10.200
Dende*	9 230
Girasol	9 100
Maní	8 950
Soya	8 800
Coco	8 680
Babassú*	8 430
Algodón	8 300
Higuierilla	8 300

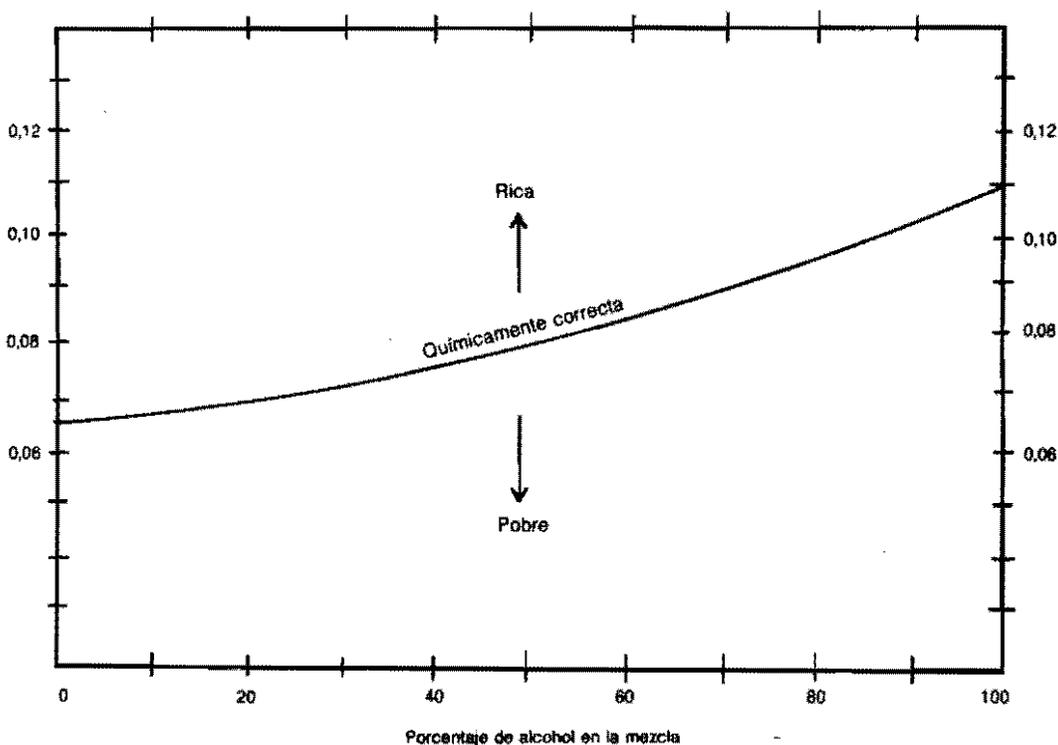
\* Frutos de palma



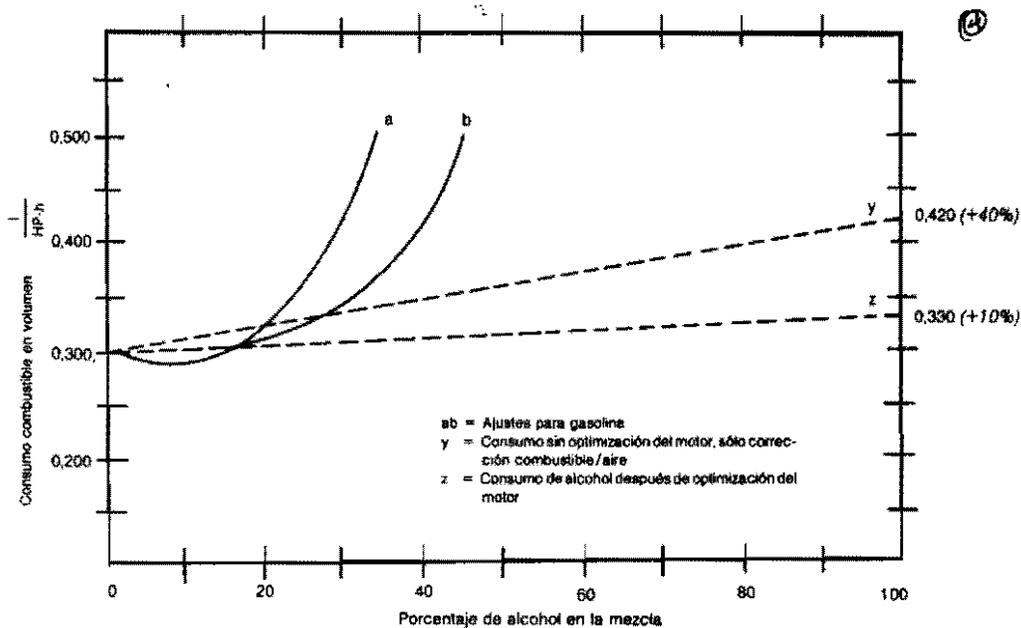
1. Potencia en función de la mezcla aire/combustible a diferentes tasas de compresión en motores CFR.



2. Consumo en función de la mezcla aire/combustible en motores CFR.



3. influencia de las diferentes proporciones combustible/aire en el consumo en dependencia de si la mezcla es rica o pobre.



4. Consumo volumétrico de combustible para varias dosis alcohol/gasolina sin modificación

del motor a gasolina hasta 20% y con bajas optimización del motor.

# PERSPECTIVAS DE LA DEMANDA DE AZUCAR Y ALCOHOL CARBURANTE EN LOS ESTADOS UNIDOS

**Nicolás Rivero\***

## Resumen

Se pretende analizar las perspectivas para 1985 de la demanda de importación de los EE.UU., tanto para el azúcar como para el etanol, haciendo énfasis en el establecimiento comercial del jarabe de maíz con alto contenido de fructosa (HFCS) como edulcorante. Según el análisis realizado, ha disminuido y seguirá disminuyendo el consumo del azúcar debido principalmente a los altos precios de ésta y al uso intensivo del HFCS, especialmente en las industrias de bebidas y alimentos; por lo tanto, se concluye que no será muy halagador el mercado del azúcar en EE.UU. para los países latinoamericanos y del Caribe. Con base en esto, los países exportadores deben buscar nuevos productos de la caña, y entre ellos, la producción de etanol es la más recomendada.

## Introducción

En el umbral de la década de los 80, enfrentamos un mundo cuya característica principal es la incertidumbre, tanto en el ámbito político como en el económico, y el mundo azucarero no escapa esta realidad. Si bien estamos viviendo la fase de precios altos del clásico ciclo azucarero, no hay garantía de que éstos se mantengan por mucho tiempo. La historia de este producto nos indica que los períodos de precios altos son cortos y los de precios bajos, largos. Como es el caso de otros productos básicos, especialmente los agrícolas, las condiciones del mercado cambian constantemente.

El propósito de este trabajo es analizar las perspectivas de la demanda de importación de los Estados Unidos, tanto para el azúcar como para el etanol.

Con respecto al mercado azucarero, el fenómeno individual más importante de los años 70 fue el establecimiento comercial del jarabe de maíz con alto contenido de fructosa (HFCS) como edulcorante, debido a los altos precios del azúcar de 1974-75. Por tanto, es necesario analizar todo el mercado de los edulcorantes y no concentrarse meramente en la sucrosa.

El potencial de importación de azúcar depende directamente de 2 factores: el crecimiento de la demanda total de edulcorantes y la oferta nacional tanto de azúcar como de edulcorantes de maíz, especialmente HFCS. También inciden en la demanda otros factores tales como el ingreso disponible y las disposiciones de la Food & Drug Administration.

Las importaciones de azúcar por los Estados Unidos son de importancia primordial para 17 países de América Latina y el Caribe; estos países satisfacen el 29-30% de esta demanda. En 1979, las exportaciones a los Estados Unidos

---

\* Grupo Técnico de Productos Básicos, Programa Comercio Internacional y Desarrollo de las Exportaciones, Organización de los Estados Unidos Americanos, 1889 F. Street NW, Washington, D.C. 20006.

ascendieron a US\$698,7 millones, colocando a este producto en tercer lugar, después del petróleo y el café, como generador de divisas.

Para subsistir, la industria azucarera latinoamericana dependerá, en gran medida, del desarrollo de subproductos de la caña distintos a los tradicionales como azúcar y melaza. Para los países de América Latina y el Caribe que son importadores netos de petróleo, el alcohol carburante no sólo podría ayudar a estabilizar la propia industria azucarera, sino, además, contribuir a reducir la dependencia del costoso petróleo importado.

### El mercado de edulcorantes: perspectivas para 1985

Hasta finales de los años 50, el azúcar cubría un 90% de las necesidades anuales del mercado de edulcorantes en los Estados Unidos; el resto lo satisfacía el jarabe de maíz y la dextrosa. Para 1969, los edulcorantes de maíz habían captado 14,8% del mercado, y 10 años después, este porcentaje casi se había duplicado (28,8%) (Cuadro 1).

Este crecimiento fenomenal de los edulcorantes de maíz se debió a un producto, el HFCS. Poco consumido antes de 1968, había conseguido una participación de 11,5% en el mercado para 1979 (Cuadro 1). Este acontecimiento no sólo produjo un efecto importante sobre el consumo de azúcar, sino que acentuó la tendencia histórica a desplazar el azúcar importada del mercado de los edulcorantes. Por ejemplo, en los años 50, un 45% de las necesidades de edulcorantes se satisfacían con azúcar importada, tasa que descendió a 38,5% en 1960 y a 32,5% en 1979.

Tradicionalmente, los principales proveedores extranjeros de azúcar a los mercados de edulcorantes han sido los países de América Latina y el Caribe. En 1979, a los suministros de estos países correspondió el 23,9% del mercado, en comparación con el 27,6% en 1970.

Este análisis demuestra claramente que, hasta ahora, el producto que más terreno ha perdido en la batalla de los edulcorantes estadounidenses ha sido la sucrosa. Para determinar si continuará

esta tendencia, es importante analizar la estructura de la demanda e identificar los factores que la afectarán.

En cuanto a la demanda, los principales compradores de productos edulcorantes son los industriales, quienes absorbieron el 61,3% del azúcar vendido hasta el tercer trimestre de 1979.

Tal como se indicó antes, el aumento en los precios del azúcar impulsó el extenso uso industrial del HFCS, especialmente en las industrias de las bebidas y alimentos. En los Estados Unidos, los precios del azúcar han sido elevados históricamente, debido a que ni la remolacha ni la caña nacionales pueden competir en cuanto a costo con el azúcar de caña importado. Por consiguiente, la industria nacional del azúcar siempre ha estado protegida por tarifas arancelarias. Este fue el objetivo de la ley azucarera que controló el mercado nacional por 40 años hasta fines de 1974 y la política de altos aforos aduaneros y derechos a la importación aplicados desde septiembre de 1976 hasta hace unos meses. A raíz de esto, los HFCS lograron penetrar el mercado de edulcorantes (Cuadro 1).

Con precios más bajos, más una calidad y servicio equivalentes, los HFCS podrían, teóricamente, desplazar a la sucrosa en el uso industrial, salvo en los casos en que se requiera un producto seco. Este desplazamiento podría oscilar entre una cifra hasta de 100% en el caso de las bebidas y alimentos enlatados y sólo un 20% para la industria de las confituras (Cuadro 2). Por supuesto, esto llevará tiempo, y el reemplazo de la sucrosa no alcanzará estos niveles teóricos. Esta tendencia creciente significará un uso reducido del azúcar, lo que se ha visto confirmado por el anuncio hecho por las compañías Pepsi-Cola y Coca-Cola, las dos gigantes de la industria de bebidas no alcohólicas, que permitirán a sus respectivas embotelladoras utilizar HFCS para reemplazar totalmente el azúcar en sus bebidas. Dentro de pocos años, el azúcar habrá perdido un 90% del mercado de las bebidas no alcohólicas en los Estados Unidos, el cual consumía más de 2,4 millones de t de azúcar en 1979 (Cuadro 2).

En 1979, los HFCS abastecían 14,5% del mercado total de edulcorantes de los Estados

Unidos. Un desglose a nivel de industria pone de manifiesto que la mayor porción del mercado captada por este producto correspondió a los alimentos enlatados, con 38%, seguida de las bebidas no alcohólicas y productos lácteos, con 24% cada una; los productos de panificación y los cereales, con 21%, otros alimentos elaborados, con 18% y las confituras, con 1%.

¿Cuál será el volumen del mercado de edulcorantes hacia 1985? El consumo per capita de todos los edulcorantes calóricos, según datos proporcionados por el Departamento de Agricultura de los Estados Unidos, aumentó a una tasa anual de 1,2% durante los últimos 5 años, alcanzando un nivel sin precedentes de 130,5 lb en 1979. Esta tasa de crecimiento no se mantendrá en los años venideros, principalmente debido al hecho de que el consumo por persona se considera ya elevado, y al menor ingreso disponible ocasionado por la inflación y la recesión. Se puede esperar que el consumo por persona de todos los edulcorantes se establezca alrededor de 134 lb.

El crecimiento espectacular experimentado por los HFCS en los años 70 no continuará el mismo ritmo. La proyección de tasas de crecimiento más lentas se debe al elevado aumento ya registrado y al volumen mucho mayor de capital requerido para construir o ampliar las instalaciones de producción. La construcción de una planta de molienda en húmedo con una capacidad diaria de 1.906.800 kg de maíz costaba, en 1973, US\$75 millones; la misma instalación requeriría hoy un desembolso de US\$262,5 millones. Con la capacidad actual, la expansión programada y nuevas plantas, se obtendría una producción conjunta de 3,4 millones de t de HFCS para 1985.

Tomando como base el crecimiento previsto de la población y un consumo per capita de 134 lb, la demanda total de edulcorantes en 1985 debería ser de 14'150.000 t. Sobre esta base, el azúcar de remolacha y caña nacional podría abastecer 5,1 millones de t y los edulcorantes de maíz, 5,9 millones de t (los HFCS, 2'450.000 t y otros derivados del maíz, 2,4 millones de t). Esto dejaría un potencial para importar 3 millones de t. En términos de la participación en el mercado, estas proyecciones indican que al azúcar nacio-

nal corresponderá 36%, a los HFCS, 24,4% y otros edulcorantes de maíz, 16,9% (Cuadro 1). En el caso de las importaciones, su participación en el mercado sería 21,5%, o sea una pérdida de 10,9% en relación con el nivel bajo de 1979. El producto más beneficiado será nuevamente el HFCS y el menos beneficiado, el azúcar importado. En estas condiciones de mercado, la sucrosa sólo podría reconquistar parte del mercado perdido mediante una fuerte competencia a base de precios. En 1979, el precio promedio en los Estados Unidos para los HFCS ascendía a US\$0,13/lb (base seca), un 56% más bajo que el precio del azúcar refinada. Esta diferencia para el período 1974-78 promedió 68%.

Los productores nacionales de remolacha y caña no entrarán en esta clase de competencia de precios debido a sus altos costos de producción y la industria del maíz no necesitará reducir sus precios, debido a que la posibilidad de ganar más terreno será muy difícil. La única competencia podría venir del azúcar de caña importada, pero si los precios mundiales descendieran a niveles por debajo del costo de producción del azúcar nacional o de los edulcorantes de maíz, seguramente resurgiría la política proteccionista.

### Repercusiones para los países de América Latina y el Caribe

En general, los países de América Latina y el Caribe que son importadores netos de petróleo afrontarán crecientes problemas económicos y sociales en la década de los 80. El Cuadro 3 ilustra la situación en que se encuentran estos países exportadores de azúcar.

La deuda pública exterior de éstos 17 países en desarrollo se ha quintuplicado en sólo 8 años. Cabe anotar que 92,3% de la deuda exterior pendiente correspondía a países que son importadores netos de petróleo. Además, no se ha incluido en estas cifras la deuda de México y Venezuela, puesto que han pasado a ser importadores de azúcar en años recientes.

Para dar una idea de lo onerosa que resulta la deuda exterior para muchos de estos países, se calculó la relación entre el servicio de la deuda pública y el valor de las exportaciones totales. En

el caso de Panamá, esta relación alcanzó 59,5% en 1978 y para otros 5 países (*Argentina, Brasil, Costa Rica, Jamaica y Perú*), la relación oscilaba entre 20 y 30%.

Paralelamente, entre 1973 y 1978, el costo de las importaciones de petróleo aumentó 4,7 veces, alcanzando en 1978, la cifra de US\$5,7 mil millones. Como resultado del alza experimentada en los precios del petróleo a finales de 1979, y las posibilidades de que los precios continúen subiendo, en 1980 el valor del petróleo para estos países latinoamericanos pudiera superar los US\$16 mil millones.

Los graves problemas con respecto al servicio de la deuda exterior y las tasas de interés que aumentan tan rápidamente como el precio del petróleo --producto que se está pagando ahora con dinero prestado-- sugieren cada vez más que, en los años venideros, los bancos privados no otorgarán préstamos en la cantidad requerida, al menos a algunos países.

La perspectiva de un decreciente mercado estadounidense del azúcar podría agravar aún más la situación. Son reducidas las posibilidades de encontrar otro posible mercado. La política azucarera de la Comunidad Económica Europea es bien conocida y los Nueve seguirán siendo los principales proveedores de este mercado de edulcorantes, junto con los países del acuerdo de Lomé. No se puede depender de la Unión Soviética como comprador confiable y creciente del azúcar del mercado libre. En el Japón existe la posibilidad de reemplazar el azúcar por HFCS, y los países del Medio Oriente tampoco se convertirán en importantes compradores. China tiene demanda potencial, pero no tiene las divisas para comprar grandes cantidades.

Esta situación en lo que respecta al petróleo y la deuda exterior, junto con la posibilidad de que disminuyan los ingresos del azúcar, deberían llevar a los órganos decisorios de los países en desarrollo a evaluar la caña de azúcar como cultivo energético renovable donde la biomasa total, más que la sucrosa, sea la consideración primordial.

Hoy en día el precio del azúcar cruda llega a los US\$0,30/lb, y con una tendencia más a subir que

a bajar sin embargo, el precio del petróleo continuará aumentando.

Si los mercados del azúcar no se amplían debido a las restricciones de la demanda en los países importadores, la caña podría utilizarse para producir etanol. Es de crucial importancia para los países de América Latina y el Caribe analizar detenidamente cuáles son las perspectivas económicas del alcohol carburante y cómo este producto puede contribuir a los objetivos energéticos estratégicos reduciendo la dependencia de las importaciones de petróleo y desarrollando o estabilizando sectores concretos de la economía. Con base en esto deben establecer un programa agroindustrial integrado para la caña de azúcar. Muchos países podrían alcanzar entonces niveles aceptables de producción, tanto de sucrosa como de alcohol carburante para uso interno y externo.

En vista de las perspectivas poco halagüeñas de las exportaciones azucareras al mayor mercado del mundo --los Estados Unidos-- es importante hacer las siguientes consideraciones breves en torno a 2 aspectos del uso del alcohol carburante.

En el caso de América Latina y el Caribe, la materia básica principal para la obtención del alcohol parece ser la caña ya que el bagazo se utiliza como combustible de las calderas, sin necesidad de otras fuentes de combustible como el petróleo o el carbón. Esta situación coloca la caña de azúcar en posición favorable frente a otros productos agrícolas como la yuca o el maíz.

El gasohol, definido en los Estados Unidos como una mezcla de 10% de alcohol y 90% de gasolina, aumenta en más de 3 puntos, el octanaje de la gasolina de bajo octanaje sin el uso de compuestos de plomo tetraetilo o manganeso. Aún para aumentar el octanaje en la producción de gasolina de elevado octanaje sin plomo, se obtienen economías favorables. Cada galón de etanol desplaza más de 2,5 gal. de crudo y hace innecesario utilizar equipo costoso de transformación\*.

---

\* Jawetz Pincus, *The economic realities of alcohol fuels*, Nueva Orleans, Louisiana, 1979.

Referente a la situación del alcohol carburante en los Estados Unidos, cabe señalar que el Presidente Carter recientemente anunció planes para fomentar la producción de este producto. El Congreso está terminando la redacción de la ley sobre Combustibles Sintéticos (S-932), en la cual se incluyen disposiciones relacionadas con la biomasa.

En la actualidad se producen unos 80 millones de gal de etanol para mezcla con gasolina. La meta del gobierno es producir unos 500 millones de gal en 1981 y 7,2 mil millones hacia 1990. El consumo de gasolina está calculado en 110 mil millones de gal/año, el cual probablemente se

mantendrá, puesto que los nuevos automóviles serán más económicos y se están tomando medidas de conservación de energía. Al producirse gradualmente un cambio hacia el gasohol, se puede concluir que la demanda para el alcohol carburante será de 11 mil millones de gal.

La fabricación nacional de etanol no puede llegar a cubrir esta demanda potencial; por tanto, existiría una demanda de importación que podría fluctuar entre 3,8 y 10,5 mil millones de gal. Por supuesto, estas son cifras preliminares, sujetas a una serie de factores económicos y de políticas internas. El uso de gasohol continuará creciendo, presentando buenas oportunidades de mercado.

