

Nuevos paradigmas en la cosecha de la caña para el uso sustentable de la biomasa en la bioeléctrica. Parte II

Antonio Aguilar-Pardo^{1*}, Dagney Aguilar-Estrada²

1. Instituto Cubano de Investigaciones de los Derivados de la Caña de Azúcar. ICIDCA. Vía Blanca 804 y Carretera Central, San Miguel del Padrón, La Habana, Cuba

*antonio.aguilar@icidcamy.azcuba.cu

2. Grupo Empresarial Agropecuario y Forestal Artemisa. Carretera Waterloo, Finca La Esperanza, Artemisa. Cuba
dplogistica@grupo.art.minag.cu

RESUMEN

La biomasa agroindustrial azucarera, compuesta por el bagazo y los residuos agrícolas de la caña de azúcar (RAC), representa más de 50 % de la materia prima que entra a la industria, convertible en energía con alta eficiencia (65-95 %), mediante métodos termoquímicos. Su aprovechamiento depende principalmente de la tecnología empleada en la cosecha de la caña y de la eficiencia en el proceso de conversión energética. En el trabajo se analizan tres sistemas de cosecha mecanizada en caña verde y su influencia en la recuperación energética de los RAC, así como en el período de operación de una bioeléctrica asociada a la fábrica de azúcar. Actualmente se utiliza el 58 % de la biomasa que se produce, pudiendo llegar a 90 %, con la aplicación de nuevos paradigmas en la cosecha que consideran el desarrollo tecnológico alcanzado y los problemas actuales más apremiantes. La biomasa producida en una zafra de 180 días permite operar la bioeléctrica 97 días más; para un período de operación anual de 277 días. Mientras en el sistema convencional la cantidad de biomasa producida alcanza para operar la bioeléctrica sólo 161 días/año.

PALABRAS CLAVE: cosecha, preparación, tecnología, biomasa, bioeléctrica.

ABSTRACT

The sugar agro industrial biomass, composed by the bagasse and the agricultural residuals of the sugar cane (RAC), it represents more than 50 % of the matter it prevails that enters to the industry, convertible in energy with high efficiency (65-95 %), for methods thermo-chemical. Their use depends mainly on the technology used in the crop of the cane and of the efficiency in the process of energy conversion. In this work three crop systems are analyzed mechanized in green cane and their influence in the energy recovery of the RAC, as well as in the period of operation of a bioelectric associated to the factory of sugar. At the moment 58 % of the biomass is used that takes place, being able to be 90 %, with the application of new paradigms in the crop that consider the reached technological development and the most urgent current problems. The biomass taken place in a harvest of 180 days allows to operate the bioelectric more 97 days; for a period of annual operation of 277 days. While in the conventional system the quantity of produced biomass reaches to only operate the bioelectric 161 days/year.

KEYWORDS: harvests, preparation, technology, biomass, bioelectric.

INTRODUCCIÓN

La preservación del medio ambiente, la disponibilidad de alimentos y de energía, constituyen los problemas más apremiantes en el ámbito

mundial. Los países están afectados por desequilibrios crecientes del ecosistema, con gran influencia en el desarrollo económico y social. Es inevitable una transición energética desde la actual dependencia mayoritaria de combustibles

fósiles hacia combinaciones más diversificadas, (1-3).

Entre las fuentes de energía renovables (FER), es importante considerar el potencial de biomasa en el mundo, como toda sustancia orgánica renovable de origen tanto animal como vegetal; procedente de la energía que almacenan los seres vivos, en primer lugar los vegetales, al utilizar la energía del sol (mediante la fotosíntesis), para formar sustancias orgánicas; los animales al alimentarse de las plantas incorporan y transforman esa energía. Su potencial es equivalente a $2 \cdot 10^{21}$ julios, aproximadamente 10 veces el consumo mundial y 200 veces la energía consumida en forma de alimentos. Se encuentra en bosques, cultivos energéticos y en los residuos; agropecuarios, industriales y urbanos (4-10).

La desventaja principal de la biomasa tal como se obtiene de la naturaleza o de procesos socio-económicos, se debe a sus características heterogéneas. Requiere previa preparación, que facilite las operaciones de transporte, almacenamiento y manipulación, para su conversión energética en la industria. Entre los procesos de preparación previa, se encuentran la molienda, el astillado, el tamizado, el peletizado, el briqueteado, el empaclado y el secado, entre otros (11,12).

La conversión energética de la biomasa ha alcanzado un alto nivel de desarrollo en la vertiginosa carrera de la industria tecnológica, ante la creciente demanda de recursos y el difícil reto de evolucionar y satisfacer a usuarios cada vez más exigentes. Actualmente, las tecnologías de conversión se clasifican en dos grandes categorías primera y segunda generación, que incluyen procesos termoquímicos y bioquímicos.

