

León-Martínez, Tamara S.; Dopíco-Ramírez, Daisy; Triana-Hernández, Omar; Medina-Estevez, Marelys
Paja de la caña de azúcar. Sus usos en la actualidad
ICIDCA. Sobre los Derivados de la Caña de Azúcar, vol. 47, núm. 2, mayo-agosto, 2013, pp. 13-22
Instituto Cubano de Investigaciones de los Derivados de la Caña de Azúcar
Ciudad de La Habana, Cuba

Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=223128548003>



ICIDCA. Sobre los Derivados de la Caña de Azúcar,

ISSN (Versión impresa): 0138-6204

revista@icidca.edu.cu

Instituto Cubano de Investigaciones de los
Derivados de la Caña de Azúcar
Cuba

Paja de la caña de azúcar. Sus usos en la actualidad

Tamara S. León-Martínez, Daisy Dopico-Ramírez, Omar Triana-Hernández,
Marelys Medina-Estevez

Planta Bioprocesos, Dpto. Química del Bagazo,
Instituto Cubano de Investigaciones de los Derivados de la Caña de Azúcar,
Quivicán, Mayabeque, Cuba
tamarasleon@hotmail.com

RESUMEN

La paja de la caña de azúcar es un residuo beneficioso para el hombre cuando se usa correctamente. Su quema es altamente destructiva si se realiza indiscriminadamente, genera daños al suelo y emite partículas de carbón vegetal que pasan directamente al medio ambiente. La atmósfera se contamina, ocurren variaciones climatológicas y se daña sensiblemente el entorno que nos rodea.

Se hizo una búsqueda bibliográfica sobre los principales usos de los residuos agrícolas de la caña (paja), donde se destacan sus potencialidades, fundamentalmente, en los países que cultivan esta gramínea para la producción azucarera.

Palabras clave: paja de la caña de azúcar, cogollo, caña de azúcar, biomasa.

ABSTRACT

Sugarcane trash is a beneficial waste for the man when it is correctly used. It's burning, on the other hand, is highly destructive and when carried out indiscriminately damage the soil and emits vegetable coal particles, which pass to the environment directly contaminating the atmosphere and causing climate variations with the concomitant damages to the environment.

In this paper a bibliographical research about the main uses of the agricultural residuals of the cane (trash) was carried out. Hence, the potentialities of this residue are emphasized mainly for those countries where this gramineous is cultivated for sugar production.

Keywords: sugar cane trash, top, sugar cane, biomass.

INTRODUCCIÓN

Los combustibles fósiles solo deben durar unas cuatro o cinco décadas más, por lo que de mantenerse los actuales niveles de explotación, la nueva generación observará el fin de estos.

Hoy se impone la necesidad de alcanzar un balance entre desarrollo y conservación del medio ambiente, que garantice un nuevo equilibrio entre la humanidad y la naturaleza y que permita una nueva armonía con esta, tal y como se plantea en la conferencia conocida como Cumbre de la Tierra, celebrada en Río de Janeiro en 1992, para la preservación del medio ambiente y el crecimiento económico.

Entre los problemas actuales que enfrenta la humanidad están: el agotamiento no lejano de los combustibles fósiles, el cambio climático, la insuficiente producción de alimentos y la crisis energética mundial.

La producción azucarera ha demostrado que es capaz de satisfacer parte de la alimentación directa a la humanidad. Muchos de sus derivados constituyen fuentes de alimentación animal, los que a su vez complementan la dieta proteica de los seres humanos.

Sin embargo, los residuos agrícolas resultantes de la cosecha cañera no son empleados en la cuantía que las circunstancias actuales lo exigen, a pesar de representar un formidable recurso como fuente de alimentación animal y generación de energía (1).

Por otra parte, el hollín liberado durante la quema de la paja de la caña de azúcar en el campo, se deposita en el suelo en forma de finos copos oscuros. Este contiene alrededor de 70 productos químicos perjudiciales para el medio ambiente, que ocasionan serios problemas respiratorios en la población expuesta.

En Cuba, la biomasa obtenida como subproducto de la industria azucarera, constituye el mayor recurso desde todos los puntos de vista, ya que en una tonelada de caña fresca, aproximadamente, el 32 % es de bagazo integral y el 28 % de paja y cogollo de caña (Residuo Agrícola Cañero, RAC), los cuales son la biomasa más importante que se procesa y puede ser utilizada con fines energéticos, como alimento animal o para producir otros productos derivados de la caña de azúcar.

A modo de ejemplo podemos citar que, a escala mundial estos subproductos, constituidos fundamentalmente por la paja y el cogollo, representan una disponibilidad de 5,5 MM TM (millones de toneladas métricas) (2). La paja es el resultado del secado de las hojas de la caña de azúcar, producto del desarrollo de esta planta y el cogollo es la parte verde de la planta que queda en el campo (hojas verdes y pedazos de tallos). Los dos constituyen una fuente de energía renovable. El estimado de este residuo en el campo es aproximadamente de 15 a 20 % del peso de la caña, de ahí que su volumen sea elevado.

