

204  
24



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE CIENCIAS

ESTUDIO DE LA PROBLEMÁTICA DE LOS  
RESIDUOS SÓLIDOS GENERADOS POR LA  
INDUSTRIA AZUCARERA EN MÉXICO

T E S I S  
QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE  
B I O L O G O  
P R E S E N T A :  
OBDULIA TORRES VARGAS

MEXICO, D. F.

FALLA DE ORIGEN

1991



Universidad Nacional  
Autónoma de México

UNAM



## **UNAM – Dirección General de Bibliotecas Tesis Digitales Restricciones de uso**

### **DERECHOS RESERVADOS © PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis está protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

**ESTUDIO DE LA PROBLEMÁTICA DE  
LOS RESIDUOS SÓLIDOS  
GENERADOS EN LA INDUSTRIA  
AZUCARERA**

**ABREVIATURAS****1. INTRODUCCION**

- 1.1. Historia
- 1.2. Importancia económica y social de la industria azucarera
- 1.3. Morfología de la planta
- 1.4. Definición del problema y justificación
- 1.5. Objetivos

**2. ANTECEDENTES**

- 2.1. Ubicación de las zonas productoras
- 2.2. Procesos de producción
- 2.3. Residuos generados y composición de éstos
- 2.4. Problemática ambiental

**3. RESIDUOS SOLIDOS**

- 3.1. Manejo actual de los desechos sólidos
  - 3.1.1. Bagazo
  - 3.1.2. Bagacillo
  - 3.1.3. Cachaza
  - 3.1.4. Residuos agrícolas
- 3.2. Impacto ambiental de los residuos sólidos
  - 3.2.1. Cachaza
  - 3.2.2. Bagazo
- 3.3. Normalización
  - 3.3.1. Marco jurídico
  - 3.3.2. Proposición de medidas para la protección ambiental.
- 3.4. Alternativas de solución
  - 3.4.1. Alternativas de uso para el bagazo
    - a. Fertilizante
    - b. Alimento animal
    - c. Carbón activado
    - d. Producción de furfural
    - e. Biogás
    - f. Productos aglomerados

## ABREVIATURAS

---

<b>Caloría</b>	<b>cal</b>
<b>Carbono /Nitrógeno</b>	<b>C/N</b>
<b>Centímetros</b>	<b>cm</b>
<b>Centímetros cuadrado</b>	<b>cm</b>
<b>Demanda Bioquímica de Oxígeno</b>	<b>DBO</b>
<b>Hectareas</b>	<b>Ha</b>
<b>Horas</b>	<b>hrs</b>
<b>Kilogramos</b>	<b>kg</b>
<b>Litros</b>	<b>L</b>
<b>Masa Seca</b>	<b>m.s.</b>
<b>Metros</b>	<b>m</b>
<b>Miles</b>	<b>M</b>
<b>Miligramos</b>	<b>mg</b>
<b>Mililitros</b>	<b>mL</b>
<b>Milímetros</b>	<b>mm</b>
<b>Millones</b>	<b>MM</b>
<b>Potencia de Hidrógeno.</b>	<b>pH</b>
<b>Segundos</b>	<b>s</b>
<b>Toneladas</b>	<b>ton</b>

---

## 1. INTRODUCCION

---

El azúcar puede obtenerse a partir de dos materias primas: la remolacha, en climas templados, y la caña de azúcar *Saccharum officinarum* en climas tropicales y subtropicales (Cerro, 1986). En México todos los ingenios azucareros utilizan la caña de azúcar como materia prima (García 1989), por ello en este trabajo se plantea la problemática de los residuos sólidos producidos en su industrialización.

Monocotiledónea de la familia de las gramíneas, la caña de azúcar es originaria de la Nueva Guinea y no de la India como se mencionaba hasta 1958, la caña fue incorporada como alimento desde hace más de 8000 años y antes se le consideraba sólo como una planta de jardín. De su lugar de origen fue emigrando por las islas Malucas, Borneo, Java y Sumatra hasta llegar a la India. En este país se convirtió en una planta de cosecha y se realizaron cruzamientos híbridos de cañas silvestres indias y chinas. Durante la invasión de los árabes esta gramínea fue transportada a Persia, Egipto y hacia el oeste hasta las costas del sur del continente africano. Alejandro el Grande llevó la caña de la India a Europa y de España fue traída al continente americano (Hurtubia, 1986; Sánchez, 1972).

En América, la caña de azúcar se sembró por primera vez en Santo Domingo, de donde se llevó a todo el Caribe. En 1519, Cortés trajo la caña de azúcar a México y poco a poco se fue extendiendo el cultivo de esta gramínea por todo el país. Ya para el siglo XVI la caña era la principal fuente de endulzante en América, convirtiéndose así en un importante artículo de comercio entre Europa y las regiones de mayor producción como Brasil, Cuba y México. (García, 1984; Sánchez, 1972).

Todos los países del mundo están interesados en elevar el nivel de vida de su población, lo cual implica incrementar la autosuficiencia alimentaria y contar con bienes de exportación a fin de obtener recursos económicos que permitan pagar la importación de los artículos que se requieren para sustentar y mejorar tal nivel de vida. Un componente primordial, de este interés, es la producción de alimentos, entre ellos el azúcar es un producto básico de la alimentación humana (Hurtubia, 1986). De esto se deriva la importancia de la industria azucarera.

Para poder realizar un análisis de la evolución de la Industria Azucarera de caña en el mundo es necesario tener una visión de conjunto.

Según datos del Grupo de Países de América Latina y el Caribe Exportadores de Azúcar (GEPLACEA, 1984) y Cerro (1986), la

En 1987 México ocupó el séptimo lugar, (CUADRO 1.2) dentro de la clasificación de los países productores de azúcar, éste es uno de los aspectos que confiere importancia a la industria azucarera nacional (Azúcar S.A., 1987).

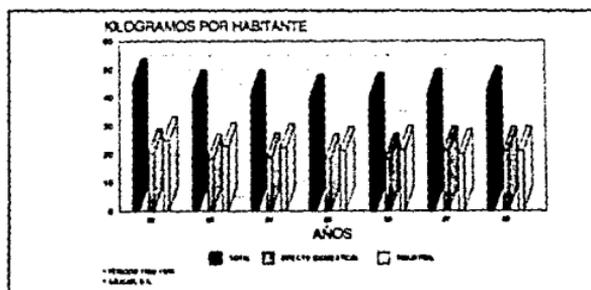
CUADRO 1.2  
PAISES CON MAYOR  
PRODUCCION DE  
AZUCAR EN EL  
MUNDO.

	PAISES	MILES DE TONELADAS
1.-	C.E.E.	14.126
2.-	U.R.S.S.	8.880
3.-	BRASIL	7.399
4.-	INDIA	7.304
5.-	CUBA	7.468
6.-	E.U.A.	5.676
7.-	MEXICO	4.788
8.-	CHINA	4.053
9.-	TAIWAN	2.218
10.-	INDONESIA	2.130

\* ZAFRA DE 1986

En México el consumo per capita de azúcar es de 42 Kg/año tanto en forma directa (uso doméstico) ó indirecta (uso industrial) (Cerro, 1986), (FIGURA 1.1).

FIGURA 1.1:  
CONSUMO  
PER-CAPITA DE  
AZUCAR  
TOTAL DIRECTO  
E INDIRECTO  
EN MEXICO.



Se pueden mencionar entre las industrias con mayor consumo de azúcar, en primer lugar, a la industria embotelladora, que utiliza un 53.8% del consumo industrial total. En segundo término se tiene a la industria panificadora y galletera, ésta consume un 14%. La industria dulcera ocupa el tercer lugar, al utilizar un 12.2% del total. Por último, las industrias empaçadora, de vinos y licores, de productos lácteos y otras ocupan el 20% restante (CUADRO 1.3) (Azúcar, S.A., 1987).

producción mundial de azúcar, tanto de caña como de remolacha, en el período de 1959-1979 ascendió aproximadamente de 50 a 89 millones de toneladas. De este incremento, 26 millones corresponden al azúcar de caña y los 13 restantes al azúcar de remolacha.

En Europa la mayor parte de la producción azucarera se origina a partir de la remolacha. En 1979 Europa concentró 85% de la producción mundial de azúcar de remolacha. Las cantidades de azúcar de caña que se producen en el continente Europeo son algo menores al medio millón de toneladas.

En África se producen pequeñas cantidades de azúcar, estando en el orden de las 6 millones de toneladas, correspondiendo al azúcar de caña el 94% de esta producción.

En 1979 la producción de azúcar de Asia y Oceanía representó 27% de la producción total mundial, 94% de esta producción corresponde al azúcar de caña (GEPLACIA, 1986).

En promedio puede decirse que en el continente Americano el 90% de la producción azucarera corresponde al azúcar de caña. De este 90% América Latina se encarga de la producción de aproximadamente un 82%.

En conjunto, los 22 países miembros de GEPLACIA proporcionan actualmente más del 50% del azúcar que se produce en el mundo a partir de caña de azúcar (Hurtubia, 1986).

Es por esto que la Industria Azucarera cobra especial importancia en América Latina, además de que el azúcar representa la tercera fuente de divisas de la región y genera empleo para 2.5 millones de personas en promedio por año (Cerro, 1986).

En algunos países como Cuba el azúcar es el principal producto de exportación (GEPLACIA, 1986).

En el CUADRO 1.1 se presentan los principales países productores, consumidores, importadores y exportadores de azúcar en el mundo.

CUADRO 1.1:

PRODUCCION,  
EXPORTACION E  
IMPORTACION  
MUNDIAL DE AZUCAR  
(1987).

	PRODUCCION	CONSUMO	EXPORTACIONES	IMPORTACIONES
C.E.E.	14 401 00	11 972	3 737	0
URSS	10 000 00	14 100	0	4 857
U.S.A.	8 603 00	7 414	0	632
CUBA	7 235 00	773	6 462	0
MEXICO	4 061 00	3 657	318	0
ARGENTINA	1 063 00	1 104	81	0
BRASIL	9 266 00	8 572	2 424	0
COLOMBIA	1 293 00	1 208	86	0
CHINA	8 111 00	8 168	10	1 817
INDIA	9 215 00	9 732	0	918
PAKISTAN	1 425 00	2 005	0	418
EGIPTO	1 000 00	1 450	0	989
SUDAFRICA	2 235 00	1 433	1 106	0
AUSTRALIA	3 511 00	629	2 827	0

\* AZUCAR SA

En 1987 México ocupó el séptimo lugar, (CUADRO 1.2) dentro de la clasificación de los países productores de azúcar, éste es uno de los aspectos que confiere importancia a la industria azucarera nacional (Azúcar S.A., 1987).

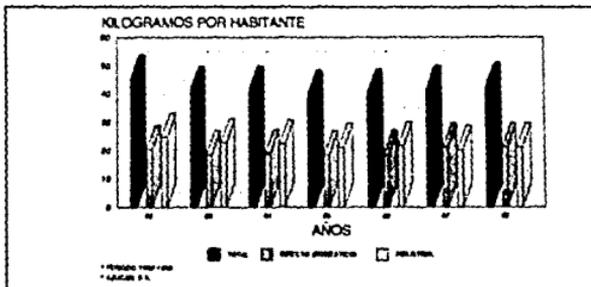
CUADRO 1.2  
PAISES POR AMPOS  
PRODUCCION DE  
AZÚCAR EN EL  
MUNDO.

	PAISES	MILES DE TONELADAS
1.-	C.E.E.	14.126
2.-	U.R.S.S.	8.860
3.-	BRASIL	7.899
4.-	INDIA	7.584
5.-	CUBA	7.448
6.-	E.U.A.	5.678
7.-	MEXICO	4.788
8.-	CHINA	4.053
9.-	TAYWAN	2.218
10.-	INDONESIA	2.150

\* ZAFRA DE 1986

En México el consumo per capita de azúcar es de 42 Kg/año tanto en forma directa (uso doméstico) ó indirecta (uso industrial) (Cerro, 1986), (FIGURA 1.1).

FIGURA 1.1.  
CONSUMO  
PER-CAPITA DE  
AZÚCAR  
TOTAL DIRECTO  
E INDIRECTO  
EN MÉXICO.



Se pueden mencionar entre las industrias con mayor consumo de azúcar, en primer lugar, a la industria embotelladora, que utiliza un 53.8% del consumo industrial total. En segundo término se tiene a la industria panificadora y galletera, ésta consume un 14%. La industria dulcera ocupa el tercer lugar, al utilizar un 12.2% del total. Por último, las industrias empaedora, de vinos y licores, de productos lácteos y otras ocupan el 20% restante (CUADRO 1.3) (Azúcar, S.A., 1987).

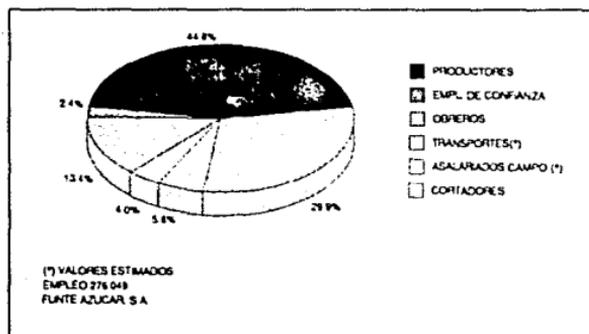
CUADRO 1.3:  
CONSUMO DE  
AZÚCAR POR  
RAMA  
INDUSTRIAL EN  
TONELADAS  
(1984)

Rama industrial	Total
Dulcera	211,229
Empacadora	54,552
Pan y galletas	241,176
Embotelladora	926,488
Productos lácteos	21,689
Vinos y licores	23,233
otros	240,574

Otro aspecto relevante de la industria azucarera es que constituye una fuente importante de trabajo (Azúcar S.A., 1987; GEPLACSA, 1986).

La industria azucarera mexicana empleó, por ejemplo, en la zafra de 1986/1987, 302 553 personas; de éstas, el mayor porcentaje está constituido por los productores y cortadores que, juntos representan el 75.4%. El porcentaje restante lo forman empleados de confianza, obreros, transportistas y asalariados del campo, (FIGURA 1.2) (Azúcar S.A. 1987).

FIGURA 1.2:  
EMPLEO  
GENERADO  
DURANTE LA  
ZAFRA 1987-88.



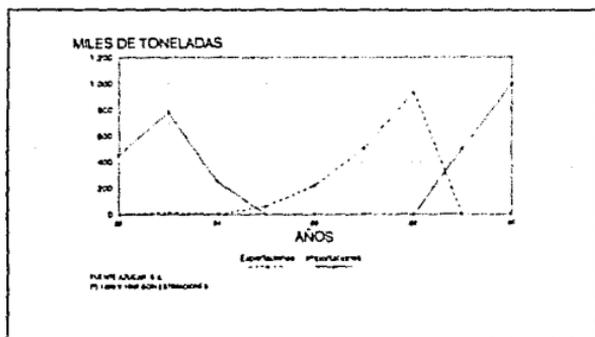
Los ingenios azucareros trabajan 24 horas al día durante aproximadamente 6 meses. Esto es necesario ya que la caña de azúcar debe molerse en los siguientes dos días después de su corte ya que de no hacerse así el contenido de sacarosa se altera, además de que en la época de lluvias se presentan problemas con el corte y el transporte. El período de zafra comprende del mes de noviembre al mes de junio.

Al analizar la evolución productiva de la industria azucarera del país se puede observar que, a partir de la zafra de 1982, se han incrementado notablemente los volúmenes de producción alcanzando una tasa de crecimiento de casi 7% anual, lo cual ha permitido llegar a la autosuficiencia en materia productiva y la producción de excedentes exportables.

México aparece como exportador de azúcar a los mercados mundiales desde la década de los 50, ya que anteriormente la producción cubría con cierta dificultad las necesidades internas. Pero es a partir de la década de los 80, que la exportación de azúcar ha ayudado de alguna manera a compensar el desequilibrio de nuestra balanza comercial.

En 1987, por ejemplo, se obtuvo un superávit de 505,317.32 ton de azúcar las cuales fueron colocadas en el mercado internacional (FIGURA 1.3) (Azúcar S.A., 1987).

FIGURA 1.3:  
BALANCI  
COMERCIAL  
AZUCARERO  
1982-1990.



