

Análisis de riesgos e impacto ambiental en el manejo y almacenamiento de biomasa cañera en bioeléctricas

Juan Fernández-Rodríguez* y José Alberto Pérez-Hernández

Instituto Cubano de Investigaciones de los Derivados de la Caña de Azúcar (ICIDCA).

Pablo Noriega, CP 33500. Quivicán. Mayabeque, Cuba.

*juan.fernandez@icidcamy.azcuba.cu

RESUMEN

En Cuba está en desarrollo un programa para la construcción de varias plantas bioeléctricas que requieren grandes volúmenes de biomasa. El objetivo de este trabajo es analizar los distintos riesgos e impactos ambientales que tienen el manejo y almacenamiento de biomasa cañera. Se realizaron diagnósticos en patios de almacenamiento y búsqueda bibliográfica para facilitar la clasificación de los riesgos, su manifestación y establecerse el origen y las consecuencias de los impactos. El polvo de bagazo que se genera, constituye un riesgo para las vías respiratorias, provoca afecciones oculares y molestias en la piel. Las partículas entre 3 y 10 micras, al penetrar en los pulmones transportan esporas de actinomicetos responsables de la bagazosis, por lo que se debe contar con los medios de protección necesarios. Existen riesgos de incendios que exigen un sistema de protección que incluya los dispositivos para detectar y monitorear la temperatura de la pila y los equipos y medios de extinción. Los riesgos asociados a equipos de manejo y transporte de biomasa se deben a fallas de maniobrabilidad en la conducción del vehículo, ya que los cargadores operan entre 10 y 20 m de altura y los camiones y sus remolques alcanzan más de 25 m de largo. Otros riesgos están asociados al ruido, emanación de vapores, contaminación por las aguas de drenaje de las pilas y el mal olor en los patios de almacenamiento. Los riesgos y efectos ambientales del uso de la biomasa cañera deben evaluarse cuidadosamente y tener en cuenta la dimensión de los impactos, antes de extender su uso a gran escala.

Palabras clave: almacenamiento, bioeléctrica, biomasa cañera, medioambiente, riesgos.

ABSTRACT

A program for the construction of several bioelectric plants that require large volumes of biomass is carrying up in Cuba. The purpose of this paper is to analyze different risks and environmental impacts during handling and storage of sugarcane biomass. Diagnoses were made in storage yards and a bibliographic search was performed, which facilitated the classification of risks and their manifestation, establishing the origin and consequences of impacts. The generation of bagasse dust causes respiratory risks, eye conditions and skin discomfort. The particles between 3 and 10 microns, when entering the lungs, carry spores of actinomycetes that are responsible for bagassosis, so that it is necessary the use of means of protection. There are fire hazards that require a protection system including devices for detection, pile temperature monitoring and extinguishing equipment. The risks associated with biomass handling and transportation means are due to maneuvering failures in driving the vehicle, since the loaders operate between 10 and 20 m high and the trucks and their trailers reach more than 25 m long. Other risks are associated with noise, vapor emission, contamination by pile drainage water and bad smell in storage yards. The risks and environmental effects of the use of sugarcane biomass should be carefully evaluated, taking into account the dimension of impacts, before extending their use on a large scale.

Key words: bioelectric plants, environment, risks, sugarcane biomass, storage.

INTRODUCCIÓN

Los temas de la contaminación ambiental y el análisis de los riesgos han tenido una mayor atención por parte de todos los sectores (social, industrial, gubernamental, entre otros) en los últimos años en Cuba, ya que para alcanzar los objetivos propuestos se requiere garantizar la sostenibilidad de los procesos productivos. Debido a la acción humana se está modificando la composición química y física de la atmósfera, se experimentan un rápido deterioro de los materiales, afectaciones al medioambiente y a la salud humana (1); por tanto, los efectos económicos, ambientales y sociales del uso de la biomasa deben evaluarse cuidadosamente. Las bondades de la biomasa para la generación de energía eléctrica deben sopesarse cuando se analizan profundamente sus riesgos e impacto ambiental (2).

Las centrales termoeléctricas de biomasa vegetal han alcanzado un auge a nivel internacional (3) y en Cuba existe un programa para el cambio sostenido de la generación de energía eléctrica, a partir del uso del bagazo y los residuos agrícolas de la caña (RAC) (4).