Los procesos termoquímicos como la combustión, la pirólisis y la gasificación; se basan en la utilización del calor como fuente de transformación de la biomasa y están bien adaptados a la biomasa seca, en particular la paja y la madera, donde la energía contenida, es más fácil de aprovechar. En la combustión están involucrados los tres procesos, mientras en los otros se crean las condiciones para obtener carbón vegetal o gas combustible. El rendimiento energético que se obtiene suele ser alto (65-95 %).

Los procesos biológicos se basan en la fermentación de las sustancias orgánicas con exclusión de aire u oxígeno; donde participan diferentes bacterias anaeróbicas, como es el caso de la fermentación alcohólica, utilizada en la digestión de azúcares y almidones y la fermentación metánica, idónea para la transformación de la biomasa húmeda en biogás. Los procesos biológicos tienen mayor tiempo de residencia y menor rendimiento energético (30-60 %) (13, 14).

En los procesos termoquímicos y biológicos de segunda generación la materia prima es lignocelulósica. Para conservar la celulosa y la hemicelulosa, aisladas de la lignina, se realizan diferentes procesos de pretratamiento (físico, químico o biológico). Es la opción más prometedora a mediano plazo para la producción de etanol combustible con menor costo, posibilita también que este proceso pueda ser industrializado sin afectación de los alimentos. En estas tecnologías, al contrario de las de primera generación algunos aspectos técnicos se encuentran en la fase de desarrollo (15, 16).

La producción energética a partir de la biomasa debe estar orientada hacia el uso de la biomasa residual y de aquellos cultivos de biomasa que no afectan de manera natural la producción de alimentos.

Nivel de desarrollo tecnológico alcanzado

La biomasa es la primera fuente de energía que utiliza la humanidad durante muchos años con tecnologías simples, las cuales se han estado desarrollando sobre la necesidad de fuentes de energía sostenibles. Actualmente en Finlandia se obtiene un 14 % de la energía a partir de desechos forestales y agrícolas, mientras en Suecia se obtiene un 10 %. Los países avanzados para reducir su dependencia de los combustibles fósiles, organizan proyectos de biomasa dirigidos a satisfacer una parte de las necesidades energéticas, como es el caso del Reino Unido que desarrolla proyectos de plantas de biomasa de alta capacidad en la producción de energía y de alcohol concentrado en fermentadores continuos, suficientemente rápidos para competir con la gasolina como combustible para el transporte. Brasil ha logrado también gran éxito en el desarrollo de centrales eléctricas a base de biomasa, como la India, Australia, China, España, Finlandia y Estados Unidos, entre otros (17 - 20).

Actualmente existen plantas de biomasa que son verdaderos gigantes tecnológicos y permiten cogenerar a gran ritmo y estabilidad; con capacidades increíbles; como la planta bioeléctrica Ironbridge, la mayor en el mundo, con 740 mW, desarrollada en el Reino Unido a partir de una planta eléctrica a base de carbón; puesta en funcionamiento en el año 2013 a base de pellets de madera, le siguen Alholmens Kraft de 265 mW en Finlandia, puesta en marcha en el año 2002. Finlandia posee seis plantas más con capacidad entre 125 y 240 mW: [210 (1), 160 (1), 240 (2), 125 (2)], puestas en funcionamiento en el período 2004-2013. Entre las plantas mayores del mundo cuentan también la Polaniec con 205 mW, puesta en funcionamiento en el año 2012 en Polonia y un caso interesante, es la Planta NHPP de 140 mW

en los Estados Unidos, al operar con bagazo y otros residuos; suministra la energía necesaria para todo el procesamiento de la caña de azúcar, así como para cubrir las necesidades de electricidad de alrededor de 60 000 hogares en Florida (21,22).

Los sistemas energéticos de biomasa constituyen ya una empresa rentable en una gran variedad. Su disseminación traería grandes beneficios sociales, cuyos métodos de evaluación deben tener en cuenta la cooperación intersectorial de la comunidad agrícola en el desarrollo de la bioenergía, que normalmente requiere esquemas institucionales descentralizados.

Especialmente para los países que producen caña de azúcar, la producción de energía a partir de la biomasa cañera, compuesta por el bagazo y los RAC, representa una oportunidad excelente para el incremento de la eficiencia económica y la protección del medio ambiente (23, 24, 25).