### 1.1. MORFOLOGIA DE LA PLANTA DE LA CAÑA DE AZUCAR

Con base en la clasificación más reciente, la ubicación taxonómica de la caña de azúcar queda de la siguiente manera:

REINO	Vegetal
DIVISION	Magnoliophyta
CLASE	Liliopsida
SUBCLASE	Cammelinidae
ORDEN	Cyperales
FAMILIA	Poaceae (Grammineae)
GENERO	<i>Saccharum</i>
ESPECIE	<i>officinarum</i> (Cronquist, 1984)

En común con otros miembros de la familia de las gramíneas, la planta de caña de azúcar tiene un tallo redondo que presenta articulaciones. Una pequeña porción de este tallo se encuentra bajo tierra y se conoce como rizoma; en el resto del tallo, emergido, crecen las hojas, yemas y otras estructuras tanto vegetativas como reproductoras. Los tallos llegan a tener hasta 6 m de altura y de 2 a 8 cm de diámetro. Los tallos son lisos y presentan colores variados que van del verde al púrpura. El tallo está formado por dos estructuras fácilmente reconocibles: el nudo y el entrenudo.

En la superficie del tallo, especialmente cerca de los nudos, aparece una cubierta blanquecina de cera natural, en algunas variedades de caña estas zonas son muy evidentes pero en otras no lo son. El entrenudo es la porción de tallo entre dos nudos. En el nudo se encuentran estructuras muy importantes como son la banda de raíz, las yemas y además es ahí donde se originan las hojas envainadas. Se pueden identificar las diferentes variedades de caña mediante las características particulares de las yemas, como son su forma, tamaño y localización de las vellocidades. Bajo condiciones favorables de temperatura y humedad la yema es capaz de originar un nuevo organismo. La banda de raíz es una sección pequeña del tallo localizada sobre una gran cantidad de manchas organizadas en línea. Arriba de la zona radicular está una zona de transición que corresponde al anillo de crecimiento, en esta sección se llevan a cabo los procesos de elongación y crecimiento del entrenudo. (Instituto para el Mejoramiento de la Producción de la Caña de Azúcar, (IMPA), 1984).

El interior del tallo de la caña tiene estructuras similares a las típicas monocotiledóneas (Edgerton, 1959).

Las hojas de la planta de caña de azúcar constan de una vaina, una ligula y una lámina. son envainantes, alternas, alargadas, con bordes duros y estriados.

Las hojas envainadas están sujetas al borde del nudo y tienen en la superficie tricomas, en algunas variedades éstas son estructuras delicadas, mientras que en otras son largas y puntiagudas. Los tricomas son muy irritantes para la piel de los trabajadores o de quien tenga contacto con ellos. Las hojas tienen 7.5 cm de ancho y 152 cm de largo en promedio en la porción central y, gradualmente, se estrechan hacia la punta y se ensanchan hacia la base. La hoja tiene a lo largo una vena central y numerosas venaciones paralelas. Cuando una planta crece hay formación constante de hojas en el ápice del tallo.

El sistema de raíces de la planta de caña de azúcar contiene un gran número de ramificaciones. La raíz primaria tiene su origen en la banda de raíz. Cada banda de raíz contiene varias raíces primarias latentes, potencialmente capaces de desarrollar una raíz. La humedad constituye el mejor estímulo para el desarrollo de la planta.

El rizoma de la planta en crecimiento usualmente está constituido por 3 a 10 pequeñas secciones. Cuando se planta el tallo, horizontalmente, las raíces se desarrollan de todos los nudos. Estas raíces son llamadas piezas raíz-semilla.

Las raíces que se desarrollaron de la raíz principal son llamadas raíces primarias, y se ramifican en secundarias, terciarias y numerosas raíces muy finas. Las raíces primarias se desarrollan hacia abajo dentro del suelo, mientras que las secundarias y terciarias, en todas direcciones dentro de la capa superior del suelo. La dirección de crecimiento está determinada por varios factores, entre los que se pueden mencionar: la gravedad, la humedad y la aireación. El funcionamiento de las raíces está influido por muchos factores incluyendo las condiciones físicas del suelo, la humedad contenida en el suelo, la disponibilidad de nutrimentos y la temperatura (Edgerton, 1959).

La planta de caña de azúcar presenta una inflorescencia llamada panícula, formada por espiguillas muy pequeñas con vellocidades muy largas. Cada una de las espiguillas tiene dos flores, la inferior tiene sólo una glumilla y es estéril, la superior presenta dos glumillas y contiene al androceo (con 1, 3 ó 6 estambres) y al gineceo que está formado por 2 ó 3 carpelos unidos, el ovario es unilocular súpero; tiene 1, 2 ó 3 estilos y un estigma plumoso. Cuando hay fruto éste es una cariopside (grano). En los países intertropicales como la India y Cuba no hay floración. (Font, 1980; Sánchez, 1982).

## 1.2. DEFINICION DEL PROBLEMA Y JUSTIFICACION

Con el aumento de la población y de sus necesidades se ha incrementado la explotación de recursos para satisfacer las demandas crecientes de la misma.

La industria alimentaria ha tenido que evolucionar ampliamente para aumentar la producción de acuerdo a las necesidades actuales.

Como consecuencia de la gran industrialización de la caña en México, se observa un aumento en la cantidad de residuos producidos (en la sección de proceso, se indican los tipos de residuos resultantes de la producción de azúcar).

No se han evaluado los problemas que causan dichos residuos; y se ha encontrado uso para algunos de ellos como se menciona más adelante.

Se presentan a continuación datos respecto a este problema en México (Azúcar S.A, 1987).

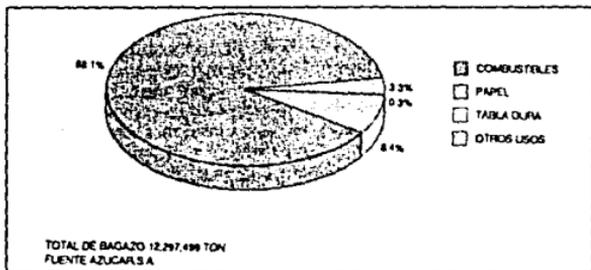
En la zafra iniciada en noviembre de 1986 y terminada en junio de 1987 se realizó una molienda de 41.38 millones de ton de caña de azúcar de la cual se obtuvieron los siguientes subproductos:

- Bagazo 13.8 millones ton
- Cachaza 1.6 millones ton
- Mielles incristalizables 1.2 millones de ton

Estos datos muestran la cantidad de los diferentes desechos producidos durante la zafra de 1987.

De las 13.8 millones de ton de bagazo producidas 9.49 millones de ton se utilizaron como combustible dentro de los ingenios, lo que corresponde al 67% del total. Se destinaron 477 miles de ton, para la fabricación de papel, lo que constituye el 3.45 % del total. Una parte correspondiente al 0.62%, 86 430 ton se utilizaron para la fabricación de tablas duras (FIGURA 1.4).

FIGURA 1.4:  
DISTRIBUCION DE LA  
UTILIZACION DEL  
BAGAZO DE LA CAÑA  
DE AZÚCAR PARA LA  
ZAFRA 87/88.



El 28.9% es bagazo restante. Se puede deducir de ésto que 339, 270 ton de bagazo se depositaron directamente sobre el suelo, lo cual se maneja como "otros usos" dentro de las estadísticas azucareras (Azúcar S.A., 1987).

Aunque el 71% de los residuos es aprovechado, queda el 28.9% sin utilización, lo cual constituye un serio problema para los ingenios ya que no saben como disponer de éstos. Es por esta razón que se opta por otras soluciones por ejemplo:

La incineración inadecuada de estos subproductos ocasiona un problema grave de contaminación atmosférica. Esto se debe a los elevados costos, equipo inadecuado ó falta de personal preparado (Gutiérrez, 1989).

Otra alternativa es la depositación de residuos directamente en los campos de cultivo, pero este proceso debe hacerse en forma controlada, ya que al adicionar el bagazo se está introduciendo materia orgánica que altera la composición natural del suelo, y por lo tanto su ciclo. Esta materia se acumula en el suelo y puede ser nociva en concentraciones altas.

En el caso de que la disposición final de los residuos, resultantes del proceso de extracción de azúcar, se haga a cuerpos de agua la contaminación es considerable, lo cual conlleva graves consecuencias sobre todo para un país como México con recursos hídricos limitados (Gutiérrez, 1989).

Es importante por ésto hacer notar que los residuos agroindustriales constituyen una parte importante de los productos de desecho generados por las actividades humanas.

En la industria elaboradora de alimentos se producen residuos que hasta ahora han sido desaprovechados y es importante promover su utilización. Estos subproductos tienen adicionalmente la cualidad de ser renovables en periodos de tiempo varias veces menores que otras fuentes naturales de gran explotación en la actualidad.

La utilización de residuos debe ser considerada como una opción primordial debido a la necesidad obvia de conservar los recursos y a las grandes cantidades de residuos producidos. Sin embargo, tal consideración debe hacerse en forma cuidadosa, analizando tanto el tipo de desecho como la aplicación que se busca, ya que el resultado debe ser un producto útil y de bajo costo sin que se originen mayores problemas de contaminación ó sociales.

A pesar de que la industria azucarera ha tenido una amplia expansión en la mayor parte de los continentes y de que su producción ha ido en ascenso constante, el desarrollo de los derivados comenzó al iniciarse el presente siglo (GEPLACIA, 1987; Hurtubia, 1986).

En este sentido es de señalar que los países de América Latina han sido pioneros en la utilización de subproductos y derivados de la caña de azúcar.

Al hacer un análisis de la situación actual, podemos ver: a) El aumento en las cantidades de azúcar producidas, b) La utilización o ampliación de los derivados, c) Los cambios tecnológicos, d) El perfeccionamiento de los equipos y, en algunos casos, aumento de la eficiencia económica. En estos momentos se puede decir que existen condiciones que indican las ventajas que representaría para los países productores de azúcar el desarrollo de los derivados.

Promoviendo la transformación de los residuos y subproductos se puede obtener un mejoramiento en la calidad de vida, al mismo tiempo que se protege al ambiente.

Debido a la problemática, en materia de contaminación, en México se han generado diversas investigaciones tendientes a desarrollar alternativas viables de solución para el aprovechamiento y manejo de los desechos.

### 1.3. OBJETIVOS

Con el fin de encontrar alternativas de solución práctica, la Dirección General de Prevención y Control de la Contaminación, de la Subsecretaría de Ecología, solicitó que dentro del programa de Química Ambiental de la UNAM se iniciaran estudios sobre el manejo adecuado de los residuos generados por los ingenios.

En una primera fase, se consideró necesario realizar una compilación de la información nacional e internacional acerca de la problemática que originan los residuos sólidos de la industria azucarera para:

- Conocer el origen, tipos y cantidad de residuos producidos por la industria azucarera en México.
- Evaluar la situación general de los países productores de azúcar de caña, respecto al manejo de sus residuos sólidos.
- Recomendar las alternativas más adecuadas a la situación actual de México para el aprovechamiento de los residuos sólidos.
- Fundamentar, con la información obtenida, la implementación de reglamentos técnicos que regulen el manejo y disposición de los residuos sólidos.
- Recomendar las investigaciones necesarias respecto a los usos de los residuos sólidos, para establecer nuevas tecnologías o adecuar las ya existentes a la situación actual de México.



## 2. ANTECEDENTES

### 2.1 UBICACION DE LAS ZONAS PRODUCTORAS

Las zonas en donde se realiza este cultivo en el mundo se distribuyen preferentemente dentro de las zonas tropicales e intertropicales, prácticamente limitado por los paralelos 32° al norte y al sur del Ecuador. Este cultivo requiere mucha luz solar y agua abundante. (Hurtubia, 1986).

No obstante, la caña de azúcar se produce en latitudes alejadas de estas regiones como Andalucía, España y las llanuras planas norteañas de Uruguay.

De acuerdo a las condiciones de las zonas cañeras de México el margen de temperatura para el desarrollo normal es de 21° a 38° C y el promedio general de precipitación acusa valores promedio de 5.48 mm a 6.84 mm de agua por día en año completo (García, 1984).

En el continente Americano se cultiva desde el sur de los Estados Unidos hasta la porción norte de Argentina. Con base en la extensión territorial dedicada a este cultivo se puede decir que países como Cuba, República Dominicana, Puerto Rico, Honduras, Nicaragua, Venezuela, Brasil y México son los principales productores. En el continente Asiático la India, Pakistán, Java y, por otro lado la parte meridional de Australia, son los productores más importantes. Respecto al continente Africano, Egipto es el principal productor. En el continente Europeo, España es el único país que realiza este cultivo (FIGURAS 2.1 A, B, C, D) (Humbert, 1974).

FIGURA 2.1 A:  
LOCALIDADES DE  
SIEMBRA DE CAÑA  
DE AZÚCAR EN  
AMÉRICA.



FIGURA 2.1.B:  
LOCALIDADES DE  
SEMERA DE  
CAÑA DE AZÚCAR  
EN ASIA

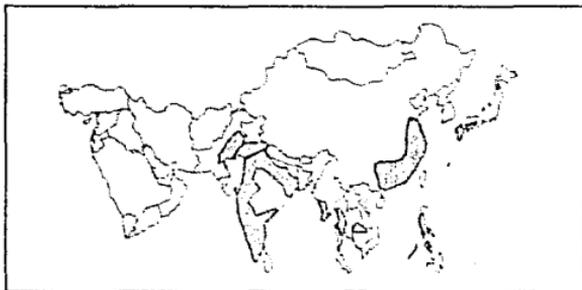


FIGURA 2.1.C:  
LOCALIDADES DE  
SEMERA DE  
CAÑA AZÚCAR  
EN OCEANIA



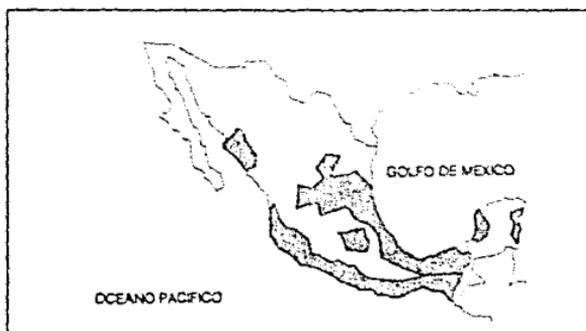
FIGURA 2.1.D:  
LOCALIDADES DE  
SEMERA DE CAÑA  
DE ANICAS EN  
AFRICA



## EN MEXICO

La producción cañera en términos generales está establecida principalmente en las vertientes del Pacífico y del Golfo de México. Con respecto a la primera, el cultivo abarca desde el norte de Sinaloa hasta Chiapas y los estados de más producción, de acuerdo a la superficie territorial dedicada a este cultivo, son Jalisco y Michoacán. En la vertiente del Golfo ocupa desde el sur de Tamaulipas hasta el sur de Campeche y una parte de Quintana Roo, la mayor producción se encuentra en el suroeste de Veracruz y Tabasco (FIGURA 2.2) (CUADRO 2.1) (Humbert, 1974).

FIGURA 2.2:  
UBICACION DE  
LAS ZONAS DE  
CULTIVO DE  
CAÑA DE  
AZÚCAR



CUADRO 2.1:  
DESEMPEÑO  
AGROQUÍMICO  
AZUCARERO EN  
MEXICO  
(1967-1968)

ESTADO	Superficie	
	HÁ	M TON
Veracruz	216 574	1 300
Jalisco	60 972	460
San Luis Potosí	33 096	318
Oaxaca	40 891	211
Sinaloa	36 048	182
Tamaulipas	30 873	155
Tabasco	21 296	120
Yucatán	20 426	141
Morelos	16 777	162
Michoacán	16 741	155
Chiapas	16 241	125
Quintana Roo	12 771	65
Puebla	12 830	120
Colima	8 440	36
Campeche	7 137	25

\* FUENTE AZUCARISA

## 2.2. PROCESO DE EXTRACCION

El proceso de extracción de azúcar se lleva a cabo en los ingenios azucareros que, generalmente, se establecen muy cerca de las zonas de cultivo.