El almacenamiento prolongado de grandes cantidades de biomasa cañera para la generación de energía, fuera de zafra, presenta retos diferentes a los asociados con el almacenamiento en pequeña escala, típico de los ingenios para cogenerar. Entre los desafíos se incluyen la pérdida de valor del combustible, la combustión espontánea, el manejo del bagazo y una variedad de impactos sobre el medioambiente y la salud de los trabajadores (5). Por otra parte, los riesgos a la seguridad ocupacional y a la salud dependen de las características de la biomasa, el diseño de planta y, también, del manejo, procesamiento y almacenamiento de esta (6).

En Cuba se ha acumulado experiencia en el manejo y almacenamiento de grandes cantidades de bagazo, en plantas de pulpa y en plantas de tableros. En la literatura especializada son escasos los trabajos sobre los riesgos e impacto ambiental del uso de la biomasa cañera con fines energéticos (7,8); por lo que, al constituir una experiencia nueva para el país, no se tienen completamente identificados los riesgos y las regulaciones ambientales vigentes que le son aplicables, por lo que se requieren más evidencias y trabajos de investigación en este campo (2).

El objetivo de este trabajo es analizar algunos riesgos e impactos del manejo y almacenamiento de grandes cantidades de biomasa cañera con fines energéticos, para proponer las medidas de mitigación correspondientes.

Materiales y métodos

Se realizaron diagnósticos tecnológicos por parte de los autores, en patios de almacenamiento, en papeleras de Cuba en 2014 y de Colombia en 2012, se revisaron informes internos del ICIDCA, relacionados con el tema y se hizo una búsqueda bibliográfica; todo ello facilitó la clasificación de los riesgos y sus manifestaciones; se estableció el origen y consecuencia de los impactos a la salud humana y al medioambiente. El muestreo de la pila se hizo por el método de triangulación por laderas y se emplearon las normas TAPPI. El nivel de presión sonora se midió con un sonómetro digital marca EXAIR, con rango de 20 a 130 dB y la temperatura de la pila se midió con un termopar de la marca Eutechnics 4500, con láminas (Fe-Cu, Ni) y rango de 40 °C a 150 °C. Se analizó el molino pica-paja del centro de limpieza en seco, del ingenio Manuel Fajardo.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los riesgos asociados al manejo y almacenamiento de la biomasa cañera se pueden clasificar de acuerdo con el agente causante, como se muestra en la tabla 1.

Tabla 1. Clasificación de los riesgos y sus manifestaciones

Riesgos	Manifestaciones
Físico- ambientales	Ruido y vibraciones; condiciones termo-higrométricas (temperatura, humedad); radiaciones no ionizantes (exposición a radiaciones solares en patios de almacenamiento).
Químicos	Emanaciones gaseosas de la combustión; emanaciones de vapores (reacciones bioquímicas del bagazo almacenado).
Biológicos.	Hongos (enmohecimiento de polvos de origen vegetal); particulados (micro-partículas de polvo de bagazo y RAC); enfermedades transmitidas por el hombre o animales.
Topográficos.	Riesgos por pendientes, cambios de nivel, zanjas, canales.
Mecánicos	Maquinaria y equipos (desgaste, falta de mantenimiento).
Transporte	Se producen choques, vuelcos e incendios de medios de transporte por desperfectos técnicos y por imprudencias.
Eléctricos	Generados por motores, conductores, paneles de energía.
Del puesto	Orden y limpieza; trabajo en las alturas; condiciones microambientales.
Del ecosistema	Inundaciones, tormentas, tornados, huracanes, descargas eléctricas y lluvias sostenidas e intensas.

El ruido se origina por los camiones de carga, los equipos pesados de manejo del bagazo, por los conductores de banda y otros equipos. En la tabla 2, se reportan valores del nivel de ruido medido, a diez metros de la fuente generadora.

Tabla 2. Fuente de ruido en el manejo y almacenamiento de biomasa cañera

Fuente de emisión	Camión	Cargador	Triturador	Tractor	Conductor
Nivel de ruido dB(A)	82.4	82.1	87.0	80.0	80.0

Los valores de presión sonora asociados al ruido de los distintos equipos no rebasan la norma (NC-19-01-04) (9) de 85 dB (A) para un tiempo de exposición de 8 horas, excepto el ventilador de tiro inducido y el molino triturador de RAC, con 85 y 87 dB (A), respectivamente. Como medida preventiva los trabajadores involucrados deben usar tapones auditivos y orejeras, que debe atenuarles entre 10-30 decibeles.