La solución del aprovechamiento de estos residuos depende de una serie de factores que deberán ser estudiados y desarrollados, así son importantes los aspectos de recolección, transporte, almacenamiento y procesos tecnológicos para transformarlos.

CARACTERIZACIÓN

La composición de la caña de azúcar en su estado natural se muestra en la tabla 1, donde se puede apreciar que los residuos constituyen alrededor del 30 %, de ahí la importancia de su utilización.

La paja está constituida por la vaina y la hoja seca. Su composición química en estado natural se muestra en la tabla 2.

Tabla 1. Composición de la caña en la plantación (4)

Componente	Contenido (%)
Cogollo y hojas verdes	8,44
Vainas y hojas secas(paja)	19,74
Tallos limpios	71,82

Tabla 2. Composición química de la paja en estado natural (4)

Componente	Paja integral (%)
Celulosa	45,13
Lignina	14,11
Pentosanos	25,56
Cenizas	8,03
Humedad	9,67

RECOLECCIÓN Y OBTENCIÓN DE RESIDUOS AGRÍCOLAS

En el mundo hay diversos métodos para la recolección de paja en la producción de cereales. Este proceso es una solución mecánica sencilla, ya que los residuos quedan alineados en el surco durante la cosecha. Además, estos materiales son, por lo regular, homogéneos en su composición y tamaño. En el caso de los residuos de la caña de azúcar, el proceso de recolección no es tan sencillo debido a la heterogeneidad y baja densidad de bulto. Otro factor de importancia lo constituye el hecho de que la inmensa mayoría de los países productores de azúcar de caña son subdesarrollados y no disponen de la infraestructura técnico-material necesaria. Sin embargo, la mayoría de los países productores de cereales tienen un alto desarrollo tecnológico e industrial (3, 4).

En Cuba, los residuos agrícolas de la caña pueden ser recolectados en dos lugares: en el centro de acopio o estaciones de limpieza de caña y en el propio campo. En el caso de la paja, cualquiera que sea su uso, se debe realizar un tratamiento mecánico que elimine la heterogeneidad de su geometría y haga posible su compactación para la utilización posterior.

TRANSPORTE

Entre los aspectos relacionados con la manipulación de los residuos, uno de los

más importantes por su incidencia técnico-económica es la transportación.

Los residuos agrícolas son materiales de baja densidad y su carga está limitada por volumen y no por el peso; por tanto, es imprescindible para la economía del transporte la utilización de todo el espacio disponible y la obtención de una buena compactación.

La baja densidad lleva a que el costo por transporte aumente, ya que hay que gastar más para lograr el mismo suministro energético que con otro tipo de combustibles. Si se quiere aliviar este problema, se puede hacer aumentando la densidad de la biomasa.

VÍAS DE UTILIZACIÓN

Las vías de utilización de la paja se clasifican en dos grandes grupos: alimentación animal y fines energéticos (figura 1).

ALIMENTO ANIMAL

La explotación a nivel industrial de la ganadería y la avicultura en Cuba depende, en gran medida, de la necesidad de importar las materias primas para la elaboración de alimentos concentrados (harina de soja y harina de pescado). Esto explica que para poder desarrollar tales industrias es preciso encontrar nuevas fuentes que sustituyan a los productos importados, y le brinden a la industria cierto grado de protección e inde-

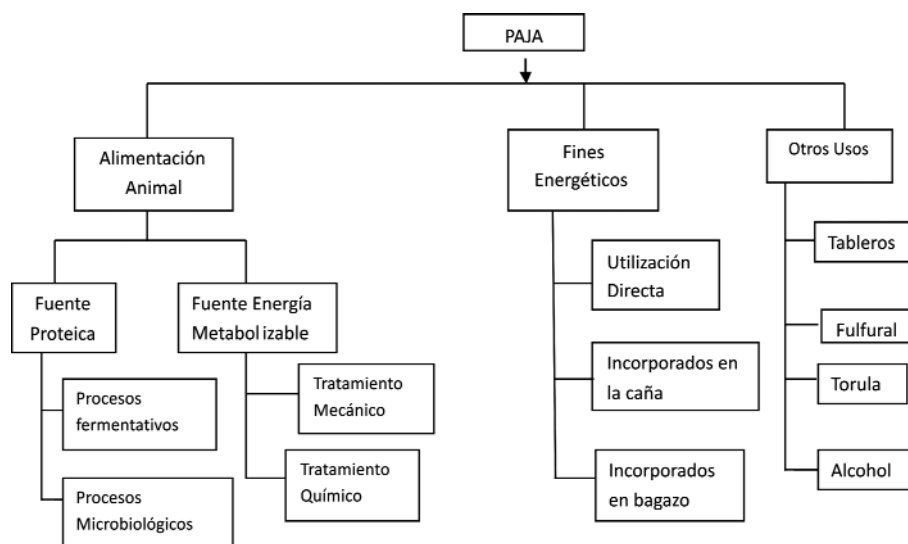


Figura 1. Vías de utilización de paja de la caña de azúcar (4).

pendencia ante la fluctuación de sus precios y la devaluación de la moneda.