**Cuadro 1. Perspectivas del mercado estadounidense de edulcorantes hasta 1985.**

Producto (1000 de t)	1970		1979		1985		Crecimiento anual (%)	
							1970-79	1979-85
<b>Azúcar</b>								
Nacional	5.210	(47,71) *	4.870	(37,49) *	5.100	(36,04) *	-0,75	0,77
Importada	4.210	(38,55)	4.220	(32,49)	3.050	(21,56)	0,03	-5,27
Subtotal	9.420	(86,26)	9.090	(69,98)	8.150	(57,60)	-0,40	-0,18
<b>Edulcorantes de maíz</b>								
HFCS	60	(0,55)	1.490	(11,47)	3.450	(24,38)	42,89	15,02
Otros	1.300	(11,91)	2.260	(17,40)	2.400	(16,96)	6,34	1,01
Subtotal	1.360	(12,45)	3.750	(28,87)	5.850	(41,34)	11,93	7,69
<b>Calóricos menores</b>	140	(1,28)	150	(1,15)	150	(1,06)	0,77	--
<b>Total</b>	10.920	(100,00)	12.990	(100,00)	14.150	(100,00)	1,95	1,44

Fuente: Con base en la información estadística del USDA, Sugar and sweeteners reports para 1970 y 1979; proyecciones hasta 1985, del autor.

\* La cifra entre paréntesis es el porcentaje respectivo

**Cuadro 2. Estructura del mercado azucarero de los Estados Unidos en 1979 y posible sustitución de sucrosa.**

Industrial	Uso real (%)	Posible sustitución de sucrosa (%)
Bebidas no alcohólicas	22,9	100
Alimentos enlatados	8,1	100
Helados y otros productos lácteos	4,9	50
Productos de panificación y cereales	11,2	25
Alimentos	6,0	50
Confituras	8,2	20
Subtotal	61,3	
No industrial	38,7	
Total	100,0	

Fuente: USDA, Sugar and sweetener report, y GAO, Report to the Congress - Sugar and other sweeteners. An industry assessment.

**Cuadro 3. Países latinoamericanos que son importadores netos de petróleo; datos del sector externo, 1970 y 1978**

País	Deuda pública externa* (millones de US\$)		Relación entre el servicio de la deuda pública y el valor de las exportaciones (%)	Valor de las importaciones de petróleo y derivados (millones de US\$)		Valor de las exportaciones de azúcar (millones de US\$)		Relación entre las exportaciones de azúcar y las exportaciones totales (%)	
	1970	1978	1978	1973	1978	1970	1978	1970	1978
<b>Importadores netos de petróleo</b>									
Argentina	2 463	8.403	26,6	172	412	12	69	0,7	1,1
Barbados	50	50	2,3	8	25	16	22	44,8	21,5
Brasil	5 052	31.758	27,4	711	3 934	127	350	4,6	2,8
Colombia	1 850	4 402	9,6	--	104	14	23	1,8	0,7
Costa Rica	227	1 616	22,5	20	104	10	15	4,3	1,7
Rep. Dominicana	299	904	9,8	43	134	104	172	48,6	2,5
El Salvador	126	667	3,0	16	73 **	7	26	3,0	3,0
Guatemala	176	790	1,7	33	179	9	64	3,0	n.d.
Haití	45	248	5,6	7	30	3	3	7,7	2 ***
Honduras	144	918	8,2	17	51	2	6	1,1	1,0
Jamaica	192	1 363	19,6	63	210	36	63	10,5	8,2
Nicaragua	220	1 144	16,5	18	98 **	10	21	5,6	3,3
Panamá	290	2 424	59,5	74	148	6	25	4,6	10,3
Perú	1.084	7 177	30,1	46	734 **	65	45	6,3	2,3
Subtotal	12.218	61 954	25,6	1 233	5 736	421	901	5,1	
<b>Exportadores netos de petróleo</b>									
Bolivia	549	2.377	46,7	--	--	1	15	5 ***	2,3
Ecuador	352	2.269	11,5	--	--	8	7	3,4	0,5
Trinidad y Tobago	122	453	1,1	--	--	21	22	4,2	1,0
Total	13 241	67.053	24,3	--	--	451	945	4,9	***

Fuente: Con base en la información estadística del Banco Mundial y la FAO

\* Deuda reembolsable en divisas a plazos mayores de un año, contraída por agencias públicas o por entidades privadas con garantía del gobierno

\*\* Cifras correspondientes a 1977.

\*\*\* Nota del editor: No fue posible verificar estas cifras con el autor

## **GRUPO POLITICO**

## IMPLANTACION Y DESARROLLO DEL PROGRAMA NACIONAL DE ALCOHOL EN BRASIL\*

**General Thorio Benedito de Souza Lima\*\***

"El alcohol es un combustible para motores excelente, limpio y eficiente y debe sustituir, urgentemente, al petróleo como combustible renovable del futuro" (*Alexander Graham Bell, 1917*).

### Resumen

Se presenta un detallado recuento histórico sobre la utilización del alcohol como combustible. Se describen las bases del Programa Nacional de Alcohol (*PROALCOOL*), incluyendo las proyecciones del gobierno brasileño, los incentivos creados por éste para la producción, aspectos institucionales, responsabilidades de las principales entidades (*la Comisión Nacional de Energía, el Consejo Nacional de Alcohol, la Comisión Ejecutiva Nacional del Alcohol, el Instituto del Azúcar y del Alcohol, el Consejo Nacional del Petróleo*), políticas y directrices a seguir, financiamiento y funcionamiento. Se espera alcanzar la autosuficiencia energética en un futuro no muy lejano. Brasil está introduciendo métodos revolucionarios que le permitirán pasar de importador de tecnología a innovador.

### Introducción

Cuando se desea prever el futuro, nada mejor que analizar el pasado. La historia nos enseña que las nuevas fuentes de energía se suceden o se afirman con el tiempo. Así, la utilización de la leña para producir energía térmica, en forma de fuego controlado, fue una de las principales premisas para el desarrollo de la humanidad. Por otra parte, el comienzo de la industrialización —fundición del hierro— a base del carbón vegetal llevó a la explotación intensiva de los

bosques, surgiendo la necesidad de recurrir, progresivamente, a otros combustibles.

Dicha transformación no se realizó sin problemas. La primera crisis ocurrió en Gran Bretaña en el siglo XVI, cuando el combustible tradicional, la leña, se tornó escaso en razón de las exigencias competitivas del crecimiento urbano y del incremento de la construcción de navíos utilizando madera. La biomasa cedió su lugar al carbón, hasta entonces utilizado en pequeña cantidad y en pocas regiones del mundo.

De esta innovación surgieron nuevos procesos de producción y comenzaron a explotarse recursos no utilizados, que llevaron directamente al mundo a la primera revolución industrial con el descubrimiento de la máquina de vapor. El

\* Traducido por Stella S. de Salcedo del portugués "Implantação e Desenvolvimento do Programa Nacional de Alcool do Brasil".

\*\* Asesor Presidente Petróleo Brasileiro S.A. -PETROBRAS- Avenida Chile 65, Río de Janeiro, Brasil.

carbón fue sustituido gradualmente por el petróleo, excepcional fuente energética, materia prima líquida, fácil de producir, refinar, transportar y comercializar.

El desarrollo del motor de explosión y el uso industrial de la electricidad propiciaron la llamada segunda revolución industrial, que trajo grandes modificaciones y la dependencia internacional del llamado "oro negro". La conocida "crisis del petróleo", con sus implicaciones de toda naturaleza, inclusive geopolíticas, condujo nuevamente a la humanidad, en los años setenta, al umbral de profundas transformaciones en el campo energético.

Cabe resaltar la iniciativa del Instituto de Tecnología de Massachusetts (*MIT*) que, con el objeto de analizar la problemática del petróleo, integró la experiencia de cerca de 80 técnicos de diversos países. Como resultado de dos años de estudio se publicó el libro "Energía - Estrategias Globales 1985-2000", donde se prevé que "la oferta del petróleo dejará de satisfacer la demanda antes del año 2000, pero más probablemente entre 1985 y 1995". El libro contiene otra afirmación pertinente: "La transición a una economía mundial basada en otras fuentes de energía que no sea el petróleo debe comenzar ahora. Se requerirán de 5 a 15 años para desarrollar estas nuevas alternativas y la necesidad de combustibles sustitutos aumentará rápidamente a medida que nos aproximemos al siglo XXI".

### Fuentes alternas de energía

La transición del uso de combustibles fósiles a líquidos y gaseosos derivados de materia viva, o biomasa, es un nuevo desafío de gran alcance en términos de tecnología, logística y organización social que tan sólo ahora comienza a comprenderse.

Según Calvin (13), Premio Nóbel de la Universidad de California en Berkeley, las áreas de la superficie terrestre más propicias para la conversión útil de energía solar y su almacenamiento en plantas no son las de mayor radiación solar -los desiertos del Norte y el Sur de África y el Suroeste de los Estados Unidos- sino las regiones ecua-

toriales de América del Sur, África, y el Sureste Asiático.

### Balance energético brasileño

Actualmente, el consumo de energía en Brasil se distribuye así: petróleo cerca del 42%; energía hidroeléctrica, 27% y carbón, 4%. En lo que atañe al uso de combustibles no convencionales, el porcentaje es del 27%, distribuido en la forma siguiente: 21% para la leña y el carbón vegetal; 4% para el bagazo de caña y 2% para el alcohol. El aporte del gas natural es tan sólo del 0,5%.

El Ministerio de Minas y Energía definió el modelo energético con base en las necesidades de demanda, actuales y futuras, de las unidades industriales, las actividades agrícolas y el transporte, en relación con la oferta de energía disponible (*nacional e importada*). En principio, la sustitución de los derivados del petróleo por otras materias primas energéticas se realizaría de la siguiente manera: para la gasolina se recurriría al alcohol etílico, y el aceite combustible se reemplazaría por energía solar, carbón o alcohol metílico. En cuando al aceite diesel, los estudios todavía no se han concluido y, por lo tanto, su posible sustituto se halla en etapa de investigación.

Además de los 500.000 bbl. diarios de petróleo estimados para 1980-85, se ha fijado una meta de 170.000 bbl/día para el alcohol (*en equivalentes de bbl de petróleo*) y una cantidad idéntica para el carbón mineral. Se busca lograr un valor correspondiente a 120.000 bbl/día para el carbón vegetal, 25.000 bbl/día para el aceite de esquisto y 15.000 bbl/día para otras fuentes alternas.

### El uso universal del alcohol

Las primeras experiencias sistemáticas de sacarificación de almidón y celulosa orientadas a producir alcohol etílico o etanol, empleando batata, remolacha azucarera y madera, tuvieron origen en Europa en el siglo XIX. En esa misma época, Alemania y Francia eran líderes en las pruebas para la utilización de alcohol carburante (*ciclo Otto*). Los estudios progresaron de tal forma que permitieron realizar una serie de conferencias internacionales sobre el uso del alcohol

en motores en 1901. Los Estados Unidos publicaron en 1907 y 1912, respectivamente, los resultados de los experimentos a cargo de los Ministerios de Agricultura y de Minas. La razón principal para llevar a cabo estos experimentos con el alcohol consistía en el elevado costo del petróleo en esa época que oscilaba, en 1900, en Gran Bretaña, entre 4 y 12 veces el precio del carbón. El petróleo se volvería competitivo no sólo por el desarrollo de los procesos de refinación y distribución, sino por el descubrimiento de grandes yacimientos de petróleo en Texas y en el Oriente Medio.

En lo que respecta al alcohol, todavía se encuentra en la etapa de prueba pero, no obstante, este combustible está en el umbral de las grandes transformaciones. A través de su uso sistemático se espera que, dentro de poco, se podrá alcanzar el grado de eficiencia tecnológica obtenido en la producción del petróleo.

El discontinuar la utilización del alcohol, particularmente en Europa, dio como resultado una merma en la fabricación de etanol en favor de la producción de alimentos. Al aparecer el motor en serie y desarrollarse la industria petrolífera en los Estados Unidos, la tecnología de motores comenzó a orientarse hacia la utilización del petróleo.

En la década de los 30, los países Europeos, anticipándose a la posibilidad de una guerra, comenzaron a experimentar y a utilizar diversos combustibles alternos, entre los cuales los más importantes fueron el metanol y el etanol. En esta misma época, la marina de los Estados Unidos adicionó alcohol a la gasolina con el objeto de dar más potencia a los aeroplanos militares que decolaban de los portaviones. La literatura revela que el consumo anual de alcohol etílico mezclado con la gasolina en Europa en 1935 alcanzó cerca de 550 millones de l para 4 millones de vehículos.

Al terminar la guerra, no se siguió utilizando el alcohol como combustible para vehículos debido a la disponibilidad de petróleo crudo barato. El etanol sintético producido a partir del petróleo conquistó el mercado químico industrial y el alcohol fue relegado al mercado de bebidas alcohólicas. A partir de 1973, los problemas resultantes de los elevados precios del petróleo y

la importación creciente del combustible llevaron a numerosos países a revisar cuidadosamente sus programas sobre la utilización de alcohol.

En los Estados Unidos, por ejemplo, el Estado de Nebraska inició la utilización de "gasohol", una combinación de 10% de alcohol etílico obtenido de cultivos agrícolas y 90% de gasolina sin plomo. Las pruebas efectuadas en dicho país, que abarcaron 45 vehículos que recorrieron cerca de 2 millones de km durante 2 años y medio, concluyeron: "El gasohol, es un combustible con rendimientos semejantes a los de la gasolina, de quema ligeramente más limpia, cuando se emplea gasolina sin plomo". El programa "gasohol" de Nebraska tiene por objeto convertir 40% del combustible nacional en "gasohol" reduciendo la dependencia del petróleo bruto en cerca de US\$2500 millones anuales, con una inversión de US\$4000 millones.

#### Evolución de la utilización del alcohol en Brasil

"Esta tierra, señor, es tan generosa que al sembrarla da hasta petróleo" (*Proverbio adaptado de una carta de Pero Vaz de Caminha al Rey de Portugal D. Manuel I, el Venturoso, con ocasión del descubrimiento del Brasil*).

En Brasil, los primeros estudios y ensayos relacionados con la utilización del alcohol carburante datan de comienzos del siglo. En 1902, cuando la industria azucarera brasileña pasaba por una de sus depresiones, fue divulgado un documento sobre "Las Aplicaciones Industriales del Alcohol", basado en experiencias europeas. En 1919, el Estado de Pernambuco decretó la obligatoriedad del uso del alcohol como combustible en los vehículos oficiales.

Se ensayaron varias mezclas, entre ellas la USGA (75% de alcohol y 25% de eter) y otras con base en etanol, conocidas como AZULINA, ROSADA, MOTOGAS, NACIONALINA y MOTORINA.

En 1931, el gobierno oficializó el empleo del alcohol, siendo forzoso adicionarlo a la gasolina importada en una proporción inicial del 5%, aunque esta medida no siempre se cumplió. En realidad, se recurría al alcohol tan sólo cuando el azúcar y sus subproductos (*melaza, aguardiente*)

no encontraban un buen mercado, lo que en general sucedió a raíz de las crisis del mercado externo del azúcar.

Una vez superados los efectos de la depresión económica de 1929, disminuyó el interés de utilizar el alcohol como combustible. No obstante, durante la Segunda Guerra Mundial, en vista de las dificultades de importar gasolina, la industria de alcohol brasileña comenzó a recobrar interés a nivel nacional, se establecieron precios mínimos y se ejerció mayor control sobre su comercio y utilización. Al terminar la Segunda Guerra Mundial, el alcohol no podía competir con la gasolina, por lo cual fue relegado a un plano inferior. A partir de 1973, el aumento de los precios del petróleo hizo que Brasil comenzase a considerar la utilización sistemática del alcohol como combustible.

La ST1 del Ministerio de Industria y Comercio estableció un programa global de estudios, integrando y orientando las investigaciones a nivel nacional, especialmente en las áreas de materias primas alternas, perfeccionamiento del proceso de producción, sustitución de otros derivados del petróleo, desarrollo de tecnología de motores y búsqueda de soluciones para los efluentes industriales.

### *Materias primas brasileñas*

Para fabricar alcohol en Brasil se utilizan como materias primas productos agrícolas, siendo el insumo básico la caña de azúcar, cultivada en suelos fértiles, especialmente en los Estados de São Paulo, Pernambuco y Alagoas. Es posible emplear diversas materias primas para producir alcohol, a fin de neutralizar la competencia de los cultivos agrícolas destinados a la alimentación. En este sentido, la Empresa Brasileña de Investigación Agropecuaria (EMBRAPA) realiza estudios especialmente sobre los siguientes cultivos: yuca, babassú (*Orbignyia speciosa*), sorgo dulce y granífero, henequén, residuos agrícolas y madera (*celulosa*).

La yuca se considera actualmente como la segunda materia prima más importante para obtener etanol, no sólo porque Brasil ya produjo alcohol de yuca en 1938, sino principalmente por los esfuerzos desarrollados por PETROBRAS,

compañía que estableció una fábrica de alcohol (60.000 l/día) en Curvelo, Minas Gerais, que está funcionando desde hace 2 años con rendimientos cercanos a los proyectados por el Instituto Nacional de Tecnología (INT).

Otra sustancia amilácea que se puede destacar es el babassú, un cultivo de múltiples usos, del cual depende buena parte de la economía de los Estados de Maranhão y Piauí, que se está utilizando con éxito en la destilería de Lorena, São Paulo, y cuya explotación industrial se proyecta en el norte del país.

### Aplicaciones del alcohol en Brasil

#### *Principales aplicaciones para fines energéticos*

Se encuentran en curso diversos estudios que tienen por objeto analizar las diferentes opciones relacionadas con las aplicaciones del alcohol, de acuerdo con los segmentos que se descubren a continuación:

#### Motores de ciclo Otto o de volumen constante (*encendido por chispa*).

El alcohol etílico se emplea comúnmente en su estado anhidro mezclado con gasolina o hidrato en motores especiales o convertidos. La programación establecida previó, inicialmente, una mezcla hasta del 20% de alcohol sin modificar los motores. Una segunda etapa, que tuvo por objeto transformar los motores convencionales de gasolina, requirió de las siguientes modificaciones:

1. Aumentar la tasa de compresión según el tipo de motor, pudiendo alcanzar hasta 13:1.
2. Variar la curva de encendido adelantado.
3. Modificar el carburador.
4. Cambiar el colector de lubricante por un colector especial que permita calentar más la mezcla de alcohol y aire.
5. Introducir un sistema de arranque en frío.

6. Cambiar la bobina por una de mayor capacidad que genera más energía para las bujías de encendido, que también se sustituyen por otras más frías.

Brasil está fabricando 3 tipos de motores que funcionan con alcohol:

1. El convencional de gasolina transformado para utilizarlo con alcohol, proceso que se está llevando a cabo en fábricas autorizadas.
2. El fabricado por la industria automovilística, cuyas líneas básicas se destinan al uso de gasolina, con modificaciones para ser utilizado con alcohol.
3. El motor fabricado especialmente para utilizarlo con alcohol pero, en este caso, debe tener un rendimiento superior a los transformados o modificados.

Después de 5 años de investigación, la STI concluyó que "el carro de alcohol se encuentra tecnológicamente listo para ser lanzado al mercado, aunque consume casi un 20% más que el de gasolina".

Hasta 1979 se habían homologado 5 tipos de motores de alcohol hidratado, y se había autorizado a sus fabricantes a producir vehículos que se están utilizando a nivel experimental en organizaciones oficiales. Los carros aprobados son: FIAT 1300, W 056-1500 y 040-1300; General Motors 151-CID; FORD (*Corcel* y *Galaxia*), además de un motor estacionario para diversos usos.

**Motores de ciclo diesel.** En cuanto a la utilización de alcohol en motores de ciclo diesel, hay varios problemas que están siendo estudiados.

Tratándose de la sustitución parcial, las investigaciones están orientadas a encontrar una sustancia solubilizante que "ligue" el alcohol al aceite diesel. Una de las más viables es la mezcla del aceite diesel con aceites vegetales en proporciones hasta del 40%, según el tipo de aceite.

**Turbinas de gas.** El Centro Técnico Aeroespacial (CTA) realizó experimentos orientados a

utilizar el alcohol en turbinas de 50 kw en las ciudades de Cocões (*Bahia*) y Cancaia (*Ceará*). Las etapas siguientes consisten en implantar unidades de 500, 1000 y 2000 kw., previendo la utilización de por lo menos una turbina desarrollada especialmente para alcohol.

**Producción de gas doméstico.** La gasificación del alcohol constituye otra alternativa que se está estudiando con éxito en la Compañía de Gas de Rio de Janeiro (COMGAS), y la CEG de São Paulo.

### Otros usos

1. Combustible para calderas empleando el etanol o el metanol puro o complementando otro combustible base.
2. Utilización del etanol para sustituir el aceite combustible para generar electricidad (*planta termoeléctrica, en Piratininga, São Paulo*).
3. Montacargas (*Hyster*) movidos por alcohol.
4. Tractor (*Ford*) movido con 100% de alcohol.
5. Motor de helicóptero que se fabricará en Brasil, las investigaciones están a cargo del CTA.
6. Motocicleta (*Honda*) propulsada por alcohol hidratado; se producirán 20.000 unidades/mes, a partir de septiembre de este año.