Las vibraciones se transmiten al cuerpo a través de los asientos de vehículos, estructuras, pisos y el suelo, provocando dolores abdominales y lumbares, trastornos visuales y problemas con el equilibrio. Los equipos de manejo y transporte de la biomasa producen vibraciones de baja frecuencia admisibles, según la norma (NC 19-01-05) (10), pero los molinos de martillos picadores de los RAC generan vibraciones de alta frecuencia (de 1 a 80 Hz), más riesgosas. Para enfrentar la exposición a radiaciones solares, los trabajadores utilizarán el casco, la camisa de mangas largas y la solera. La generación de gases de combustión por equipos de transporte y manejo de la biomasa cañera, al igual que la combustión del bagazo, son focos de emisiones de gases de efecto invernadero. Uno de los impactos de mayor incidencia económica, laboral y medioambiental es el incendio de las pilas de bagazo, por lo que se debe contar con un sistema de protección contra incendio (11). El fuego se puede producir accidentalmente en cualquier área, debido a violaciones de las instrucciones laborales como: fumar en áreas prohibidas, no cumplir las medidas de seguridad al realizar trabajos de mantenimiento y no utilizar mata-chispas en los equipos de manipulación y transportación de biomasa con motores de combustión interna.

Debe ejecutarse el monitoreo de la pila, como se muestra en la figura 1 y en la tabla 3, para predecir la ocurrencia de autocombustión y la calidad del bagazo.



Figura 1. Muestreo de la pila de bagazo.

Tabla 3. Resultados del muestreo de la pila de bagazo

Ladera	Punto de muestreo	Humedad (% w/w)	Temperatura (°C)	Cenizas (%)	pH	Solubilidad NaOH (%)
3	Superficie	57.11	43.5	7.94	4.28	32.33
	Interior V	53.80	48.0	5.14	4.53	30.45
	Interior H	55.20	48.3	5.85	4.95	29.73
2	Superficie	74.52	35.9	5.52	6.00	30.52
	Interior V	44.20	67.1	4.85	5.32	33.25
	Interior H	51.18	63.8	5.36	5.73	30.91
1	Superficie	48.83	45.2	5.79	5.91	28.13
	Interior V	56.60	54.3	5.85	5.44	29.78
	Interior H	54.98	53.7	4.16	5.50	31.02
	Control	53.2	-	6.09	5.33	30.94

V: en el plano vertical del muestreo; H: en el plano horizontal del muestreo.

La pila muestreada después de tres meses de almacenamiento, con una altura de 18 m, conteniendo 35 000 t (bh) de bagazo no mostró evidencias de peligro de incendio, según los modelos de riesgos de Macaskill (12), ni tampoco deterioro de la calidad del bagazo, corroborado por los bajos niveles de solubilidad en sosa al 1 %.

En caso de incendio de la pila, debe evacuarse al personal hacia zonas contrarias al viento, por el arrastre del humo; activarse el sistema contra incendio y solicitar los servicios de los bomberos. Al extinguir el fuego, mediante el riego con agua, se corre el riesgo de contaminación de las fuentes de abasto de agua con el drenaje de la pila, por lo que deben tomarse medidas de protección en este sentido.

El manejo, almacenamiento y reclamo de la biomasa cañera genera contaminación por polvo, a partir de distintas fuentes como se observa en la tabla 4, ocasionando riesgos de enfermedades respiratorias, afecciones oculares y molestias en la piel. Este material particulado se encuentra disperso en la atmósfera y puede mantenerse suspendido por largo tiempo. En la NC 111:2002 (13) se establecen las regulaciones para la vigilancia de la calidad del aire, las de mayor riesgo son las partículas en suspensión entre 3 y 10 μm de diámetro. Se establece como patrón primario para las partículas en suspensión una carga de 140 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. La carga resultante en un ingenio donde se apila bagazo es de 150 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (7). Estas partículas favorecen el desarrollo y transportación del *termo-Ac-tinomiceto sacchari*, causante de la bagazosis (14) que, al penetrar en los pulmones, provocan la

formación de tumores cancerígenos (15). Este polvo presenta un riesgo de explosión ante la cercanía de una fuente de ignición, como en el caso de usar equipos de soldadura y corte de metales.