El reemplazo de los ingredientes para la elaboración de alimentos por fuentes de proteína y energía de producción nacional, ofrece una alternativa muy atractiva para la diversificación de los productos de la industria del azúcar.

Fuente proteica

Para lograr complementos proteicos al pienso y aumentar su digestibilidad, es imprescindible el tratamiento del material por métodos fermentativos o microbiológicos.

El primero consiste en someter el material a un proceso de cocción, al que se adiciona urea y alguna sustancia con el objetivo de estabilizar el pH. A continuación se enfría, y posteriormente, se fermenta hasta concluir la emisión de dióxido de carbono y vapores alcohólicos (que pueden ser recuperados). Finalmente, el producto es compactado en forma de briquetas o paletas (pellets) para su ulterior utilización.

No se tiene noticias de que esta tecnología haya rebasado el marco experimental. Sobre el método microbiológico tampoco constan referencias de que se haya implementado industrialmente. En Cuba y particularmente en el ICIDCA (Instituto Cubano de Investigaciones de los Derivados de la Caña de Azúcar), se desarrolló una tecnología microbial para la producción de hongos comestibles a partir del hongo *Pleurotus* para la conversión combinada y rentable de los residuos cañeros al ser reintegrados al ecosistema en alimento humano y animal. Además, con esta tecnología, la lignina de difícil digestibilidad se transforma, al igual que la celulosa y hemicelulosa, sin necesidad de tratamiento físico o químico y, por último, el sustrato remanente constituye un forraje beneficiado para la alimentación animal y como fertilizante (4, 5).

Fuente de energía metabolizable

Se distinguen dos métodos fundamentales: físico y químico. Tanto uno como otro tratan de aumentar la digestibilidad de la paja y lo logran entre 10-12 %. Ambos métodos se aplican para pequeños volúmenes en el campo o a escala industrial. Un aspecto de interés lo constituye la rentabilidad de cualquier tratamiento a la escala en que se aplique.

Un proceso descrito en la literatura (4) informa una combinación de ambos métodos, donde la paja se tritura y posteriormente se rocía con una solución de NaOH diluida a 4 %, concentración referida al peso de la paja. Se colocó, finalmente en pilas y se observó un aumento de la temperatura en el centro de ellas de 80 °C, posiblemente como resultado de la reacción del álcali con los ácidos que contiene la paja.

El aumento de la digestibilidad se debe a la ruptura de la estructura compacta conformada por la celulosa, hemicelulosa y lignina como material aglutinante. Se brinda una mayor accesibilidad a la celulosa y hemicelulosa conformada por cadenas de azúcares asimilables (6).

Tratamiento industrial

El tratamiento a escala industrial es el resultado de una investigación previa que finaliza con el desarrollo de una tecnología en la que se pueden o no utilizar métodos físicos o químicos indistintamente o ambos, para lograr la factibilidad tecnológica y mejoras del producto a que va a ser destinado. Con el proceso industrial se logran digestibilidades de 60 a 65 %, también (7) aumentan la palatabilidad y el valor nutritivo; esto se debe a la ruptura de los vínculos lignocelulósicos y por ende, el mejoramiento de la asimilabilidad de la celulosa.

FINES ENERGÉTICOS

Utilización directa

Considerando la situación energética mundial, la utilización de los residuos agrícolas con fines energéticos es, en nuestros días, una necesidad indispensable, pero su uso energético lleva aparejada la utilización de más fertilizantes, la erosión de los suelos por el viento y la pérdida de humedad. La paja en el campo los protege. Este uso no es sustentable ecológicamente, enfrenta problemas relacionados con sus propias características (baja densidad, granulometría, etc.), además de los de recolección, manipulación y transporte.

De esta necesidad y con el deseo de aprovechar al máximo el potencial energético de la caña surgió la idea de utilizar los residuos agrícolas del cultivo, renovables anualmente, como combustible en las calde-

ras para la generación del vapor. Tales residuos están compuestos por las hojas verdes y secas de la caña, los cogollos, las basuras y la caña que no se puede procesar.

Las cantidades de residuos generados cambian enormemente dependiendo de la variedad de caña, del rendimiento y de la edad. La proporción de los residuos oscila entre el 10 y el 60 % en Colombia y entre el 25 y el 35 % (8) en Sudáfrica.

El poder calorífico de los residuos mostrados en la tabla 3 es equivalente al del bagazo, que con un contenido de humedad del 30 %, alcanza 11 600 kJ/kg, al 1 % será de 15 800 kJ/kg. El contenido de humedad de los cogollos y basuras en la época de la cosecha es de 50 %; si se dejan en el campo durante 2 o 3 días se reduce a 30 % y a 15 % después de dos semanas. Cifras de Tailandia muestran que los residuos se pueden recoger, embalar y transportar a los ingenios a un costo de US \$ 1,87/GJ, mientras que el petróleo con un poder calorífico equivalente cuesta US\$ 2,91/GJ. En Islas Mauricio se pueden producir, a partir de los residuos, 4,2 MWh de electricidad por hectárea de caña. Los residuos poseen un contenido de cenizas más alto que el del bagazo, por esta razón es recomendable quemarlos mezclados con bagazo.

