

# Impacto ambiental de una planta de producción de bagazo de caña de azúcar enriquecido proteicamente para alimentar animales

María Caridad Julián Ricardo, Luis Beltrán Ramos Sánchez

Facultad de Química, Universidad de Camagüey, Cuba

maria.julian@reduc.edu.cu

luis.ramos@reduc.edu.cu

## RESUMEN

Se estudió el impacto ambiental que pudiera tener la introducción de la tecnología de producción de BAGAMÉS (alimento para animales obtenido a partir del enriquecimiento proteico del bagazo de caña de azúcar), sobre la base de estudios a escala de laboratorio y de planta piloto. La planta industrial se ubicaría en una industria azucarera de la provincia de Camagüey, Cuba. Se analizaron las posibles emisiones de residuales sólidos, líquidos y gaseosos a escala industrial. Se describió la tecnología, así como las acciones para minimizar los efectos adversos que se pueden generar. Se determinó que la planta de producción de BAGAMÉS contribuiría a disminuir el impacto ambiental de la industria azucarera.

**Palabras clave:** *impacto ambiental, alimentación animal, enriquecimiento proteico, bagazo de caña de azúcar*

## Environmental Impact from a Plan Manufacturing Protein-Enriched Sugarcane Bagasse for Animal Feeding

### ABSTRACT

A possible environmental impact provoked by the implementation of a technology to manufacture BAGAMÉS (animal food obtained by enriching sugarcane bagasse with protein) was studied. Validity of this research project was evaluated through a lab setting and a monitoring plant. This industrial plan could be settled in a sugarcane manufacturing enterprise in Camagüey province, Cuba. Probable emissions of solid, liquid, and gas residuals at industrial level were assessed. The recommended technology and measures reducing the likelihood of negative effects generated by this plant are described. BAGAMÉS manufacturing plant could contribute to lower down the environmental impact upon sugarcane manufacturing industry.

**Key Words:** *environmental impact, animal feeding, protein enrichment, sugarcane bagasse*

## INTRODUCCIÓN

La población mundial está aumentando y ya se arribó a la cifra de siete mil millones de habitantes; por lo que es urgente el desarrollo de tecnologías que contribuyan a la producción de alimentos, y de medios que se correspondan con las necesidades del crecimiento humano en todas las esferas de la vida social.

En Cuba, los residuos de la industria azucarera se utilizan de forma natural o procesados en la alimentación animal y se investiga para obtener productos enriquecidos proteicamente por fermentación en estado sólido como la *Saccharina* y el *Bagarip*. Las tecnologías empleadas en su producción presentan limitaciones que impiden su comercialización (Ramos, 2000). A partir de estudios básicos de ingeniería realizados a escala de laboratorio y de planta piloto se hizo el diseño tecnológico de la planta industrial para el enriquecimiento proteico del bagazo de caña de azúcar,

denominado BAGAMÉS, mediante el escalado por modelación matemática y la simulación computacional.

Cuba se encuentra en proceso de desarrollo de su política y estrategia para la protección del medio ambiente, que contribuye a la eliminación de riesgos, a crear nuevas oportunidades de mercado e innovación tecnológica, a incrementar las motivaciones de los trabajadores y a fortalecer las relaciones empresa-sociedad (Gómez, 1999).

El cumplimiento de la legislación ambiental vigente, la introducción de la educación ambiental, así como el enfoque de una producción más limpia que garantice la aplicación continua de una estrategia preventiva, integrada a los procesos, producciones y servicios, con vistas a incrementar la eficiencia y reducir los riesgos para los seres humanos y el ambiente son aspectos en los que debe sustentarse la actividad de la empresa, siendo consecuente con la estrategia ambiental nacional y los princi-

pios del desarrollo sostenible (Ministerio de Justicia, 2007).