Tabla 4. Fuentes de generación de polvo, a partir de la biomasa cañera

Fuente	Manifestación	Medidas de mitigación
Pila a granel	Erosión de la pila por el viento	Plantar cortinas de árboles y montar barreras de contención de polvo.
Recolección y picado de los RAC en el campo	Levantamiento de nubes de polvo por los equipos recolectores	Uso de espejuelos protectores y filtro de aire para los trabajadores.
Preparación de los RAC en pacas en el patio	Generación de polvo en los molinos picadores	Colocar sistema de extracción de polvo en la nave
Carga del bagazo en camiones	Se arrastra polvo por el viento y se adhieren partículas de bagazo a las ruedas de vehículos	Uso de medios de protección. Limpieza del vehículo antes de abandonar el área
Transportación del bagazo en camiones	Generación de polvo por arrastre del viento	Cubrir la carga de los camiones con carpas
Transportadores de banda	Generación de polvo por arrastre del viento	Techar los transportadores
Formación de la pila mediante descargadores de cinta	Generación de nube de polvo	Colocar bajante de descarga para minimizar la altura de la caída del bagazo
Acarreo del bagazo con el cargador formando la pila	Generación de nube de polvo	Orientar la rampa de la pila en la dirección de los vientos.
Desbroce de la pila por cargadores frontales para el reclamo del bagazo.	Generación de nube de polvo	Se montan barreras de contención de malla plástica sobre la cerca perimetral del patio en sentido contrario al arrastre del polvo.
Tolvas de reclamo de bagazo	Al descargar el camión se genera polvo	Colocar protección de cortinas de goma
Desintegración de las pacas de bagazo	Generación de polvo en las desempacadoras	Colocar sistema de extracción de polvo en la nave

Debido al polvo también se afecta la maquinaria, los interruptores eléctricos y la instrumentación, por lo que deben hacerse frecuentes limpiezas de estos dispositivos. A los trabajadores de las áreas de manejo y almacenamiento de biomasa cañera, se les exige un chequeo médico con cierta periodicidad.

La contaminación odorífera o por malos olores, en actividades industriales, provoca malestar, molestias respiratorias, alteraciones psicológicas y de otra índole, aunque los olores no lleguen a ser tóxicos. Hasta donde se conoce, no existe en nuestro país legislación que regule o limite las emisiones de olor, de manera que las entidades involucradas deben mitigar su efecto.

El bagazo fresco no produce ningún olor agresivo; sin embargo, cuando se almacena de forma inadecuada puede producir mal olor, debido a su descomposición por la fermentación alcohólica, ya

que en su etapa final genera ácido acético que puede impactar en los trabajadores y en los núcleos poblacionales cercanos a la planta.

En cuanto a los riesgos por pendientes, debe tenerse en cuenta que las pilas a granel se construyen, fundamentalmente, en forma de cuña, con una inclinación entre de 27 y 30°, mediante la formación con cargador frontal. En el caso de camiones de menor envergadura, que transportan el bagazo subiendo la pila marcha atrás, es conveniente la revisión diaria del sistema de frenos para garantizar la operatividad del vehículo a mayores alturas y restringir pendientes entre 10 y 18°.

Los riesgos mecánicos de maquinaria y equipos, en el manejo y preparación de la biomasa cañera, se deben a fallas mecánicas causadas por desgaste, falta de mantenimiento e imprudencias de los operadores.

En cuanto a los riesgos asociados al transporte, se deben extremar las medidas en la conducción del vehículo por parte de su conductor, ya que los tracto-camiones alcanzan una longitud de unos 25 metros junto con su remolque, lo que constituye un foco potencial de accidentes, especialmente en vías de mayor densidad de tráfico. Los países que utilizan esta tecnología establecen importantes regulaciones de vialidad para minimizar estos riesgos.

Los riesgos generados por la electricidad están asociados, fundamentalmente, a fallas en motores eléctricos de los conductores de bagazo. En el diseño del patio, los conductores eléctricos y las líneas de alta tensión, deben estar alejados de la pila de bagazo.

En el almacenamiento en pacas, las pilas pueden alcanzar la altura de hasta 10 metros y dificultar el trabajo del gruero y sus auxiliares, que genera riesgos y exige un gran nivel de concentración y de pericia para evitar accidentes. En el almacenamiento a granel, las variantes que más se manejan, en la práctica, son pilas chiquitas con altura de la cresta de 10 m (16) y pilas grandes de 20 m de altura, ambas en forma de cuña, mediante cargadores frontales. En Cuba se acumuló una amplia experiencia en la formación de este tipo de pilas de 20 m de altura y de hasta 50 000 t bh (tonelada de bagazo húmedo), en la industria del papel. Se han dado casos en que los cargadores se han desplomado desde la cima de la pila. Se ratifica, entonces, la importancia del mantenimiento adecuado, la revisión técnica diaria y la conducción con cautela y precisión del equipo.

Cuando llueve fuerte, la superficie de la pila, hasta menos de un metro de profundidad, se lava y genera un efluente con arrastres de sólidos disueltos, provocando un incremento en la demanda química y biológica de oxígeno, que también contiene fenoles, taninos, entre otros y constituyen un riesgo potencial de contaminación de los reservorios de agua adyacentes.