El proceso de producción de azúcar de caña puede considerarse que inicia en el patio del ingenio o batey en donde la caña es pesada y transportada mediante una grúa, a un sistema de lavado cuyo fin es retirar materia extraña y tierra, los cuales pueden causar problemas posteriores en otras etapas del proceso. Si bien en muchos ingenios se realiza ellavado de la caña con agua, hay también otros en los que la limpieza se realiza en seco. Después se pasa a una ó varias mesas alimentadoras y posteriormente a la banda conductora, que la transporta a un sistema de preparación para la molienda, ahí el tallo se corta en trozos pequeños que pasan a la desfibradora, de donde salen como fibras muy pequeñas para que la extracción sea más eficiente. Una vez preparada la caña pasa a un tandem de molinos en donde se lleva a cabo la extracción del jugo de la caña o guarapo.

El bagazo que sale del último molino contiene el azúcar no extraído, fibra leñosa y agua. El jugo que se extrae es ácido (pH 5.4), turbio de color verde oscuro y contiene una gran cantidad de impurezas solubles e insolubles. El bagazo separado se transporta ya sea a calderas para ser quemado o bien a un lugar de almacenamiento antes de su disposición final.

El guarapo se cuela después se envía al tanque receptor de donde se bombea a una báscula para determinar su peso. Éste es importante para realizar cálculos de eficiencia de fábrica y control de las etapas del proceso.

### Clarificación

Ésta tiene como finalidad eliminar las impurezas solubles e insolubles presentes en el jugo, y consta de varias etapas:

- a) Sulfitación
- b) Alcalinización
- c) Calentamiento
- d) Clarificación

#### a) Sulfitación

Para obtener una decantación más rápida de las impurezas del jugo y un menor volumen de lodos precipitados en el clarificador, es conveniente sulfitar el guarapo antes de alcalinizar. Se mezcla el guarapo con  $\text{SO}_2$  en la torre de sulfitación formándose  $\text{H}_2\text{SO}_3$ , lo que elimina las sustancias colorantes y transforma las sales férricas en sales ferrosas incoloras.

#### b) Alcalinización

En esta etapa se agrega lechada de cal al jugo, cuya función es neutralizar la acidez natural del guarapo mediante la eliminación de los ácidos orgánicos presentes en el jugo, ya que sus sales de calcio son insolubles (de oxálico, tartárico, fosfórico, etc.); también se observa que la materia en suspensión coagula mediante la calefacción del jugo, ya que este proceso se lleva a cabo a una temperatura entre 103° y 105° C. La lechada de cal se prepara agregando entre 1.0 y 1.5 Kg de CaO por tonelada de caña. La dosificación de la lechada de cal en el tanque de alcalinización, se controla midiendo periódicamente el pH del guarapo para mantener un valor neutro ( 7.0 ) o sólo ligeramente ácido (6.8 a 6.9) . Un exceso de cal provoca reacciones químicas que, finalmente colorean el jugo mientras que si se adiciona menor cantidad de cal que la requerida, se lleva a cabo la hidrólisis de la sacarosa.

#### c) Calentamiento del jugo

Para efectuar la clarificación es necesario que el jugo tenga una temperatura de 105° C.

#### d) Clarificación

En la clarificación se separa el jugo claro del precipitado formado por ceras, bagazo fino y otras impurezas, que en conjunto forman la cachaza. Después de la clarificación el jugo se cuela para eliminar el bagacillo que flota. El guarapo clarificado, tiene ahora un color amarillo translúcido y se envía a evaporación. Para facilitar el manejo de la cachaza se le incorpora el bagacillo al salir del clarificador.

#### Evaporación

La evaporación eliminará la mayor cantidad de agua que contiene el jugo. El jugo concentrado se conoce como meladura y contiene aproximadamente entre 55 y 65% de sólidos y entre 35 y 45% de agua.

#### Cristalización

Esta etapa tiene la finalidad de transformar en cristales (granos) la sacarosa disuelta en la meladura. Cristalizar la mayor parte de esta sacarosa es la meta del proceso de fabricación y se lleva a efecto en tachos y cristalizadores. Dicha cristalización se efectúa mediante la sobresaturación de las soluciones impuras en que se encuentra la sacarosa (meladura y mieles), proceso que se realiza por eliminación de agua (en tachos) y disminución de temperatura (en cristalizadores).

La cristalización puede dividirse en dos partes:

- i) Cocción del azúcar
- ii) Cristalización por enfriamiento

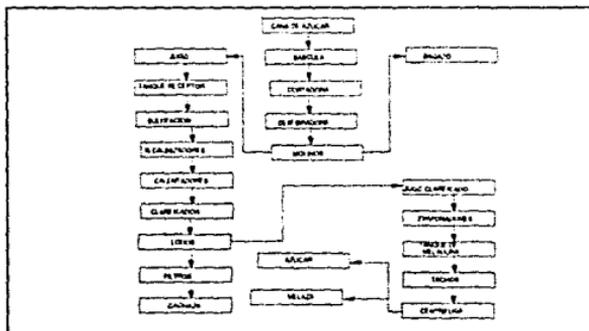
### Centrifugación

Mediante la centrifugación se separan los cristales de azúcar de las melazas o jarabe que los rodea por la acción de la fuerza centrífuga (Torres, 1986).

### Secado y almacenamiento.

Al salir de la centrifuga, el azúcar contiene aproximadamente 1.0% de agua, la cual se elimina durante el secado, para que pueda ser manejada comercialmente. El secado es importante para evitar el rápido deterioro debido a la acción microbiana. Al finalizar el proceso se obtiene azúcar con un contenido de humedad de 0.04% para el azúcar refinada y 0.06% para el azúcar estándar (FIGURA 2.3) (Torres, 1986; Paturau, 1982; Azúcar. S.A., 1985)

FIGURA 2.3.  
PROCESO DE  
PRODUCCIÓN.



El proceso descrito anteriormente es el utilizado en todos los ingenios del país, varía únicamente en el número de unidades en las distintas etapas del proceso (García, 1989).

También se pueden observar variantes en el material de la maquinaria, pero sin modificar las etapas del proceso.

Además existen algunos ingenios que cuentan con instalaciones para la refinación del azúcar así como destilerías para la producción de alcohol.

### 2.3. RESIDUOS GENERADOS TIPOS Y COMPOSICION

Los residuos producidos por la industria azucarera son de varios tipos, en este caso se clasificarán en 3 grandes grupos:

1. Aguas residuales
2. Atmosféricos
3. Residuos sólidos

#### 1. Aguas residuales

El primer afluente originado es el agua residual, producida por el lavado de la caña de azúcar durante su preparación para la molienda. El agua arrastra tierra, piedras, paja y residuos de hojas que aún permanecen en el tallo.

El tandem de molinos debe ser constantemente lubricado, para su buen funcionamiento, en los rodamientos, coronas y engranes ya que por la fricción constante del trabajo que desarrollan tienden a calentarse siendo necesario un sistema de lubricamiento. El agua una vez utilizada arrastra consigo ciertas cantidades de grasa.

Se tiene un tercer afluente a partir del agua que se utiliza para la limpieza continua de las calderas con objeto de evitar incrustaciones que entorpezcan su funcionamiento.

Se obtiene un cuarto afluente formado de aguas residuales ácidas y alcalinas debido a la limpieza de los equipos de evaporadores y tachos, la cual se hace con ácido clorhídrico y sosa.

La condensación del vapor de agua utilizado para la operación de evaporadores y tachos, genera el agua de condensadores barométricos.

El último afluente se genera por el agua proveniente de lavadores de gases, instalados en algunos ingenios, el cual arrastra una gran cantidad de partículas que de otra forma hubieran sido emitidas a la atmósfera.

#### 2. Atmosféricos

La emisión de humo contiene óxidos de nitrógeno, óxido de azufre e hidrocarburos, así como partículas suspendidas provenientes de las chimeneas de hornos y calderas, en donde se lleva a cabo la combustión de petróleo y, en algunos casos de bagazo para producir la energía necesaria para el proceso.

#### 3. Residuos sólidos

Los residuos sólidos generados en el proceso son: a) el bagazo que es el residuo lignocelulósico que se obtiene del último molino después de la extracción proveniente de la molienda de la caña; b) el

bagacillo que por su tamaño pequeño es eliminado del jugo a través de cribado; c) la cachaza que se obtiene en la filtración del jugo clarificado y contiene las impurezas de éste y d) cenizas. El caso de la melaza es especial ya que, a pesar de ser un subproducto de la industria azucarera, no se considera como residuo ya que constituye la materia prima para la elaboración de alcohol. Sin embargo, se considera agente contaminante a las vinazas que son el producto residual de la destilación (Azúcar, S.A., 1985)

## 2.4. PROBLEMAS AMBIENTALES

### 2.4.1. AFLUENTES

En el caso de los afluentes los problemas ambientales que se provocan son diversos, como por ejemplo:

El lavado de la caña se hace utilizando un volumen de agua que varía de 250 a 350 L/s; como resultado de esta etapa se obtienen aguas residuales, las cuales aportan de 200 a 400 mL de sólidos sedimentables y éstos producen a su vez un DBO que va de 200 a 1500 mg/L.

Por otro lado, para enfriar los molinos se utiliza un gasto de agua con un rango que va de 0.5 L/s a 30 L/s. El agua residual contiene de 40 a 150 mg/L de grasas y aceites y de 1.0 a 2.0 mL de sólidos sedimentables.

La purga de las calderas es del orden de 2.5 a 5.0 L/s de agua. Ésta contiene de 100 a 250 mL de sólidos sedimentables y se descarga a una temperatura entre 85 y 90°C. Aumenta también el pH alcalinizando el agua.

En el caso de aguas residuales ácidas y alcalinas el principal problema que causan es la alteración del pH provocando variaciones que fluctúan entre un pH de 1 a 13. Para hacer los lavados de evaporadores y tachos se utiliza un gasto de 5 a 10 L/s los cuales incorporan de 3.0 a 6.0 mL de sólidos en suspensión al cuerpo de agua.

Por último, el agua proveniente de lavadores de gases modifica el pH, aporta materia flotante y sólidos sedimentables.

### 2.4.2. ATMOSFERICOS

El problema causado de las emisiones de humos y partículas es ocasionado por el aporte al ambiente de óxidos de nitrógeno, óxidos de azufre, hidrocarburos y partículas suspendidas (SEDUE, 1986)

### 2.4.3. RESIDUOS SOLIDOS

#### a) Contaminación de las aguas.

Provocada por el bagazo y el bagacillo que se encuentran como materia flotante; y la cachaza y las vinazas que aportan sólidos sedimentables.

Como consecuencia de lo anterior aumentaría la DBO de los cuerpos de agua. Particularmente las vinazas tienen un efecto más severo ya que son arrojadas a los cuerpos de agua a una temperatura de 70°C y tienen un pH que varía entre 4.2 y 4.7, lo cual impide el establecimiento de organismos, por lo menos en zonas cercanas a los ingenios con destilería.



---

## 3. RESIDUOS SOLIDOS

---

### 3.1 MANEJO ACTUAL DE LOS DESECHOS SOLIDOS EN MEXICO

En la actualidad, la industria azucarera les ha dado algunos usos a los residuos generados y en otros casos los vende como materia prima a otras industrias. El uso o reciclaje de los diferentes subproductos se presenta a continuación.

#### 3.1.1. BAGAZO

El bagazo es el residuo fibroso que se obtiene de los molinos del ingenio azucarero durante el proceso de extracción del jugo de la caña. Desde el punto de vista morfológico, el bagazo está constituido por dos fracciones: la fibra, que conforma aproximadamente del 60 al 65%, y el mollo del 35 al 40%. La fibra es el componente más importante desde el punto de vista industrial, ya que se emplea para la producción de pulpa de papel y de tableros. Ésta se separa del mollo, mediante distintos procesos de desmolidamiento, en una o más etapas y en distintos grados, según sean las necesidades de la industria. La eliminación del mollo se logra mediante diferentes tratamientos químicos y/o mecánicos (IMPA, 1985).

La mayor parte del bagazo producido se utiliza como combustible en las calderas de los ingenios, solo o mezclado con petróleo. También se emplea como materia prima en la industria del papel, en la industria de aglomerados (tablas ligeras sintéticas), como complemento de alimentos o como forraje y aún se mezcla con otros productos formando alimento balanceado para el ganado vacuno (SEDUE, 1986).

En este capítulo se discutirán los usos más importantes del bagazo, aunque se sabe que hay otras aplicaciones posibles para este residuo, cuyo empleo no se ha implementado "por ejemplo se ha probado como complemento alimenticio, sin embargo no se conocen los detalles al respecto." (Arriaga, com. pers.)

Los tres usos más conocidos para este residuo son:

1. Combustible
2. Celulosa y papel
3. Tableros

#### 1. Combustible

El bagazo se ha utilizado tradicionalmente como combustible en la industria azucarera. El valor calórico alto o bruto

del bagazo seco es de 4 600 kcal/Kg y el valor bajo o neto es de 4

250 kcal/Kg. Muchos ingenios azucareros incineran el bagazo, pero debido a que no cuentan con instalaciones adecuadas, la eficiencia de su utilización es baja (Parutau, 1982; Mullen, 1977).

## 2. Celulosa y papel

La industria de la pulpa y el papel tiene mundialmente y, en especial en los países desarrollados, una gran importancia. Se caracteriza por influir de manera notable en el desarrollo cultural de los pueblos y, a la vez, es productora de insumos importantes de prácticamente todos los sectores industriales. En muchos países en vías de desarrollo constituye una industria estratégica; es una eficiente sustituta de importaciones, produce saldos favorables sobre la base de su aceptable relación de costos internos y externos.

En las dos últimas décadas, la utilización del bagazo en la industria de la pulpa y el papel, se ha incrementado significativamente; en la actualidad alcanza niveles de producción que están alrededor de los 2 MMT de papel/año. Existen en operación, aproximadamente 54 fábricas, distribuidas en 24 países del mundo. De estas plantas, 11 están en proceso de ejecución.

La industria de la pulpa y el papel que emplea bagazo de caña como materia prima, se basa en la utilización de procedimientos químicos y semiquímicos alcalinos, para llegar al grado de deslignificación necesario para producir una pulpa adecuada para cada tipo de papel (Meade, 1977).

La producción de pulpa y papel a partir del bagazo puede ser económicamente rentable en lugares donde existan grandes ingenios azucareros o a los cuales se pueda transportar el bagazo fácilmente. Es necesario tomar en cuenta que el costo de inversión para plantas pequeñas es alto, sin embargo se documentan, en la literatura reciente, estudios relativos a las ventajas de operar plantas pequeñas de pulpa y papel, pero es necesario considerar que tiene gran influencia en los costos. No obstante, bajo ciertas condiciones, es conveniente la producción, en pequeña escala, de pulpas mecánicas y semimecánicas, en lugares donde existan capacidades para obtener el bagazo sobrante necesario (Hernández, 1988; GEPLACEA, 1988).

## 3. Productos aglomerados

Las crecientes necesidades de materiales técnicamente aptos que contribuyan a solucionar los problemas que enfrentan las industrias de muebles y de la construcción, han encontrado una respuesta definitiva, y económicamente ventajosa, con el desarrollo de las producciones de tableros de partículas y de fibras a partir del bagazo.

La materia prima fundamental para la producción de tableros la constituyen los materiales lignocelulósicos, y en primer lugar la madera de coníferas. Después de la madera, las materias primas más

utilizadas, mundialmente, en la producción de tableros, son el bagazo de la caña de azúcar y el lino; el bagazo es el que más desarrollo ha mostrado en los últimos años, por sus propiedades morfológicas, que hacen del mismo una excelente fibra para esta industria (ICIDCA, 1979; Bruthans, 1969). El primer país en industrializar el bagazo para la producción de tableros fue Cuba en la década de 1950. A partir de entonces, varios países de América, África y Asia establecieron industrias de tableros de partículas y de fibra a partir de bagazo de caña y, actualmente, las fábricas de ambos tipos de tableros suman alrededor de 30 en el mundo; la mayor parte son fábricas de tableros de partículas (Hernández, 1988; Hamilton, 1980).

Se elaboran productos aglomerados a partir de fibras o partículas de materiales lignocelulósicos (madera, bagazo de caña, y otros), por compactación de las mismas, logrando así tener materiales de gran superficie. Los aglomerados lignocelulósicos se dividen en: tableros de fibras, tableros de partículas, elementos moldeados, tableros aglutinados con materiales inorgánicos, etc., los dos primeros son los principales.