Conforme al artículo 27 de la Ley 81 del Medio Ambiente, el proceso de evaluación de impacto ambiental como instrumento de la política ambiental cubana comprende varios aspectos: estudio de impacto ambiental, en los casos que proceda, y proyectos de obra o actividad que se pretendan llevar a cabo con su tecnología; por lo que se definió como objetivo estudiar el impacto ambiental que implicaría la producción de bagazo de caña de azúcar enriquecido proteicamente para alimentar animales (BAGAMÉS), en sus emisiones de residuales sólidos, líquidos y gaseosos.

## MATERIALES Y MÉTODOS

El proceso de producción de BAGAMÉS se realiza en tres unidades tecnológicas: (1) preparación del medio de cultivo, (2) enriquecimiento proteico, (3) acondicionamiento y terminación. A continuación se explica el proceso que se realiza en cada una de ellas.

La unidad de preparación del medio de cultivo cuenta con dispositivos para el almacenamiento temporal de las materias primas principales: bagazo, cachaza, miel y sales minerales. La cachaza y el bagazo se dosifican por alimentadores tipo sin fin a un mezclador transportador de sólidos de doble helicoide. En este mezclador, se añaden también las sales minerales, la miel diluida y el inóculo; este se produce de forma continua en un biorreactor de fermentación sumergida. La mezcla sólida resultante se transporta hacia el área de fermentación en estado sólido (FES), a través de un transportador sin fin.

En la unidad de enriquecimiento proteico, la mezcla sólida obtenida se distribuye en biorreactores de lecho fijo semicontinuos. La cantidad de biorreactores está en dependencia del logro de una producción global continua del producto. A los biorreactores se les suministra aire tratado en una torre de humidificación con vistas a crear las condiciones ideales de temperatura, humedad y disponibilidad de oxígeno. De aquí que se diseñe una columna de humidificación que cumpla con los requerimientos impuestos.

En la unidad de acondicionamiento y terminación

el producto fermentado llega y es depositado en una pequeña tolva, desde donde es alimentado a un secador neumático que funciona con aire caliente a 200 °C. De este equipo, el material debe salir con humedad máxima de 15 %. El producto seco se deposita en una tolva desde donde se alimenta a un molino de martillo que reduce el tamaño de las partículas hasta 1 mm; luego el producto puede ser mezclado con otras materias primas de origen vegetal o animal.

El cumplimiento de lo establecido en la legislación ambiental vigente en Cuba implica que la empresa debe aplicar adecuadamente los principios de “producción más limpia y consumo sustentable”, por lo que se tomaron medidas para prevenir y minimizar la generación de residuales en todas las etapas del proceso.

Se calcularon las emisiones de CO<sub>2</sub>, a partir de la estequiometría de crecimiento de la levadura *Candida utilis* reportada por Bu'Lock y Kristiansen (1991):



La cantidad de residuos sólidos que se pueden reciclar en la planta se estimó a partir de los datos de producción promedios de bagazo sobrante (cantidad de bagazo por encima de la necesaria para generación de energía eléctrica) y de cachaza de los cuatro años comprendidos en el período 2005 a 2008, de la Empresa Azucarera Siboney y del consumo de estas materias primas para la producción de BAGAMÉS anual, que se encuentran en las Tablas 1 y 2.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los gases emitidos en la planta de producción de BAGAMÉS están compuestos en mayor medida por CO<sub>2</sub>; este gas no se encuentra dentro de los identificados como principales contaminantes (Perry y Green, 1999); pero sí como dañino por su influencia en el incremento del efecto invernadero.

**Tabla 1. Producción de residuos sólidos\***

Año	Zafra (d)	Cachaza (t)	Bagazo** (t)	Bagazo sobrante*** (t)
2005	38,0	2 816,9	19 816,2	3 100,8
2006	94,0	6 691,0	54 705,2	7 670,4
2007	65,0	4 602,4	35 565,6	5 304,0
2008	103,0	7 296,8	64 305,5	8 404,8
Promedio	75,0	5 351,8	43 598,1	6 120,0

\* Datos obtenidos del informe de la zafra (2005 a 2008), de la Empresa Azucarera Siboney.