En la Universidad de Cienfuegos, Cuba, se realizó una investigación referente al uso de carbón de paja de caña como fuente alternativa de energía en aplicaciones sociales. Este se mezcla con diferentes tipos de aglutinantes y se logra la compactación en forma de briquetas para uso como combustible. La paja de caña transformada en carbón posee un valor calórico mayor que el de la leña.

El problema consiste en determinar los parámetros óptimos para la elaboración de briquetas de carbón de paja de caña con diferentes sistemas aglutinantes y mezclas, (no existe

una tecnología adecuada para la utilización de estas briquetas) y ser empleadas como combustible en diferentes aplicaciones (9).

Un estudio realizado por un profesor del Departamento de Ciencias Exactas de la Escuela Superior de Agricultura de la Universidad de Sao Paulo, demuestra que es posible mantener una hidroeléctrica similar a la de Itaipú, funcionando solamente con la energía de la biomasa de la paja y del bagazo, durante el período mayo-octubre (10). Según este investigador, la paja, que actualmente es un problema ambiental a causa de la quema en el campo, tiene un excelente potencial de energía eléctrica debido a su alto poder calorífico.

Otros autores (11) proponen mantener 50 % de la paja en el campo para conservar la calidad agronómica del suelo y utilizar la otra parte con fines energéticos.

Ocho centrales paulistas están llevando a cabo esta práctica, mezclando bagazo con paja para la cogeneración de energía en las calderas. En lugar de cosechar la caña y dejar la paja en el suelo, para posteriormente transportarla al central, se lleva todo junto a estaciones de limpieza previa, donde se hace la separación del material. Esta es la solución más económica para recoger la paja. Aunque el proceso está funcionando a escala comercial, no se ha establecido aún la proporción de paja y bagazo que debe emplearse en las calderas durante la zafra, para no interferir en la eficiencia del proceso. y se augura que dentro de 15 años no va a haber centrales de azúcar, sino centrales de energía.

Otra perspectiva futura para el uso de la paja es la producción de etanol, que cobró impulso recientemente con el lanzamiento del Programa FAPESP de Investigación en Bioenergía. El programa prevé el uso de hongos que degradan la paja y el bagazo para

producir azúcares fermentables. Parece sencillo, pero los mecanismos destinados a entender cómo se produce esa degradación celular pasan primeramente por el conocimiento del genoma de la caña. Se han identificado 469

Tabla 3. Composición de los combustibles sólidos

Combustible	C	H	S	N	O	Ceniza	PC (kcal/kg)
RAC	42,4	6,3	-	-	44,3	7,0	4,484
Bagazo	47,0	6,5	-	-	44,0	2,5	4,600
Madera	49,5	6,2	-	1,1	43,1	-	3.220
Turba	21,0	8,3	0,6	1,1	62,9	6,0	1,990
Lignito	42,4	6,6	1,1	0,6	42,1	7,2	3,940
Antracita	84,4	1,9	0,9	0,6	4,4	7,8	7,390

genes relacionados con el metabolismo de la pared celular de la caña y en ese estudio se conciben, incluso, variables relacionadas con los cambios climáticos, con alto nivel de gas carbónico en la atmósfera. En ese escenario habrá cambios en la composición de la pared celular y se necesita saber de qué manera influye cada enzima utilizada en el proceso de obtención de etanol.

El proyecto denominado "Lignoetanol" (12) plantea obtener un combustible vegetal de impacto ambiental mínimo y además, darle un uso a la paja residual del cultivo de caña de azúcar, que por lo general es quemada por los productores.

Además de añadirle un valor agregado a esta paja, su uso evitará el fuerte impacto ambiental provocado por su quema en las regiones productoras de caña de azúcar.

Aunque el proyecto está en sus inicios, se espera un gran aporte en el sector bioenergético y poder comercializar etanol a partir de la paja de caña, pues actualmente en el mercado no hay un proceso industrial económicamente viable para producir etanol a partir de biomasa vegetal, como el bagazo o la paja de la caña de azúcar.

Todo el proyecto plantea una reducción en la contaminación atmosférica, un aumento significativo de la productividad del combustible sin necesidad de aumentar las áreas de cultivo ni de invertir en otras especies que apoyen el proceso de producción.

En la medida que se obtengan logros en el desarrollo de su manipulación, recolección y transporte, así como en la forma de tratamiento para lograr la granulometría requerida para su combustión, podemos disponer de criterios que permitan una valoración técnico-económica adecuada, sobre su posible utilización para los fines mencionados (13).

La paja como material lignocelulósico puede sustituir innumerables renglones en los que se emplea bagazo. Los tableros de partículas son un ejemplo de ello. Existen criterios preliminares sobre la factibilidad tecnológica de procesar la paja de caña de azúcar para ser utilizada en la elaboración de los mismos.