#### **Tableros de fibras**

Son los productos manufacturados en forma de panel con material lignocelulósico, cuya unión se debe fundamentalmente al entrelazamiento y propiedades autoaglutinantes de las fibras.

En el proceso de producción de éstos algunos factores como la presión, la temperatura, etc., son determinantes. Se pueden añadir agentes aglutinantes u otros productos en el curso de la fabricación (Hernández, 1988).

#### **Tableros de partículas**

Son los productos elaborados en forma de panel con partículas de bagazo, aglomerados con aglutinantes orgánicos, bajo la acción de la temperatura y la presión (Meade, 1977).

#### **Tableros aglutinados con materiales inorgánicos**

Tableros en los que las partículas lignocelulósicas se aglutinan con productos inorgánicos (por ejemplo, cemento) con la participación de otros productos químicos (Bruthans, 1969).

#### **Productos moldeados**

Son productos obtenidos con partículas de bagazo en cuyo proceso de producción se añaden agentes aglutinantes y otros aditivos, empleándose para este proceso prensas con moldes, que le dan la forma deseada al artículo (ICIDCA, 1979).

### 3.1.2. BAGACILLO

El bagacillo, como ya se mencionó en el Capítulo 2, es el residuo que queda después del cribado del jugo de la caña. Está constituido principalmente por material lignocelulósico (fibras), pero éstas son de menor tamaño que las que conforman el bagazo (Hamilton, 1980).

Es importante señalar que se produce en muy pequeña cantidad, en comparación con los demás residuos de esta industria.

Este residuo se mezcla normalmente con la cachaza, para lograr un mejor manejo de ésta. También se ha utilizado como medio en la preparación de alimento para animales (GEPLACFA, 1988).

### 3.1.3. CACHAZA

La cachaza es uno de los subproductos de la caña de azúcar de menor utilización práctica hasta el momento. En Cuba se han realizado estudios sobre las características y propiedades de la cachaza como materia prima para elaborar productos de valor agregado, sin embargo, no existen trabajos publicados que aborden con profundidad este tema (ICIDCA, 1980).

La cachaza se puede definir técnicamente como el residuo que se elimina del proceso de clarificación del jugo de caña en forma de torta. La cantidad y composición de la cachaza producida varía entre países, estados e incluso de ingenio a ingenio, ya que depende de múltiples factores como son: el sistema de clarificación, la tecnología de extracción del guarapo, la variedad de la caña, el tipo de cosecha y otros (GEPLACFA, 1988).

En el CUADRO 3.1 se presentan los valores promedio de los principales componentes de la cachaza. Es importante notar que queda una cantidad importante (25 - 35%) sin clasificar.

CUADRO 3.1:  
COMPOSICIÓN  
PROMEDIO DE  
LA CACHAZA.

COMPONENTES	BASE SECA (%)
PROTEINA CRUDA	12-16
EXTRACTO DE BENCENO (CERA, ACEITE Y RESINA)	10-14
CENIZA	8-12
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	3-4
CaO	2.5-5
SACAROSA Y AZUCARES REDUCTORES	10-14
FIBRA DE BAGACILLO	18-25
OTROS	25-35

En este cuadro, en el rubro presentado como otros están incluidos óxidos de potasio, magnesio y agua.

Se ha utilizado tradicionalmente la cachaza como fertilizante en muchas áreas de los ingenios azucareros, en diversas cantidades, así como también en otros cultivos. Su aplicación se basa en la gran cantidad de nitrógeno, fósforo, calcio y materia orgánica que contiene y que consecuentemente aporta al suelo. El nitrógeno se presenta principalmente como proteína u otras formas amoniacales más simples, o en forma nítrica que tiene una conversión rápida a compuestos nitrogenados que pueden ser asimilados por las plantas, tan pronto como se descompone. El fósforo se presenta en compuestos orgánicos complejos tales como los fosfolípidos y las nucleoproteínas. Aparece también en forma de fosfatos de calcio provenientes del proceso de clarificación, estos se descomponen rápidamente suministrando una cantidad considerable de fósforo (Samuells, 1955) (CIDCA, 1988). El potasio está en una proporción muy baja.

Se han realizado varios experimentos en los que se ha probado la cachaza como fertilizante y se han obtenido resultados satisfactorios en la producción de caña (Alomá, 1983; PNUMA, 1986).

Alomá (1973), realizó un experimento en el cual probó la cachaza como fertilizante en varios niveles de concentración. Concluyó que cuando se adicionaban 99 ton Ha de cachaza se obtenían los mejores resultados. A medida que los niveles de concentración de la cachaza son mayores, comienza a decrecer la curva de rendimiento mientras que, si la cantidad de cachaza es menor al valor antes mencionado, los resultados no son óptimos.

Se comprobó que la adición de cachaza mejora la fertilidad de los suelos dado que aumenta el contenido de nutrimentos en éstos.

Por otro lado Alomá, asegura que 100 ton de cachaza aplicada por Ha, suministran al suelo aproximadamente:

1 TON DE NITROGENO
1.23 TON DE $P_2O_5$
0.11 TON DE $K_2O$

La cachaza favorece la retención de potasio en los suelos, a pesar de que tiene un contenido relativamente bajo de este elemento, lo que conlleva que la planta lo pueda tomar con mayor facilidad.

Esto ocurre como consecuencia de la gran capacidad de intercambio iónico de la cachaza. Es importante mencionar que el contenido de cal que tiene la cachaza incrementa el pH del suelo y, por lo tanto, actúa como agente liberador de fósforo y potasio retenidos. La cachaza aumenta la capacidad de aereación del suelo por su carácter esponjoso (Alomá, 1973).

Como se sabe, las propiedades físicas y químicas en un determinado tipo de suelo dependen del contenido de materia orgánica y de otros factores. Ésta sirve como fuente de energía y alimento para los microorganismos. Los microorganismos del suelo van transformando la materia orgánica en diferentes grupos húmicos, de los cuales unos se descomponen rápidamente y así se incorporan a la planta; mientras que otros sufren este proceso lentamente y son asimilados por la planta en períodos más prolongados. De ahí el carácter residual de la cachaza (Zedillo, 1986).

El Instituto de Investigaciones Azucareras de Taiwan registra los valores de la composición química de la cachaza, corroborándose que contiene una gran cantidad de materia orgánica, así como de nutrimentos para las plantas, como se mostro en el CUADRO 3.1.

Otros trabajos tanto en Cuba como en otras partes del mundo han llegado a las mismas conclusiones (ICIDCA, 1988).

En la India gran parte de los compuestos químicos utilizados para la fertilización son importados, por lo que es de particular interés el estudio de este residuo azucarero para su utilización con este fin. En México se considera un afluente ya que se maneja en forma diluida (SRII, 1976; Leal, 1985). Para manejar la cachaza en forma diluida, las tortas formadas en los filtros rotatorios se desprenden mediante la aplicación de agua a presión. Una vez diluida se envía al efluente general de la planta. Por otra parte, cuando se maneja la cachaza en forma sólida, se desprende de los filtros mediante una laminilla.

En México la cachaza se utiliza únicamente como fertilizante ya sea en forma sólida, tal como se obtiene de los filtros, ó enviándose a los canales de riego de los campos cañeros en forma diluida.

#### **3.1.4. RESIDUOS AGRICOLAS**

Los residuos agrícolas del cultivo de la caña de azúcar son las hojas de la planta, la paja y el cogollo. Lo que se hace comúnmente en México es dejar estos residuos sobre el suelo donde se cultivó la caña; algunas veces éstos se queman y las cenizas se dejan en el suelo (Hurtubia, 1986). Se ha visto que esta práctica no daña los suelos, aunque tampoco se ha demostrado que los mejore.

Se han realizado algunos trabajos de investigación sobre la posible utilización de estos residuos, y se ha encontrado que pueden emplearse como complemento alimenticio, solamente después de ser

sometidos a un tratamiento químico (hidrólisis básica), para que sean más fácilmente digeribles (GEPLACEA, 1987). Sin embargo, se ha observado que animales, como el ganado vacuno y el bovino ingieren estos residuos sin que hayan recibido tratamiento alguno y no les causa daño (Hurrubía, 1986).

### 3.2 IMPACTO AMBIENTAL DE LOS RESIDUOS SOLIDOS

Toda actividad humana produce un impacto sobre el ambiente, la operación de los ingenios azucareros no es la excepción. El tamaño de estas empresas, la interacción que tienen sus diferentes procesos con el medio y el área sobre la que tienen influencia física hacen que sus efectos sobre el ambiente sean muchos y de magnitud considerable.

Esto es particularmente cierto cuando se trata de la industria azucarera en México, que es la que ocupa el segundo lugar como contaminante en este país, después de PEMEX.

Para la evaluación del impacto ambiental que generan los residuos sólidos (bagazo, bagacillo y cachaza) se deben analizar los principales parámetros ambientales que se ven afectados por éstos.

Es importante hacer una evaluación cualitativa y posteriormente cuantitativa del impacto ambiental provocado en los medios acuático y terrestre ya que hasta ahora no se han hecho estudios al respecto.

#### 3.2.1. CACHAZA

La cachaza aporta gran cantidad de sólidos sedimentables al medio acuático cuando se envía a los cuerpos de agua causando un efecto negativo en éstos, ya que disminuye notablemente el oxígeno disponible que requieren la mayoría de los organismos vivos de este hábitat y finalmente, provoca el azolve de los ríos, lagos y lagunas.

Por otra parte, puede llegar a alterar considerablemente la relación C/N de los suelos, cuando se dispone directamente sobre ellos sin control alguno, debido a su alto contenido de nitrógeno (GEPLACEA, 1988).

Al realizar una visita a un ingenio azucarero en el estado de Veracruz, se observaron acumulaciones notables de cachaza en terrenos cercanos a los ingenios, que no estaban dedicados al cultivo. Estos terrenos no tenían uso productivo, sino que estaban completamente desperdiciados, inundados por este residuo.

No se han registrado problemas serios de contaminación, pero se sabe que cuando la cachaza se acumula en grandes cantidades puede sufrir, paulatinamente, el proceso de autocombustión, provocado por microorganismos que se encuentren presentes.

#### 3.2.2. BAGAZO

Cuando se deposita el bagazo en los cuerpos de agua, se encuentra como materia flotante provocando una demanda bioquímica de oxígeno muy alta (García, 1984).

Si se agrega el bagazo en suelos, sin cuidados, lo que puede suceder es que se introduzca una gran cantidad de materia orgánica provocan-

do un desequilibrio en las fases de los mismos .

También existe la posibilidad de combustión provocada por su descomposición, al igual que en el caso de la cachaza.

Debe hacerse notar que la acumulación de bagazo en el suelo impide la posibilidad de uso de ese terreno. En una visita a un ingenio azucarero, en el estado de Veracruz, se observaron acumulaciones de bagazo dispersas en terrenos aledaños a éste. Estos terrenos se encontraban en estado de total descuido y aparentemente no tenían uso definido.

### 3.3. NORMALIZACION

En esta parte se presenta el marco Jurídico al que debe sujetarse, en materia de protección ambiental, la actividad azucarera. Con base en este marco se evalúan las instalaciones existentes para el control de la contaminación y se proponen las medidas de protección ambiental que deben tomarse en los ingenios azucareros.

#### 3.3.1. MARCO JURIDICO

Considerando que el impacto ambiental ocasionado por los residuos sólidos es sobre el agua y el suelo, es necesario establecer el marco jurídico que regula, por un lado, el manejo del agua, incluyendo su contaminación; por otro, el uso del suelo y su posible alteración (Azúcar, S.A., 1985).

El marco jurídico en el que se basa el manejo de los recursos hidráulicos y del suelo en México está definido en la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos que, en su artículo 27 determina:

*"... La Nación tendrá en todo tiempo el derecho a imponer a la propiedad privada las modalidades que dicte el interés público, así como el de regular el aprovechamiento de los elementos naturales susceptibles de apropiación, para hacer una distribución equitativa de la riqueza pública y para cuidar de su conservación..."*

Se han derivado a partir de las disposiciones constitucionales una serie de leyes, reglamentarias, que han constituido, en su tiempo, la base jurídica para el manejo de los recursos naturales. En 1971 se expidió la Ley Federal para Prevenir y Controlar la Contaminación Ambiental, la cual fue abrogada por la Ley Federal de Protección al Ambiente expedida el 11 de enero de 1982. Esta ley a su vez se reformó mediante el decreto expedido el 1 de julio de 1984.

La Ley Federal de Aguas y el Reglamento para la Prevención y Control de la Contaminación de Aguas son una base sólida para la regulación efectiva de su uso, definiéndose claramente la responsabilidad de los contaminadores, las normas que deben cumplir y las sanciones de que son objeto por la violación de las mismas.

Los aspectos de mayor relevancia que contiene el Reglamento con relación a la industria azucarera son:

a) El que se refiere a cinco parámetros de calidad de agua y los valores máximos tolerados que deberán cumplir las descargas residuales que no sean arrojadas en el alcantarillado de las poblaciones.

Estos cinco parámetros y sus valores máximos tolerados se presentan en el CUADRO 3.2.

CUADRO 3.3:  
PARÁMETROS DE  
CALIDAD DEL  
AGUA.

SÓLIDOS SEDIMENTABLE	1.0 mL/L
GRASAS Y ACEITES	70.0 mL/L
MATERIA FLOTANTE	NINGUNA QUE PUEDA SER RETENIDA POR MALLA DE 3 MM DE CLARO LIBRE CUADRADO
TEMPERATURA	35° C
pH	4.5-10

b) El que se refiere a la determinación y cumplimiento de las condiciones particulares de las descargas de agua residual, de acuerdo con la Secretaría de Desarrollo Urbano y Ecología.

En materia de suelos la Ley Federal de Protección al Ambiente contempla, en su artículo 34: "...Queda prohibido descargar, depositar o infiltrar contaminantes en los suelos sin el cumplimiento de las normas reglamentarias y los lineamientos técnicos que para tal efecto se expidan."

La Secretaría de Desarrollo Urbano y Ecología, establecerá las normas a que deba sujetarse y en su caso autorizará el funcionamiento de los sistemas de recolección, almacenamiento, transporte, alejamiento, uso, reuso, tratamiento, y disposición final de los residuos sólidos, líquidos o gaseosos...

Es necesario hacer notar que no se ha expedido algún reglamento o norma técnica reglamentaria que legisle las condiciones en que deba llevarse a cabo la disposición de los residuos sobre el suelo por lo que no es posible establecer los puntos que serían de particular interés para la industria azucarera.

### 3.3.2. PROPOSICIÓN DE MEDIDAS PARA LA PROTECCIÓN AMBIENTAL

SEDUE a recomendado algunas medidas para proteger el ambiente de las emisiones de contaminantes emitidas por las actividades azucareras.

Estas prioridades se basan en el manejo óptimo de los subproductos contaminantes, en la disposición y tratamiento más económico. Asimismo, se considera la reutilización de los residuos, particularmente debido a que tienen un alto contenido de materia orgánica que los hace susceptibles de ser usados y/o transformados.

a) Descargas de aguas residuales. La manera más eficaz para controlar la contaminación originada por la descarga de aguas residuales debe iniciarse tratando de ejercer un mayor control interno de los procesos de producción, e incrementar el número de subproductos recuperados, con el fin de reducir los volúmenes descargados y las masas de contaminantes generados. Para el caso de la cachaza se recomienda manejarla en forma sólida, tal como sale de los filtros de vacío y distribuirla a los campos cañeros, de esta manera se elimina el efecto tan grande que produce en los cuerpos de agua. Por otra parte si se maneja en forma diluida entonces es necesario mandarla a riego de los campos cañeros (SEDUE, 1986).

El afluente que arrastra la cachaza por mucho tiempo no fue considerado como subproducto sino como un agente de contaminación, pero ahora constituye una fuente de agua y de nutrimentos para el riego de la caña, que al mismo tiempo de beneficiar el cultivo deja de dañar al medio.

Se deberá recolectar el bagazo excedente, al que no se le haya dado algún uso, y enviarse para su utilización en relleno sanitario.

### 3.4. ALTERNATIVAS DE SOLUCION

Los principales residuos sólidos, generados en la operación del ingenio, por su volumen y su importancia comercial, son el bagazo, el bagacillo y la cachaza. En México se aprovechan estos residuos en forma muy limitada. Por esta razón se presentan a continuación alternativas de uso para éstos; algunas de ellas se encuentran en proceso de investigación.