### Bases del Programa Nacional de Alcohol (PROALCOOL)

"La política energética de un país que importa más de 2 terceras partes del petróleo consumido —el equivalente al 48% de la energía utilizada— pasa a ser una pieza decisiva en la estrategia nacional. Brasil debe ajustar su estructura económica a la situación de escasez de petróleo y reducir su dependencia en relación con las fuentes externas de energía" (*II Plan Nacional de Desarrollo, 1975-79*).

PROALCOOL se creó con el objeto de afrontar dos problemas: 1) La necesidad de reducir las

importaciones de petróleo, y 2) las fluctuaciones de los precios internacionales del azúcar, sector importante de la economía brasileña.

El gobierno federal a través de PROALCOOL pretende:

1. Mantener la producción de alcohol anhidro a fin de mezclarlo progresivamente con la gasolina y utilizarlo como materia prima para la industria alcohol-química.
2. Fomentar la expansión de la agroindustria azucarera.
3. Crear incentivos y, por lo tanto, nuevas alternativas para el desarrollo y utilización de otros cultivos.
4. Crear oportunidades para abrir nuevas fronteras agrícolas.

El programa estableció los siguientes incentivos para la producción de alcohol:

1. Expansión de la oferta de materias primas con énfasis especial en el aumento de la productividad agrícola.
2. Modernización y ampliación de las destilerías existentes.
3. Instalación de nuevas unidades productoras autónomas o anexas a las fábricas.
4. Instalación de unidades de almacenamiento.

Las metas de PROALCOOL son:

1. Reducir las disparidades regionales en cuanto a la renta.
2. Aumentar la renta interna empleando factores de producción hasta ahora ociosos (*tierra y mano de obra, principalmente*).
3. Expandir la producción de bienes de capital por medio de la creciente utilización de equipos destinados al establecimiento o a la ampliación de destilerías.

Simultáneamente, el gobierno estableció mecanismos administrativos, crediticios y finan-

cieros destinados a implantar efectivamente el programa, en términos industriales, agrícolas y tecnológicos. Se destacan los estímulos a la construcción de destilerías, adquisición de implementos agrícolas (*tractores, cosechadoras, sembradoras*), financiación agrícola, garantía de compra de alcohol producido e incentivos a los fabricantes de vehículos automotores. Se establecen las siguientes medidas destinadas a alcanzar las metas previstas:

1. Fijar un precio atractivo para los productores de alcohol.
2. Fijar el precio de alcohol al consumidor en relación con el de la gasolina.
3. Conceder incentivos fiscales a los participantes en el programa.
4. Simplificar las normas para la aprobación de los proyectos.
5. Ampliar la red de agentes financieros del programa de modo que se incorpore todo el sistema bancario nacional.
6. Reunir en una sola entidad nacional toda las responsabilidades relacionadas con los análisis de los proyectos.
7. Concentrar, inicialmente, los esfuerzos y recursos con miras al uso del etanol, por cuanto el alcohol etílico es el sustituto más práctico y suficientemente ensayado de los derivados del petróleo.
8. Redefinir las metas de producción de PROALCOOL en relación con la obtención de recursos externos e internos.

### *Aspectos institucionales*

El actual Presidente del Brasil, General João Baptista de Oliveira Figueiredo, consolidó e integró las medidas tomadas por su antecesor, fijando las siguientes directrices para el área del alcohol:

1. Determinar el tamaño de las fábricas de alcohol carburante en función del consumo programado para cada región.

2. Sustituir la gasolina por una mezcla de alcohol y gasolina y por alcohol hidratado.
3. Establecer una red de distribución de alcohol, evitando al máximo el transporte interregional.
4. Crear incentivos económicos para las compañías de transporte colectivo, a fin de que adopten los motores propulsados por alcohol.
5. Estimular la adaptación de motores diesel para la utilización de alcohol o de una mezcla de diesel y alcohol.
6. Promover la investigación y utilización del metanol.

#### *Atribuciones de las principales entidades*

#### **La Comisión Nacional de Energía (CNE)**

La CNE es un órgano de naturaleza transitoria, cuya finalidad es programar las políticas y elaborar directrices y criterios en el campo energético. Examina la racionalización del consumo, el incremento de la producción nacional de petróleo, lo mismo que la sustitución de dicho combustible por otras fuentes energéticas.

Dicha Comisión, directamente subordinada al Presidente de la República, contará con el respaldo del Vicepresidente de la República en la dirección de los trabajos de la comisión y estará integrada por los ministros de estado, hacienda, agricultura, transporte, industria y comercio, minas y energía, por los jefes del gabinete militar, secretarios de planeación y comunicación social de la Presidencia de la República, por los presidentes de las compañías estatales de petróleo (*PETROBRAS*) y de energía eléctrica (*ELETRÓBRAS*), por el Consejo Nacional del Petróleo (*CNP*) y por tres ciudadanos conocedores de la problemática energética del país.

#### *El Consejo Nacional del Alcohol (CNAL)*

Este órgano máximo se creó con el objeto de formular una política y fijar las directrices de PROALCOOL, crear incentivos, elaborar los criterios generales para los precios de comercialización de proponer al Consejo Monetario Nacional las bases y condiciones de financiación.

Al CNAL compete básicamente:

1. Hacer compatibles las participaciones de los órganos directa o indirectamente vinculados a PROALCOOL, que tienen por objeto la expansión de la producción y utilización del alcohol.
2. Evaluar, unificar y homologar las actividades de los órganos y entidades de administración pública relacionadas con las ejecuciones de PROALCOOL.
3. Determinar la producción anual de diversos tipos de alcohol, especificando su uso.
4. Definir los criterios generales que deberá observar la Comisión Ejecutiva Nacional del Alcohol para estudiar los proyectos de modernización, ampliación e implantación de nuevas destilerías.
5. Autorizar las exportaciones de miel residual o de alcohol de cualquier tipo o grado. Dicha Comisión está presidida por el Ministro de Industria y Comercio y está integrada por los secretarios generales de 8 ministerios, por 3 representantes de las confederaciones nacionales de agricultura, comercio e industria, y por el Subdirector de Asuntos Tecnológicos del Estado Mayor de las Fuerzas Armadas.

#### *La Comisión Ejecutiva Nacional de Alcohol (CENAL)*

La CENAL está presidida por el Secretario General del Ministerio de Industria y Comercio y está compuesta por los titulares del Instituto de Azúcar y de Alcohol (*IAA*), de la Secretaría Ejecutiva del Consejo de Desarrollo Industrial (*CDI*), de la STI y del CNP.

Como órgano ejecutivo del CNAL, debe:

1. Brindar apoyo técnico y administrativo al CNAL a través de los órganos que la componen.
2. Analizar los proyectos de modernización, ampliación e instalación de nuevas destilerías de alcohol y decidir sobre su encuadramiento en PROALCOOL.

3. Manifestarse sobre las proposiciones de los órganos y entidades públicas y privadas relacionadas con las ejecuciones de PROALCOOL, que serán sometidas a la decisión del CNAL.
4. Mantenerse al tanto de las actividades desempeñadas por los órganos y entidades públicas relacionadas con PROALCOOL.
5. Promover y coordinar la realización de estudios e investigaciones de interés para PROALCOOL.
6. Presentar al CNAL informes mensuales detallados sobre sus actividades.

### *El Instituto del Azúcar y del Alcohol (IAA)*

En cuanto al alcohol, el IAA debe:

1. Registrar en el catastro todas las destilerías de alcohol, cualquiera que sea su tipo de materia prima.
2. Fijar el precio básico y las especificaciones técnicas para la miel residual y para el alcohol no destinados a fines carburantes.
3. Establecer la paridad entre el alcohol y el azúcar, después de que el Ministerio de Minas y Energía se haya pronunciado al respecto.
4. Recibir y analizar los proyectos de producción de alcohol de caña.

### *El Consejo Nacional del Petróleo (CNP)*

Una subcomisión de la CNP (*la de abastecimiento de alcohol*) tiene las siguientes atribuciones:

1. Garantizar la compra de todo el alcohol producido por las destilerías aprobadas y al precio fijado por el IAA.
2. Programar la distribución de alcohol de las fuentes productoras entre las empresas consumidoras y distribuidoras de petróleo.

3. Fijar el porcentaje de alcohol anhidro para mezclarlo con la gasolina.
4. Definir los centros de mezcla.
5. Proponer al CNAL los precios del alcohol destinado a fines carburantes.
6. Administrar los recursos generados por la comercialización del alcohol carburante destinado a proyectos orientados al perfeccionamiento de la tecnología de producción y utilización del alcohol carburante, a la investigación y asistencia técnica para la producción de materias primas.
7. Garantizar las industrias químicas el precio del litro de alcohol estimado con base en el 35% del precio del kilo de etileno, fijado por los organismos gubernamentales.

### *Políticas y directrices*

En 1979 se fortaleció y amplió la base institucional de PROALCOOL y se trazaron nuevos objetivos y metas más ambiciosas para el programa. Las nuevas metas de PROALCOOL contemplan una producción de 10.700 millones de l de alcohol para 1985, lo que permitirá atender básicamente todo el crecimiento previsto de consumo de gasolina en los próximos años.

Dentro de este contexto, además de la mezcla de alcohol anhidro y gasolina, PROALCOOL considera también la utilización del alcohol hidratado como único combustible automotor, y se calcula que para el período 1980-82 se producirán 900.000 vehículos nuevos movidos exclusivamente por alcohol y la transformación de 270.000 vehículos de gasolina para ser utilizados con alcohol. PROALCOOL desempeña una vasta gama de actividades en las áreas de producción de materias primas agrícolas, producción, distribución y utilización de alcohol, e investigación y desarrollo tecnológico, por lo cual se le han asignado recursos del orden de US\$5000 millones que le permitan llevarlas a cabo hasta 1985.

Las principales políticas y directrices para la implantación de PROALCOOL son:

1. Este Programa se desarrolló con base en la iniciativa privada.

2. PROALCOOL contará con una financiación para varios años que garantice la ejecución de sus actividades.
3. El Gobierno garantizará la adquisición del alcohol producido dentro de especificaciones definidas y en los volúmenes autorizados.
4. La política de precios para el alcohol contribuirá a la práctica efectiva de la economía de mercado, asegurando, por medio de un control permanente, precios verdaderamente remunerativos para el productor.
5. Se formulará el desarrollo de la tecnología nacional en las fases de producción y utilización del alcohol y sus subproductos, incluyendo la sustitución de otros derivados del petróleo.
6. Se estimularán los proyectos con cultivos asociados o con materias primas diversas de la caña de azúcar.
7. La producción de equipos se orientará a la diversificación de abastecedores y una mejor distribución dentro del país.
8. Se considerará la posibilidad de implantar minidestilerías estratégicamente localizadas, con el objeto de conseguir la participación de pequeños productos rurales e industriales y atender las necesidades regionales.
9. Se cumplirán rigurosamente las normas para tratamiento y/o utilización de vinazas.
10. Se establecerán programas de formación y adiestramiento de técnicos a nivel medio y superior, necesarios para el desarrollo de PROALCOOL.

### *Financiamiento*

El Consejo Monetario Nacional definirá las fuentes y condiciones de financiamiento. Las inversiones y gastos relacionados con PROALCOOL serán financiados por el Banco Nacional de Desarrollo Económico, el Banco del Brasil y otros bancos oficiales de desarrollo en el caso de instalación, modernización de destilerías

e instalación de unidades almacenadoras; y por el Sistema Nacional de Crédito Rural para la producción de materias primas.

Los recursos financieros indispensables para el cumplimiento de los objetivos de PROALCOOL serán provistos por el Fondo de Movilización Energética, que deberá entregar US\$2400 millones hasta 1985, o sea el 50% del costo total estimado. La otra mitad se obtendrá a través de préstamos internos o externos o de otras fuentes.

### *Funcionamiento*

PROALCOOL surgió de la iniciativa privada, sumamente dispersa y diversificada, lo que exige, por tanto, una forma de coordinación, control y evaluación bien diferentes de cualquier programa conocido y centralizado a nivel de empresa gubernamental. Existen proyectos ya establecidos o en fase de establecimientos en regiones diferentes del país, que emplean diversas materias primas. La utilización del alcohol está estrechamente relacionada con la industria automovilística, la industria alcohol-química y las compañías distribuidoras a cargo de mezclas de alcohol anhidro con la gasolina.

A fines de 1979 ya habían sido aprobados 247 proyectos de implantación y ampliación de destilerías (161 en la región centro-sur y 86 en la región norte-nordeste), que representan un volumen estimado de 5800 millones de l/año. También se aprobaron 10 propuestas de complementación de equipos y tanques de almacenamiento, 6 en el norte-nordeste y 4 en la región centro-sur.

Al aumentar la utilización del alcohol como carburante, se amplió la red de centros de mezcla en operación en el país. En 1977 se introdujo en São Paulo el sistema de transporte de alcohol en ductos, pionero en el mundo, que unía el centro receptor de Paulínia con los centros distribuidores de Barueri y Utinga, situados a 100 y 150 km. de distancia, respectivamente. Posteriormente, se unió la base de Santos al sistema de oleoductos Santos-São Paulo.

El gobierno estima que a finales de 1980 deberán haberse instalado en el territorio nacio-

nal 1500 estaciones de expendio de alcohol, a 100 km. de distancia entre sí, con el objeto de garantizar el suministro a 330.000 automóviles que funcionarán con alcohol. Para solucionar el problema de los excedentes regionales, se estructuró un sistema de transporte de alcohol por cabotaje y ferrocarril.

De este modo, se podrá alcanzar el índice de adición de alcohol a la gasolina del 20% en 1980 (en 1974-76 el porcentaje era un poco más del 1%, que ascendió al 12,6 en 1979). El consumo de alcohol etílico por parte de las industrias químicas no ha aumentado significativamente en los últimos años. Es de esperarse, sin embargo, que al comenzar a operar los grandes proyectos de la industria alcohol-química que ya se están implantando, la demanda de alcohol para este fin aumentará sustancialmente a partir de 1980.

La solución gubernamental referente a la necesidad de garantizar la rentabilidad y la seguridad de la inversión abarca dos puntos. El primero consiste en la compra de todo el alcohol producido dentro de las especificaciones. El segundo establece un margen de remuneración considerado razonable por medio de un modelo de costo, permanentemente actualizado. El alcohol anhidro, comprado al productor por Cr\$11,47 el l (diciembre, 1970), representa una utilidad líquida del 10%.

El área necesaria para producir 10.700 millones de l de alcohol en 1985 se sembrará básicamente con caña de azúcar. El cultivo total en 1979 alcanzó cerca de 2500 millones de ha que produjeron alcohol y 10 millones de t. de azúcar. Para lograr la meta fijada para 1985 se requerirán aproximadamente 2 millones de ha más. En este sentido, Brasil cuenta con toda la tierra que sea necesaria pues el área para sembrar la materia prima requerida para una producción de etanol de 50.000 millones de l/año ocupa tan sólo el 1% del territorio nacional.

### *Estudio de las propuestas de implantación de destilerías*

Los interesados deberán presentar los proyectos de PROALCOOL a la CENAL. La CENAL hará que el proyecto sea analizado por sus organis-

mos técnicos (el IAA en el caso de la caña de azúcar y la STI y la Empresa Brasileña de Asistencia Técnica y Extensión Rural (EMBRATER) para otras materias primas). Simultáneamente el proyecto pasará al agente financiero indicado por el empresario.

Los proyectos serán analizados por la CENAL en lo relacionado con los aspectos técnicos y de localización y al cumplimiento de los objetivos de PROALCOOL, y por el agente financiero en cuanto a los aspectos bancarios y económicos. El plazo máximo de análisis del proyecto es de 75 días desde el momento de su recibo. Los proyectos relacionados exclusivamente con el sector agrícola de PROALCOOL (abastecedores, desembolsos, etc.), se presentarán a los agentes financieros.

Las obligaciones financieras comprenden financiamiento, corrección monetaria correspondiente al 40% de la variación de las Obligaciones Reajustables del Tesoro Nacional (ORTN), acrecentada en el valor de las tasas de intereses variables según el tipo del proyecto (destilerías anexas o autónomas) y localización de las fábricas (áreas de la Superintendência do Desenvolvimento da Amazônia -SUDAM, y de la Superintendência do Desenvolvimento do Nordeste -SUDENE), cuyo porcentaje fluctúa del 2% (materias primas distintas de la caña de azúcar) hasta el 6%.

### *Evaluación y perspectivas*

Cuatro años después de la creación de PROALCOOL, los resultados muestran que la activa participación del empresario brasileño en la implantación de proyectos ha correspondido a los intereses nacionales de desarrollo para la utilización del alcohol. Durante el período de 1973-76, la producción de alcohol en Brasil se mantuvo estable, oscilando alrededor de 600 millones de l anuales.

A partir de 1977, PROALCOOL presentó sus primeros resultados positivos con una producción que duplicaba la de 1976. Esto fue posible gracias, tanto a las nuevas destilerías anexas, es decir productoras de alcohol y/o azúcar, establecidas con base en PROALCOOL que

comenzaron a operar, como al aprovechamiento máximo de las capacidades ya instaladas.

En 1977, el gobierno comenzó a orientar parte de la producción de azúcar a la fabricación de alcohol debido a una coyuntura internacional desfavorable para el mercado azucarero. Con el objeto de hacer viable esta política productiva, se adoptaron medidas de apoyo financiero específicas, además de los incentivos ya establecidos cuando se creó el programa, referentes a la paridad de precios con el azúcar, garantías de mercado y exención del impuesto único sobre lubricantes para el alcohol carburante hasta 1979.

En 1978, la producción de alcohol continuó en ascenso alcanzando un volumen de 2300 millones de l/año. Las destilerías autónomas iniciaron operaciones, junto con casi 100 unidades anexas a las fábricas, alcanzando una producción de aproximadamente 3800 millones de l para la cosecha de 1979-80, meta inicialmente prevista en 1975 por el gobierno. Los promedios nacionales de mezcla de alcohol a la gasolina, durante los años de 1975 a 1979 fueron respectivamente 1,14; 1,19; 4,79; 11,12 y 15,9%.

Para alcanzar los 10.700 millones de l de alcohol en 1985 se necesitarán cerca de 350 nuevas unidades de 120.000 l/día, así como incorporar nuevas tierras para diversos cultivos. La industria brasileña que fabrica equipos para la producción de alcohol está en condiciones de atender esta demanda, pues existen 60 empresas que pueden construir 108 destilerías de 120.000 l/día anualmente. El plazo necesario para que entre en funcionamiento una destilería es de 18 meses.

Para instalar cada destilería se requiere una inversión de Cr\$250 millones (*precio correspon-*

*diente al tercer trimestre de 1979*). Este valor corresponde al equipo industrial, pero no incluye fletes, intereses de préstamos y capital circulante. La inversión agrícola del sistema de producción (5200 ha) es cerca de Cr\$170 millones, excluyendo el capital circulante y la tierra.

### *El alcohol y el modelo energético brasileño (noviembre, 1979)*

Pocos países del mundo poseen las condiciones naturales de que disfruta Brasil para producir alcohol a partir de la biomasa:

1. Extensión territorial (*casi continental*).
2. Clima tropical y soleado.
3. Areas agrícolas hasta ahora no aprovechadas (*Cerrado, ampliación de las fronteras económicas, etc.*)

El país está perfectamente dotado para producir "energía verde", es decir alcohol a partir de la caña de azúcar, en primer lugar, ya que se tiene un dominio perfecto de la técnica industrial y agrícola. La meta de 10.700 millones de l de alcohol fijada para 1985 se distribuirá de la siguiente manera: 1500 millones de l para la industria alcohol-química; 3100 millones de l de alcohol anhidro para adicionarlo a la gasolina, en la proporción del 20%; y 6100 millones de l de alcohol hidratado para abastecer los carros que funcionarán con alcohol, ya sea recién salidos de fábrica o adaptados para este fin.

Las siguientes cantidades anuales asignadas a la industria alcohol-química se determinan con base en los consumos previstos para los proyectos industriales en operación o futuros:

	Año:	1980	1981	1982	1983	1984	1985
Alcohol x 10 <sup>6</sup> l		0,3	0,6	0,8	1,0	1,2	1,5

En cuanto a la adición de alcohol a la gasolina, el nivel de la mezcla podrá alcanzar un máximo de 20,25%. Esta variación se origina en el ajuste de la producción anual de alcohol y el volumen total de gasolina consumido, de tal forma que se tengan en cuenta las necesidades de utilización

de alcohol como combustible automotor y las eventuales ventajas de exportación, tanto de materia prima como de subproductos (*azúcar, alcohol, etc.*). Se estima que el volumen de alcohol destinado para ser mezclado con la gasolina alcanzará un límite superior a los 3100

millones de l en cualquier año entre 1980 y 1985.