\*\* Cantidad de residuo que genera la producción de azúcar.

\*\*\* Cantidad disponible después de emplear el bagazo necesario para la generación eléctrica.

**Tabla 2. Consumo de residuos sólidos en la producción de BAGAMÉS**

Materias primas	(t/d)	(t/año)	Reciclaje (%)
Bagazo	10,0	3 340,0	54,58
Cachaza	8,15	2 722,1	50,86

ro. Dentro de la composición de los gases que integran la atmósfera, los más importantes para la vida son el oxígeno (20,9 %) y el dióxido de carbono (0,03 %) (Caraballo *et al.* 2006). Se destaca que las emisiones de la planta de producción de BAGAMÉS están asociadas al CO<sub>2</sub> fijado por la caña de azúcar, debido a su elevada capacidad fotosintética que determina mayor coeficiente de absorción de CO<sub>2</sub> atmosférico, comparable al de los bosques de las zonas templadas (Gálvez, 1999).

El cálculo de las emisiones de CO<sub>2</sub> muestra que se producen 0,13 t CO<sub>2</sub>/t de producto seco, equivalentes a 1,13 t CO<sub>2</sub>/t de biomasa seca y a 0,54 t CO<sub>2</sub>/h. Este resultado comparado con los obtenidos por Christen *et al.* (2002) en su investigación para remover etanol gaseoso con el empleo de la *Candida utilis* desarrollada sobre bagazo de caña de azúcar, es significativamente menor. La marcada diferencia quedó demostrada con la aplicación de una prueba de hipótesis para un nivel de confianza de 95 % (Tabla 3); esto sucedió porque en la tecnología de producción de BAGAMÉS se empleó un medio de cultivo óptimo en función de la obtención de la máxima cantidad de biomasa, resultados validados por Ramos (2000). En el artículo de Christen *et al.* (2002) las tres concen-

traciones de etanol utilizadas evidencian inhibición sobre la *Candida utilis* e incremento del rendimiento de CO<sub>2</sub>.

Se confirmó que las emisiones de CO<sub>2</sub> se originan por la actividad microbiana y por la quema de bagazo, no por el uso de combustibles fósiles, que son los de mayores consecuencias negativas en el medio ambiente.

Por otra parte, aunque la levadura utilizada es inocua, los equipos se pueden lavar con agua de retorno con temperatura de  $\geq 50$  °C, que garantiza la lisis celular (Jørgensen, 1968). Luego el agua puede incorporarse al sistema del central porque no se trata de un flujo voluminoso. El consumo de agua en el lavado de los equipos debe ser planificado, pues la planta mantiene una operación global continua. El agua también puede utilizarse en el riego, siempre que no se empleen hidróxido de sodio o ácido clorhídrico en la limpieza (Platero *et al.*, 2005).

La utilización de los productos y subproductos de la caña permite un desarrollo industrial dentro de un ciclo cerrado de aprovechamiento integral, que llega hasta los productos residuales; se emplean de manera que no causen daño al medio ambiente y, a la vez, tengan utilidad económica (Gálvez, 1999). Se valoró la cantidad de residuos sólidos que se pueden reciclar en la Empresa Azucarera Siboney y el consumo de materias primas para la producción de BAGAMÉS anual. Se calculó el bagazo sobrante a partir de considerar como valor promedio 3,4 t/h (reporte obtenido en el departamento de Producción Industrial de la Delegación Provincial del MINAZ en Camagüey).