#### 3.4.1. ALTERNATIVAS DE USO PARA EL BAGAZO

Se presentan a continuación en forma esquemática los usos para el bagazo, tanto potenciales como actuales:

- a. Fertilizante: compostaje con cachaza
- b. Alimento animal
- c. Carbón activado
- d. Producción de furfural
- e. Biogás
- f. Productos aglomerados
- g. Combustible
- h. Fabricación de pulpa y papel

##### a. Fertilizante: compostaje con cachaza

Este producto sería empleado como un mejorador de suelos y/o fertilizante mezclado con otros productos. La descripción se da más adelante.

##### b. Alimento animal

Como materia prima en la elaboración de alimento balanceado para ganado vacuno, sirve como aglutinante.

##### c. Obtención de carbón vegetal activado

El carbón activado vegetal es el material más utilizado como adsorbente (Gayol, 1968).

Es un material poroso, preparado por la carbonización y la activación de sustancias orgánicas, especialmente de origen biológico. Su actividad como agente en los procesos de adsorción depende de la naturaleza de la materia prima y del proceso de activación.

En la actualidad, se obtienen dos tipos de carbón vegetal activado: granular, para la adsorción de gases y vapores, y en polvo, para el blanqueo y decoloración de aceites, grasas, vinos, azúcar, glicerina, etc. En años recientes se ha comenzado a utilizar el primero, en las refinerías azucareras.

El carbón activado se obtiene de materiales vegetales de origen reciente; la selección de la materia prima depende, principalmente, de su contenido de ceniza y su capacidad para ofrecer un producto de calidad uniforme.

Para la elaboración de carbón activado se emplean diversas tecnologías que se pueden agrupar en dos categorías conocidas como de activación química y de activación física. Por ambas tecnologías se obtiene carbón activado en polvo o granular. El primero se emplea para el tratamiento de fases líquidas y el segundo para fases gaseosas.

#### d. Producción de furfural y derivados

El furfural es un aldehído derivado de los pentosanos que se encuentra en la celulosa en muchos tejidos de las plantas y constituye el principal elemento de los heterocíclicos llamados furanos, que se caracterizan por tener un anillo insaturado de cuatro átomos de carbono y uno de oxígeno.

Este compuesto químico es también llamado furfuraldehído, fural, 2-furfuraldehído o furool.

Entre sus principales características se destacan: se oscurece, con el tiempo, en contacto con el aire, es inflamable, volátil y de olor penetrante, es miscible con la mayoría de los solventes orgánicos comunes, pero muy poco con los hidrocarburos alifáticos saturados. Sus propiedades químicas lo hacen un producto de alta reactividad para la síntesis de compuestos orgánicos. Además, su estabilidad térmica en ausencia de oxígeno y su baja toxicidad lo convierten en una valiosa fuente de materia prima para la industria química.

- Por las características que presenta el furfural, tiene un gran número de aplicaciones en la industria y en la medida que se desarrollen nuevos productos competitivos será capaz de encontrar nuevos mercados.

La industria hidrolítica transforma el bagazo, residuo de la caña de azúcar, en diferentes productos químicos mediante un proceso de hidrólisis.

Entre los productos que se obtienen del bagazo, vía hidrólisis, se encuentra el furfural y la miel hidrolítica.

#### Furfural

El furfural es un producto de amplia utilización en el mundo con la característica de producirse sólo por vía de hidrólisis de residuos forestales y en particular del bagazo. Para producir furfural no es necesario desmedular, y el residuo lignocelulósico que se obtiene puede ser utilizado como combustible en el propio proceso. El furfural se utiliza como materia prima para la producción de alcohol

furfurílico y otros derivados. Se emplea como disolvente selectivo en la producción de grasas y aceites lubricantes.

También se utiliza para la producción de masillas anticorrosivas, hormigones, plásticos, herbicidas, insecticidas, fungicidas, fármacos, nylon 66, etc.

La producción mundial de furfural en 1981 fue aproximadamente de 2 MT; Estados Unidos de América produjo cerca del 50% (GEPLACEA, 1988).

#### **Miel hidrolítica**

Mediante la hidrólisis ácida de residuos vegetales se obtiene una solución diluida de azúcares que se ha denominado miel hidrolítica. Ésta es una mezcla de monosacáridos, cuya composición y concentración depende de las condiciones industriales de operación, principalmente xilosa y glucosa, en una concentración de 2.5%.

La miel hidrolítica se puede utilizar como materia prima en procesos fermentativos, como son la producción de levadura forrajera y de etanol, o directamente ser suministrado en la alimentación del ganado. La URSS y Bulgaria han desarrollado procesos para la producción de miel hidrolítica a partir de otros residuos, donde producen etanol y levaduras para consumo interno.

La conveniencia de la producción de las mieles depende de la disponibilidad y precios del bagazo y el combustible y de la utilización de las mieles finales. Los países donde existe disponibilidad de desechos agrícolas y escasez de carbohidratos han utilizado este producto.

#### **e. Biogás**

El biogás es una mezcla de gases cuyos principales componentes son el metano y el bióxido de carbono. Se produce como resultado de la fermentación de la materia orgánica, en ausencia de aire, por la acción de un grupo de microorganismos.

En la naturaleza, existe una gran variedad de residuos orgánicos a partir de los cuales puede obtenerse biogás.

La composición del biogás depende del tipo de desecho utilizado y las condiciones en que se procesa. Su composición promedio es la siguiente:

El metano es un gas combustible, incoloro e inodoro, cuya combustión produce una flama azul y productos no contaminantes. Es el principal constituyente del gas natural, pues más del 90% de este combustible es metano (Hernández, 1988).

Como ya se dijo anteriormente, el biogás se produce mediante el proceso de fermentación de la materia orgánica en ausencia de aire,

es decir, en condiciones anaeróbicas, quedando como residuo del proceso un lodo que es posible usar como mejorador de suelo (ICIDCA, 1988). En la práctica, los desechos mezclados con agua se introducen en un digestor, donde se realiza el proceso de generación de biogás. La fermentación anaerobia de la materia orgánica se realiza por la acción de diversas familias de bacterias. Usualmente se consideran dos etapas de dicho proceso: 1) formación de ácidos y 2) formación de gases.

CUADRO 3.3 :  
COMPOSICIÓN  
PROMEDIO DE  
BIOGÁS.

COMPONENTES	%
METANO	51-70
BIOXIDO DE CARBONO	27-45
HIDROGENO	1-10
NITROGENO	0.5-3
AC. SULFIHIDRICO	0.1

En la primera etapa la materia prima es atacada por las bacterias formadoras de ácidos, las que convierten los desechos en compuestos más simples, como los ácidos acético, butírico y propiónico. En la segunda etapa, los ácidos, formados en la primera, son convertidos en metano y bióxido de carbono por la acción de otro grupo de bacterias.

El proceso se desarrolla en un amplio rango de temperaturas, desde 15° hasta 60° C. Sin embargo, para que las bacterias formadoras de metano trabajen en forma óptima, se requiere mantenerlas a temperaturas entre 30° y 60° C, de acuerdo con el tipo de bacterias que se adapten y desarrollen (PNUMA, 1986; Hernández, 1988; ICIDCA, 1988).

Se puede llegar a obtener hasta 17 volúmenes de biogás por volumen de residual tratado.

Es importante mencionar que, mediante la digestión anaeróbica, las vinazas pueden reducir en 75% su carga contaminante.

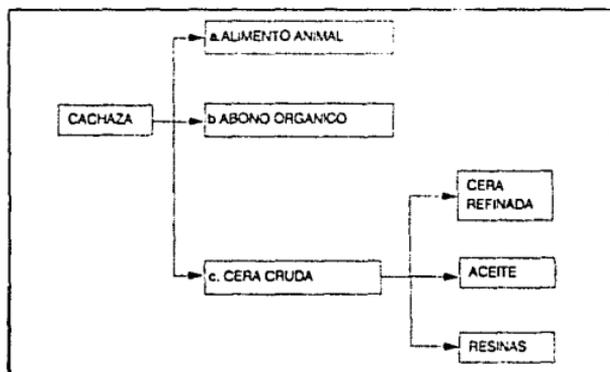
- f. Productos aglomerados
- g. Combustible
- h. Fabricación de pulpa y papel

Estas tres opciones ya han sido desarrolladas anteriormente ya que corresponden al uso actual del bagazo en México; en el capítulo 4 se discutirán más ampliamente.

### 3.4.2. ALTERNATIVAS DE USO PARA LA CACHAZA

En la FIGURA 3.1 se presentan en forma esquemática, las posibles alternativas de uso para la cachaza. En la actualidad se está realizando investigación relacionada con algunos de los usos que aquí se proponen.

FIGURA 3.1:  
ALTERNATIVAS DE  
USO PARA LA  
CACHAZA.



#### a. Alimento animal

En la práctica la utilización de la cachaza en la alimentación de ganado aún no ha proporcionado resultados satisfactorios de rendimiento de carne.

En trabajos de investigación realizados en Cuba los azúcares incluidos a la dieta de aves fueron sustituidos parcial o totalmente por cachaza dando resultados no satisfactorios para niveles de sustitución superiores a 37.5 y 50%, lo que provocó bajos rendimientos y un incremento en la mortalidad. Sin embargo, para niveles bajos, en que se sustituyeron los azúcares en 1.5% se obtuvieron mejores resultados.

Por otro lado, se han registrado resultados respecto al empleo de la cachaza como fuente de grasas en dietas avícolas, utilizando el aceite

recuperado de la cachaza. Sin embargo, la producción de aceite de cachaza está limitada por la producción y refinación de la cera, ya que ésta se obtiene como un subproducto.

Actualmente se ha incrementado la utilización de cachaza con este fin ya sea directamente en forma fresca, o mezclada con miel u otros productos.

En avicultura se investigan fuentes de alimentación a partir de subproductos, por ejemplo:

Velasco (1987) realizó un experimento para observar el comportamiento productivo de las gallinas ponedoras, de 18 semanas de edad, cuando se incluía en la dieta 0, 5, 10 y 15% de cachaza. Encontró que al utilizar los porcentajes bajos no se alteraba la salud de las aves, pero cuando se les administraba este alimento en las concentraciones más altas los resultados fueron desfavorables. Por lo que este uso debe ser cuidadoso y probablemente restringido.

#### b. Abono orgánico

una alternativa interesante de aprovechamiento de la cachaza es la fabricación de abono orgánico, que se puede preparar mediante la adición de cantidades proporcionales de bagazo, y se considera también la posibilidad de agregar las vinazas generadas en la planta de alcohol. En la FIGURA 3.2 se muestra el esquema de este proceso. Un beneficio adicional al del control de la contaminación es el devolver a los suelos cañeros los elementos nutritivos que tanto necesitan, cerrando de esta manera el proceso natural de reciclaje de

FIGURA 3.2:  
PROCESO DE  
ELABORACION  
DE ABONO  
ORGANICO.



los nutrimentos.

La cachaza se encuentra en las tolvas y se transporta mediante camiones de volteo al lugar donde se localiza la planta de manufactura del abono. El bagazo es también llevado por cargadores a camiones de volteo que lo trasladarán a la planta deseada; por otra parte, se requiere enfriar las vinazas antes de llevarlas mediante camiones cisterna a la fábrica. Posteriormente se pueden incorporar los residuos manualmente o mediante máquinas. Es conveniente agregar nutrimentos químicos que no estén presentes en estos residuos. Finalmente se efectúa un proceso de composteo.

#### c. Cera cruda

Durante el proceso de molienda de la caña, una parte de la cera contenida en la misma, queda adherida o mezclada con el bagazo y otra parte, aproximadamente el 40%, queda en el jugo, de donde se extrae en la etapa de clarificación y finalmente pasa a formar parte de la cachaza. La cera de la caña se encuentra cerca de los nódulos del tallo, en la cutícula. Constituye 0.1% del peso de la planta. El contenido de cera cruda en la cachaza varía considerablemente, dependiendo de diversos factores entre los que se puede mencionar la variedad de la caña (ICIDCA, 1985). Se han encontrado una serie de problemas para obtener la cera de la cachaza. El método adecuado resultó ser la extracción con disolventes.

La cera cruda se somete a un proceso de refinación, el cual produce tres fracciones: cera dura, aceite y resina. Se han dado diferentes usos a estos productos (ICIDCA, 1985; GEPIACIA, 1981).

Sin embargo, fue hasta 1916 que se llevó a cabo la primera producción industrial de cera en África del Sur. Esta planta funcionó durante 10 años. En la misma época se produjeron también pequeñas cantidades de cera de caña de azúcar en Java (ICIDCA, 1985).

Durante la Segunda Guerra Mundial se inició la producción de cera refinada a partir de caña en Australia en una planta que tenía una capacidad pequeña, de aproximadamente 30 ton de cera refinada al año (ICIDCA, 1985).

En el período de 1970 a 1980, países como Filipinas, la India, Taiwan, etc., instalaron pequeñas plantas piloto para la refinación y extracción de la cera de caña. Cuba ha refinado cera cruda de caña en forma experimental, en una planta piloto, de la cual se obtenía cera refinada, aceite y resina (ICIDCA, 1985).

Actualmente no se tiene información sobre la producción industrial de cera de caña.

#### Cera cruda

El uso principal que se da a la cera cruda en la industria es en la

fabricación de grasas y fluidos anticorrosivos. (ICIDCA, 1985)

#### Cera dura.

El tratamiento que se le aplique a la cera de caña (balnqueo, refinación, o alguna modificación química) va a depender de la aplicación destinada a ésta.

En general la cera refinada representa una materia prima de alto valor comercial y con posibilidades de explotación. Las experiencias realizadas en Cuba corroboran la posibilidad de introducir la cera de caña en la industria en sustitución de emulsiones y ceras sintéticas y vegetales importadas (ICIDCA, 1985).

La cera refinada se emplea en betunes, pulimentos para pisos, cosméticos, tintas de impresión, tintas para papel carbón, emulsiones para recubrimientos de frutas, vegetales y quesos, brillantador de tableras, medicamentos de acción prolongada, emulsiones impermeabilizantes en tableros de partículas y en tratamientos textiles, pegamentos de fusión en caliente, desmoldeo de plásticos, fundición de precisión y como plastificante en neumáticos.

#### Grasas y resinas

La grasa o aceite obtenida en el proceso de refinación de cera cruda tiene un color verde oscuro causado por los colorantes presentes, olor y sabor característicos y contiene un bajo porcentaje de glicéridos en comparación con otros aceites vegetales, pero un contenido de fitoesteroles más alto (ICIDCA, 1985).

El aceite se utiliza para la obtención de fitoesteroles, de antiestresantes en la fabricación de polvos extintores, en la elaboración de grasas anticorrosivas, como plastificante en neumáticos, en barnices especiales y en la industria farmacéutica para ungüentos cutáneos.

La ventaja principal de los aceites se debe a que son una fuente importante de grasas para la dieta de la masa avícola del país. Durante muchos años se han realizado numerosas experiencias que han llevado a conclusiones favorables sobre el uso del aceite de cachaza como pienso avícola; se ha estudiado incluso el efecto de los fitoesteroles presentes en el aceite, no observándose alteración ninguna en la salud de las aves que lo ingirieron.

Por otra parte, los fitoesteroles presentes en el aceite (estigmasterol, sitosterol y campesterol) constituyen una importante materia prima para la obtención de progesterona y de otras hormonas de gran valor (ICIDCA, 1985).

A partir de fitoesteroles se pueden producir:

- Anticonceptivos
- Hormonas sexuales
- Diuréticos
- Corticosteroides.

El uso de la resina es más restringido, se emplea como aditivo y plastificante en neumáticos

Es necesario que sean apoyadas las investigaciones técnicas relacionadas con la posible utilización de los diferentes subproductos para poder encontrar los usos más adecuados.

Por otra parte, para que la comercialización de los diferentes productos tenga éxito, es necesario promover su aceptación en el mercado.



---

## 4. DISCUSION Y CONCLUSIONES

---

La tendencia que existe actualmente para lograr el aprovechamiento de los residuos de la industria azucarera va en aumento

principalmente en América Latina y el Caribe, no sólo porque minimiza los problemas de contaminación ambiental sino también para mejorar el aspecto económico de la industria azucarera, al dar valor agregado a los subproductos y residuos.