Conociendo las necesidades de estos 2

	Año:	1980	1981	1982	1983	1984	1985
Alcohol x 10 <sup>6</sup> l		<u>04,</u>	<u>0,9</u>	<u>1,5</u>	<u>2,5</u>	<u>4,1</u>	<u>6,1</u>

El gobierno federal firmó un acuerdo con la Asociación Nacional de Fabricantes de Vehículos Automotores (ANFAVEA) para producir 250.000 vehículos en 1980, 300.000 en 1981 y 350.000 en 1982. Además, está estudiando la posibilidad de convertir vehículos que funcionan con gasolina en vehículos para alcohol en la

	Año:	1980	1981	1982	1983	1984	1985
Vehículos x 10 <sup>3</sup>		<u>330</u>	<u>717</u>	<u>1160</u>	<u>1598</u>	<u>2032</u>	<u>2461</u>

Para atender la demanda, se deberá estimular el establecimiento de fábricas pequeñas de alcohol hidratado en regiones aisladas y crear incentivos para empresarios privados, propietarios de vehículos que desean convertirse en autoabastecedores. La estrategia para la producción de alcohol tendrá los siguientes objetivos:

1. Producir la cantidad necesaria para los vehículos que fabricarán ó adaptarán para utilizarlo como combustible.
2. Fijar un precio para el alcohol igual al de la gasolina (*y, por consiguiente, inferior en valor absoluto*), si se tiene en cuenta la eficiencia energética y el desempeño promedio de los vehículos fabricados para utilizar alcohol.
3. Utilizar las vinazas (*subproductos*) como fertilizante agrícola.
4. Llevar a cabo investigaciones para el aprovechamiento energético de las vinazas.
5. Preservar el medio ambiente eliminando cualquier acción contaminante de las vinazas.
6. Utilizar el bagazo de caña como fuente energética para las mismas unidades productoras de alcohol, como materia prima

sectores consumidores de alcohol, se puede determinar la disponibilidad de alcohol etílico hidratado:

siguiente proporción: 80.000 vehículos en 1980, 90.000 en 1981, y 100.000 vehículos anuales en el período 1982-85. Teniendo en cuenta un índice de depreciación del 1% anual, se espera que para el período 1980-85 funcionen exclusivamente con alcohol el siguiente número de vehículos:

para papel y celulosa, y para reciclarlo a fin de aumentar la producción de alcohol.

### Conclusiones

El Programa Nacional de Alcohol del Brasil constituye una contribución tecnológica importante a nivel mundial, al proponer la sustitución de un producto agotable por uno renovable como fuente de energía; abre el país importantes perspectivas, tanto desde el punto de vista económico como del social y del político; afianza al hombre al campo al desarrollar un nivel apreciable de empleo industrial en las regiones menos desarrolladas de la nación; y proporciona al agricultor mejores condiciones de trabajo, salud y asistencia médica.

El programa mantendrá en actividad el ramo fabril, fortaleciendo, por consiguiente, la economía interna, utilizando máquinas y equipos nacionales, desde el cultivo hasta la cosecha, industrializando la materia prima, almacenando y transportando el alcohol. Al movilizar recursos financieros incorpora el sistema bancario, dando oportunidades de crédito a todas las zonas productoras. Ofrece, igualmente, por medio de los insumos, su cooperación fiscal aumentando los ingresos públicos y, en consecuencia, los recursos para el bienestar social.

Obviamente, dadas las condiciones continentales de Brasil, habrá diversas soluciones para

las diferentes regiones. Surgirán verdaderas "microrregiones productoras de alcohol", de acuerdo con el cultivo más apropiado para cada una de ellas, que utilizarán materias primas tan disímiles como babassú (*Orbignyia speciosa*), yuca, caña de azúcar, membrillo, madera (*celulosa*).

A fin de emplear con éxito los suministros de energía fotosintética, Brasil está introduciendo métodos revolucionarios que le permitirán pasar de importador de tecnología a innovador, especialmente en las áreas de productividad agrícola, logística y medidas políticas y socio-económicas, ligadas a las condiciones culturales y económicas del país.

Para producir 10.700 millones de l de alcohol/año a partir de 1985, Brasil tendrá que invertir cerca de US\$5000 millones. A pesar de la importancia de sus inversiones, PROALCOOL no es un programa de salvación nacional: no va a resolver todos los problemas energéticos, ya que existen sectores como el del aceite diesel y aceite combustible donde también se deben buscar alternativas. La importancia del programa proviene de su contribución al desarrollo de una tecnología propia, para la sustitución total de la gasolina y parcial de insumos petroquímicos.

A pesar de la magnitud del programa, hay perspectivas mucho más amplias en este campo que se deben ir explorando progresivamente, a medida que se puedan apropiar los recursos humanos y materiales indispensables. A este respecto se destacan las siguientes:

1. Fabricar nuevos tipos de motores concebidos para utilizarlos exclusivamente con alcohol.
2. Desarrollar, adaptar y aclimatar nuevas cepas de enzimas y levaduras, necesarias para producir económicamente alcohol de origen vegetal.
3. Generar y adaptar la tecnología del proceso para utilizar etanol en la producción de insumos básicos en la industria química.
4. Crear estímulos para las actividades industriales, principalmente en los siguientes sec-

tores: equipos para la industria del alcohol, automotriz (*especialmente para el transporte colectivo y de carga*), y la de productos bioquímicos.

5. Establecer un amplio programa tecnológico-industrial dirigido a la producción de alcohol, utilizando otras materias primas como yuca, babassú, sorgo y celulosa.
6. Brindar apoyo tecnológico a las iniciativas que tienen que ver con la utilización del alcohol etílico, como principal insumo energético de producción local, en áreas hasta ahora no integradas al sistema productivo, favoreciendo la iniciación de un proceso de desarrollo económico autónomo.
7. Fomentar la investigación agronómica con miras a mejorar las variedades vegetales y aumentar la productividad de todas las materias primas utilizables, a corto o mediano plazo, para sustituir los productos fósiles por productos renovables.

Los países que carecen de petróleo, como el Brasil, están obligados a desarrollar la producción nacional de combustibles alternos de transición, que les permita reemplazar el petróleo importado hasta que puedan recurrir en un futuro a nuevas fuentes más abundantes y baratas como la fusión nuclear, la energía solar y el hidrógeno. La sustitución debe comenzar en el campo automotor e industrial, que en Brasil en 1977 constituía el 78% del total.

Las características deseables de este combustible de transición son:

1. Semejanza con los derivados del petróleo (*líquidos*).
2. Precio competitivo.
3. Tecnologías de producción y utilización disponibles.
4. Utilización del sistema actual de distribución.
5. Necesidad de hacer pocas adaptaciones a equipos de consumo (*motores, calderas, etc.*).

6. Obtención a partir de fuentes nacionales renovables y disponibles.

Los alcoholes producidos de materias primas alternas llenan claramente estas características enunciadas, pero el metanol producido a partir de madera presenta ventajas adicionales. Algunas de ellas son: existencia de tecnología disponible simultáneamente a nivel nacional y mundial, tanto en cuanto a su producción como a su utilización; régimen de producción continuo, que evita el tener que mantener grandes existencias; poca exigencia en cuanto a la calidad de la tierra; y bajo riesgo de quiebra agrícola.

En relación con su consumo energético, Brasil depende actualmente del suministro externo en

un 36%, lo que representa un aumento significativo en comparación con 1970, cuando este mismo índice era del 29%. El esfuerzo nacional efectuado en los últimos años en sus diversos programas -hidroeléctrico, carbón, alcohol energía eólica, nuclear y solar- ha permitido reducir la dependencia externa del Brasil y se espera que cada año sea menor.

El estado actual de PROALCOOL augura un éxito total en cuanto a los objetivos propuestos. Conjugando los esfuerzos de utilización de alcohol como combustible con el incremento de las demás fuentes energéticas, convencionales o no, se puede dislumbrar un futuro, tal vez no muy remoto, en que Brasil alcance la autosuficiencia energética casi totalmente a base de combustibles renovables.

## Bibliografía

1. ALVIM, R. et al. 1979. A cultura da mandioca para produção de etanol. Informe Agropecuario 3(33):3-13.
2. OS ANOS 70. ENERGIA 1979. folhetim No. 146.
3. APROVEITAMENTO INDUSTRIAL das folhas de mandioca 1976. Informativo do INT 9(11):13-18.
4. BERTELLI, L.G. 1978. Energia no Brasil e no mundo; dilemas do desenvolvimento. Atualidades do CNP 10(62): 15-18.
5. BRASIL. COMISSÃO EXECUTIVA NACIONAL DO ALCOOL. 1980. PROALCOOL: informações básicas para empresários. Rio de Janeiro, BNDE. 37p.
6. BRASIL. COMISSÃO NACIONAL DE ENERGIA. 1979. Biomassa, materias-primas. Brasília. 128p.
7. ————. COMISSÃO NACIONAL DO ALCOOL. SECRETARIA EXECUTIVA. Análise da execução e perspectivas do desenvolvimento do país. Realizações do Governo Geisel no âmbito do Programa Nacional do Alcool. 10p.
8. ————. 1977. LEIS, Decretos, etc. Decreto No. 80.762 de 18 de novembro de 1977. Consolida as disposições sobre o Programa Nacional do Alcool e dá outras providências. Diário Oficial da União.
9. ————. MINISTERIO DAS MINAS E ENERGIA. 1979. Modelo energético brasileiro. Brasília. 58p.
10. ————. 1977. National energy balance. Brasília. 103p.
11. ————. SECRETARIA DE PLANEJAMENTO. 1979. CONSELHO Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico. Avaliação tecnológica do alcool etílico. Brasília. 514p.
12. BURNS, S. 1979. Preços elevados limitam crescimento. Petróleo (set.): 5-6.
13. CALVIN, M. y CALVIN, G.J. 1979. a solução é produzir energia com vegetais; inclusive os que crescem no Brasil. Jornal do Brasil. (Artículo adaptado de la revista "The Sciences", Nueva York).
14. CARLI, G. DE. 1978. Os caminhos da energia. Rio de Janeiro. p.238.
15. UN COMBUSTIVEL brasileiro: álcool. 1977. Planejamento e Desenvolvimento 4(45):28-33
16. COMO SE produce la tecnologia brasileña. 1978. Progreso, jul./ago.
17. CONGRESSO BRASILEIRO DE MANDIOCA. 1979. Recomendação ao Governo Federal. Salvador, 25 - 30 novembro, 4p.
18. COUTINHO, N. 1976. O Programa Nacional do Alcool, diretrizes e perspectivas. Brasil Açucareiro 1976 (jan.):19:44 (Caderno Açucareiro, IV).
19. FERREIRA, E. 1980. Nos anos 20, a xenofobia envolvia questão do álcool. O Estado de São Paulo.

20. FERREIRA, V.M. 1979. O processo de álcool de mandioca: produtos, subprodutos e efluentes. Trabalho apresentado no Seminário de Fontes Alternativas de Energia. Rio de Janeiro, PETROBRAS, 22 a 26 de outubro de 1979.
21. FIESP propoe diretrizes para substituir petróleo. 1979. Estado de São Paulo.
22. FUAD, K. 1979. Nobody laughs at the alcohol caper now. The Daily Journal. p.5.
23. GALL, N. 1979. Arca de Noé: energia a partir da biomassa no Brasil. A defesa Nacional 66(682):21-45.
24. GASTALDONI, D. 1979. O álcool como forma alternativa de energia. Jornal do Professor No. 6:2.
25. GOLDENBERG, J. 1979. Estratégias energéticas para países desenvolvidos e em desenvolvimento. Pesquisa e Planejamento Econômico 9(1):83-112.
26. INFORMAÇÕES e esclarecimentos sobre o Proálcool. 1979. Petróleo (dez.):2-6.
27. LEITÃO, D.M. 1978. O problema energético. o aproveitamento do álcool. Rio de Janeiro, Escola Superior de Guerra. Departamento de Estudos.
28. LIMA, T.B. DE S. 1979. Significado da Usina de Curvelo no Programa Nacional do Alcool. Conferencia proferida no Congresso Brasileiro de Mandioca, Salvador, 25-30 novembro, 1979. 29p.
29. ————. 1979. Significado da Usina de Curvelo (USAC) no Programa Nacional do Alcool (PROALCOOL). Belo Horizonte. Escola Superior de Guerra.
30. MILFONT JUNIOR, W.N. y PINHO, S.G. DE. 1978. Alcool direto de cana e mandioca: problemas e oportunidades no contexto do proálcool. Trabalho apresentado no Seminário sobre Energia de Biomassa no Nordeste, Fortaleza, agosto 1978. 30p.
31. MORAES, J.R. DE. 1979. Manual do álcool carburante. Rio de Janeiro. CNI/DAM-PI. 71p.
32. NUNES, M. 1979. A política energética deve acionar todos os recursos. Estado de São Paulo.
33. PALMA encerra simpósio e sugere 5 prioridades. 1979. Estado de São Paulo.
34. A PARTICIPAÇÃO DA PETROBRAS no plano nacional do álcool. Rio, PETROBRAS/SERPUB (Sd). 11p.
35. PENNA, J.O. DE M. 1979. Pobreza, política e proálcool. Jornal do Brasil. Rio de Janeiro.
36. PERSPECTIVAS para motores a álcool. 1979. Petróleo (set.):15.
37. RIBEIRO FILHO, F.A. 1979. The ethanol chemical industry in Brazil. Rio de Janeiro. PETROBRAS QUIMICA S.A. 53p.
38. PETROLEO: II parte. 1979. Atualidades do CNP 11/69:77-83.
39. PINTO, N.L.M. 1977. A crise do petróleo e a conseqüente busca de novas alternativas para os combustíveis veiculares. Trabalho apresentado na Sociedade de Engenheiros de Petróleo do Recôncavo. SEPER. Salvador Bahia, 1977.
40. A POLITICA dos transportes alida ao setor energético. 1979. Jornal do Transportes 59:6-7.
41. PROGRAMA NACIONAL DO ALCOOL. 1976-78. Legislação básica. Diário Oficial da União. Brasília, 19.4.76; 12.1.77; 21.11.77; 8.6.78; 9.6.78; 26.6.78; 3.8.78; 28.11.78; 4.12.78.
42. RACIONALIZAÇÃO do uso da energia: injunção nacional. 1979. Jornal de Transportes 59:3-4.

43. ROSA, A.V. DA. 1979. Proálcool. *Jornal do Brasil*. Rio de Janeiro.
44. ROTSTEIN, J. 1980. Petróleo: a crise dos anos 80. Rio de Janeiro.
45. SAKE, M.B. 1979. Cresce o entusiasmo dos motoristas norte-americanos pelo Gasool. *Petróleo (set)*:16-7.
46. SCHLESINGER, J.R. 1979. A crise energética e o jogo do poder. *Gazeta Mercantil*. (Artículo publicado en "The Wall Street Journal").
47. SENA, M.C. 1978. O álcool - capacidade agro-industrial de produção. Rio de Janeiro, Escola Superior de Guerra. Departamento de Estudos.
48. SHARRAH, M.L. 1979. A curto prazo, só o Brasil tem a alternativa do álcool. *Jornal do Brasil*, 1979. Discurso proferido na abertura do 3o. Simposio Internacional sobre Tecnologia dos álcoois combustíveis, Monterey, California, 3rd., 28-31 maio, 1979.
49. SILVA, J.G. 1976. DA. O álcool etílico como combustível. **In** Problemas de energia no Brasil. Brasília, IPEAC.
50. SILVA FILHO, A.P. 1976. O etanol em substituição às matérias-primas petro-químicas. **In** Etanol: combustível e matéria-prima. Rio de Janeiro, MIC. Secretaria de Tecnologia Industrial.
51. SOUZA, A.A. DE. 1979. O Brasil movido a álcool. Especial sobre o álcool. *Atualidades do CNP* 11(67): 39-51.
52. STUMPF, U.E. 1976. Problemática tecnológica e industrial de equipamentos vinculados à produção de etanol. **In** Etanol: combustível e matéria-prima. Rio de Janeiro, MIC. Secretaria de Tecnologia Industrial.

# ASPECTOS LEGALES DE LA PRODUCCION DE ALCOHOL EN COLOMBIA

*Jorge Humberto Botero.\**

## Resumen

Se analizan en forma detallada todos los aspectos legales de la producción de alcohol en Colombia desde 1909. Se concluye que estos aspectos han sido objeto de suficiente estudio y que se debe, cuanto antes, acordar las definiciones políticas que competen al Parlamento y al Gobierno. Con base en este análisis se recomienda: 1) la remoción indispensable del monopolio departamental sobre la producción de alcoholes para que el país pueda entrar vigorosamente a desarrollar la industria de alcoholes carburantes. 2) Se deben conservar los monopolios de licores ya que significan una fuente de ingreso para los departamentos. 3) Se deben salvar los obstáculos que impiden a los particulares participar en la industria del alcohol energético, por lo tanto es recomendable adoptar la forma jurídica de sociedades de economía mixta del orden nacional. 4) El Congreso de la República y el Gobierno deben decidir lo más pronto posible las definiciones políticas que constituyen presupuesto para iniciar la industria de alcoholes carburantes.

## Principios jurídicos limitantes de la producción de alcoholes

Este tema es de crucial importancia, como quiera que la legislación actual en Colombia constituye, sin duda alguna, un formidable escollo que debe superarse, como requisito indispensable para que la producción de los alcoholes carburantes que la nación demanda pueda iniciarse con toda celeridad.

Como principio general, nuestra Constitución Política garantiza la libertad de industria y comercio, entendida como el derecho acordado a las personas residentes en Colombia de dedicarse a cualquier actividad lucrativa lícita, de donde se desprende, a su vez, la posibilidad de concurrir libremente al mercado de bienes, servicios y trabajo. Sin embargo, este principio no está

reconocido de modo absoluto. La primera limitación, y quizá la más importante, se halla expresada en el Artículo 32 de la Constitución en donde se consagra que la dirección general de la economía corresponde al Estado y, por consiguiente, que éste puede intervenir en todas las etapas del proceso económico para racionalizarlo y planificarlo de acuerdo con el interés general. No sólo existen **restricciones** a la libertad de industria y comercio; también la Carta Fundamental establece **excepciones**, como la posibilidad constitucional del monopolio, que es justamente la situación jurídica que impide la libre producción de alcoholes.

## *El monopolio departamental*

Conviene precisar que la noción legal de monopolio no coincide necesariamente con la acepción económica del mismo término. Por monopolio hay que entender, con arreglo a la Constitución, que una determinada parcela de la actividad económica a la cual pueden los parti-

---

\* Asesor Jurídico, Asociación Nacional de Industriales (ANDI), Apartado Aéreo 997, Medellín, Colombia

culares en principio acceder libremente, se reserva para el Estado con miras a que la falta de competencia se traduzca en una fuente de ingresos públicos. El Artículo 31 de la Constitución prescribe que "Ningún monopolio podrá establecerse sino como arbitrio rentístico y en virtud de ley". Mas como la consagración de un monopolio implica la exclusión de los particulares de la actividad monopolizada, resultaría aberrante que éstos quedaran privados del ejercicio de una ocupación legítima sin que sean resarcidos de los perjuicios que por tal motivo padecen. Esta razón de evidente justicia explica que, según la misma Constitución, "Ninguna ley que establezca un monopolio podrá aplicarse antes de que hayan sido plenamente indemnizados los individuos que en virtud de ella deban quedar privados del ejercicio de una industria lícita". Desde esta perspectiva no existe monopolio cuando el Estado explota, directamente o a través de concesionarios, los bienes integrantes del patrimonio fiscal, entre ellos las sustancias minerales que se hallan en el subsuelo y las ondas electromagnéticas que se difunden a través del espacio supraterráqueo; no constituye propiamente monopolio la exclusividad del Estado en la explotación de hidrocarburos o en el suministro del servicio de telecomunicaciones. Tampoco tienen tal carácter en nuestra legislación los monopolios de facto que ejercen particulares en ciertos sectores de la producción o de los servicios. Estos monopolios no son, en sí mismos, contrarios a la Constitución; el Estado, en virtud del derecho de intervención en la economía nacional, debe combatirlos cuando resulten contrarios al interés común.

El monopolio de alcoholes cuenta con una antigua y prolija legislación cuyas disposiciones más significativas son las siguientes: La Ley 8a. de 1909 que cedió a los departamentos la industria de licores y estableció una serie de normas reglamentarias atinentes a la forma como aquellos podrían organizar la renta cedida. La Ley 4a. de 1913 sobre Régimen Político y Municipal, todavía vigente, atribuyó a las Asambleas Departamentales la potestad de monopolizar en beneficio de su Tesoro, si estimase conveniente, la producción, introducción y venta de licores destilados embriagantes, o gravar esas industrias en la forma en que lo determine la ley, si no conviene el monopolio (*Artículo 97, numeral*

36). Es importante señalar que si esta ley restringió el monopolio de los alcoholes potables o de consumo humano dejó por fuera los de uso industrial. La Ley 84 de 1916, en su Artículo 1o. dispuso "Decláranse libres en el territorio de la República la producción y comercio del alcohol desnaturalizado, industrial o imponible, por el cual se entiende: 1o. El Alcohol Metílico, que es el obtenido por la destilación en seco de la madera y cuya fórmula química es  $\text{CH}_3 \text{OH}$ , y 2o. El Alcohol Etilico (*fórmula química  $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$* ), que es el obtenido por la destilación de mostos fermentescibles, que haya sido previamente convertido en imponible por la adición de las sustancias propias para este objeto".