Se realizó un trabajo experimental para elaborar tableros con los mismos parámetros que los empleados en bagazo, sin embargo las propiedades obtenidas están por debajo de los requerimientos de las normas de tableros de buena calidad (14).

Diferentes grupos de investigación a nivel mundial se dedican a estudiar otras aplicaciones para este material como la fabricación de semiconductores, bioaceites, carbón para siderúrgicas, cemento y yeso fortalecido como materiales para la construcción.

Una de las líneas de investigación, llevada a cabo en el Departamento de Ingeniería de Materiales de la Universidad Federal de São Carlos (Brasil) (15), resultó ser la obtención de carburo de silicio, un versátil material sintético a base de sílice de paja de caña. Este material presenta propiedades tales como: excelente resistencia al desgaste, al choque térmico y al ataque de ácidos, lo cual permite su empleo como semiconductor, en abrasivos, en la industria de refractarios, en el blindaje de aeronaves, en microelectrónica y otras aplicaciones. El descubrimiento surgió como despliegue de un proyecto destinado a la fabricación de carburo de silicio de paja de arroz, desarrollado anteriormente por el mismo grupo de investigación. La sílice es mezclada con una fuente de carbono como grafito y llevada a un horno especial con atmósfera controlada, sin oxígeno, para la formación de carburo de silicio. Este material se obtiene mediante la reacción de reducción carbotérmica, que sucede a alta temperatura.

El método, usado actualmente a escala industrial, emplea una mezcla de sílice con carbono. El material se trató en un horno eléctrico a temperaturas superiores a los 2400 °C durante 32 y 40 horas. Esto genera como producto bloques de silicio que deben ser procesados mecánicamente por picadura y molida.

En otra investigación (16), la paja de caña picada se somete a un proceso de termoconversión denominado pirólisis rápida, en circuito cerrado a altas temperaturas. Se obtienen tres productos con diferentes aplicaciones: bioaceite con potencial de utilización en la industria química, polvo fino de carbón vegetal que puede emplearse en la producción siderúrgica y un gas con alto poder calorífico, compuesto de monóxido de carbono, metano e hidrógeno, indicado tanto para alimentar el propio reactor como para la generación de energía eléctrica.

Para obtener un elevado rendimiento de bioaceite, los investigadores utilizan la técnica denominada lecho fluidificado burbujeante, que resulta de la combinación de aire y

arena a temperaturas alrededor de 550 °C. En la puerta de entrada al lecho del reactor se pone carbón vegetal para dar inicio al proceso de calentamiento. Cuando la temperatura llega a 600 °C, la arena se pone en el reactor y se sopla para formar el lecho fluidificado, donde se coloca la biomasa seca picada para su degradación y transformación en productos tales como el bioaceite, de coloración oscura y bastante viscoso, que puede emplearse como insumo químico, combustible de turbinas y calderas, sustituto del fenol petroquímico en resinas y aditivo en la formulación de concreto celular para la construcción civil.

El vapor utilizado para la producción de bioaceite, después de pasar por un proceso de lavado, resulta un agua ácida, que puede aplicarse como bioestimulante para el crecimiento de plantas y como bioinsecticida en el cultivo del frijol. Los gases liberados en el proceso de pirólisis pueden utilizarse para alimentar calderas o en el propio proceso de combustión del reactor, por lo tanto toda la paja se aprovecha. La planta piloto tiene capacidad para procesar 200 kilos de paja por hora, transformados en 80 kilos de aceite y 50 kilos de carbón.

Forraje animal

La paja picada se usa como sustrato en la siembra de granos para la producción en pocos días de un alimento voluminoso para vacunos, porcinos y aves (17).

La propuesta de José Luiz Guimarães de Souza, profesor jubilado de la Universidad Estadual Paulista (Unesp) de Botucatu, y del economista José Abílio Silveira Cosentino, consiste en integrar la caña de azúcar y la ganadería en pequeñas propiedades rurales, utilizando la paja que actualmente se quema durante la zafra. Mediante el empleo de una técnica llamada forraje verde hidropónico o FVH, un proceso de producción sin uso del suelo, es posible obtener en poco tiempo y con escasa necesidad de agua, un volumen considerable de alimento de calidad para animales, con el empleo de la paja de la caña como sustrato. Encima de una lona negra se pone la paja picada, sembrada con varios tipos de granos, tales como: el maíz, la soja, el trigo, el frijol gandul, la avena, el mijo y el sorgo. Según este método, cada 18 o 20 días se pueden cosechar 25 kilos de FVH de maíz por metro cuadra-

do. La FHV de maíz o de cualquier otro grano plantado se levanta como una alfombra constituida por la paja, por las semillas que germinaron y sus respectivas hojas y raíces, y también por las semillas que no germinaron, para reemplazar al pasto en la dieta del animal. La cantidad recogida es la misma que un animal adulto (una vaca en el período de engorde), debe recibir por día, complementada con un concentrado compuesto de maíz, salvado de soja, salvado de trigo y sal mineral. El objetivo de la utilización de la técnica es producir gran cantidad de masa vegetal, de buena calidad y en un corto período de tiempo.