La planta es capaz de reciclar el 54,58 % del bagazo sobrante y 50,86 % de toda la cachaza; re-

**Tabla 3. Resultados de la Prueba de Hipótesis**

Estadística	Muestra estimada	Muestra calculada*
Media	1,13	14,4
Desviación estándar	1E-8	9,77
Tamaño de la muestra	1	3
Intervalo para 95 % de confianza	-13,27 ± -184 835 [184 822 -184 848]	
Hipótesis nula: diferencia entre medias	0,0	
Alternativa	No igual	
Estadística computada	-2,35254	
Valor-P	0,0	
Se rechaza la hipótesis nula para alpha:	0,05	

\* Muestra calculada a partir de los resultados del trabajo de Christen *et al.* (2002)

sultado que es comparable con el obtenido por Suárez *et al.* (2004) si se considera que en esta tecnología se introduce como materia prima la cachaza, que es otra la composición del medio de cultivo empleado. El reciclaje de bagazo y de cachaza para la producción de BAGAMÉS disminuye notablemente la carga contaminante de desechos sólidos, que se deposita en los suelos de la región.

## CONCLUSIONES

La planta de producción de BAGAMÉS no produce residuales sólidos y disminuye la carga contaminante de la industria azucarera que se deposita en la región en 54,58 % de bagazo y 50,86 % de cachaza. Los residuales líquidos que se producen provenientes del lavado de los equipos pueden emplearse en el riego de las plantaciones cercanas.

Los gases de la actividad biológica en los biorreactores y de la generación de energía no tienen consecuencias negativas de gran incidencia en el medio ambiente porque no se originan por el uso de combustibles fósiles.

## REFERENCIAS

- BU'LOCK, J. y KRISTIANSEN, B. (1991). *Biología Básica*. España: Ed. Acribia S.A.
- CARABALLO, L.; VIAMONTES, E.; TOLEDANO, D.; MUÑOZ, G.; ÁLVAREZ, C.; ARCE, L.; ALONSO, I.; HERNÁNDEZ, I.; CARABALLO, Y.; RUIZ, P.; BORRERO, O.; MENÉNDEZ, L. y BATISTA, I. (2006). *Derecho y medio ambiente*. Cuba: Ed. Academia.
- CHRISTEN, P.; DOMENECH, F.; MICHELENA, G.; AURIA, R. y REVAH, S. (2002). Biofiltration of Volatile Ethanol Using Sugar Cane Bagasse Inoculated with *Candida utilis*. *Journal of Hazardous Materials*, 89, (2-3), 253-265.
- CITMA. (1997). Ley No. 81 del Medio Ambiente, *Gaceta Oficial de la República*. La Habana, Cuba.
- GALVEZ, L. O. (1999). Hacia una agroindustria diversificada y con esquemas flexibles de producción. *Cuba Azúcar*, (Oct.-Dic.), 5-11.
- GÓMEZ, G. (1999). Reflexiones acerca de la empresa y el medio ambiente (pp. 185-195). En *Tecnología y sociedad*. Cuba: Ed. Félix Varela.
- JØRGENSEN, A. (1968). *Microbiología de las fermentaciones ind.* España: Ed. Acribia.
- MINISTERIO DE JUSTICIA (2007). Reglamento para la implantación y consolidación del sistema de dirección y gestión empresarial. Sistema de gestión ambiental. En *Gaceta Oficial de la República* (decreto no. 281, art. 466, cap. 8). La Habana, Cuba: Ministerio de justicia.
- PERRY, R. y GREEN, D. (1999). *Perry's Chemical Engineers' Handbook*. Ed. McGraw-Hill Companies.
- PLATERO, B.; PÉREZ, J.; GARCÍA, E. y PÉREZ, A. (2005). Utilización de los residuales líquidos azucareros en el riego. *Revista Cubana de Química*, XVII (3), 105.
- RAMOS, L. B. (2000). *Aplicación de la Modelación Matemática para el Desarrollo de la Tecnología de Fermentación del BAGARIP*. Tesis de doctorado en Ciencias Técnicas, Cuba.
- SUÁREZ, Y.; RAMOS, L.; MARTÍNEZ, A. y JULIÁN, M. C. (2004). *Tecnología de reciclaje de residuos de la Industria Azucarera para la alimentación animal*. Extraído en 2009, desde <http://www.uh.cu/infogral/areasuh/vri/archivos/CAR/seminario>.

Recibido: 26-7-2011

Aceptado: 20-9-2011