Las dos últimas disposiciones revelan claramente un enfoque correcto de la naturaleza del monopolio al circunscribirlo a la producción de licores, dejando a los particulares en libertad de producir una amplia gama de alcoholes imposables que se utilizan en procesos industriales y que pueden servir, solos o mezclados con gasolina, como combustible para vehículos automotores. Infortunadamente, la Ley 83 de 1925 (*Artículo 11*) autorizó a los departamentos la extensión del monopolio a la producción de alcoholes imposables. Esta ley que se encuentra vigente, no creó un monopolio en todo el territorio colombiano, sino que se limitó a autorizar a los departamentos para establecerlo, de donde se desprende que en la actualidad existen departamentos en los cuales el organismo competente (*la Asamblea Departamental*) ha establecido ese monopolio, mientras que en otros no existe por no haberse ejercitado esta facultad concedida por la Ley. En éstos últimos, los particulares pueden en la actualidad producir alcoholes imposables, principalmente los carburantes o energéticos, sin que tengan que obtener autorización de los gobiernos departamentales; naturalmente éstos podrían en cualquier momento establecer el monopolio pero quedarían obligados al pago de las indemnizaciones equivalentes a los perjuicios padecidos por los empresarios privados. Es evidente que en condiciones tan inseguras la empresa privada difícilmente acometerá la tarea de realizar inversiones cuantiosas para montar destilerías que satisfagan el consumo potencial del país, y ciertamente se hace imperativa la supresión del monopolio de alcoholes imposables o, al menos, alguna forma de atenuación.

## *Proyecto de ley sobre nueva reglamentación del monopolio de alcoholes*

La existencia del monopolio potencial para cualquier tipo de producción de alcoholes en el territorio nacional, y su efectiva vigencia en un buen número de departamentos, constituye el supuesto jurídico del que parte el proyecto de ley presentado a la consideración del Congreso el año pasado por el Senador y actual Presidente, Héctor Echeverri Correa, el cual propende por la liberación del monopolio de la producción y comercialización de los alcoholes para uso industrial o energético, a la vez que ratifica el monopolio de la renta departamental de licores consistente en la importación, producción y comercialización de bebidas embriagantes; prevé, ante la supresión del monopolio las medidas indispensables para evitar el fraude a los fiscos departamentales a través de la producción de alcoholes de aparente uso industrial o energético, para convertirlos clandestinamente en alcoholes potables. Estas disposiciones además de ofrecer protección a los fiscos departamentales establecen un adecuado control del proceso de destilación para evitar la producción de licores tóxicos.

La propuesta de remoción parcial del monopolio de alcoholes no es nueva; en 1942 se presentó un proyecto de ley "Sobre el empleo obligatorio de los alcoholes de caña de azúcar y de yuca, mezclados como combustibles con la gasolina" Esta propuesta no tuvo acogida, por la obvia razón de que a comienzos de la década de los 40 el país era autosuficiente en la producción de hidrocarburos y nada hacía prever la crisis mundial que se avecinaba.

La presentación de este proyecto de ley despertó en un comienzo la resistencia de algunos empresarios de fábricas de licores, al considerar lesiva para sus intereses la participación de los particulares en la fabricación de alcoholes cuyo monopolio jurídico ellos detentan, aunque jamás lo hubieren ejercido hasta el momento sobre los alcoholes de cuya liberación se trata.

La ponencia para primer debate en la Cámara Alta fue confiada al Presidente de la Comisión Tercera de ese organismo, Senador Renán

Barco, quien propuso sustanciales innovaciones al proyecto.

En primer lugar, circunscribe, aún más, la porción del monopolio que sería liberada; los alcoholes de uso industrial quedarían afectos al monopolio, si es que éste ha sido establecido por los departamentos, o lo instauran en el futuro, previa indemnización de los particulares damnificados, según lo antes expuesto. De idéntica manera permanecería el monopolio referido a los alcoholes puros o potables que sirven para la producción de licores o para abastecer la industria farmacéutica, vinícola y de perfumería. Únicamente, entonces, dejaría de regir el monopolio para los alcoholes carburantes o energéticos.

El Senador Barco propone un régimen de asociación forzosa entre el Estado y los particulares para la realización del proceso de destilación y refinación de los alcoholes carburantes, que garantizaría a los fiscos departamentales una adecuada participación en los beneficios económicos de esta nueva fase del desarrollo industrial. Esa participación de los departamentos ha sido concebida mediante la forma jurídica de sociedades de economía mixta, o sea, sociedades anónimas de carácter comercial regidas por el derecho privado, con aportes de capital fijados en la proporción que para cada caso se establezca o lo disponga la ley. Los departamentos tendrían derecho, pero no obligación, a suscribir hasta el 20% del capital inicial y de los incrementos que de él se realicen en las sociedades cuyo objeto social consiste en la producción de alcoholes carburantes. Este mismo derecho se acordaría también a la nación, aún cuando restringido al 5% del capital inicial en procura de lograr, "la mayor racionalidad en la política energética del país y la estrecha coordinación entre los esfuerzos de los particulares y del Estado...".

Las disposiciones restantes del proyecto de ley están destinadas a regular aspectos jurídicos surgidos de la modalidad de asociación entre los capitales públicos y privados que se propone, y a imponer drásticas sanciones indispensables para quienes con pretexto de dedicarse a la producción de alcoholes energéticos burlen el monopolio de licores cuya preservación se ratifica.

Entre las pocas objeciones que se han hecho a la anterior propuesta, vale la pena mencionar una. Se ha dicho que resultaría mejor mantener el monopolio sobre todo tipo de alcohol a fin de que las fábricas de licores, con exclusividad y sin la competencia de los particulares, produzcan los alcoholes necesarios para la sustitución de hidrocarburos, o para que temporalmente se conceda a éstos el derecho de producirlos mediante el pago de una regalía. Con acopio de cifras y de estudios, el Senador Barco ha demostrado que la sustitución por alcohol de un 20% de la gasolina que actualmente se consume, exigiría una producción diaria de 2,5 millones de litros. Una producción de tal magnitud impondría la construcción de 20 destilerías con una producción unitaria de 150.000 litros diarios. Como el costo unitario de instalación y montaje de destilerías de esta capacidad es del orden de los US\$15 millones, el monto total de la inversión requerida sería de US\$300 millones, que a la actual tasa de cambio se traducen en Col.\$13.125 millones. Por otra parte, como la inversión proyectada por las fábricas de licores en los próximos 5 años asciende a Col.\$420 millones, éstas tardarían 60 años para generar los recursos financieros necesarios para satisfacer la demanda potencial inmediata. Por tanto, es imposible que las fábricas de licores acometan por sí solas el montaje de estos complejos industriales.

La modalidad del pago de una regalía no parece adecuada, si se comparan los altos costos de producción del alcohol carburante versus el precio internacional de los hidrocarburos. Vista en términos puramente económicos, la racionalidad de la sustitución de alcoholes por hidrocarburos, se vería seriamente comprometida si se añadiera a los costos de producción un recargo, obviamente significativo, como retribución a los departamentos por el simple derecho a la utilización del monopolio. Además, como los particulares sólo vincularían los grandes capitales requeridos cuando la operación les resultare rentable de acuerdo con la tasa media de retorno del capital en nuestro país, el monto de la regalía tendría que ser transferido a los consumidores a través de un mayor precio del alcohol combustible. En esta forma se daría el absurdo de que los estratos de población de menor ingreso, que deben ser los mayores beneficiarios de la acción estatal, serían precisamente quienes soportarían

ese factor de sobre costo, pues sabido es que el valor del transporte tiene una incidencia proporcionalmente mayor en los núcleos poblacionales de menor capacidad adquisitiva. Desde el punto de vista de las políticas de redistribución del ingreso que el poder público jamás puede soslayar, la institución de la regalía tendría claros y funestos efectos regresivos.

### *Régimen jurídico para sociedades de economía mixta*

Analizados los aspectos sustantivos de la propuesta del proyecto de ley, se deben considerar algunos aspectos de técnica jurídica de innegable importancia. La participación obligatoria de la nación en las sociedades de economía mixta que se harían para producir y destilar los alcoholes carburantes consistiría en la suscripción del 5% del capital inicial de esas compañías y estaría justificada, como se dijo anteriormente, por la necesidad de mantener un control centralizado de la política energética del país. Sin duda alguna esa es una razón importante a la que habría que añadir otra de carácter puramente jurídico: la necesidad de preservar el rango nacional de las sociedades de economía mixta que se constituyan, como medio de evitar los inconvenientes prácticos que se derivan de algunas normas insertas en nuestra Constitución Política.

Según la Carta Fundamental (*Artículo 120, numeral 1*), corresponde al Presidente de la República nombrar y separar libremente los ministros del despacho, los jefes de departamentos administrativos y los directores o gerentes de los establecimientos públicos nacionales. No incluye la norma las sociedades de economía mixta, pues de acuerdo con la naturaleza de estos entes, el nombramiento del gerente o director debe recaer en su junta directiva. En el numeral 5 del mismo precepto constitucional se dispone que "...el Presidente tiene facultad de nombrar y remover libremente sus agentes. Los representantes de la nación en las juntas directivas de los establecimientos públicos, **sociedades de economía mixta** y empresas industriales o comerciales, son agentes del Presidente de la República".

A la luz de estas dos disposiciones es indudable que los gerentes de las sociedades de econo-

mía mixta del **orden nacional**, no son agentes del Presidente de la República; su elección compete a las juntas directivas de las empresas, salvo cuando la inversión pública sea del 90% o más del capital. En este caso el régimen jurídico aplicable será el de las empresas comerciales e industriales del Estado (*Código de Comercio, Artículo 464*).

Infortunadamente la Constitución no respeta su propia coherencia interna al estatuir un régimen diferente para las sociedades de economía mixta del **orden departamental**. En su Artículo 194, numeral 6o. atribuye al gobernador la función de coordinar las actividades y servicios de los establecimientos públicos, sociedades de economía mixta y empresas industriales y comerciales del orden departamental. Los representantes del departamento en las juntas directivas de tales organismos y **los directores o gerentes de los mismos**, son agentes del gobernador, con excepción de los representantes designados por las asambleas. La condición de "agentes del gobernador" se traduce obviamente en que el Jefe de la Administración Departamental puede nombrarlos o separarlos de sus cargos con entera libertad. Por tanto, el Gobernador, **aún cuando el aporte de capital departamental sea insignificante**, tiene el derecho de nombrar el gerente de la sociedad; en estas circunstancias difícilmente podrán encontrarse particulares interesados en realizar contratos de sociedades con los departamentos. Resulta indispensable para poder vincular masivamente el capital privado a la producción de alcoholes carburantes, conservar el carácter nacional de las sociedades de economía mixta que se constituyan, mediante la participación en ellas de la nación colombiana o sus entidades descentralizadas.

Más si el gobierno nacional considera inconveniente o superfluo que la nación realice estos aportes de capital en efectivo, es posible establecer otras modalidades de vinculación según lo previsto en el Artículo 453 del Código de Comercio: "En las sociedades de economía mixta los aportes estatales podrán consistir, entre otros, en ventajas financieras o fiscales, garantía de las obligaciones de la sociedad o suscripción de los bonos que la misma emita, auxilios especiales, etc. El Estado también podrá aportar concesio-

nes". Así, pues, la inversión obligatoria de la nación, prevista en el proyecto de ley, podría ser sustituida por cualquier otra de estas modalidades de participación, en forma tal que las sociedades de economía mixta que se constituyan se adscriban al orden nacional, vinculación necesaria para los fines de carácter práctico a que se ha hecho referencia.

Siempre dentro de la tónica de salvaguardar los intereses departamentales, el proyecto de ley prescribe tácitamente que la obligación de asociación indispensable para que los particulares puedan producir estos alcoholes no sea recíproca. Los departamentos, solos o asociados entre sí, directamente o a través de sus fábricas de licores, podrían acometer su producción sin necesidad de dar participación al sector privado.

Según el Artículo 7o. del proyecto de ley, la Contraloría y Revisoría Fiscal de las sociedades de economía mixta sería "de competencia exclusiva de un revisor fiscal elegido por la Asamblea de Accionistas de conformidad con las normas establecidas en el Código de Comercio". El propósito de esta disposición es el de excluir la intervención de la Contraloría General de la República y las contralorías departamentales en las sociedades de economía mixta de que la proyectada ley trata, pues ciertamente, como lo ha puntualizado la Corte Suprema de Justicia en su fallo del 24 de abril pasado, la Constitución Nacional restringe el control fiscal de los organismos competentes del Estado a los organismos que integran la administración pública, y de ella no hacen parte estas formas específicas de asociación entre el Estado y los particulares. A los juiciosos razonamientos jurídicos expresado por la Corte en su referido fallo, añadió nuestro máximo Tribunal una importante consideración práctica:

"La alta finalidad social que se persigue con las sociedades de economía mixta se vería desvirtuada con la vigilancia fiscal, ya que el aporte del sector privado nacional o extranjero no se vería ciertamente estimulado para asociarse con el estado colombiano a través de aquella figura jurídica, si ha de someterse, además de los obvios controles oficiales sobre toda sociedad, a una engorrosa vigilancia fiscal que le impediría a la Compañía moverse

con la flexibilidad, agilidad y dinamismo que exige la vida mercantil contemporánea, dentro de la órbita de la llamada economía de mercado".

### Conclusiones

De todo lo expuesto fluye con claridad que los aspectos legales de la producción de alcohol en Colombia han sido objeto de suficiente estudio y que deben sin tardanza acordarse las definiciones políticas que al Parlamento y al Gobierno competen.

### Recomendaciones

1. El monopolio departamental sobre la producción de alcoholes constituye un freno al desarrollo de la industria de alcoholes carburantes. Su remoción es indispensable para que el país pueda entrar vigorosamente al

desarrollo de ese estratégico sector de la economía.

2. El monopolio de licores es una de las más significativas fuentes de ingresos para los departamentos y por tal razón debe conservarse.
3. Deben salvarse los obstáculos que actualmente impiden a los particulares participar en la industria de alcohol energético. Con miras a que los beneficios de esta nueva industria se extiendan a los departamentos, se recomienda adoptar la forma jurídica de sociedades de economía mixta del orden nacional.
4. El Congreso de la República y el Gobierno deben tomar con la mayor celeridad posible las decisiones políticas que constituyen presupuesto para que la industria de alcoholes carburantes pueda iniciar labores.

## Conclusiones

**Moderadores: Grupo Agrícola -  
Francisco Gaitán Fossil**

**Grupo Industrial -  
Jaime Colmenares**

**Grupo Político -  
Alicia Romero**

Luego de dos días de presentación de los trabajos técnicos, se constituyeron tres grupos, los cuales llegaron a las siguientes conclusiones, después de ser sometidas a discusión y aprobadas en sesión plenaria.

- Utilizando caña y yuca como materia prima, instalar planta piloto en los departamentos de la Costa Atlántica, de acuerdo con estudios de selección de las áreas potenciales para la producción de alcohol.

### 1. Concepto de frontera agrícola

Se considera que el concepto de ampliación de frontera agrícola no sólo debe referirse al cultivo de áreas nuevas sino que debe incluir las zonas o regiones ineficientemente explotadas y aquellas en que, por razones económicas o sociales, sea aconsejable sustituir o diversificar su producción actual.

### 2. Proyectos agroindustriales

Dentro del marco de referencia anterior, se recomienda al gobierno nacional adelantar los estudios pertinentes para el desarrollo y ejecución de modelos de proyectos agroindustriales, destinados a la producción de alcohol carburante, con las siguientes prioridades:

- Utilizando caña como materia prima, instalar una planta piloto en zonas aledañas a la Hoya del Río Suárez, departamentos de Boyacá y Santander.

### 3. Comité Nacional de Alcohol

Al tenor del Decreto no. 2153 de 1979 que establece las bases del Programa Nacional de Alcohol y crea un Comité Nacional Asesor de este programa, se recomienda instituir un subcomité técnico permanente, integrado por representantes del Comité Nacional y especialistas de los sectores agrícola e industrial.

Este subcomité actuaría como asesor del Comité Nacional en materia de producción de alcoholes carburantes y estudiaría la conveniencia de desarrollar los proyectos específicos sometidos a su consideración.

### 4. Estudios de pre-factibilidad y de factibilidad

Ante la necesidad de adelantar una política de estudio de factibilidad de este programa, y considerando que el país cuenta con personal calificado y tecnologías adecuadas

para llevar a cabo el proceso de producción de alcohol carburante, se sugiere que estos estudios se encomienden a firmas nacionales; y si fuere necesario y conveniente, éstas podrían asociarse con firmas extranjeras especializadas.

#### 5. Capacitación de personal

Se recomienda aplicar un sistema de formación profesional a nivel administrativo y técnico que capacite al personal que va a asumir la tarea de ejecución de los proyectos.

#### 6. Aspectos agronómicos

Con el propósito de establecer las bases fundamentales que aseguren el éxito de los proyectos relacionados con el aspecto agrícola, se recomienda:

- Establecer programas para la producción de semilla certificada de caña y yuca.
- Ampliar la investigación en caña y yuca con el objeto de seleccionar material más apropiado para la producción de alcohol.
- Ampliar la cobertura de los programas de pruebas de variedades de caña y yuca, a aquellas regiones que se consideren como áreas de mayor potencial para el establecimiento de los proyectos.
- Adelantar investigaciones con otras especies promisorias con miras a lograr la obtención de biomasa.

Las entidades comprometidas en el desarrollo de estas recomendaciones serían, entre otras: el Centro Nacional de Investigaciones de la Caña (CENICAÑA), el Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT) y el Instituto Colombiano Agropecuario (ICA).

#### 7. Parque de maquinaria agrícola

Dentro del concepto de autosuficiencia energética aplicado a las agroindustrias, se recomienda el establecimiento de destilerías de alcohol que permitan el reemplazo

gradual de motores de gasolina o ACPM por maquinaria nueva que funcione con alcohol.

#### 8. Metas industriales

- El Programa Nacional de Alcohol se presenta como una alternativa promisoría a corto plazo para la producción de alcohol como sustituto de combustibles líquidos, incorporando efectos benéficos al promover el desarrollo económico y social del país.
- Se requiere inicialmente una producción de 15.000 bbl/día (2,5 millones de l/día), suficiente para sustituir hasta un 20% del consumo nacional de la industria automotor.
- El programa se basa en la utilización de recursos naturales renovables y es compatible con otros programas energéticos con base en recursos no renovables como el petróleo, el carbón y el gas natural.

#### 9. Desarrollo del programa

El desarrollo del programa requiere la colaboración integrada de los sectores oficial y privado.

- La participación del sector oficial debe orientarse a las siguientes metas:
  - a) Levantar el monopolio que existe sobre la producción y comercialización del alcohol etílico como carburante.
  - b) Establecer líneas de crédito y beneficios tributarios, arancelarios y financieros que permitan impulsar el desarrollo del programa en sus aspectos agrícola e industrial.
- Establecidas las condiciones anteriores, la participación del sector privado se concretaría a ejecutar las mejores alternativas del proyecto de la producción de alcohol para ser utilizadas como combustible y también a evaluar la producción integrada del alcohol proveniente de productos derivados de la caña, de la yuca y del mismo alcohol.

- Subproductos

Los subproductos de la producción de alcohol constituyen un potencial económico que justifica el estudio de su mejor utilización.

- Tecnología

La tecnología aplicable a los procesos de producción debe ser la más adecuada para utilizar al máximo los recursos nacionales disponibles. Se debe evaluar tanto la tecnología existente como la que se desarrolle en el futuro, con motivo de la obtención de alcohol a partir de residuos celulósicos.

**10. Importancia del Programa Nacional de Alcohol**

El desarrollo del Programa Nacional de Alcohol con miras a autoabastecer al país de combustibles líquidos reviste carácter urgente y merece la debida atención dentro del marco de la política energética nacional. La escasez y alza continuada en los precios de los combustibles trae como consecuencia el debilitamiento económico, social y político; por consiguiente, se recomienda al gobierno nacional dar atención prioritaria a este programa.

**11. Integración de políticas**

La realización de un Programa Nacional de Alcohol requiere la integración de políticas agrícolas, industriales y tecnológicas.

**12. Competencia con la producción de alimentos**

La planeación del Programa Nacional de Alcohol debe evitar toda competencia entre la producción de alimentos y materia prima para fines energéticos. Los proyectos de ampliación de la frontera agrícola deben contemplar en sus objetivos la posibilidad de producir alimentos.

**13. Monopolio sobre producción de alcoholes**

El monopolio departamental sobre la produc-

ción de alcoholes constituye un freno al desarrollo de la industria de alcoholes carburantes. Su liberación se hace indispensable para que el país pueda desarrollar ese estratégico renglón de la economía. En cambio, el monopolio de licores sí constituye una fuente de ingresos para los departamentos, y por tal razón, debe conservarse únicamente para la producción de licores.

Con miras a propiciar una verdadera descentralización en el desarrollo de los programas energéticos con base en la obtención de biomasa, se recomienda autorizar la creación de formas de empresas de economía mixta y privada.

**14. Incentivos**

Se considera importante que el gobierno ponga en marcha mecanismos de administración, financiamiento e incentivos que estimulen los sectores agrícolas, industriales y tecnológicos. Estos mecanismos deben estructurarse con base en las necesidades regionales y posibilidades del país.