El único cuidado consiste en mojar el cantero según la necesidad, como en una huerta convencional. Por los cálculos del investigador, confirmados con estudios en campo, con 25 metros cuadrados, es posible producir alimento para una vaca el año entero; basta con plantar y juntar un metro cuadrado por día. En Holambra II, municipio de Avaré, interior paulista, un propietario rural que criaba ganado de la raza Santa Gertrudis mantuvo 18 canteros de 60 metros cuadrados cada uno durante dos años. Levantaba un cantero por día y trataba de 60 a 80 cabezas. Todo el proceso fue seguido recopilando los datos y pesaje de animales. El mismo método puede aplicarse también para alimentar cerdos y aves.

Otras aplicaciones

Para pequeñas propiedades donde se planta solamente caña de azúcar, la propuesta es utilizar también la paja en varios tipos de productos hechos artesanalmente, tales como: portamacetas, revestimiento de botellas, sombreros, macetas, placas y otros. La paja cumpliría así una función social y generaría ingresos, en lugar de quemarla en el campo. Los investigadores han probado varias formulaciones en sociedad con un artesano, incluso con teñido del material. Esas formulaciones resultaron en productos que pueden fabricarse sin mucha dificultad (18).

También se obtuvo yeso fortalecido con fibras naturales (19). Se prepararon con mezcla de bagazo y paja de caña de azúcar, y pulpa de bagazo, clasificadas a distintas concentraciones: 1, 2, 10 y 20 %. La composición fibra / yeso fue evaluada mecánicamente por compresión usando las técnicas

Análisis Mecánico Dinámico (DMA) y Microscopía Electrónica de Barrido (SEM).

Los mejores resultados se obtuvieron con 1 y 2 % de niveles de fibras y el módulo elástico fue más significativo para la muestra que mostró una mejor distribución y compactación entre las fibras y el yeso.

Investigadores del Instituto de Pesquisa Energética y Nuclear de Brasil evaluaron la resistencia a la compresión del yeso fortalecido con fibras naturales para ser utilizados en materiales de la construcción (20).

A partir de la colaboración entre la Universidad de la Villas y la Universidad Ghkassel en Alemania, se realizó un trabajo donde se evaluaron las cenizas de bagazo y paja de caña de azúcar, obtenidas en forma inalteradas, directamente de las calderas de la fábrica de azúcar y de la quema incontrolada en el campo como aditivo de puzolana reactiva con potencialidad de ser usada en la preparación de aglomerantes del tipo cal/puzolana.

Los aglomerantes tipo cal/puzolana se han convertido recientemente en una atractiva alternativa para la construcción social en países en vías de desarrollo.

Estudios recientes demuestran que los desechos agrícolas e industriales de la industria azucarera, principalmente las cenizas de bagazo de caña (CBC) y las cenizas de paja de caña (CPC), tienen actividad puzolánica debido al alto contenido de sílice presente en estos materiales.

Como es conocido, las altas temperaturas de combustión afectan la reactividad de las cenizas usadas como puzolanas. Entonces, resulta imprescindible tratar de lograr una combustión controlada de los residuos agrícolas, para optimizar la reactividad de las cenizas a producir (21).

Las cenizas de cascarilla de arroz, del bagazo y de la paja de la caña de azúcar, cuando son quemadas convenientemente, producen un residuo mineral rico en sílice y alúmina, cuya estructura depende de la temperatura de combustión. Estas son consideradas puzolanas artificiales.

El cemento puzolánico CP-40 se produce a partir de mezclar íntimamente y moler hasta fino polvo una mezcla de hidrato de cal y puzolana, con una proporción promedio de 70 % de puzolana y 30 % de cal. El material producido requiere ser tan fino como el cemento Portland ordinario. Por esta razón,

puede ser considerado como un cemento para aplicaciones de albañilería.

Los aglomerantes cal-puzolana tienen su origen reconocido en las construcciones hechas por los romanos. Hoy día se conservan aún las ruinas de los grandes edificios contruidos con este material.

Las puzolanas son materiales silíceos o alumino-silíceos que por sí solos poseen poco o ningún valor cementante, pero cuando se han dividido finamente y están en presencia de agua reaccionan químicamente con el hidróxido de calcio a temperatura ambiente para formar compuestos con propiedades cementantes.

En el caso de las puzolanas obtenidas como desechos de la agricultura (cenizas de la paja de caña de azúcar y el arroz), la forma más viable de mejorar sus propiedades es realizar una quema controlada en incineradores rústicos, donde se controla la temperatura de combustión y el tiempo de residencia del material.

Si la temperatura de combustión está entre 400 y 760 °C, hay garantía de que la sílice se forma en fases amorfas, de mucha reactividad. Para temperaturas superiores comienzan a formarse fases cristalinas de sílice, poco reactivas a temperatura ambiente.

El problema de la vivienda, junto al hambre y la falta de empleo, constituyen una de las prioridades de mayor urgencia a atender durante los próximos 20 años. Para buscar soluciones a esta acuciente problemática, es necesario acometer de forma integral la producción de materiales de construcción, de forma tal que sean asequibles a las familias con bajos recursos.