El convertir los residuos en productos utilizables está propiciando una industrialización importante en los países productores de azúcar.

Debido a las condiciones actuales que prevalecen en América Latina, los usos finales más importantes que se dan a estos residuos son en la industria alimentaria y como fuente de energía.

### 4.1. BAGAZO, BAGACILLO Y RESIDUOS AGRICOLAS

Se tratarán bajo el mismo rubro estos residuos, ya que los usos que se dan a éstos son muy semejantes, por lo cual resulta conveniente discutirlos conjuntamente.

Como se mencionó en el capítulo 3, se han propuesto 8 diferentes usos para estos residuos.

#### 4.1.1. Alimentación animal

Una de las alternativas más factibles para estos residuos es su utilización como suplemento en la elaboración de alimento animal, principalmente en épocas de emergencia, por ejemplo, durante el estío (PNUMA, 1985).

Todos los residuos fibrosos (bagazo, bagacillo, cogollos y hojas) son difíciles de digerir, además tienen un bajo contenido de proteínas y fósforo; por lo tanto para lograr la utilización óptima de estos residuos en los sistemas de alimentación es fundamental darles un tratamiento previo para que sean digeridos más fácilmente y mezclarlos con componentes que mejoren su valor nutricional, como se detalla a continuación:

#### a) Incremento en la digestibilidad.

Se han probado diferentes tratamientos para que estos residuos se puedan digerir más fácilmente. Con sosa cáustica. Este tratamiento es muy efectivo, pero a escala comercial es de alto costo.

Se han realizado tratamientos mediante vapor a presión en lugares como Mauricio, la India, etc., obteniéndose resultados óptimos a una temperatura de 170° C y una presión 7.9 Kg/cm<sup>2</sup> por un período aproximado de 15 minutos. Este tratamiento mejora la digestibilidad de un 20 a un 60%.

No es recomendable, ni viable, la combinación de tratamientos por cuestiones económicas.

b) Complemento de Resiúos.

Es necesario complementar los residuos con otros componentes para optimizar su uso como alimento, entre los cuales se pueden mencionar:

- Urea, la cual provee algunos minerales.
- Arroz o salvado de trigo, harinas de pescado o de soya etc.
- Hojas de algunos árboles, entre ellos leguminosas; forrajes y pastos.
- Melaza.

Es primordial promover la investigación técnica sobre los tratamientos a los residuos lignocelulósicos con vapor, lo que permitiría definir las condiciones óptimas de operación: temperatura, presión, tiempo, equipos, etc. Este tipo de trabajos de investigación son indispensables para poder llevar a cabo el proceso a nivel industrial.

Los cogollos y hojas son generalmente suministrados al ganado como forraje fresco, ensilado y enriquecido de distintas formas, al igual que el bagazo y el bagacillo; sin embargo, existe el inconveniente de la recolección y el acarreo de los residuos de cosecha ocasionan un gasto relativamente alto.

El uso del bagazo en la fabricación de alimento de ganado es una práctica exitosa. Esto se pone de manifiesto en el ingenio de Zacatepec, México, que vende a los engordadores locales de ganado y aves una mezcla de bagazo, melaza y urea llamada Zacamel.

En general, los subproductos de la industria azucarera ofrecen ventajas económicas cuando se usan para la producción de carne y leche en los trópicos, debido a su bajo costo y a su disponibilidad en el estío.

Se puede producir leche más barata alimentando vacas criollas con subproductos de la caña de azúcar, que utilizando concentrados y forrajes para sustentar vacas de raza.

Entre las ventajas proporcionadas en este rubro están el con una cantidad suficiente de este tipo de residuos, que se conozca su composición, que las tecnologías aplicadas para la elaboración de alimento sean sencillas, y que los productos se puedan utilizar cerca del lugar de producción.

Es importante mencionar aquí, que en algunos países se siembra la caña de azúcar con el único fin de elaborar alimento animal. Cuando se analizan las posibilidades existentes, se pone de manifiesto la potencialidad aún no aprovechada.

#### 4.1.2. Biogás

El biogás es una fuente de energía que puede usarse para cocinar, iluminar, operar maquinarias agrícolas, bombear agua generando calor y energía eléctrica (GEPIACEA, 1987).

China cuenta con más de 80 millones de digestores además existen cerca de 80 M en la India, así como en otros países de Asia (PNUMA, 1985).

Se reconoce al biogás como el mayor contribuyente para satisfacer la demanda mundial de energía. Se ha calculado que en Europa el biogás obtenido de residuos puede sustituir hasta el 3% de las importaciones de combustible.

En México no existe hasta el momento producción de biogás a partir de desechos cañeros, pero sí se utilizan otro tipo de residuos, por ejemplo, los madereros.

Es posible procesar además de los residuos agrícolas, desechos animales, o combinaciones de éstos. De esta manera, además de obtener energía se logra reincorporar al suelo los elementos que el propio cultivo sigue tomando para su desarrollo, como se describe más adelante.

#### 4.1.3. Furfural

En los últimos años la demanda mundial de furfural y de sus derivados se ha deprimido debido a una reducción de la actividad de las industrias pesadas.

El uso principal del alcohol furfurílico, que es un derivado del furfural, como aglutinante en las fundidoras ha disminuido, así también el uso del furfural como disolvente en la producción de aceites lubricantes. El furfural se puede obtener actualmente en la República Dominicana, la República Popular de China, la India, Filipinas y Yugoslavia.

La producción mundial de furfural fue estimada aproximadamente en 204 MT en 1986, el 75% del total se usó para producir alcohol furfurílico. Estados Unidos de América sigue siendo uno de los principales productores de furfural, con una capacidad de planta de 60 MT toneladas anuales; aunque no todo el furfural producido se obtiene a partir del hago de la caña.

Los principales mercados para el furfural y sus derivados, a nivel mundial, se encuentran en Europa, Japón y los Estados Unidos de América.

A principio de la década de los ochenta se manejó la posibilidad de construir nuevas plantas para la producción de furfural ya que se sabía que tenía un gran potencial futuro en los países en vías de desarrollo. En ese tiempo se proyectaron plantas en Bolivia, Colom-

bia, Ecuador, Venezuela, Cuba, Puerto Rico, la India, Paquistán, Costa de Marfil y Zambia. Sin embargo, no se construyeron la mayoría de las plantas que se habían planeado originalmente, y los países que habían logrado construirlas se vieron obligados a cerrarlas por motivos económicos. En México se tiene una planta para producir furfural con una capacidad de 18 MT/año que se encuentra fuera de operación, debido a que se requiere convertir ésta en una que opere al 50% de la capacidad anterior. También existe una planta de alcohol furfurílico que se encuentra cerrada.

En la actualidad, la capacidad instalada para la producción de furfural rebasa la demanda existente.

No parece haber gran potencial para que los países en vías de desarrollo exporten furfural o sus derivados, dado que el mercado es muy limitado y los posibles compradores importantes tienen contratos celebrados en Estados Unidos de América u otros países con grandes producciones de furfural.

#### 4.1.4. Tableros de bagazo

El proceso de fabricación de tableros utilizando como materia prima el bagazo requiere mayores refinamientos que aquél que utiliza partículas de madera, debido a que el bagazo no fluye con tanta facilidad durante el proceso de producción porque es volutinoso y de difícil manejo y almacenamiento. Asimismo, dado que sufre descomposición química al ser almacenado, requiere de cuidados especiales durante el proceso de producción; es fundamental eliminar el azúcar del bagazo y desmedularlo correctamente. El exceso de médula absorbería mayor cantidad de resina.

El comercio mundial de tableros de bagazo es escaso o nulo, debido a su deficiente calidad y elevado costo de producción que limita sus posibilidades de competir. Un problema grave ha sido la incapacidad para preparar correctamente el bagazo antes de la producción. Cuando el bagazo no se desmedula adecuadamente, se utilizan grandes cantidades de adhesivos y resinas en el proceso de fabricación de tableros, lo que tiene como resultado que estos últimos estén formados predominantemente por resinas. Si queda un residuo importante de azúcar y no se adiciona un biocida, el tablero atraerá a los insectos. Hasta ahora, debido a las bajas normas de calidad del producto, muchos comerciantes de tableros se han mostrado poco dispuestos a comprar los de bagazo. En Tailandia existe una planta de tableros de fibra de mediana densidad, y está teniendo éxito en sus esfuerzos por desarrollar mercados de exportación.

En América Latina se han cerrado algunas fábricas, especialmente en Jamaica, Perú, México, Trinidad y Tobago.

La mayoría de los proveedores afirman que el desarrollo más importante de tableros de bagazo se está realizando en Asia, abriéndose

nuevas plantas en China, la India, Paquistán y Tailandia. En este momento, el potencial de exportación de tableros de bagazo de los países en desarrollo es muy limitado. No se ha encontrado, hasta la fecha, posibilidad alguna de comercio exterior para estos tableros.

Por lo tanto, para asegurar el éxito y conquistar el mercado de exportación, es necesario desarrollar previamente y con efectividad el mercado interno. Al estimar el potencial de dicho mercado, debe evitarse caer en el error de suponer que una necesidad implica un mercado. En países como México, la necesidad habitacional a bajos costos y muebles baratos es evidente. Sin embargo, no se desarrollará la demanda si la población no cuenta con los recursos necesarios para la adquisición de estos bienes.

#### **4.1.5. Carbón activado**

La producción de carbón activado usando el bagazo como materia prima no ha pasado de la etapa de investigación, no existiendo a la fecha proceso industrial alguno para su producción.

En pocos países se realiza una producción comercializable de carbón activado. La India, Chile, Ceilán, Malasia, Perú y Brasil, entre otros, producen sólo pequeñas cantidades para abastecer el mercado interno. México produce carbón activado de aserrín en una planta con una capacidad de 5 MT ton/año.

#### **4.1.6. Combustible**

Debido a sus características, el bagazo resulta un combustible adecuado, éste ha constituido la principal fuente de energía de los ingenios y otras industrias aledañas; es por esto que se establece una competencia entre su uso para otros fines y su uso como combustible.

En este caso, la necesidad inmediata es la optimización de esta opción, ya que el funcionamiento de las calderas en los ingenios de México es inadecuado. Si se optimizara el funcionamiento de las calderas, haciendo que la combustión fuera más eficiente, entonces se lograría obtener un excedente de bagazo que podría aprovecharse para otros usos industriales y además se evitaría, en gran medida, la contaminación atmosférica provocada por los gases de escape (humo) y la emisión de cenizas volátiles. Económicamente se justifica el hacer las modificaciones pertinentes en las calderas para el mejor aprovechamiento térmico del bagazo.

#### 4.1.7. Fertilizante

La mayoría de los países incorporan al suelo los residuos agrícolas como abono verde. Después de la cosecha, las hojas y los cogollos se dejan descomponer lentamente en el campo y luego se incorporan al suelo con las labores de cultivo, lo que permite un pequeño aporte de humus. Para que los residuos de la cosecha sean convertidos en humus se requiere de la adición de nitrógeno, lo cual no siempre resulta económico. Por cada ton de residuos (base seca) que se incorpore al suelo se necesitarán 7 Kg de nitrógeno (ya sea, 34 Kg de sulfato de amonio, 21 Kg de nitrato de amonio ó 15 Kg de urea.) Esta adición es la que determina la economía del uso de los residuos como fertilizantes (PNUMA, 1985).

Después de llevarse a cabo la fermentación de residuos lignocelulósicos, para la obtención de biogás, queda como residuo un lodo que resulta un buen mejorador de suelos con alto valor fertilizante.

#### 4.1.8. Pulpa y papel

El primer requisito que se debe cumplir para que sea económicamente factible la producción de pulpa y papel a partir de bagazo es que se encuentre disponible una cantidad suficiente de este residuo, de tal manera que pueda operar una planta o fábrica a nivel comercial. Otra de las desventajas es que comercialmente se cuenta con la materia prima una vez al año, durante la zafra; y además es necesario procesar este material tan rápidamente como sea posible, ya que puede sufrir procesos de fermentación durante el tiempo en que se encuentre almacenado (Wells, 1981). Se encontró que existe un mercado potencial limitado para la pulpa y el papel de bagazo, bajo ciertas condiciones y para ciertos tipos de pulpa. Se cree que el consumo mundial de pulpa de bagazo es de aproximadamente 2.5 millones de ton/año, dato registrado en la Confederación de Pulperos de la TAPPI (Wells, op. cit.).

La pulpa se ha utilizado tradicionalmente en la fabricación de papel de escritura o impresión. Los países productores los consumen internamente, y se sabe que ningún país de América Latina ni del Caribe los ha exportado. Actualmente el interés de producir papel periódico a partir de bagazo ha aumentado, ya que la demanda ha crecido y los costos de producción son relativamente bajos, si se compara con el costo de producción a partir de celulosa de madera. Sin embargo, hasta el momento, no se produce papel con las características especiales que se requieren para este fin (GEPLICEA, 1988).

El costo actual de una fábrica de pulpa y papel está entre 250 y 315 millones de dólares americanos a precio corriente, y su construcción tarda de tres a cuatro años. Una planta de estas características tendrá

que producir 100 M ton de pulpa anualmente para que resulte competitiva en el mercado mundial. Sin embargo, si se pretende desarrollar un mercado local o para las regiones cercanas al ingenio, se podría construir una planta mucho más pequeña con equipos y maquinaria usada, procedente por ejemplo, de Estados Unidos de América, en caso de que fuera posible obtener el financiamiento correspondiente (Wells, op.cit.).

Se estima que la capacidad de producción de pulpa y papel aumentará considerablemente en la próxima década según proyecciones de la FAO. Se espera que la demanda mundial de papel aumente hasta alcanzar entre 246 y 255 MM ton métricas en 1995 (Hernández, 1988).

Existe un mercado potencial para pulpa de bagazo de alta blancura que pueda competir con las pulpas blanqueada de maderas duras (Hernández, op. cit.).

México cuenta ya con cuatro plantas productoras de pulpa y papel (García, 1986). A excepción de Kimberly-Clark de México y San Cristóbal de México; SAPPÍ Papeles finos, Ltd., en la República de Sudáfrica y la Corporación Azucarera de Taiwán, que ofrecen pulpa de bagazo para el mercado mundial; la producción restante es de consumo interno.

Las propiedades de la pulpa de bagazo blanqueada la hacen adecuada técnicamente como sustituto de las pulpas de maderas duras, ya que se refina fácilmente. Sin embargo, requiere un tratamiento especial para conservar sus propiedades, de aquí que la ventaja de cambiar a la pulpa de bagazo sea un ahorro considerable de energía y también un ahorro en el precio; a pesar de que la pulpa de bagazo sea de calidad ligeramente inferior.

No es probable que hubiese suficiente bagazo disponible para obtener un volumen sostenido de pulpa y consolidar así este producto en el mercado mundial. Por ello, en un futuro previsible, la pulpa de bagazo será de uso exclusivo del lugar donde se produzca.

En este momento, el mayor potencial de exportación para el papel de bagazo corresponde al de impresión y escritura, aunque se afirma que éste es reducido, así como el papel de embalaje, el sanitario y el facial.

Como ya se mencionó anteriormente, el factor limitante es la cantidad de bagazo disponible, lo que tiene como consecuencia una baja producción de pulpa y papel, de modo que el precio del papel de bagazo es muy elevado, lo que impide que pueda competir con los precios del mercado mundial, que son fijados por fábricas muy grandes de los Estados Unidos de América o de los países nórdicos (Wells, op. cit.).

La mayoría de las fábricas que producen pulpa y papel de bagazo, han tenido éxito solamente en la exportación de papel para escritura e impresión. Aunque durante varios años ha habido gran interés en desarrollar papel periódico de bagazo y se han realizado algunas exportaciones, ésto aún no se ha logrado en forma rentable ya que todavía falta resolver algunos problemas técnicos.

Se encontró que solamente es viable utilizar el bagazo como materia prima para la producción de pulpa y papel cuando la planta para su producción está situada en la proximidad del ingenio azucarero, y en muchos casos es conveniente que sea propiedad del mismo; lo que evita los gastos generados por el transporte.

Puesto que América Latina constituye una zona importante de importación de pulpa y papel, se recomienda que se desarrolle la producción de pulpa para atender al mercado regional.