**15. Estimulo a Inversión e Incremento en la Productividad**

Se recomienda estimular la inversión o promover inversiones marginales en aquellas áreas en las cuales se pueden alcanzar aumentos notables en la productividad agrícola. Estos incrementos, además de estimular la actual producción del país, permitirán obtener excedentes utilizables en la obtención de alcoholes.

**16. Importancia de las pequeñas destilerías**

La instalación de pequeñas destilerías en aquellas áreas apartadas favorecen su desarrollo y facilitan el consumo local de combustible; además de integrar al pequeño y mediano productor al programa de producción de alcohol carburante, ofrecen una solución a las dificultades que actualmente afrontan esas zonas para el aprovisionamiento de combustibles.

**17. Recuperación de áreas económicamente marginadas**

Con el fin de promover el desarrollo de zonas

rurales económicamente marginadas, se deben establecer incentivos adicionales, para integrar éstas eficazmente dentro del programa energético.

#### 18. Fondo especial para el programa

Dada la enorme importancia del Programa Nacional de Alcohol, sería conveniente la creación de un fondo especial que permita la financiación de los proyectos y oriente el

programa, de acuerdo con las prioridades requeridas para un verdadero desarrollo nacional.

#### 19. Definición de políticas

El gobierno nacional y el congreso de la República deben definir e impulsar con claridad y firmeza las políticas y acciones necesarias para implementar el Programa Nacional de Alcohol Carburante.

## CLAUSURA\*

### RESUMEN DE LAS PALABRAS DEL DR. GUSTAVO BALCAZAR MONZON, DESIGNADO A LA PRESIDENCIA DE LA REPUBLICA Y EMBAJADOR DE COLOMBIA ANTE EL REINO UNIDO

En nombre del Gobierno Colombiano y el mío propio, quiero felicitar muy sinceramente a los organizadores de este Primer Simposio Colombiano sobre Alcohol Carburante. Con este evento se ha abierto un nuevo camino en la búsqueda de nuevas alternativas para solucionar el grave problema energético. Ustedes lo han dicho muy claramente a lo largo de esta semana; no es la energía lo que se está agotando sino el petróleo. Y es precisamente en torno a este agotamiento previsible de las reservas mundiales que ustedes se han reunido para tratar a fondo todo lo relacionado con este problema tan inquietante y de tanta actualidad.

En realidad la alternativa de la biomasa no es ninguna novedad. El contenido energético de las plantas ha sido utilizado hace miles de años por el hombre en combustión directa como leña, carbón vegetal y residuos o su transformación en combustibles más eficientes como gases, aceites y alcoholes.

La gran oferta de combustibles en la era del petróleo y el uso irracional y limitado de los vegetales, no permitió un mayor perfeccionamiento en los métodos de aprovechamiento racional de los recursos naturales renovables. De no haber sido por estas razones, los científicos ya tendrían la tecnología más apropiada para la utilización de lo que aparece hoy como una de las alternativas más promisorias para manejar la energía originada por la fotosíntesis.

El agotamiento de las reservas tanto de hidrocarburos como de otros energéticos durante la última década han alarmado tremendamente a todos los países industrializados y en vía de desarrollo, puesto que la estabilidad política y su economía están basadas en el manejo de la situación energética.

Mientras la escasez de recursos es motivo de preocupación, la crisis energética toma matices tan alarmantes que se reflejan en la política de precios y la oferta mundial. Todo esto en manos de la organización de países exportadores de petróleo OPEP, se ha convertido en un arma de acción y presión política que puede fácilmente causar la tercera guerra mundial.

Esta mezcla de elementos políticos y económicos en las acciones de la OPEP se deriva de las características propias de los países miembros, ya que casi todos están ligados con los candentes procesos socio-políticos del Medio Oriente. Esto hace que los precios y el abastecimiento del petróleo estén caracterizados por un incremento desorbitado del primero y una inestabilidad e inseguridad del segundo.

---

\* Resumido por los Editores

Tal como ustedes se han podido dar cuenta en el transcurso de este Simposio, el Gobierno de Colombia consciente de la situación energética mundial y a ejemplo del Brasil ha querido comprometerse en un programa nacional no sin antes escuchar a los expertos nacionales y extranjeros sobre los mejores caminos a seguir.

Escuchar a los expertos ha sido y continuará siendo una estrategia del Gobierno puesto que los consejos y pautas técnicas que ofrecen los científicos con tanto empeño pesan bastante en las decisiones de los Gobernantes. Creo que este Simposio de por sí ha sido un buen comienzo. En él hemos aprendido sobre las grandes alternativas que se le presentan a Colombia tanto en el campo de la biomasa como en el campo mineral.

En relación con la biomasa como lo dijera alguien acá esta semana, "vamos a cosechar el sol", puesto que este país tiene condiciones excepcionales de clima y suelo por encontrarse en plena zona tórrida ecuatorial, además de contar con una amplia disponibilidad de tierras aptas para la actividad agrícola

Nos pudimos dar cuenta que tanto la caña de azúcar como la yuca ofrecen una magnífica perspectiva para la extracción de alcohol carburante, toda vez que son dos cultivos tradicionales en Colombia además de contar con excelentes tecnologías de producción puesto que han sido ampliamente estudiados por instituciones prestigiosas como las que nos han dado albergue esta semana.

En el mismo campo de la biomasa tenemos también otros cultivos que podrían ser motivo de simposios similares dado su potencial para la producción de alcohol. Estos cultivos son el sorgo sacarina, la malanga y la papa entre otros.

Debemos dejar muy clara la necesidad de manejar con mucho cuidado la producción de energía carburante renovable frente a la producción de alimentos, ya que su costo está estrechamente relacionado con el precio de los combustibles, puesto que un aumento en el precio del petróleo o del alcohol se reflejaría automáticamente en el valor de los alimentos.

En la medida en que la producción de alcohol se convierta en un negocio rentable, muchos agricultores querrán producir la materia prima para las destilerías, lo cual probablemente hará disminuir la oferta de alimentos con la consiguiente elevación de los precios. Para evitar que esto suceda se deben establecer agroindustrias integradas lo cual garantizará no solo una producción más rentable sino también con la menor competencia con la alimentación humana y animal.

Desde el punto de vista político, económico y social vale la pena recordar que la actividad agrícola e industrial genera no solo un ahorro de divisas sino que también da origen a gran número de empleos adicionales lo cual viene a aliviar esta otra grave situación del país.

En el campo mineral es bien sabido que Colombia tiene grandes yacimientos de gas natural y carbón mineral principalmente. Sin embargo, las fuentes tradicionales de energía en el presente siglo han sido cuatro: el carbón, el gas natural, la energía hidroeléctrica y el petróleo y sus derivados. El petróleo, gas natural y carbón comprenden materia fósil recolectable a corto plazo, pero agotable a mediano y largo plazo.

Tanto la biomasa como los minerales son materia prima para la energía en tanto que la energía hidroeléctrica puede ser directamente utilizable.

Al hacer un balance general nos podemos percatar que la alternativa de la biomasa mediante la utilización de recursos naturales renovables es una solución parcial recomendable dadas las condiciones especiales del país mencionadas anteriormente.

Si por acaso a corto o mediano plazo llegáramos a encontrar suficientes yacimientos petrolíferos que nos dieran la suficiencia que necesitamos tendríamos entonces la oportunidad de exportar el petróleo y consumir el alcohol ya que como ustedes lo dijeron es un combustible eficiente, limpio y que contamina menos que la gasolina.

Como se nos ha dicho en este Simposio, un programa nacional energético debe ser amplio y flexible ya que fuentes de energía como lo es el sol aún no se han estudiado ni mucho menos aplicado en nuestro medio también como fuente directa. Por consiguiente la participación de todas las partes interesadas en las diferentes áreas del saber se hace necesaria para que un plan de esta envergadura sea un propósito nacional.

Es necesario y urgente que la empresa privada Colombiana participe activamente no solo en la organización de Simposios como este sino también en la promoción e implementación de las primeras destilerías autónomas para la producción de alcohol carburante. Esta acción es importante puesto que el Gobierno necesita la fuerza viva y el apoyo de la empresa privada para poder dar el gran paso hacia la independencia energética. Debemos tener en cuenta que consiguiendo la independencia energética aseguraremos una paz duradera y una tranquilidad social y económica.

Por último quiero agradecer y destacar la presencia y activa participación de los notables visitantes y científicos extranjeros quienes vinieron a compartir sus experiencias con nosotros y a enriquecer nuestro conocimiento. Les invito a que continuen en esta lucha que acaba de empezar y que sin duda alguna rendirá sus frutos en un futuro que deberá ser promisorio y lleno de esperanza.

Tanto los organizadores como los participantes pueden sentirse orgullosos y satisfechos por la labor cumplida. El éxito de este Simposio que tengo el gusto y gran honor de clausurar es el mejor premio al esfuerzo que han hecho. Una vez más Colombia ha quedado en alto ante la expectativa por el tema tan importante que aquí se trató.

**Muchas Gracias**

JAIME COLMENARES  
SUCROMILES S.A.  
Apartado Aéreo 2037  
Cali, Colombia

ABDON CORTES  
Instituto Geográfico Agustín Codazzi  
Carrera 30 No. 48-51  
Bogotá, Colombia

RAFAEL ORLANDO DIAZ DUQUE  
CIAT  
Apartado Aéreo 6713  
Cali, Colombia

PABLO DOMINGUEZ  
Ingenio Providencia S.A.  
Apartado Aéreo 224  
Palmira-Valle, Colombia

KLAUS ENGEL  
Chemieanlagenbaukombinat Leipzig  
Grimma  
República Democrática Alemana  
7240 Grimma/R.D.A.  
Bahnhofstrasse 3---5  
Rep. Dem. Alemana

ALFONSO GRISALES  
FEDERECAFE  
Apartado Aéreo 30244  
Bogotá, D.E., Colombia

JAIRO ENRIQUE JALLER CHAMAT  
Federación Nacional de Cafeteros  
Programa de Desarrollo y Diversificación  
de Zonas Cafeteras  
Calle 14 No. 7-36 Piso 7  
Bogotá, Colombia

TOBIAS JOSE BARRETO MENEZES  
ITAL  
C. Postal 139  
Campinas, S.P., Brasil

ALFREDO NAVARRO SERRANO  
ECOPETROL  
Apartado Aéreo 5938  
Bogotá, D.E., Colombia

EMILIANO RESMINI  
Fábrica Automotores FIAT do Brasil  
12.200 Sao José dos Campos S.P.  
Brasil

NICOLAS RIVERO  
Organización de los Estados Americanos  
1889 F. St. NW  
Washington, D.C. 20006, U.S.A.

HUGO SALAZAR  
Universidad del Valle  
Depto. de Procesos Químicos y Biológicos  
Apartado aéreo 2188  
Cali, Colombia

THORIO BENEDRO SOUZA LIMA  
PETROBRAS  
Av. Chile 65  
Rio de Janeiro, Brasil

URBANO ERNESTO STUMPF  
Centro Técnico Aeroespacial  
12200 Sao José Dos Campos  
Sao Paulo, Brasil

JULIO CESAR TORO  
CIAT  
Apartado Aéreo 6713  
Cali, Colombia

ALBERTO VASQUEZ RESTREPO  
Ministro de Minas y Energía  
Bogotá, D.E., Colombia

## Participantes

### **Brasil**

GANEM CARLOS  
Petrobrás Comércio Internacional S.A.  
Interbrás - (Gerencia Geral de Servicos)  
Rua 7 de Setembro, 48 - 12º andar  
Rio de Janeiro

VIANNA JOSE  
S.B. ENGENHARIA  
(Associate of Badger Panamerica)  
Av. Visconde Da Gavea 125A  
Rio de Janeiro

### **Colombia**

AFANADOR TRUJILLO HERNANDO  
Ingenio Riopaila  
La Paila (Zarzal)  
Valle

AMORTEGUI FERRO IGNACIO  
Asociación para el Desarrollo del Tolima  
Banco de la República  
Oficina 905  
Ibague

APOORTE JORGE  
ECOPETROL  
Apartado aéreo 57291  
Bogotá, D.E.

ARANGO RESTREPO AUGUSTO  
Fábrica de Licores de Antioquia  
Apartado aéreo 51560  
Medellín

ARANGO BERNAL GERMAN  
Du Pont de Colombia S.A.  
Calle 15N No. 4-79 Oficina 208  
Centro Comercial San Judas  
Cali

ARCILA VIEIRA ALVARO  
Fabricato S.A.  
Apartado aéreo 698  
Medellín

ARIAS JARAMILLO BETTY  
Ingenio San Carlos  
Apartado Aéreo 120  
Tuluá, Valle

ASTRALAGA ROBERTO  
Ortiz Arango & Cia.  
Cra. 12 No. 82-11  
Bogotá, D.E.

ASTUDILLO TOBAR CARMEN LUCIA  
ASOCAÑA  
Apartado Aéreo 4448  
Cali

BARRERO MURILLO ISAIAS  
Sucromiles S.A.  
Apartado Aéreo 2037  
Cali

BONILLA HERNANDO  
Torres & Bou y Cia.  
Apartado 6721  
Cali

BUENAVENTURA CARLOS EDUARDO  
Instituto Colombiano Agropecuario ICA  
Apartado Aéreo 1017  
Bucaramanga

CARDENAS PABLO RAFAEL  
Cartón de Colombia  
Apartado Aéreo 219  
Cali

CARRILLO FERNANDEZ EDUARDO  
Pantécnica S.A.  
Cra. 7 No. 32-33 Oficina 201  
Edificio Seguros Fénix  
Bogotá, D.E.

CASSALETT DAVILA CLIMACO  
CENICAÑA  
Apartado Aéreo 9138  
Cali

CELEDON MANOTAS ALFREDO  
SIPUR - Centro de Investigación  
Universidad del Norte  
Secretaría de Fomento del Atlántico  
Cra. 49B No. 75-52  
Barranquilla

DEVIA NAPOLEON  
Universidad de Antioquia  
Facultad de Ingeniería  
Apartado Aéreo 1226  
Medellín

ECHEVERRY NORMAN  
Ingenio San Carlos  
Bco. Industrial Piso 11  
Cali

ESCOBAR MARCO TULIO  
FEDERACAFE  
Comité de Cafeteros de Risaralda  
Carrera 12 No. 17-33  
Pereira

FERNANDEZ ROA JAIME  
Fondo Promoción Exportaciones - PROEXPO  
Avenida 28 No. 13A-15  
Edificio Centro Comercio Internacional  
Bogotá, D.E.

FLOREZ JAIRO  
Sucromiles  
Apartado Aéreo 2037  
Cali

FLOREZ JARAMILLO RICARDO  
Industria Licorera Valle  
Apartado Aéreo 1278  
Cali

GARCIA MARTINEZ BERNARDO  
Instituto de Investigaciones Tecnológicas  
Avda. 30 No. 52A-77  
Bogotá, D.E.

GOMEZ BELALCAZAR JORGE  
Industria de Licores del Valle  
Apartado Aéreo 1278  
Cali

GONZALEZ CASTILLO EDUARDO  
ASOCAÑA  
Apartado Aéreo 002274  
Bucaramanga

GORRICO CARLOS J.  
TIPIEL S.A.  
Carrera 10 No. 24-55  
Bogotá, D.E.

GRANADA JAVIER  
Gobernación del Risaralda  
Pereira

GUTIERREZ LUIS FERNANDO  
Ingenio Central Castilla S.A.  
Apartado Aéreo 91  
Cali

HAMMERLE GUILLERMO  
PROPAL  
Apartado Aéreo 4412  
Cali

HARING PETER  
Pantécnica S.A.  
Apartado 7189  
Bogotá, D.E.

HERNANDEZ CAMILO  
Consultor  
Carrera 3a. No. 11-32 Oficina 832  
Cali

HERNANDEZ LIBREROS HECTOR  
Inesco Ltda.  
Calle 9N No. 8N-70  
Cali

HERNANDEZ PIEDRAHITA HECTOR  
Inesco Ltda.  
Calle 9a. No. 8N-70  
Cali

HOLGUIN FERNANDO  
Ingenio Mayaguez  
Calle 8a. No. 1-31  
Cali

JACOBS ROBERTO  
ECOPETROL  
Apartado Aéreo 5938  
Bogotá, D.E.

JIMENEZ CUERVO IVAN  
CIBA-GEIGY COLOMBIANA S.A.  
Apartado Aéreo 12323  
Bogotá

LAGUNA ALIRIO  
Asociación de Productores de Panela de Jugo  
de Caña del Tolima (ASOPANELA TOLIMA)  
Calle 20 No. 3A-05  
ibagué

LOPEZ LUIS ALFONSO  
Carvajal S.A.  
Apartado Aéreo 46  
Cali

LOZANO PINZON LUIS EDUARDO  
Inversiones Medellín S.A.  
Carrera 8a. No. 30-09  
Pereira

MAZUERA GARCIA FLAVIO  
Ingenio del Cauca  
Calle 8a. No. 3-14 Oficina 14-01  
Edificio Cámara de Comercio  
Cali

MEJIA RESTREPO DARIO  
Consultor  
Carrera 3a. No. 11-32 Oficina 832  
Cali

MILLAN JAIME  
MEJIA MILLAN Y PERRY LTDA.  
Apartado Aéreo 55418  
Bogotá

MUÑOZ ALFONSO  
Ingenio Mayaguez S.A.  
Calle 8a. No. 1-31 Piso 2  
Cali

ORTIZ VASQUEZ HUGO  
Ingenio Rio Paila S.A.  
Apartado Aéreo 91  
Cali

ORTEGA ORJUELA HUGO  
Universidad de Antioquia  
Centro de Servicios Técnicos (CESET)  
Apartado Aéreo 1226  
Medellín

ORTIZ MONGUI JOSE LENIN  
Unión Carbide Colombia S.A.  
Apartado aéreo 4867  
Cali

PALACIO EDGAR  
Ingenio Central Castilla S.A.  
Apartado Aéreo 91  
Cali

PALACIO JOSE JOAQUIN  
Instituto de Fomento Industrial  
Carrera 13 No. 27-00 Piso 10  
Bogotá, D.E.

PATIÑO TORO GUSTAVO  
I F I  
Calle 16 No. 6-66  
Edif. de Avianca Piso 7-15  
Bogotá, D.E.

PEÑARANDA DOMINGUEZ JAIME  
Ingenios La Cabaña y El Naranja  
Calle 11 No. 1-16 Piso 7  
Cali

RAMIREZ GUILLERMO  
Ingenio Central Castilla S.A.  
Apartado Aéreo 91  
Cali

RENGIFO ALEJANDRO  
Federación Nacional de Cafeteros  
División Financiera  
Oficina de Planeación  
Calle 14 No. 7-36 Piso 10  
Bogotá, D.E.

RESTREPO M. LUIS HERNANDO  
Federacafé  
Comité de Cafeteros de Risaralda  
Carrera 12 No. 17-33  
Pereira

RESTREPO A. MARCO TULIO  
ECOPETROL  
Complejo Industrial de Refinación y  
Petroquímica  
Barrancabermeja

RIBERO RAFAEL  
SHELL COLOMBIANA S.A.  
Apartado Aéreo 3439  
Bogotá, D.E.

RINCON URIBE ALEJANDRO  
ANDI  
Calle 36 No. 20-28 Oficina 207  
Bucaramanga

ROBLES VILLA HERNANDO  
TK Interamericana de Ingeniería Ltda.  
Calle 46 No. 13-31  
Bogotá, D.E.

RODRIGUEZ ESPARZA CHRISTIAN  
Dirección Proyectos Petroquímicos  
ECOPETROL - TERPEL  
Carrera 33 No. 51-69 Piso 2  
Bucaramanga

RODRIGUEZ GONZALEZ JORGE ARTURO  
ECOPETROL  
Complejo Industrial  
Barrancabermeja

RODRIGUEZ ORLANDO  
ECOPETROL  
Apartado Aéreo 1452  
Cartagena

RUDAS JOSE JOAQUIN  
Ingenio Central Sicarare  
Carrera 8a. No. 15-40 Oficina 706  
Bogotá, D.E.

RUIZ MORALES LUIS ALBERTO  
Complejo Agroindustrial del Tolima, S.A.-CATSA  
Apartado Aéreo 034  
Ibagué

RUIZ LAVERDE MANUEL FABIAN  
Cartón de Colombia  
Yumbo, Valle

SALAZAR MEDINA LUIS CARLOS  
Ciba-Geigy Colombiana S.A.  
Apartado Aéreo 6575  
Bogotá, D.E.

SANCHEZ PINILLA MARIA MATILDE  
FEDEPAPA  
Calle 5a. No. 8-41  
Zipaquirá

SANDOVAL ESCOBAR FERNANDO  
Instituto de Fomento Industrial  
Apartado Aéreo 4222  
Bogotá, D.E.

SANMIGUEL HUNG HEMBER  
ECOPETROL  
Carrera 13 No. 36-24  
Bogotá, D.E.

SATIZABAL ARBOLEDA HERNANDO  
Ingenio Providencia  
Apartado Aéreo 224  
Palmira, Valle

SISTIVA ENRIQUE  
ECOPETROL  
Complejo Industrial  
Barrancabermeja

VALENCIA BARRERA GONZALO ALBERTO  
COLMOTORES  
Apartado Aéreo 7329  
Bogotá, D.E.