El cemento puzolánico tipo CP40 ha sido desarrollado y producido por el CIDEM, (Centro de Investigaciones de la Universidad Central de Las Villas, Cuba) (22).

Investigadores de la Facultad de Ingeniería Mecánica de la Universidad de Oriente, en Cuba, tomaron una muestra amplia de paja y la pusieron a quemar para medir el porcentaje de CO₂ (factor alterador del ecosistema). Después de varias pruebas realizadas, se obtuvo un valor prácticamente invariable de un 8 %, asumido así como valor emitido por los gases de la combustión en condiciones ambientales por la paja de caña.

El estudio fue realizado en un complejo agroindustrial con una norma potencial de

molida de 500 000 arrobas diarias y para su beneficio cuenta con centros de preparación de la caña (centro de acopio). En una cosecha recién concluida, se tiene que en los centros de acopio se procesaron para su limpieza 2 850 000 arrobas de caña. Se acumularon, durante ese proceso, 342 000 arrobas de paja de caña (aproximadamente un 12 % del peso total). Una parte apreciable de la paja fue quemada. Esto produce una considerable emisión de CO₂ a la atmósfera, y provoca el aumento de su contaminación (23).

Si esta cantidad de paja de caña se utilizara para generar energía eléctrica, se podrían mantener trabajando los hornos de la fábrica por 18 días, ya que generando vapor para hacer trabajar los turbogeneradores, se producirían 2592 MW (aproximadamente el 75 % del consumo del país en una hora).

También el vapor generado podría tener otros usos durante el período de limpieza al finalizar la cosecha, como limpiar los equipos y tuberías de los residuos del proceso de producción de azúcar; así, se lograría un efecto de limpieza mayor.

Otros posibles usos de la paja de caña sería emplearla como fertilizantes y/o herbicidas, para evitar el crecimiento de malezas en el campo y como materia orgánica.

Al prepararse un compost a base de la paja de caña y otros agentes, a muy bajos costos, se pueden obtener fertilizantes orgánicos, no contaminantes al medio ambiente y capaces de utilizar un área de producción apreciable; y disminuir, consecuentemente, el empleo de fertilizantes químicos (24).

La paja y el bagazo de caña se pueden utilizar para la fabricación de embalajes de pulpa vegetal. La vajilla de celulosa natural es fabricada a partir de residuos de tallos de bambú, de pajas o de bagazo de caña de azúcar (residuos de caña recuperados después de la trituration). Las fibras vegetales son extraídas de estas plantas, pulpeadas y después fácilmente molidas en diferentes formas para crear platos, vasijas y cubiertos, los cuales son resistentes al frío y a elementos grasos (25).

La vajilla de pulpa vegetal es apta para congelar y para el contacto con alimentos. Es robusta y se puede calentar al microondas. Completamente naturales, los productos de celulosa son 100 % reciclables y biodegradables.

Por otra parte, investigadores de la Universidad Estadual Paulista, de Brasil

comprobaron que dejar la paja de caña de azúcar cosechada en el suelo, reduce la emisión de carbono. Se realizó un experimento dividiendo una siembra en tres áreas. Luego de la cosecha mecanizada, una parte quedó cubierta con 50 por ciento de la paja, otra con 100 por ciento y otra sin paja, explicó el coordinador del proyecto, Newton la Scala Júnior.

Los resultados revelaron que las áreas cubiertas de paja emitieron 400 kg menos de carbono, que equivalen a 1 500 kg de gas carbónico. Actualmente, se estudian otros usos de la paja de caña, como generar energía y producir etanol, pero la mejor alternativa, según el estudio realizado, es dejarla en la tierra (26).

CONCLUSIONES

La paja de la caña de azúcar es un residuo beneficioso para el hombre, si se usa correctamente en algunas de las siguientes formas: como fertilizante para los suelos o como capa para cubrirlos y evitar el crecimiento de malas hierbas en las áreas de producción de la caña de azúcar, como combustible en la industria para generar electricidad o vapor para la limpieza de los equipos al finalizar la zafra; como alimento animal, ya sea unida al bagazo o de forma integral. También tiene otros usos alternativos que benefician el desarrollo de otras industrias como la refractaria, la química, la siderúrgica, la construcción y embalaje, que avalan las potencialidades de diversificación de la paja cañera.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- 1 FAO. Productos forestales no madereros; posibilidades futuras. p.36. Roma: FAO, 1992. Programa informativo.
- 2 Álvarez, G. E. Aprovechando los Residuos Madereros. Centro de Estudios Forestales. Universidad de Pinar del Río, Cuba, 2003.
- 3 Triana, O.; Leonard, M.; Saavedra, F.; Fernández, N.; Gálvez, G.; Peña, E. Atlas del bagazo de la caña de azúcar. GEPLACEA. Publicación del Grupo de Países Latinoamericanos y del Caribe Exportadores de azúcar. Secretariado. Serie: Diversificación, GEPLACEA/PNUD. 1990. p. 19.