El área de almacenamiento debe contar con un plan de respuesta ante las emergencias, así como un plan de prevención de riesgos, para lo cual se requiere la capacitación y preparación de todo el personal que labora en el área.

CONCLUSIONES

Se clasificaron los riesgos, también sus manifestaciones en el manejo y almacenamiento de la biomasa cañera. Asimismo, se identificaron sus orígenes y consecuencias. Finalmente, se propusieron medidas para su mitigación.

Los principales riesgos están asociados a: incendio de la biomasa, a la generación de polvo causante de la bagazosis, ruido y vibraciones en los molinos picadores de RAC, emanación de vapores, contaminación por las aguas de drenaje de las pilas y mal olor en los patios de almacenamiento. Otros riesgos están relacionados con equipos de manejo y transporte de biomasa, debido a la generación de gases de efecto invernadero y a fallas de maniobrabilidad, ya que los cargadores operan entre 10 y 20 m de altura, y los camiones y sus remolques alcanzan más de 25 m de largo.

La política de seguridad y salud ocupacional y de protección del medioambiente, correspondiente al manejo y almacenamiento de la biomasa cañera se formulará por los directivos de la bioeléctrica y será de conocimiento de los trabajadores. El área de almacenamiento debe contar con un plan de prevención de riesgos, para la que se requiere la capacitación y preparación de todo el personal. Los riesgos y efectos ambientales del uso de la biomasa cañera deben evaluarse cuidadosamente y tener en cuenta la dimensión de los impactos, antes de extender su uso a gran escala.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. CITMA. Primera Comunicación Nacional de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático. Octubre, 2001.
2. Freiberg A y otros. The Use of Biomass for Electricity Generation: A Scoping Review of Health Effects on Humans in Residential and Occupational Settings, *Int. J. Environ. Res. Public Health*, 15(2), 354. 2018
3. *García, S. Centrales Termoeléctricas de Biomasa Editorial: Renovetec (España). ISBN 9788461615575. 400 páginas. 2015*
4. Zayas, C. Conversando con la ingeniera Bárbara Hernández acerca de las bioeléctricas en Cuba. *Revista ATAC*, No. 3. ISSN 0138-7553. 2017
5. Purchase B.C, Rosettenstein, S and Bezuidenhout, D.V. Challenges and potential solutions for storage of large quantities of bagasse for power generation. *Proc S Afr Sug Technol Ass.* 86: 495 – 513, 2013.
6. Rohr A.C., Campleman S.L., Long C.M., Peterson M.K., Weatherstone S., Quick W., Lewis A. Potential Occupational Exposures and Health Risks Associated with Biomass-Based Power Generation. *Int. J. Environ. Res. Public Health*; 12:8542–8605. 2015.
7. Gil, Z. Estudio del impacto ambiental del uso del bagazo como fuente de energía en centrales azucareros en Cuba. Estudio de caso “Melanio Hernández”. TESIS DOCTORAL. Matanzas. Disponible en: <http://hdl.handle.net/10803/50994>. 2005
8. Villegas, P y Colaboradores Estudio de la calidad del aire en instalaciones azucareras. *Centro Azúcar*, 4,85 -92. 2005
9. Norma NC-19-01-04
10. Norma NC 19-01-05
11. Lokapure, R.B; Kadam; A.P; Nerle, V.B. Fire Protection of Sugarcane Bagasse –A Case Study Of Renuka Sugar's 30 MW Co-Generation Plant at Ichalkranji. *International Journal of Engineering Research and Applications (IJERA)* ISSN: 2248-9622 Vol. 2, Issue 4, July-August, pp.1617-1620. 2012.
12. Macaskill, M. J; and Gray, B. F. A reaction-diffusion model of stored bagasse. *ANZIAM* , J. 4313-34, 2001
13. Norma NCIII:2002
14. Lacey, J. *Thermoactinomyces sacchari* sp. nov., a thermophilic actinomycete causing bagassosis. *Journal of General Microbiology* 66, 327-338. 1971.
15. Lois-Correa J, Flores-Vela A, Artega-Grimaldo and Berman-Delgado J. Experimental evaluation of sugar cane bagasse storage in bales. *J Appl Res Technol* 8(3): 365-375. 2010.
16. Cusi, D.S. Methods for *bagasse conservation*, pile formation and handling procedures: *Sugar y Azúcar*. Vol.75 No.8 pp.39 -51. 1980.