VICTORIA CASTAÑO ALVARO  
Compañía Andina de Empaques  
"COEMPAQUES"  
Apartado Aéreo 6604  
Cali

VICTORIA MEJIA HERIBERTO  
SUCROMILES  
Apartado Aéreo 2037  
Cali

ZUCCARINI ERMENEGILDO  
TIPIEL S.A.  
Carrera 10 No. 24-55  
Bogotá, D.E.

ZULUAGA HENAO GERMAN  
Ingenio Central Castilla  
Apartado Aéreo 91  
Cali

#### **Costa Rica**

BONILLA JUAN  
Ticonsult S.A.  
Apartado Postal 160 FEALP  
San José

#### **Inglaterra**

DOWDING ROBERT  
Hawker Siddeley International Ltd.  
32, Duke St. St Jame's  
London SW1Y 6DG

ENGLISH MARTIN  
W.S. Atkins & Partners  
Woodcote Grove, Ashley Road  
Epsom, Surrey KT18 5BW

ST. LAWRENCE LEE  
W.S. Atkins & Partners  
Woodcote Grove  
Ashley Road  
Epsom, Surrey KT18 5BW

#### **Estados Unidos**

HAMMEKEN MARTINEZ MARIO  
Pacific Molasses  
c/o United Molasses Co.  
One California St.  
San Francisco, Ca. 94111

HINE ELDRIDGE  
National Planning and Construction Corp.  
55 Almeria Ave.  
Coral Gables, Fla. 33134

McALPINE JONY  
United States Dept. of Agriculture  
14th & Independence  
Washington, D.C. 20250

OLIVER STEVEN WILLIAM  
Tate and Lyle Engineering  
Suite 530  
2121 Ponce de Leon Boulevard  
Coral Gables, Fla. 33134

TRIBALDOS III GUILLERMO  
F.C. Schaffer & Associates, Inc.  
1020 Florida Blvd.  
Baton Rouge, Louisiana 70802

TRUTMANS JAN G.  
F.C. Schaffer & Associates, Inc.  
1020 Florida Blvd.  
Baton Rouge, Louisiana 70802

#### **República Democrática Alemana**

HUNGER ERHARD  
Chemieanlagen Baukombinat  
Leipzig-Grimm (CLG)  
7240 Grimma Irda  
Bahnhofstr 3/5

#### **Invitados**

ALDANA AYALA JOSE HUMBERTO  
Industria de Licores del Valle  
Carrera 1a. No. 26-85  
Cali

ALVAREZ GUTIERREZ OSCAR  
Fábrica de Licores de Antioquia  
Apartado Aéreo 51560

BARRERA RUEDA ALVARO  
Presidente  
ECOPETROL  
Apartado Aéreo 5938  
Bogotá, D.E., Colombia

BORRERO URRUTIA HERNAN  
ASOCAÑA  
Apartado Aéreo 4448  
Cali

BREKELBAUM TRUDY  
CIAT  
Apartado Aéreo 6713  
Cali

CASTRO MERINO ABELARDO  
CIAT  
Apartado Aéreo 6713  
Cali

DEL HIERRO SANTACRUZ EDUARDO  
Senado de la República  
Bogotá, D.E.

DIRVEN MARTINE  
PNUD  
Calle 82 No. 20-14  
Bogotá, D.E.

FERNANDEZ MARTINE  
PNUD

FERNANDEZ FERNANDO  
CIAT  
Apartado Aéreo 6713  
Cali

FLOREZ JARAMILLO RICARDO  
Industria de Licores del Valle  
Apartado Aéreo 1278  
Cali

HOWELER REINHARDT  
CIAT  
Apartado Aéreo 6713  
Cali

LYNAM JOHN  
CIAT  
Apartado Aéreo 6713  
Cali

NICKEL L. JOHN  
Director  
CIAT  
Apartado Aéreo 6713  
Cali, Colombia

PACHICO DOUGLAS  
CIAT  
Apartado Aéreo 6713  
Cali

VALDES S. HUGO  
FEDERECAFE  
Apartado Aéreo 30244  
Bogotá, D.E., Colombia

VASQUEZ RESTREPO ALBERTO  
Ministro de Minas y Energía  
Bogotá, D.E., Colombia

ZUÑIGA JULIA EMMA  
CIAT  
Apartado Aéreo 6713  
Cali

## **ANEXOS**

11 MAR 1995

ANEXO 1

11946 L

## ALCOHOL A PARTIR DE YUCA Y CAÑA DE AZUCAR

### BIBLIOGRAFIA SELECCIONADA

**Jorge López S., comp.**  
**Unidad de Servicios de**  
**Documentación - CIAT**

#### Introducción

El propósito de esta bibliografía seleccionada es el de destacar material relacionado con los diferentes aspectos de la producción y utilización de alcohol carburante obtenido de fuentes renovables, especialmente yuca y caña de azúcar, cultivos tropicales que en la actualidad presentan las mejores alternativas para enfrentar la crisis energética.

Se espera que este material sea de utilidad para aquellas personas responsables del desarrollo de políticas y/o de la implementación de programas energéticos nacionales.

La selección se efectuó con base en las colecciones de la Biblioteca de la Unidad de Servicios de Documentación y del Centro de Información sobre Yuca. En cuanto a las referencias sobre caña de azúcar, esta bibliografía presenta algunas limitaciones, ya que únicamente incluye material publicado a partir de 1977.

Conscientes de la dificultad que a menudo se experimenta en la obtención de copias de los documentos, al final de las referencias se han señalado con un asterisco aquellas que se encuentran en la Unidad.

- ADAMS, R.J. & RASK, N. **Regional and farm level adjustment to the production of energy from agriculture; Brazil's alcohol plan.** In International Conference of Agricultural Economists, 17 th., Banff, Canada, 1979. Plenary and invited papers. Banff, International Association of Agricultural Economists, 1979. pp.1-7 \*
- ALBUQUERQUE, J.L. **O Programa nacional do álcool e suas perspectivas para o nordeste.** Fortaleza, BNB, 1977 27p. Trabajo presentado al Simposio sobre Produção de Alcool no Nordeste. 1o., Fortaleza, Brasil, 1977.
- ALCOHOL FROM cassava.** Chemical age 61:912 1949 Also in International Chemical Engineering 31:233. 1950. \*
- ALCOOL; PROBLEMAS reais e aparentes.** Análise e Perspectiva Económica. No. 565:5-7. 1979
- ALCOOL DE mandioca.** Conjuntura Económica 32(7):121-127. 1978
- ALMEIDA, JR. DE **Fabricação do álcool de mandioca.** Piracicaba, Brasil, Joma: de Piracicaba 1943 92p. \*
- ALVIM, P. DE T. & ALVIM, R. **Energia a partir de plantas; un nuevo desafío para la agricultura tropical.** In Simposio sobre Fuentes Energéticas Renovables, Ciudad de Panamá, 1978. Roma, Italia, Instituto Italo-Latinoamericano, 1979. pp. 125-150 \*

- ALVIM, R., NACIF, A. DE P. & CORREA H., A. **Cultura da mandioca para produção de etanol.** Informe Agropecuário 3(33):3-13. 1977. \*
- ARAUJO FILHO, A.A. **Obtenção de álcool anidro a partir de mandioca; possibilidades no nordeste.** Fortaleza, BNB/ETENE, 1977. 85p.
- AUTOMOVILES QUE se mueven con alcohol puro; el etanol de caña de azúcar, mandioca y otros vegetales se revela un óptimo sustituto para el caro petróleo.** Brasil Comercio e Industria 1979:34-38. junho/julho 1979. \*
- BANZON, J.R. **Fermentative utilization of cassava.** Iowa State College Journal of Science 16:15-18. 1941. \*
- , FULMER, E.I. & UNDERKOFER, L.A. **Fermentation utilization of cassava. The butyl-acetonic fermentation.** Proceedings of the Iowa Academy of Science 48:233-236. 1941. \*
- , FULMER, E.I. & UNDERKOFER, L.A. **Fermentative utilization of cassava. The production of ethanol.** Iowa State College Journal of Science 23:219-235. 1949. \*
- BARRETO, A. **O aproveitamento da mandioca no fabrico do álcool-motor.** Lavoura 46:51-52. 1942. \*
- BIANCO, V. DE *et al.* **Alcool de mandioca por fermentação contínua.** Informativo do INT 9(10):20-26. 1976. \*
- BONNEFOY, J.V. **Projet de fabrication industrielle à Madagascar de l'alcool à base de manioc.** Bulletin Economique de Madagascar No. 52:65-72. 1931. \*
- BRASIL COMISSAO EXECUTIVA NACIONAL DO ALCOOL. **PROALCOOL: Informações básicas para empresários/Comissão Executiva Nacional do álcool.** Rio de Janeiro: BNDE, 1980. 37p. \*
- BRASIL. MINISTERIO DA INDUSTRIA E DO COMERCIO. SECRETARIA DE TECNOLOGIA INDUSTRIAL. **Programa tecnológico industrial de alternativas energéticas de origen vegetal; programa tecnológico do etanol.** Brasília, 1979. 111p.
- BULL, T.A. & BATSTONE, D.B. **Potential for multi-crop processing within the sugar industry** in Conference on Alcohol Fuels, Sydney, Australia, 1978. Sydney, Institution of Chemical Engineers, New South Wales, Group, 1978. pp.4.13-4.21. \*
- CALDEIRA, A.F. & CORREA, H. **Integração, agricultura, indústria na produção de álcool carburante da mandioca.** Belo Horizonte. Instituto de Desenvolvimento Industrial de Minas Gerais, 1976. 24p.
- CARVALHO JUNIOR, A.V. DE *et al.* **Energetics, economics and prospects of fuel alcohol in Brasil.** Rio de Janeiro, Brasil, Centro de Tecnologia Promon-CIP, 1977. 11p. Trabalho apresentado al International Symposium on Alcohol Fuel Technology Methanol and Ethanol, Wolfsburg, 1977. \*
- COIMBRA, A.L. *et al.* **Estudo sobre um processo de fermentação em laboratorio; aplicação a mandioca.** Quimica (Brasil) 3:47-56. 1947. \*
- COIMBRA, G.C. **El alcohol como combustible y materia prima para la industria química.** Sao Paulo, Brasil, Proquip, 1979. 28p. Trabalho presentado al Workshop on Fermentation Alcohol for use as Fuel and Chemical Feedstock in Developing Countries. United Nations Industrial Development Organization. Vienna, Austria, 1979. \*
- COLLENS, A.E. **Alcohol from cassava.** Bulletin of the Department of Agriculture, Trinidad and Tobago 14(2):56. 1915. \*
- COMO PRODUIZIR álcool carburante.** Agricultura de Hoje 4(49):4-19. 1979.
- CONFERENCE ON ALCOHOL FUELS,** Sydney, Australia, 1978. Alcohol fuels. Sydney, Australia, Institution of Chemical Engineers, 1978. 194p. \*

- COOPERATIVA CENTRAL DOS PRODUTORES DE AÇÚCAR E ALCOÓL DO ESTADO DE SÃO PAULO **Custos de produção e perspectivas da agroindústria do açúcar e do álcool safra 1977/78.** s.l 1977 37p.
- COSTA, C.A. **Contribuição do Banco do Brasil como agente financeiro ao Programa Nacional do Alcool.** In Simposio Estadual do Alcool, 1o., Divinópolis, Brasil, 1977. Divinópolis, Brasil, Empresa de Assistência Técnica e Extensão Rural do Estado de Minas Gerais. 1977. pp 137-152. \*
- COUTINHO, N **Economia e política alcooleiras.** Brasil Açucareiro 87(1):19-44 1976 \*
- DANTAS, B. **Contribuição da lavoura canieira para a produção de combustível líquido.** In Simposio Estadual do Alcool, 1o., Divinópolis, Brasil, 1977. Divinópolis, Brasil, Empresa de Assistência Técnica e Extensão Rural do Estado de Minas Gerais, 1977 pp 59-79 \*
- DEICKE, R., MULLER, R.L. & BIESKE, G.L. **Growing sugar cane for ethanol production.** In Conference on Alcohol Fuels, Sydney, Australia, 1978. Sydney, Institution of Chemical Engineers, New South Wales Group, 1978 pp.7 10-7.15 \*
- EMPRESA BRASILEIRA DE ASSISTENCIA TECNICA E EXTENSAO RURAL **Bibliografia sobre fontes alternativas de energia.** Brasília. 1979 96p (*Bibliografia 8*). 734 Refs \*
- LA FABRICATION de l'alcool par les procedés. H. Boulard. Produits Coloniaux et le Materiel Colonial 91:177-194. 1931 \*
- FAISSAL, L. **Mercados, comercialização e preços do Alcool.** Fortaleza, BNB, 1977 38p Trabalho apresentado ao Simpósio sobre Produção de Alcool no Nordeste, 1o, Fortaleza, Brasil, 1977 .
- FASSY, A.T.S. **O álcool em análise.** Planejamento e Desenvolvimento 3(47):72-77 1977.
- FARIA, G. DE **Novas fontes de produção de álcool para o Brasil.** Ceres 4:151-168. 1943 \*
- FUNDAÇÃO INSTITUTO DE PLANEJAMENTO DA PARAIBA (FIPLAN). **Zoneamento ecológico em apoio ao Programa Nacional do Alcool.** João Pessoa, 1977. 79p
- GODOY, J.M. DE & GODOY, P. DE A. **Emprego do bagaco das fecularias de mandioca no fabrico do álcool.** São Paulo, Brasil. Secretaria de Agricultura, Indústria e Comércio. 1946. 25p. \*
- GONÇALVES, J.C. **Aspectos industriais da mandioca.** Cruz das Almas, Brasil Centro Nacional de Pesquisa de Mandioca e Fruticultura, 1976. 13p \*
- GOVEA, V. DE S. **Alcool de mandioca por fermentação continua.** Revista Latinoamericana de Microbiología 15(3):147-150. 1973 \*
- GRAHAM, E.E. & JUDD, B.T. **Experience with methanol — Petrol blends.** In Conference on Alcohol Fuels, Sydney, Australia, 1978. Sydney, Institution of Chemical Engineers. New South Wales Group, 1978. pp.2.7-2.13 \*
- GRAY, P.P. & DUNN, N.W. **Cellulose — A substrate for bioconversion to ethanol.** In Conference on Alcohol Fuels, Sydney, Australia, 1978. Sydney, Institution of Chemical Engineers, New South Wales Group. 1978. pp.8.12.8.16 \*
- GUERRA, F. **Produção de álcool anidro a partir de mandioca.** Silvicultura 1(4):34-35. 1977 \*
- GUTHEIL, N.C. **A indústria do álcool de mandioca e suas possibilidades no Rio Grande do Sul.** Revista de Química Industrial 21:19-23. 1952 \*
- HAMMOND, A.L. **Alcohol: a Brazilian answer to the energy crisis.** Science 195(4278):564-566. 1977 Também en Yuca Boletín Informativo No. 1:8-12. 1977 \*

- HAO, P.L.C. **Production of butanol and acetone from sweet potato, cassava and blackstrap molasses.** *In* Pacific Science Congress, 9th., Bangkok, 1957. Proceedings. Bangkok, Department of Science, 1958 v.5, pp.15-19. \*
- HARRIS, G.S. **Potential for energy farming in New Zealand.** *In* Conference on Alcohol Fuels, Sydney, Australia, 1978 Sydney, Institution of Chemical Engineers, New South Wales Group, 1978. pp. 4 1-4 6 \*
- HOLANDA, N. **Efeitos socio-econômicos do programa nacional do álcool Fortaleza BNB.** 1977 30p Trabalho apresentado al Simpósio sobre Produção de álcool no Nordeste, 1o., Fortaleza, Brasil, 1977
- HORIE, S. **(Fermentación de acetona y alcohol butílico. III. Utilización de materias primas ricas en proteínas como fuente de nitrógeno).** Journal of the Agricultural Chemical Society of Japan 16:321-330. 1940 \*
- HUTCHINSON, R.C. **A report on the possibility of producing power alcohol in New Guinea.** New Guinea Agricultural Gazette: 7:141-164. 1941 \*
- J.R.A. **In one year, 78 alcohol projects passed.** Gazeta Mercantil, São Paulo; Dec., 1976 1p \*
- JACKSON, E.A. **Brazil's national alcohol programme.** Process Biochemistry 11(5):29-30 1976 \*
- KOENIG, A., MENRAD, H. & BERNHARDT, W. **Alcohol fuels in automobiles.** *In* Conference on Alcohol fuels, Sydney, Australia, 1978. Proceedings. Sydney, Institution of Chemical Engineers, New South Wales Group, 1978. pp.2.1-2.6. \*
- KUJALA, P. *et al.* **Alcohol de melaza como un combustible y la economía del tratamiento de efluente de destilerías.** Sugar y Azúcar 1976:54-65. 1976.
- LIMA, T.B. DE S. **Aspectos da implantação de usina de álcool, a partir de mandioca.** *In* Simposio Estadual do Alcool, 1o., Divinópolis, Brasil, 1977. Divinópolis, Brasil, Empresa de Assistência Técnica e Extensão Rural do Estado de Minas Gerais, 1977. pp 35-56. \*
- LIMA, T.B. DE S. **Possibilidades de produção de álcool a partir de mandioca.** Fortaleza, BNB, 1977. 29p. Trabalho apresentado al Simpósio sobre Produção de álcool no Nordeste, 1o., Fortaleza, Brasil, 1977 \*
- LIMA, U. DE A. & BORZANI, W. **Alcool etílico.** Ciencia e Cultura 28(9): 1048-1050. 1976 \*
- LORENZI, J.O. **Produção de álcool de mandioca.** *In* Goldemberg, J. Energia no Brasil. São Paulo, Brasil, Academia de Ciências do Estado de São Paulo. Publicação ACIESP No. 2. 1977 pp.101-108. \*
- LOUREIRO, N.M. *et al.* **Possibilidades de produção de álcool a partir de cana-de-acucar.** Fortaleza, BNB, 1977 31p Trabalho apresentado al Simpósio sobre Produção de Alcool no Nordeste, 1o., Fortaleza, Brasil, 1977
- LOUREIRO, N.M. **Tres hipóteses para aumentar a produção de álcool em Alagoas.** Saccharum 2(5):17-19 1979
- LUCENA, V.G. DE **Alcool: da alternativa energética e alcoolquímica.** Rumos do Desenvolvimento 3(16):25-9. 1979.
- MCCANN, D.J. & PRINCE, R.G.H. **Agro-industrial systems for ethanol production.** *In* Conference on Alcohol Fuels, Sydney, Australia, 1978. Proceedings. Sydney, Institution of Chemical Engineers, New South Wales Group, 1978. pp.4.22-4.30 \*
- & SADDLER, H.D.W. **A cassava-based agro-industrial complex. I. Financial considerations. II. Technological considerations.** Process and Chemical Engineering 28(4):23-27. 1975. 28(5):37-40. 1975. \*
- LE MANIOC source d'álcool industriel.** Revue de Botanique Appliquée et d'Agriculture Tropicale 3(27):782-783 1923. \*

- MENDES, C.T. **Alcool motor**. Revista Agrícola 9(1-2):23-31. 1934 \*
- **A mandioca e o álcool motor**. Notas Agrícolas (Brasil) 6:55-59. 1949. \*
- MENEZES, T.J.B. DE **Alcohol production from cassava**. In Weber, E.J., Cock, J.H. y Chouinard, A. eds. Workshop on Cassava Harvesting and Processing, Cali, Colombia. 1978. Proceedings. Ottawa, Canada. International Development Research Centre. IDRC-114e. 1978. pp.41-45. \*
- *et al.* **Fungal cellulases as an aid for the saccharification of cassava**. Biotechnology and Bioengineering 20:555-556. 1978 \*
- **Matérias-primas para a produção de álcool etílico**. Ciencia e Cultura 31(6):632-637. 1979 \*
- & LAMO, P.R. DE **Produção do álcool de mandioca**. Boletim do Instituto de Tecnologia de Alimentos No. 46:37-54. 1976 \*
- *et al.* **Sistemas de hidrólisis na produção do álcool etílico da mandioca**. Coletânea do Instituto de Tecnologia de Alimentos 7(1):209-215. 1976 \*
- MILFONT JUNIOR, W.N. **Prospects of cassava fuel alcohol in Brazil**. In Weber, E.J., Cock, J.H. y Chouinard, A., eds. Workshop on Cassava Harvesting and Processing, Cali, Colombia, 1978. Proceedings. Ottawa, Canada, International Development Research Centre. IDRC-114e. 1978. pp.46-48. \*
- MOREIRA, J.R., SERRA, G.E. & GOLDEMBERG, J. **A cogeneration scheme for the production of alcohol and electricity from sugar cane**. In Simposio sobre Fuentes Energéticas Renovables. Ciudad de Panamá, 1978. Roma, Italia, Instituto Italo-Latinoamericano, 1979. pp.227-237.
- MUTA, K. & TANAKA, S. (**Proceso amilo III**). Journal of the Agricultural Chemical Society of Japan 12:129-138. 1936. \*
- NAIR, R.G. **Utilisation of cassava**. In Hrisi, N. y Gopinathan Nair R., eds. Cassava production technology. Trivandrum, India. Central Tuber Crops Research Institute, 1978. pp.37-48. \*
- NAVARRO JUNIOR, L. **Análise macroeconômica do Programa do Alcool**. Saccharum 2(5):21-23. 1979. \*
- NAVARRO S., A. **Industria agroquímica para sustituir importaciones de gasolina con alcohol etílico (etanol)**. s.l., s.f. pp.78-83. \*
- NEIVA, J.L. **Produção de álcool etílico por fermentação: principais matérias primas para fabricação industrial de álcool**. Brasil Acucareiro 89(5):27-35. 1977 \*
- NIX, H.A. **Availability of land for energy cropping in Australia**. In Conference on Alcohol Fuels, Sydney, Australia. 1978. Sydney, Institution of Chemical Engineers, New South Wales Group, 1978. pp.6.5-6.10 \*
- O NOVO Proálcool conseguirá recuperar o atraso?**. Negocios em Exame No. 178:17-20. 1979.
- PERFIL DA economia alcooleira**. Confidencial Econômico Nordeste 10(9):25-29. 1979.
- PETROBRAS USA mandioca na produção de álcool anidro**. Planejamento e Desenvolvimento 5(58):32-37. 1978.
- O PETROLEO que vem das plantas**. Petrobrás No. 282:36-43. 1977.
- PORTO, M.C.M. **Aspectos agroeconômicos da cultura da mandioca para produção de álcool**. Cruz das Almas-BA, Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Centro Nacional de Pesquisa de Mandioca e Fruticultura, 1977. 14p. \*
- **Destilaria de álcool a partir da mandioca**. Cruz das Almas, Brasil, Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Centro Nacional de Pesquisa de Mandioca e Fruticultura, 1977. 6p. \*