- 4 Padilla, J. A.; Correa, J. L. La Industria de los Derivados de la Caña de Azúcar. Capítulo V. Utilización de los residuos. 1980. p. 131.
- 5 Gálvez, L. Hongos Comestibles. Capítulo 5.8. En: Instituto Cubano de Investigaciones de los Derivados de la Caña de Azúcar. Manual de los Derivados de la Caña de Azúcar. 3ra. ed. La Habana: Imprenta MINAZ, 2000. pp. 375-389.
- 6 Jackson, M. Estudios sobre la alimentación animal. Informe de consulta a la FAO. India. 1978.
- 7 García, R.; Hernández, R. Digestión de residuos de la cosecha cañera tratados con hidróxido de sodio. Determinación de la digestibilidad in situ. REDVET. Revista electrónica de Veterinaria 1695-7504. vol. IX. no 11.2008.
- 8 Tecnologías preventivas. <<http://www.tecnologiaslimpias.org.311801.pdf>>. [Consulta: 20 ene.2012].
- 9 Álvarez, R.R.; Romero, C.; Fundora, P.; Mencía, V. Evaluación de mezclas y aglutinantes de la elaboración de briquetas de biomasa. 8vo Congreso Iberoamericano de Ingeniería mecánica. Universidad de Cienfuegos Carlos Rafael Rodríguez. Cuba. 2007.
- 10 Villa Nova, N. A.; Ocheuze, P. C. Departamento de Ciencias Exactas de la Escuela Superior de Agricultura Luiz de Queiroz (Esalq) de la Universidad de São Paulo. Brasil, 2008.
- 11 Caetano, T.; Wagner de Oliva, M. Departamento de Ingeniería Rural de la Escuela Superior de Agricultura Luiz de Queiroz (Esalq) de la Universidad de São Paulo. Brasil. (2008).
12. Buckeridge, M.; Cáceres, O. Instituto de Biociencias de la Universidad de São Paulo (USP). Programa FAPESP de Investigación en Bioenergía (Bioen). Brasil. 2010.
- 13 López, P.; Valdés, A. Aprovechamiento de los residuos de la cosecha cañera. 43 Conferencia ATAC. La Habana. Cuba. 1981.
- 14 Carvajal, O.; La Serna, N.; Almagro, R. Investigación preliminar sobre la elaboración de tableros de partículas a partir de paja de caña. Informe interno. Dpto. Tableros. ICIDCA. La Habana. Cuba. 1981.
- 15 Costa, S.M.; Cardoso, E.C.L.; da Luz, S.M.; Araujo, S.G.; Lima, L.F.; Lugão, A.B. Assessment of compression resistance of natural fibers- reinforced gypsum composites. 17o Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciencia dos Materiariis. Brasil. 2006.
- 16 Cortez, L.A.; Perret, S. Aprovechamiento total. Nuevas técnicas transforman la paja de la caña de azúcar en bioaceite, carbón siderúrgico, carburo de silicio y en el futuro también etanol. Tecnología, Agricultura. Edición 154. Pesquisa FAPESP. 2008.
- 17 Guimarães de Souza, J.L.; Silveira, J.A. Universidad Estadual Paulista (Unesp) de Botucatu. 2009.
- 18 Ereno, D. Aprovechamiento total. Nuevas técnicas transforman la paja de la caña de azúcar en bioaceite, carbón siderúrgico, carburo de silicio y en el futuro también etanol. Pesquisa FAPESP. Tecnología, Agricultura. Edición 154. Diciembre 2008.
- 19 Arikan, M.; Hassoun, D. The optimization of a gypsum-based composite material. Cement and Concrete Research. v. 32. pp. 1725-1728. 2002.
- 20 Romero, C. Aglutinantes de biomasa. 8vo Congreso Iberoamericano de Ingeniería mecánica. Universidad de Cienfuegos. Cuba. 2007.
- 21 Martirena, J.F.; Betancourt, B.; Middendorf, B.; Rubio, A.; Martínez, L.; Machado, I.; *et al.* Propiedades puzolánicas de desechos de la industria azucarera. Revista materiales de construcción. 50 (260). 2000.
- 22 González, R.; Martirena, J.F.; Reciclaje de biomasa y su conversión en energía y materiales de construcción. Universidad Central de Las Villas. 2003.
- 23 Knudsen, J. A. Diseño y gestión de la cadena de suministro de los residuos agroindustriales de la caña de azúcar. Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas. Facultad de Ciencias Empresariales. Departamento de Ingeniería Industrial. 2006.
- 24 Domínguez, J.M.; Reyes, C. La paja de caña. Formas de atenuar su impacto ecológico. Revista Tecnología Química. XXIII (3), 2003.
- 25 Embalaje pulpa vegetal. <<http://www.google/fotos.com>>. [Consulta: dic. 2011]
- 26 Dejar la paja de caña de azúcar cosechada en el suelo, reduce la emisión de carbono. <<http://www.google/fotos.com>>. [Consulta: dic. 2011]