Además el bagazo puede ser utilizado con más provecho en la producción de tableros como los de fibra de densidad media o para producir furfural.

## 4.2. CACHAZA

Como se mencionó en el capítulo anterior, las alternativas de uso para la cachaza se pueden incluir en tres rubros.

### 4.2.1. FERTILIZANTE

Los residuos agroindustriales constituyen una fuente de materia orgánica indispensable para el crecimiento y desarrollo de cultivos; esto se debe a que actúa como auxiliar en la fertilización del suelo y mejora en general sus propiedades físico-químicas, lo que permite contar con un adecuado ambiente edáfico.

Las aplicaciones de cachaza se pueden hacer en todo tipo de suelo utilizado para cultivo; la cantidad dependerá del material disponible, del tipo de suelo y de la finalidad que se persiga, por ejemplo, la cantidad será mayor si se propone mejorar el aspecto físico del suelo (textura y estructura) (Leal, 1985). Por otro lado, se debe garantizar que si la cachaza se maneja en forma diluida, se envíe a los canales de riego y no a los ríos o lagos en los cuales produciría daños irreparables.

El aprovechamiento de la cachaza como fertilizante en los campos cañeros es la mejor opción a corto plazo para México ya que ésta no requiere tratamiento alguno, se emplea directamente como se obtiene de los filtros de vacío en forma sólida.

Las desventajas para el uso de esta alternativa son el alto costo de su aplicación, debido a las cantidades que hay que utilizar y a los problemas de transporte.

La cantidad promedio óptima de cachaza como fertilizante es de 99 ton/ha en superficies en proceso de preparación para el cultivo (Alomá, 1976) y de 10 a 30 ton/ha en superficie cosechada (SEDUE, 1989).

En general se puede concluir que la aplicación correcta de cachaza a los campos cañeros produce algunos beneficios, principalmente:

- a) Por medio de su descomposición genera nutrimentos necesarios para el desarrollo de las plantas.
- b) Mejora la estructura del suelo, haciéndolo más estable.
- c) Ayuda a que exista una mejor aireación del suelo.
- d) Facilita una mejor retención de humedad del suelo.
- e) Mejora la capacidad amortiguadora del suelo.

Al darse este uso a la cachaza, se establece un reciclaje de materiales siendo ésta la forma más adecuada de optimizar los recursos y disminuir o eliminar los problemas de contaminación producidos.

Debe quedar claro que una cosa es la utilización de la cachaza como mejorador de suelos en campos de cultivo y otra la acumulación desmedida de ésta en espacios abiertos no destinados al cultivo.

Es por ésto que, más que implementar nuevas tecnologías, en este punto, es necesario optimizar el manejo que se da actualmente a la cachaza en México.

#### 4.2.2. ALIMENTO ANIMAL

Cuando la cachaza se emplea como sustituto de los azúcares incluidos en la dieta de las aves, los resultados que se obtienen son poco satisfactorios en el caso de que la sustitución sea mayor a 37.5%.

Sin embargo, para niveles inferiores al 1.5% se obtuvieron buenos resultados, ya que no hubo alteración en la salud de las aves y el índice de mortalidad decreció (Velasco, 1987).

Es conveniente continuar las investigaciones sobre los usos que se han dado a este producto con objeto de poder obtener conclusiones definitivas sobre su potencial nutricional.

La utilización de la cachaza como alimento en dietas avícolas es poco recomendable ya que la cantidad requerida es mínima y los resultados poco alentadores; cabe puntualizar que cuando se usan niveles bajos, la cachaza proporciona la energía mínima (grasas, proteínas, carbohidratos, etc.) necesarios para que las aves realicen sus funciones metabólicas básicas.

Con respecto a su utilización como alimento animal, se ha registrado como aditivo en las dietas para rumiantes mezclado con miel-urea y en otros piensos (PNUMA, 1985).

Gicabú es el nombre asignado a un alimento animal ampliamente utilizado y formulado básicamente con cachaza y que tiene la composición granulométrica siguiente:

En años recientes el uso del Gicabú se ha difundido ampliamente por los éxitos obtenidos en la alimentación animal.

Éste es destinado fundamentalmente a los rumiantes en épocas de seca ya que coinciden con el periodo de zafra, lo cual evita muchos problemas a los ganaderos.

Cuba ha realizado estudios con vacas lecheras y ha demostrado que el consumo de Gicabú puede sustituir el 15% de la materia seca en una dieta de producción lechera y entre 40 y 60% de una dieta de mantenimiento (GEPLACEA, 1985).

El Gicabú ha tenido una gran demanda sobre todo en periodos en los cuales no abundan los pastos y forrajes.

En México esta alternativa sería muy apropiada ya que los problemas enfrentados por los ganaderos en la época de seca son graves, además

la tecnología que se requiere para preparar Gicabú es muy simple; únicamente se mezclan los componentes.

#### **4.2.3. CERA CRUDA**

Las ceras duras vegetales y sintéticas pueden ser sustituidas en la mayor parte de sus usos por cera refinada de cachaza.

Hasta el momento no existe instalaciones para la producción industrial de cera de caña.

En Cuba hay una pequeña planta de refinación que cumple una función experimental produciendo una cantidad de cera refinada de aproximadamente 15 a 20 ton/año. En 1990 y 1991 deberá comenzar a producir una planta de cera refinada con capacidad de 500 ton/año.

Es interesante hacer notar que la parafina, así como las ceras sintéticas son derivadas del petróleo, y dada la escasez que se pronostica de este combustible por el agotamiento de los recursos naturales, las ceras vegetales deberán adquirir mayor importancia en el futuro.

Actualmente la investigación está dirigida a la extracción y refinación de cera, ya que las grasas y resinas resultantes representan una fuente importante de grasas en la dieta de la masa avícola de México.

### 4.3. CONCLUSION GENERAL

Existe poca información en todo el mundo referente al tratamiento, manejo, disposición y usos que se dan a los residuos de la industria de la caña de azúcar, en particular no hay información disponible respecto a lo que se hace por ejemplo, en Australia, o en los países de África donde se realiza este cultivo. Se dispone principalmente de información proveniente de América Latina y la India. La explicación a la falta de información puede radicar en los pocos recursos que se destinan a la investigación en los países del tercer mundo, que son los mayores productores de azúcar a partir de la caña.

Los países productores de caña de azúcar se están enfrentando ahora a la realidad de la industria azucarera: bajos precios en el mercado mundial, una demanda menor que la capacidad productiva instalada, reflejándose en altos costos de producción. Para resolver este problema se han planteado diversas soluciones, una de ellas es dar valor agregado a los subproductos y residuos del proceso de industrialización de la caña, a través de su transformación en productos necesarios para otras industrias y para el consumidor final.

Otro punto fundamental que ha impulsado la reutilización de los residuos y subproductos generados por esta industria es eliminar los problemas de contaminación causados por la disposición inadecuada de los mismos.

Después de analizar la información se puede concluir que es necesario tomar en cuenta diversos factores para proponer la utilización de los residuos con diferentes finalidades; como son la economía del proceso involucrado en la conversión de estos materiales, los mercados doméstico e internacional para los productos finales, la cantidad de materia prima disponible, la calidad del producto obtenido y la tecnología requerida para la transformación. Todo esto se refleja en la competitividad del producto.

Es muy importante promover la comercialización de los productos obtenidos a partir de los residuos de la industria azucarera ya que, aunque se plantean alternativas factibles tanto técnica como económicamente, las empresas suelen fracasar o no tener el éxito esperado debido a que el consumidor final desconoce las características de dichos productos. Un ejemplo de esto es el caso de la planta para la fabricación de composta de cachaza existente en el Ingenio Alvaro Obregón ubicado en el estado de Quintana Roo, la cual se encuentra actualmente fuera de operación.

Con base en estos criterios, se analizarán las diferentes propuestas que se indican en este trabajo. Se discutirán en orden las alternativas de uso para el bagazo, el bagacillo y la cachaza.

Es necesario considerar que solamente se cuenta con estos residuos una vez al año, durante la época de zafra y que a menudo deben

consumirse tan pronto como sea posible puesto que sufren procesos de descomposición que impiden que se puedan almacenar.

A la fecha se han encontrado siete usos posibles para el bagazo, cinco de los cuales también pueden darse al bagacillo; algunos ya se aplican y otros están en proceso de investigación.

Se utiliza como complemento de alimento para animales y a pesar de que su composición química hace que sea de difícil digestión, se puede mejorar esta característica mediante procesos físicos o químicos y ser de utilidad en épocas de emergencia como son la de estío; además es posible aumentar su valor nutricional. Sin embargo, todas las modificaciones elevan el costo de producción y por lo tanto el precio del producto final. Cabe mencionar que se da este uso actualmente al bagazo y se está realizando investigación en este rubro.

Su utilización para la obtención de biogás es muy prometedora, ya que se considera que éste tiene muchas posibilidades para satisfacer las demandas de energía. Sin embargo, esta utilización está en etapa preliminar, de investigación, pero se considera que su proceso de producción es de bajo costo.

Su utilización para la fabricación de furfural y algunos derivados como son el alcohol furfúrico resulta ventajosa, sin embargo, el mercado para estos productos es limitado y existe mucha competencia.

Algunas plantas productoras de estos compuestos han tenido que cerrarse por diversas razones.

Cuando se utilizan estos residuos para la fabricación de tableros, se obtienen productos de calidad inferior a los obtenidos a partir de maderas, debido a que los procesos de manufactura son complejos, requieren la eliminación del

azúcar y un desmedulado adecuado. Por lo que el costo de obtención de tableros de calidad comparable con los que se producen a partir de maderas resulta alto.

Sería necesario estudiar la factibilidad económica de la producción de carbón activado a partir del bagazo, aunque existe actualmente un mercado potencial para este producto en México. La mayor parte del bagazo que se genera en los ingenios en México se utiliza como combustible, ya sea dentro de los propios ingenios, o en industrias cercanas a éstos. Es un combustible muy económico, sin embargo, se sugiere realizar un estudio para que el proceso de combustión sea más eficiente. El bagazo puede someterse a un proceso de compostaje, mezclado con cachaza, y produce un buen fertilizante. Sin embargo, no se ha logrado comercializar este producto, ya que el comprador final prefiere utilizar los fertilizantes tradicionales.

La pulpa y papel de bagazo tienen un mercado doméstico e internacional potenciales muy grandes, sobre todo relacionados con papel de escritura e impresión. Los valores de inversión para una planta son muy altos, y es necesario fabricar productos de alta calidad para que sean competitivos.

A la fecha se han sugerido tres tipos de usos para la cachaza; en México los dos primeros se encuentran en etapa de investigación. El último es como mejorador de suelos, tanto en forma sólida como líquida; no requiere tratamientos previos, ni transportación.

Se ha propuesto su uso en la fabricación de ceras, y se encuentran trabajos de investigación relacionados con este tema en la literatura; sin embargo la cantidad de cera presente en la cachaza es muy pequeña.

La cachaza se utiliza como alimento animal, en países como Cuba, tanto directamente como combinado con otros componentes y se continúa realizando trabajos de investigación para mejorar esta posibilidad.

La cachaza no es un alimento completo, por lo que es necesario suministrarlo junto con otros productos, para que proporcione beneficios reales. Existen, sin embargo, dificultades para la reutilización de los subproductos y residuos de la industria de la caña de azúcar, entre ellos se puede mencionar que éstos a menudo se encuentran dispersos y/o son voluminosos, por lo que su recolección y transporte son difíciles; en ocasiones no se tiene la tecnología adecuada o la asesoría técnica necesaria, su uso resulta antieconómico y la comercialización de los productos finales es difícil.

En el caso en que se estén utilizando en cierta medida los residuos, lo que se necesita es optimizar el uso mejorando las tecnologías y agregando valor a los productos.

Con respecto al control de la contaminación debe considerarse que al industrializar el bagazo, la cachaza o cualquiera de estos residuos, los desechos de segunda generación deben ser dispuestos de forma correcta para no volver a crear un problema como el que trata de evitarse.

---

## APENDICE A

---

### SITUACION DE LA INDUSTRIA AZUCARERA EN MEXICO

En los últimos años la industria azucarera en México ha estado llena de múltiples problemas entre los que destacan una descapitalización acelerada dado que opera con precios de subsidio que se da a los consumidores pero que castiga los activos de la industria, otro problema es la falta de avance tecnológico, México al igual que la mayoría de los grandes productores de azúcar internacionales que trabajan en un sistema de cargas (batch) lo que motiva que existan considerables problemas no sólo en el desperdicio de materia prima sino también en el desarrollo de una economía de escala que necesariamente afecta a la estructura de precios de exportación haciendo muy cara la azúcar mexicana respecto a la del mercado internacional y en comparación con los sucedaneos del azúcar, como en el presente la producción empareja al consumo existe una tendencia de precios a la baja y que en conjunto hace círculo vicioso con la política de subsidios motivo por el cual desde 1988 se importa etanol y desde 1989 azúcar, para 1991 se espera importar un millón de toneladas del dulce.

Desde el año 1989 el gobierno federal ha implementado una política de venta de parastatales que afecta directamente a Azúcar S. A., el monopolio estatal del azúcar en México, ésta se ha visto en la necesidad de vender sus ingenios a particulares y de liquidarse como institución lo que ha traído un gran número de problemas entre la gente dedicada a esta industria, entre quien destaca el Sindicato de Trabajadores de la Industria Azucarera.

De entre todos los ingenios solamente los más grandes pudieron ser colocados entre particulares, los pequeños, muchos de los cuales todavía no pueden ser vendidos, son objeto de una gran polémica dado que el Sindicato y muchos ejidatarios desean ser los dueños pero desde el punto de vista comercial muy probablemente sean cerrados sin poder ser vendidos.

En la economía que el gobierno federal tiene pensada de aquí hasta el año de 1996 se va a favorecer la concentración de la industria en general y en particular la alimenticia para poder responder a los retos que plantea el acuerdo de libre comercio Canadá-Estados Unidos-México y esto se ha visto desde la venta misma de los ingenios los que son propiedad de Galletera Mexicana (GAMESA) que ahora es propiedad de la transnacional PEPSI Co., y de la General Foods, éstos necesariamente dada su integración vertical hacia adelante autoconsumirán el dulce. De esta manera con inversiones cuantiosas, automatización de las plantas y el despido masivo de los trabajadores no

altamente calificados logran la tan ansiada economía de escala que el gobierno requiere.

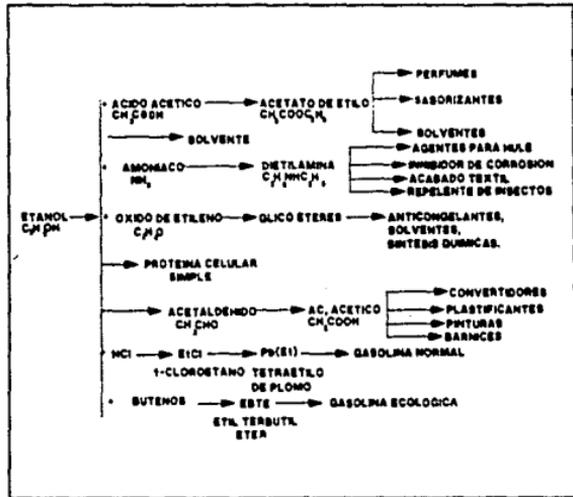
En cuanto a los medianos y pequeños ingenios su panorama es más bien sombrío dado que tendrán problemas para colocar su producto en el mercado nacional en vista de la concentración que ya se mencionó y tendrán dos caminos uno es la de cambiar sus métodos de producción, como los grandes, lo que originará, desde luego, despidos y con ésto más problemas con el sindicato, además de inversiones cuantiosas difíciles de obtener en un mercado financiero lleno de tiburones, donde el costo del dinero llega a ser del 17% y donde las diez principales industrias del país con problemas llegar al 15% de utilidad de operación lo que hace que la industria tenga sus días más negros desde la llegada de los españoles. El otro camino es cerrar la industria.