- **Plano nacional do álcool, análise e aplicações.** Cruz das Almas, Brasil, Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Centro Nacional de Pesquisa de Mandioca e Fruticultura, 1977. 11p. \*
- PRINCE, I.G. & McCANN, D.J. **The continuous fermentation of starches and sugars to ethyl alcohol.** In Conference on Alcohol Fuels, Sydney, Australia, 1978. Sydney, Institution of Chemical Engineers, New South Wales Group, 1978. pp.8.17-8.24. \*
- PROALCOOL: ENERGIA tropical quebrando as cadeiras do petróleo.** Interior 3(19):10-16. 1977.
- PROALCOOL: METAS exigem muita energia.** Dirigente Rural 17(314):24-39. 1978.
- PROALCOOL E livre iniciativa.** Indústria e Produtividade 1979:60-62. jun. 1979.
- A PRODUÇÃO do álcool industrial.** Química e Indústria 11:22-23. 1943 \*
- PRODUÇÃO EM 85 pode ser de 20 bilhões de litros.** Jornal do Brasil. 1979:25. setembro 1979.
- RENJIFO V., A. **El programa nacional de alcohol una alternativa a la crisis energética colombiana.** Tesis. Bogotá. Universidad de los Andes. Facultad de Economía, 1980. 189p.
- RODRIGUEZ FILHO, A.J. **A superioridade da cana sobre a mandioca para a produção de álcool.** Brasil Açucareiro 22:61-62. 1943 \*
- ROXAS, M.L. & MANIO, R.V. **Industrial alcohol from cassava.** Philippine Agriculturist 10:75-84. 1921 \*
- RUDOLPH, K., OWSIANOWSKI, R. & TENTSCHER, W. **Direct production of ethanol from sugar cane.** Eschborn, German Agency for Technical Cooperation, 1977. 7p. Trabajo presentado al International Symposium on Alcohol Fuel Technology Methanol and Ethanol, Wolfsburg, 1977.
- SANTANA, A.M. **Alcohol motor.** Cruz das Almas, Brasil, Universidade Federal da Bahia. Escola de Agronomia, 1976. 18p. \*
- SHEEHAN, G.J., GREENFIELD, P.F. & NICKLIN, D.J. **Energy economics, ethanol — A literature review.** In Conference on Alcohol Fuels, Sydney, Australia, 1978. Proceedings. Sydney, Institution of Chemical Engineers, New South Wales Group, 1978. pp.6.11-6.19 \*
- SILVA, J.G. DA *et al.* **Balanco energético cultural da produção de álcool etílico de cana de açúcar, mandioca e sorgo sacarino, fase agrícola e industrial.** Brasil Açucareiro 88(6):8-21, 1976 \*
- SIMPOSIO ESTADUAL DO ALCOOL**, 1o., Divinópolis. Minas Gerais, 1977. Anais. Minas Gerais, Empresa de Assistência Técnica e Extensão Rural do Estado de Minas Gerais. 1977. 178p. \*
- SIMPOSIO SOBRE PRODUÇÃO DE ALCOOL NO NORDESTE.** Fortaleza, 10 a 12 de agosto 1977. Anais. Fortaleza, Banco do Nordeste do Brasil, 1977. 452p.
- SMYTHE, B.M. **Implementing an alcohol fuel programme.** In Conference on Alcohol Fuels, Australia, 1978. Proceedings. Sydney, Institution of Chemical Engineers, New South Wales Group. 1978. pp.9.1-9.6. \*
- SOB IMPACTO da nova alta do petróleo, está nascendo o mercado "spot" do álcool.** Saccharum 2(5):45-47. 1979.
- SOUZA, F.O.B. DE *et al.* **O álcool como combustível automotor.** Brasília, Comissão de Financiamento da Produção, 1978. 26p.
- STUMPF, U.E. **Brazilian research on ethyl alcohol as an automotive fuel.** In Conference on Alcohol Fuels, Sydney, Australia, 1978. Sydney, Institution of Chemical Engineers, New South Wales Group, 1978. pp.2.20-2.24 \*

—O álcool como combustível de motores. São José dos Campos-SP. Brasil. Centro Técnico Aeroespacial. Instituto de Pesquisas e Desenvolvimento, 1977. 20p. \*

TAKESHITA, M. (Elaboración por el método amilo de alcohol a partir de desperdicios de la fabricación de almidón de yuca). Journal of the Agricultural Chemical Society of Japan 16:725-730. 1940. \*

TEIXEIRA, C., ANDREASEN, A.A. & KULACHOV, P. Ethyl alcohol from cassava. Industrial and Engineering Chemistry 42(9):1781-1783. 1950. \*

TEIXEIRA, C.G. Produção de álcool de mandioca. Agrônômico 15:5. 1963. \*

Produção de álcool de mandioca, utilização de bolores na sacarificação do amido. Bragantia 10(10):277-286. 1950. \*

TELES, O. Alcool pode substituir com vantagem a gasolina. Agricultura e Força Verde 2(14):60-65. 1978-1979.

TRINDADE, S. Produção de carburante derivado de mandioca. Silvicultura 2:171-177. 1977. \*

TSUCHIYA, M. (La fermentación de butanol y acetona. VIII. Yuca seca como materia prima). Journal of the Agricultural and Chemical Society of Japan 22:64-65. 1948. \*

TUBANGUI, M.A., MASILUNGAN, V.A. & HIPOLITO, D. The fermentation of cassava and molasses for the production of acetone and normal butyl alcohol. Philippine Journal of Science 70(2):123-131. 1939. \*

URBAN, C.W. Usina de produção de etanol a partir de mandioca. In Curso Intensivo de Mandioca, 1o., Cruz das Almas, Brasil, Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Centro Nacional de Pesquisa de Mandioca e Fruticultura, 1976. v.1. pp.76-100. \*

VRIES, C.A. DE New developments in production and utilization of cassava. Abstracts on Tropical Agriculture 4(8/9):9-24. 1978. \*

WEBER, J.A. O controle de qualidade no álcool carburante. Meios e Métodos 3(15):1-7. 1979

YUKAWA, M. y HORIE, S. (Acetona y alcohol butílico. I. Propiedades bacteriológicas de *Bacillus butanolo-acetoni* Yukawa-Horie nov. sp. y la fermentación de la yuca por medio de este organismo). Journal of the Agricultural Chemical Society of Japan 15:609-623. 1939. \*

## ANEXO 2.-

### DECRETOS \*

Se incluyen los presentes decretos a título informativo y además con el fin de que puedan servir de modelo y consulta a todos aquellos países interesados en la producción de alcohol proveniente de Biomasa.

#### **DECRETO No. 83881 del 4 de Julio de 1979.-**

Por el cual se establece la COMISION NACIONAL DE ENERGIA.

El Presidente de la República del Brasil, en uso de las atribuciones que le confiere el Artículo 81, ítem III de la Constitución,

### DECRETA:

#### **ARTICULO 1o.**

Se establece la Comisión Nacional de Energía, órgano de naturaleza transitoria con finalidad de establecer directrices y criterios tendientes a la racionalización del consumo y al incremento de la producción nacional de petróleo, así como también a la sustitución de este por otras fuentes de energía.

#### **ARTICULO 2o.**

La Comisión Nacional de Energía directamente subordinada al Presidente de la República estará integrada por los Ministros de Hacienda, Agricultura, Transporte, Industria y Comercio, Minas y Energía, Jefe del Gabinete Militar y Secretario General del Consejo de Seguridad Nacional, Jefe de la Secretaría de Planeación y Jefe de la Secretaría de Comunicación Social de la Presidencia de la República.

- 1.- Integrarán además la Comisión Nacional de Energía, los Presidentes del Consejo Nacional del Petróleo, de la Compañía de Petróleos Brasileños S.A. (PETROBRAS), y de las Centrales Eléctricas Brasileñas S.A. (ELETROBRAS), además de tres ciudadanos de reputación inmaculada y notable saber en el campo de la energía nombrados por el Presidente de la República.
- 2.- El Presidente de la República contará con el auxilio del Vice-Presidente de la República en la dirección y supervisión de los trabajos de la comisión.

#### **ARTICULO 3o.**

El Ministro de Minas y Energía tendrá las atribuciones de Secretario Ejecutivo de la Comisión.

#### **ARTICULO 4o.**

Este decreto entra en vigor en la fecha de su publicación revocadas las disposiciones en contrario.

**JOÃO B. DE FIGUEIREDO**  
**CESAR CALS FILHO**

\* Traducido por Julio César Toro, Agr., Programa de Yuca, Centro Internacional de Agricultura Tropical, Apartado Aéreo 6713, Cali, Colombia.

## **DECRETO 83.700 del 5 de Julio de 1979**

Por el cual se dispone la ejecución del Programa Nacional de Alcohol, se crea el Consejo Nacional del Alcohol CNAL, la Comisión Ejecutiva Nacional del Alcohol CENAL, y se toman otras providencias.

El Presidente de la República en uso de las facultades que le confiere el Artículo 81, ítem I, III, y V de la Constitución,

### **D E C R E T A:**

#### **ARTICULO 1o.**

Se crea el Consejo Nacional del Alcohol CNAL, con la finalidad de formular la política y fijar las directrices del Programa Nacional del Alcohol -PROALCOOL.

#### **ARTICULO 2o.**

Compete al Consejo Nacional del Alcohol:

- I Compatibilizar las participaciones programáticas de los órganos directivos, o indirectamente vinculados al programa PROALCOOL con la finalidad de hacer una expansión de la producción y la utilización del alcohol.
- II Apreciar, acompañar y homologar la acción de los órganos y entidades de la administración pública, relacionada con la ejecución del PROALCOOL.
- III Definir la producción anual de los diversos tipos de alcohol especificando su uso:
- IV Definir los criterios generales que se deberán observar por la Comisión Ejecutiva Nacional del Alcohol para implementación de los proyectos de modernización, ampliación e implantación de destilerías teniendo en cuenta especialmente los siguientes aspectos:
  - a. Módulos económicos de producción
  - b. Niveles global y unitario de inversiones
  - c. Disponibilidad y adecuación de factores de producción para las actividades agrícola e industrial.
  - d. Centros de consumo
  - e. Costos de transporte y de almacenamiento en tanques
  - f. Infraestructura de vías, de almacenamiento y de distribución
  - g. Reducción de las disparidades regionales de renta
- V. Definir los criterios generales de localización a ser observados en la implantación de unidades almacenadoras.
- VI Proponer o conceder cuando sea el caso la concesión de incentivos para el desarrollo del PROALCOOL.
- VII Proponer al Consejo Monetario Nacional las bases y condiciones de financiamientos a ser concedidos.
- VIII Acompañar y evaluar el desarrollo del PROALCOOL adoptando o proponiendo medidas para la corrección de desvíos eventualmente detectados.
- IX Fijar criterios generales para la determinación de los precios de comercialización del alcohol.
- X Homologar especificaciones del alcohol.

## **ARTICULO 3o.**

El Consejo Nacional del Alcohol será integrado por los siguientes miembros:

- I Ministro de Industria y Comercio el cual será el presidente
- II Secretario Gral. del Ministerio de Industria y Comercio
- III Secretario Gral. de la Secretaría de Planeación de la Presidencia de la República
- IV Secretario Gral. del Ministerio de Hacienda
- V Secretario Gral. del Ministerio de Agricultura
- VI Secretario Gral. del Ministerio de Minas y Energía
- VII Secretario Gral. de Gobierno
- VIII Secretario Gral. del Ministerio de Transportes
- IX Secretario Gral. del Ministerio de Trabajo
- X Subjefe de asuntos tecnológicos del Estado Mayor de las Fuerzas Armadas
- XI Representante de la Confederación Nacional de Agricultura
- XII Representante de la Confederación Nacional de Comercio
- XIII Representante de la Confederación Nacional de Industria

1- El Ministro de Industria y Comercio será sustituido cuando esté impedido por el Secretario General del Ministerio de Industria y Comercio

2- En sus impedimentos eventuales los miembros del consejo podrán indicar sustitutos sin derecho a voto.

## **ARTICULO 4.-**

Queda extinguida la Comisión Nacional del Alcohol y creada como órgano ejecutivo del Consejo Nacional del Alcohol en el ámbito del Ministerio de Industria y Comercio, la Comisión Ejecutiva Nacional del Alcohol CENAL.

## **ARTICULO 5.-**

Compete a la Comisión Ejecutiva Nacional del Alcohol:

- I- Propiciar soporte técnico y administrativo al Consejo Nacional del Alcohol.
- II- Analizar los proyectos de modernización ampliando o implantando las destilerías de alcohol y decidir sobre su implantación dentro del PROALCOOL.
- III- Manifestarse sobre proposiciones de órganos y entidades públicas y privadas relacionadas con la ejecución de PROALCOOL a ser sometidas a la decisión del Consejo Nacional del Alcohol.
- IV- Acompañar las actividades desarrolladas por los órganos y entidades públicas relacionadas con el PROALCOOL.
- V- Promover y coordinar la realización de estudios e investigaciones de interés del PROALCOOL.
- VI- Ejecutar las decisiones del Consejo Nacional del Alcohol.

## **ARTICULO 6.-**

La Comisión Ejecutiva Nacional del Alcohol será integrada por los siguientes miembros permitida la indicación de suplente:

- I- Secretario General del Ministerio de Industria y Comercio quien será el Presidente;
- II- Presidente del Consejo Nacional del Petróleo CNP;
- III- Presidente del Instituto del Azúcar y del Alcohol IAA;

IV- Secretario de la Secretaría de Tecnología Industrial STI del Ministerio de Industria y Comercio;

V- Secretario Ejecutivo de la Secretaría Ejecutiva del Consejo de Desarrollo Industrial CDI.

#### **PARAGRAFO UNICO.-**

El Presidente de la Comisión Ejecutiva Nacional del Alcohol ejercerá las funciones de Secretario Ejecutivo del Consejo Nacional del Alcohol.

#### **ARTICULO 7.-**

Quedan sujetas a inscripción en el Instituto de Azúcar y del Alcohol todas las destilerías de alcohol anexas o autónomas cualquiera que sea el tipo de materia prima utilizada.

#### **ARTICULO 8.-**

El Instituto del Azúcar y del Alcohol establecerá las especificaciones técnicas para la miel residual y para el alcohol no destinado a fines carburantes.

#### **ARTICULO 9.-**

El Instituto del Azúcar y del Alcohol establecerá un precio básico para la miel residual en función del valor del alcohol adquirido en las condiciones de la paridad vigente considerada la relación de 550 (quinientos cincuenta) kgr de azúcares reductores totales (ARP) x 1000 (por mil) kgr en la condición de que sea colocado en la destilería.

#### **PARAGRAFO UNICO.-**

El precio base asegurado en este artículo variará según las cantidades de azúcares reductores totales (ART) de miel residual.

#### **ARTICULO 10.-**

Las reservas de alcohol para fines carburantes o para suministro a la industria química serán financiadas a los productores conforme se establezca por el Consejo Monetario Nacional teniendo por base los precios oficiales de paridad, excluyendo tributos con la condición de que sean colocados en destilería.

#### **ARTICULO 11.-**

El Consejo Nacional del Petróleo asegurará a los productores del alcohol para fines carburantes y para la industria química precios de paridad entre el alcohol y el azúcar cristal "standar", basados en el peso líquido del saco de azúcar colocado en destilería.

- 1) La Paridad entre el alcohol y el azúcar será restablecida mediante una reglamentación del Ministerio de Industria y Comercio una vez que sea escuchado el Ministro de Minas y Energía.
- 2) Los precios decorrentes de la paridad quedarán sujetos a intereses y desintereses en función de las especificaciones técnicas del tipo de alcohol adquirido.
- 3) Para fines de lo dispuesto en el "caput" de este Artículo, el impuesto sobre circulación de mercancías ICM, incidente sobre la materia prima utilizada en la producción del alcohol para fines carburantes será adicionado al valor de la paridad.
- 4) Para el alcohol destinado a otros fines industriales o comerciales, el Instituto del Azúcar y del Alcohol establecerá para los productores precios de paridad en la forma de este artículo.

## **ARTICULO 12.-**

Las inversiones y gastos relacionados con el PROALCOOL serán financiados:

I- En el caso de instalación, modernización o ampliación de destilerías e instalaciones de unidades almacenadoras por el Banco Nacional del Desarrollo Económico, por el Banco del Brasil S.A., por el Banco del Nordeste del Brasil S.A., por el Banco de la Amazonía S.A., por el Banco Nacional de Crédito Cooperativo S.A., por los Bancos Departamentales de Desarrollo o por aquellos Bancos Comerciales, oficiales, estatales poseedores de cartera industrial cuando en los respectivos estados no existan Bancos de Desarrollo.

II- En el caso de producción de materias primas por el sistema nacional de crédito rural.

### **PARAGRAFO UNICO.-**

El Consejo Monetario Nacional definirá las fuentes de recursos a ser utilizadas y establecerá las condiciones de los financiamientos.

## **ARTICULO 13.-**

Las exportaciones de miel residual o de alcohol de cualquier tipo o graduación para los mercados externos dependerán de la previa autorización del Consejo Nacional del Alcohol.

### **PARAGRAFO UNICO.-**

Quedan exentos los contratos de venta para la exportación ya firmados y homologados por el Instituto del Azúcar y del Alcohol antes de la fecha de la vigencia de este Decreto cuyas cantidades aún estén pendientes de embarque.

## **ARTICULO 14.-**

Para garantía de comercialización del alcohol destinado a fines carburantes el Consejo Nacional del Petróleo establecerá programas de distribución a las empresas consumidoras y a las distribuidoras de petróleo.

## **ARTICULO 15.-**

Los precios del alcohol para fines carburantes a nivel de distribuidor y de consumidor, serán propuestos por el Consejo Nacional del Petróleo y fijados por el Consejo Nacional del Alcohol después de la homologación del Ministerio de Hacienda.

### **PARAGRAFO UNICO.-**

Cuando las industrias químicas utilicen el alcohol en sustitución de insumos importados tendrán derecho a suministros asegurados por el Consejo Nacional del Petróleo y al precio del litro de alcohol a 100% en peso a 20°C en la base de 35% del precio del kgr de Eteno fijado por los órganos del Gobierno.

## **ARTICULO 16.-**

Los recursos generados en la comercialización del alcohol carburante serán administrados por el Consejo Nacional del Petróleo y escriturados en la línea 1 ítem II del Artículo 13, de la Ley No. 4.452 del 5 de Noviembre de 1964, al cual se ha aumentado el Artículo 3, del Decreto Ley No. 1.420 del 9 de Octubre de 1975 y el cual se destinará prioritariamente a atender lo dispuesto en el Parágrafo único del Artículo 15 de este decreto, en la forma definida por el Consejo Nacional del Alcohol para los fines de financiamiento de que se trata en el ítem No. I del Artículo 12, así como los proyectos tendientes al mejoramiento de la tecnología de producción y utilización del alcohol carburante a la investigación y a la asistencia técnica de la producción de materias primas.

**ARTICULO 17.-**

Los Ministros de Industria y Comercio y de Minas y Energía someterán al Presidente de la República en el plazo de 60 días la propuesta para la adecuación necesaria de recursos humanos y materiales a los respectivos Ministerios para la ejecución del Programa del Alcohol PROALCOOL.

**ARTICULO 18.-**

Este decreto entrará en vigor en la fecha de su publicación revocando el Decreto No. 80.762 del 18 de Noviembre de 1977 y demás disposiciones en contrario.

**JOÃO B. DE FIGEIREDO**  
**JOÃO CAMILO PENNA**  
**CESAR CALS FIHO**  
**MARIO ENRIQUE SIMONSEN**

**Diseño e Impresión**