En este trabajo se analizan tres sistemas de cosecha de caña verde y su influencia en el aprovechamiento de la biomasa sólida (RAC+bagazo) como fuente de energía, así como en el período de operación anual de una bioeléctrica con capacidad de 20 mW, sin necesidad del uso de otro combustible a un costo mayor.

Metodología de trabajo

Balance de masa y energía en tres sistemas de cosecha de caña verde y la aplicación de un enfoque logístico en la dirección. Debe ejecutarse un conjunto de operaciones en la cosecha de la caña, de forma racional y coordinada, al proveer materia prima y combustible con elevada competitividad en cuanto a cantidad y calidad; partiendo de los resultados presentados de la primera parte de este trabajo (26).

DESARROLLO

Potencialidad energética de la agroindustria azucarera

La fábrica de azúcar por sus características requiere de gran cantidad de energía (4000 kcal/kg azúcar) debido al gran número de operaciones que involucra la obtención de un producto de elevada pureza (98-99 %) a partir de una materia prima vegetal (27).

Sin embargo entre las grandes industrias, la del azúcar de caña tiene el privilegio de disponer de una materia prima que le proporciona, en forma de biomasa, el combustible suficiente para generar la energía que necesita y entregar excedentes importantes a la red nacional, cuando se aprovecha el potencial energético de esta gramí-

nea en una bioeléctrica con generación distribuida (CHP).

El potencial energético de la caña de azúcar en forma de biomasa, en la agroindustria azucarera es equivalente al 89 % en peso de la materia prima que entra a la industria, cuando la eficiencia es de 11 % en el proceso industrial, como se muestra en la figura 1.

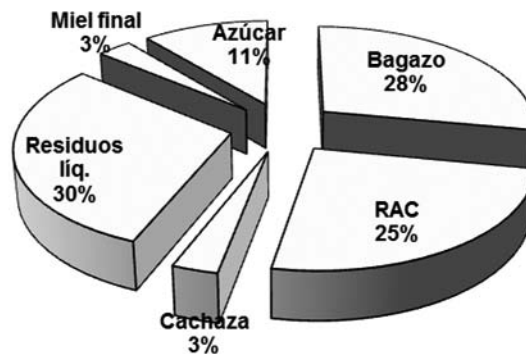


Figura 1. Composición de la biomasa agroindustrial azucarera.

La biomasa líquida (cachaza, miel final y efluentes líquidos) representa el 36 % en peso, convertible en energía por métodos biológicos con niveles de eficiencia entre 30-60 %. Mientras la biomasa sólida, compuesta por el bagazo y los RAC, representa más de 50 %, convertible en energía con la aplicación de métodos termoquímicos preferiblemente, con eficiencia entre 65-95 %; cuyas posibilidades de aprovechamiento se ilustran en lo adelante.

Los sistemas de cosecha y el aprovechamiento energético de la biomasa

El aprovechamiento del potencial de energía en la biomasa cañera depende en primer lugar del sistema empleado en la cosecha de la caña y de la eficiencia en el proceso de conversión energética de la biomasa.

Para el análisis del aprovechamiento energético de este recurso, se ha elegido una empresa azucarera con los parámetros siguientes:

- Rendimiento en caña; 60 t/ha.
- Caña molida; 4500 t/d.
- Materia extraña en caña molible; 5,0 %.
- Bagazo % caña; 28.

Donde se analizan tres sistemas de cosecha mecanizados con las características siguientes:

I. El primer sistema de cosecha (SC) es convencional, la limpieza de la caña se realiza en una sola etapa, con el uso de máquinas combinadas con alta eficiencia (79 %). La mayor parte de los RAC quedan distribuidos en el campo, el resto

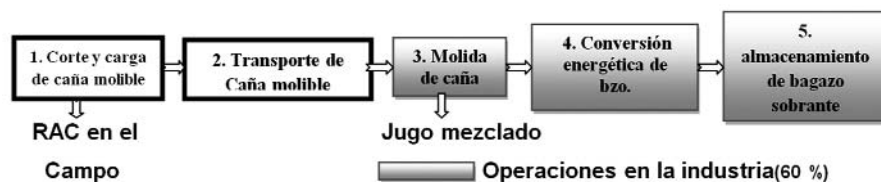


Figura 2. Flujo tecnológico con las operaciones requeridas para el aprovechamiento de los RAC en el SC I.

acompaña a la caña hasta la industria, formando parte de la corriente de bagazo, a la salida del tandem. El sistema cumple con el flujo tecnológico, según la figura 2.