Si los medianos y pequeños ingenios se decidieran a quedarse como productores de azúcar muy probablemente deberían pensar en la ruta del etanol y del azúcar de exportación. El etanol tiene muchos usos (ver gráfica A.1), uno de los menos conocidos es como aumentador del octanaje de la gasolina en competencia directa con el metanol, el ETBE (etil terbutil-eter) es infinitamente mejor que el MTBE (metil terbutil-eter) que actualmente se importa para hacer la gasolina MAGMA SIM y que en un futuro (1993) se fabricara en el complejo Morelos de PEMEX, la gasolina MAGMA SIM se distingue por disminuir el impacto ambiental desfavorable con respecto a la NOVA que usa tetraetilo de plomo, si los pequeños y medianos aseguraran a PEMEX un abastecimiento seguro la planta de MTBE podría ser modificada sin ningún problema y le ahorrarían a PEMEX al menos unos 300 millones de dolares en la construcción de una planta de metanol que se necesitaría para operar la planta de MTBE dado que actualmente no existe capacidad nacional de metanol para alimentar a esta planta además de contribuir a mejorar el ambiente.

En el camino de lograr una estructura de costos favorable para la exportación de azúcar los pequeños, los medianos y hasta los ingenios integrados tendrán necesariamente que mejorar sus consumos de energía, actualmente el gas natural no puede ser quemado por orden federal y el combustoleo está llegando a precios internacionales si se añade a ésto el cierre de la refinería de Azcapotzalco con un desabasto generalizado, si se piensa que la Comisión Federal de Electricidad depende fuertemente del combustoleo no es difícil prever que cada vez se tenga que quemar más bagazo y hasta más cachaza para cogenerar la energía de operación de los ingenios sin embargo es claro que tendrá que ser en forma de gas y no como se hace actualmente en forma de fibra dado que el contaminante con menos impacto desfavorable es el que se genera a partir de gas porque puede ser tratado de muchas formas.

Otra de las posibles estrategias que deberían seguir los pequeños y medianos ingenios esta en la fabricación de químicos de aplicación industrial (Commodities) con base en tecnologías mixtas biotecnología-conventionales con ésto penetraría a uno de los nichos comerciales menos competidos y más atractivos de toda la economía nacional, volviéndose una agroindustria con fuertes nexos con muchas ramas productivas menos sensibles a los vaivenes con los que se ve sometida la industria alimenticia y de esta manera aseguraría su permanencia como consumidora de la caña de azúcar como materia principal pero sin que la azúcar sea su producto único.

FIGURA A.11  
USOS  
INDUSTRIALES  
DEL ETANOL





---

## 5. GLOSARIO

---

**Anillo de crecimiento:** Área anular de tejido meristemático situado en la base del entrenudo sobre la banda de primordios radiculares. Genera el crecimiento del entrenudo.

**Anillo ceroso:** Banda cubierta de cera que circunda al entrenudo inmediatamente abajo del nudo.

**Apice:** Punta.

**Banda de raíces:** Área comprendida entre la cicatriz de la vaina y el anillo de crecimiento que contiene varias hileras de primordios meristemáticos radiculares.

**Bagazo:** Residuo fibroso obtenido después de la molienda de la caña de azúcar.

**Batey:** Patio interno del Ingenio azucarero.

**Bráctea:** Cualquier órgano foliáceo situado en la proximidad de las flores y distintos a las hojas por su forma, tamaño, consistencia, color, etc.

**Cachaza:** Lodo obtenido de la precipitación de las impurezas del jugo de caña.

**Cariópside:** Fruto menospermo, seco e indehisciente, semejante a la nuez o al aguenio pero con el pericarpo delgado y soldado al tegumento seminal, fruto de las gramíneas.

**Carpelo:** Sea cada una de las hojas modificadas que componen el gineceo de las angiospermas.

**Cera:** Sustancia blanquecina que cubre en mayor o menor superficie algunos órganos de la caña.

**Cogollo o punta:** Parte superior de la caña que incluye su follaje.

**Cuello:** Región de la hoja donde se unen la vaina y el limbo.

**Fibra:** El material seco, insoluble en agua que contiene la caña.

**Glumela o glumilla:** En las gramíneas, cada una de las dos piezas escuamiformes enfrentadas, escariosas o herbáceas que rodean la flor. Cubierta córnea que protege los órganos florales.

**Guarapo:** Jugo que escurre de la caña cuando se muele en los ingenios. La mayor parte del azúcar contenido en la caña pasa al guarapo; una parte apreciable de sacarosa queda impregnada al bagazo en la molienda de la caña, la cual se pierde y no se aprovecha.

**Inflorescencia:** Conjunto de flores con arreglo diverso. Panículo abierto que contiene cientos de florecillas en la caña.

**Entrenudo:** Porción del tallo comprendido entre dos nudos consecutivos.

**Lígula:** Dicese así porque semeja una lengüecita. Llámese también lígula a un modo de ápndice, membranoso casi siempre, apertiginada hacia el interior del cuello, que se halla principalmente en las gramíneas en la línea que une la lámina y la vaina de sus hojas.

**Lóculo:** Cavidad de un órgano, generalmente, de un fruto.

**Médula:** Oquedad o células esponjosas del parénquima secas en el centro del tallo.

**Melazas:** Cuando una masa cocida se centrifuga, los cristales de azúcar se separan del licor madre. Este líquido se denomina melaza. La melaza final o verdadera es el líquido-residuo del que no puede sacarse más azúcar. Mielles incristalizables.

**Nudo:** Parte del tallo entre dos entrenudos. Zona de anastomosis de tejidos vasculares que le imparten dureza y en el que se sitúa la yema

*officinarium*: Especie botánica de la caña de azúcar a la que pertenecen las variedades nobles cuyo número cromosómico es  $2n = 80$ .

**Ovario súpero:** Cuando se encuentra por arriba de los demás verticilos de la flor.

**Panícula:** Inflorescencia compuesta, de tipo racemoso, en la que los ramitos van decreciendo de la base al ápice, por lo que toma aspecto piramidal. Es un racimo de racimos.

**Perianto:** Envoltura floral las más de las veces consta de cáliz y corola.

**Rizoma:** Porción del tallo horizontal- subterráneo.

**Sacarosa:** Sustancia química del azúcar que se encuentra en el jugo de la caña y de la remolacha azucarera.

*Saccharum*: Género botánico al que pertenece la caña de azúcar.

**Tachos:** Evaporadores en serie.

**Tálamo:** Porción axial en que se asientan los diversos verticilos de la flor.

**Tricoma:** Se da el nombre de tricoma a cualquier excrecencia epidérmica, sea de la forma que sea, que constituye a modo de un resalto en la superficie de los órganos vegetales. En la caña tienen la forma de pelos y se encuentran distribuidos a lo largo de toda la hoja.

---

**Yema:** Pequeño órgano situado en el nudo que tiene la potencialidad de dar origen a una nueva planta.

**Zafra:** Período de molienda de la caña de azúcar en un ingenio.



---

## 6. BIBLIOGRAFIA

---

- Agrawal, G.D. 1974. Possible utilization of sugar-cane bagasse. *Indian J. Environ. Hlth.* 16 2:159-167.
- Alberú, S. L. 1974. Evaluación de la cachaza de los Ingenios Azucareros. CONACYT, México.
- Alfaro, R. 1964. Cera de caña de azúcar. Primer Fórum Azucarero Nacional. La Habana Cuba.
- Alomá, J. 1965. Informe sobre la utilización de la cachaza en la costa norte de Oriente, en fase industrial.
- Anonymus. 1969. Obtención de carbón activado a partir de la celulolignina de la hidrólisis ácida del bagazo de caña de azúcar. ICIDCA (Instituto Cubano de Onvestigación de los Derivados de la Caña de Azúcar) 3(3):4-56.
- Azúcar, S.A., 1985. Diagnóstico ambiental del Ingenio Tala, S.A., México.
- Azúcar, S.A., 1988. Estadísticas azucareras 1987 y avance 1988. Reporte Interno, México D.F.:pág. 1-7.
- Bruthans, Z. 1969. Materiales para aislamiento térmico bagazocemento. Informe CIEC, La Habana Cuba.
- Cusi, S. 1970. Fabricación de papel a partir de bagazo de caña. México. Boletín Azucarero Mexicano. 245:18-23
- Deepchand, K. 1987. Sugar Cane tops and leaves as a raw material for pulp and paper. (Sch. Ind. Technol., Univ. Mauritius Reudit, Mauritius). *Biological Wastes* 19(1):67-73.
- Edgerton, C. W. 1958. Sugarcane and its diseases. Cap.2. The sugarcane plant: Vegetative structures. Segunda ed. Baton Rouge. Louisiana State Univ. Press: 9-23.
- Font Quer, P. 1985. Diccionario de Botánica. Editorial Labor, S.A. Barcelona: pp. 1250.
- García, G.C. 1971. The SQA (Sugar Quota Administration). *Guardian of the sugar cane Industry.* Sugar News 47(11):151-154.
- Gasho, G. J.; Shih, S. F. 1982. Biogas production from sugarcane and sweet sorghum. *Energy Res. Abstr.* 7, 7.
- Gayol, J. 1968. Evaluación del bagazo como materia prima para la fabricación de carbón activado. Serie ICIDCA 2, 1
- GEPLACEA. 1987. Uso alternativo de la caña de azúcar para energía y alimento. Serie Diversificación. México. pp. 1-525.

- GEPLACEA. 1988. Subproductos y derivados de la agroindustria azucarera. Serie Diversificación. México. pp. 1-168.
- Gopal K. 1985. Major mineral components and calorific value of Agroindustrial by-products and Tropical Wastes. *Inglaterra Agricultural Wastes* 13: 149-154.
- Guerra, J. I.; E. Stegel. 1988. Sugar cane bagasse: an alternative fuel in the Brazilian Citrus Industry. *Brazil. Food Technology* 5-42: 138-142.
- Gutiérrez E., P. L.; Acan I.; Bambanaste M. R. 1975. Pulps from the dissolution of sugarcane bagasse. (ICIDCA, Cuba) *ATCP* 75(5):275-282.
- Hamilton, W. 1980. The utilization of by-products from the sugar industry. *Chem. Age India*, 31(3):226-228.
- Hernández, B.; Menéndez Albert, M. 1967. La cachaza como fertilizante de la caña de azúcar y el valor económico real de su productividad. *Bol. Of. Asoc. Téc. Azucareros Cuba*, 22(1):20.
- Hernández, J. 1988 (Ed.) Manual de los derivados de la caña de azúcar. ICIDCA-GEPLACEA-PNUD. México. pp. 1-152.
- Humbert, R. P. 1974. El cultivo de la caña de azúcar. Elsevier Publishing Company. Amsterdam: Anexo.
- Hurtubia J., Monroy O., (edit.), 1986. Utilización de residuos agrícolas y agroindustriales en América Latina y el Caribe. Memorias del Taller Regional PNUMA (CEPAL) GEPLACEA. México
- ICIDCA. 1968. Departamento de Investigación azucarera. Sobre los derivados de la caña de azúcar. 3,2.
- ICIDCA. 1968. Departamento de Investigación azucarera. Sobre los derivados de la caña de azúcar. 3,3.
- ICIDCA. 1979. Alternativas para la instalación de una planta de productos moldeados a partir de bagazo.
- IMPA. 1964. La investigación y experimentación de la caña de azúcar en México. IMPA, México.
- Jyoti, D. Mane, H. M. Modak, N. A. Ramajiah. 1988. Utilization of sugar cane trash and other cellulosic wastes for production of Oxalic acid. (India) *Biological Wastes* 25(3):171.
- Lamberton, J. A. and Redcliffe, A. H. 1980. The Chemistry of sugar cane wax. *Aust. Journ. Chem.*, 2 13:261-268.
- Lamberton, J. A. 1960. Studies about sugar cane wax. *Int. Sugar Journ.*, 11 8:184.

Leal G.J. 1875. Aprovechamiento de la cachaza y/o bagazo en los campos cañeros. IMPA (Instituto para el mejoramiento de la producción de azúcar) Campo experimental Huastecas. México: 1-7.

López, R. 1978. Posibilidades económicas de la utilización de cera cruda y refinada de caña de azúcar. Informa de circulación interna, CENIC.

Lui, E.J. 1977. Future prospects for energy from sugarcane. Hawaiian Sugar Planter's Association. Progress in the Face of adversity 36 Th Annual Conference. Hawaii: 11-14

Lung Tsun. 1985. Classification and utilization of industrial waste products. (Energy Min. Res. Serv. Org. ITRI Taipei Taiwan). Kung Yeh Chi Shu. 134: 26-33.

Martín, P.C. and A. Elias. 1978. The use of fibrous sugar cane by-products by the ruminant. Cuba J. Agric. Sci. 12(1): 43-50.

Meade, G.; Peterkin, Ch.; James C.P. 1977. Cane sugar Handbook. Cap. 6 Bagasse and its uses. Ed. 10. John Wiley & Sons. N.Y.: 95-109.

Morjanoff, P. Dunn, N.W. and Gray, P.P. 1982. Improved enzymic digestibility of sugarcane bagasse following high temperature autohydrolysis. Australia Biotechnology letters 4 3: 197-192.

Mulvey, J.J.; Rothschi, H. 1982. The association of sugar cane farm occupation and lung cancer. Fed. Proc. 39(3): 1091

Pérez- Lezama, O. 1988. Subproductos de caña de azúcar en bovinos en confinamiento. México. CEBU 13 (1): 18-23

Pound, B.; F. Doñé & T. R. Preston. 1981. Producción de biogás a partir de melaza de estiercol de ganado y tallo de la caña prensada con o sin urea. Rep. Dominicana. Producción Animal Tropical 6: 11-21.

Rodríguez, J. J.; F. García; T. Cordero. 1990. Posibilidades de aprovechamiento de los residuos lignocelulosicos. Ingeniería Química. España. pp. 191-197.

Sánchez, F. M. 1981. Presente y futuro de la explotación cañera en México. México, D.F. pp. 1-10.

Sánchez, N. F. 1972. Materia prima: caña de azúcar. México, pp. 1-583.

SEDUE, 1986. Generación y reutilización de subproductos contaminantes en la industria azucarera. México.

Sousa M.; Sousa, B. 1986. Separation and identification of sugar cane bagasse compounds by 'Oranosolu' process. S.Cienc. Cult./Sao Paulo 38(1): 181-188.

S.R.H. 1976. Uso del agua y manejo del agua residual en la industria del azúcar. Secretaría de Recursos Hidráulicos. Dirección General de usos del agua y Prevención de la contaminación, Subsecretaría de Planeación; México. pp. 7-28.

Torres V. R. 1986. Estudio Estadístico sobre la producción azucarera a nivel nacional y mundial. Tesis de grado de Ingeniería Química. UNAM.

Tu, Chin-Chien. 1973. Studies on improving the quantity and quality of bagasse particle board. *Taiwan Sugar* 20(2):48-55.

Turnbull, C. 1961. Sugar cane by-products. *Commonwealth Prod.* 384:189-190.

Turbull, C. 1961. Australian sugar sustains an industrial complex. *Sugar J.* 24(6):16-68.

Van Niekerk, B.D. 1981. By products of the sugar industry as animal feeds. *S. Afr. J. Anim. Sci.* 11(2):119-134.

Van Zyl, Carina.; Bernard, A. Prior. 1988. Production of ethanol from sugar cane bagasse hemicellulose hydrolyzate by *Pichia stipitis*. *Applied Biochemistry and Biotechnology* 17:357.

Velasco M.E.; Rodríguez J. 1987. Ensayo preliminar del uso de la cachaza de caña de azúcar (Cicabú) en la dieta para ponedoras. *White L. Cuba. Rev. Cubana de Ciencia Avícola* 14:79-83

Wanming, L. 1973. Researches on bagasse utilization in recent years. *Taiwan Sugar* 20(2):71-72.

Wells, J.; Brown, O. 1989. Estudios de mercado para derivados de la caña de azúcar. Proyecto de Diversificación. GEPLACEA-PNUD- UNCTAD/GATT. pp. 1-232.

Zedillo, L. 1986. Aprovechamiento de los subproductos de la caña de azúcar en México. *Azúcar, S. A. de C. V. México*, pp. 1-28.

Zedillo, L. 1987. Descripción de los trabajos sobre el aprovechamiento de los subproductos de la caña de azúcar. *IMPA Azúcar, S. A., México*. pp. 1-50.

Zegarra, 1988. Factibilidad de miniplantas productoras de celulosa. *México. Boletín GEPLACEA.V:2* pp. 1-10.