II. El SC II, es similar al desarrollado en Cuba en la década del 60; la limpieza de la caña se realiza en dos etapas consecutivas, mediante el uso de máquinas combinadas con 50 % de eficiencia y el empleo de instalaciones estáticas de limpieza en seco de la caña, situadas entre el campo y la industria, dotadas con equipos trituradores de RAC denominadas instalaciones multipropósito (IM), donde se incrementa el valor agregado de los productos de la cosecha (caña y RAC); según los requerimientos técnicos.

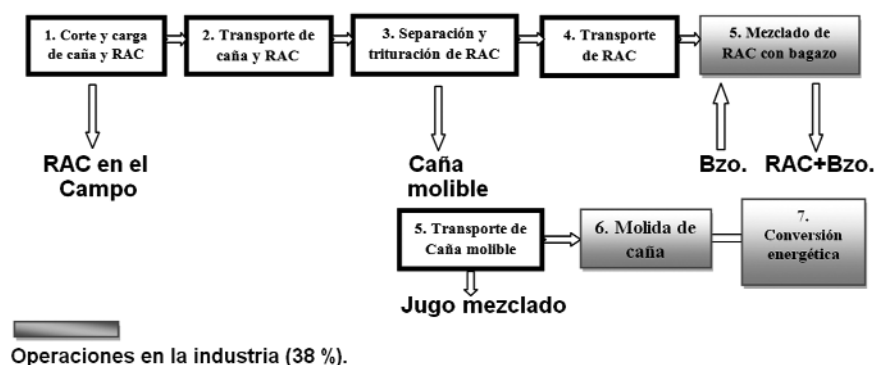


Figura 3. Flujo tecnológico con las operaciones requeridas para el aprovechamiento de los RAC en el SC II.

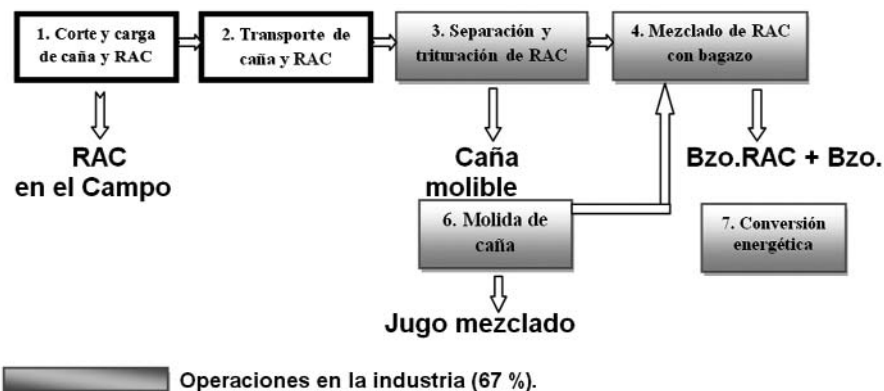


Figura 4. Flujo tecnológico con las operaciones requeridas para el aprovechamiento de los RAC en el SC III.

Los RAC obtenidos en la instalación multipropósito (IM) se envían al silo de biomasa junto con el bagazo procedente de la industria. El sistema cumple con el flujo tecnológico, según la figura 3.

III. En el tercer sistema de cosecha, se realizan algunas modificaciones tendentes a optimizar

la distribución de los RAC durante la cosecha de la caña, al variar los parámetros de eficiencia de limpieza en equipos e instalaciones, para el uso más racional de este recurso, manteniendo los parámetros de eficiencia en la cosecha. Se emplean máquinas combinadas con 20 % de eficiencia (cosecha integral); la caña es transportada con alto contenido de RAC hasta la IM, ubicada en la industria, donde se incrementa el valor agregado de ambos componentes (caña y RAC), según los requerimientos técnicos, respectivamente; las operaciones en este sistema se muestran en la figura 4.

En el SC III se realiza un mayor número de operaciones en la industria, como se indica en los bloques con sombra, lo que representa una mayor industrialización en el aprovechamiento energético de los RAC.

En los sistemas de cosecha II y III, las instalaciones estáticas de limpieza en seco de la caña, realizan también la operación de preparación de los RAC y se denominan instalaciones multipropósito (IM).

Balance de RAC entre el campo y la industria durante la cosecha de la caña

Según lo descrito por Ramírez *et al.* (28) sobre rendimiento en caña se obtiene que para 60 t/ha se producen 21 % de residuos agrícolas de la caña (RAC o materia extraña), equivalente a 16 t/ha, de donde se obtiene la tabla 1, con la aplicación de los sistemas de cosecha seleccionados: base de cálculo una hectárea.

De la tabla 1, en los sistemas de cosecha analizados; quedan distribuidos en el campo como cobertura del terreno; 79, 50 y 20 % de los RAC, cuando se aplican los sistemas de cosecha I, II y III, respectivamente. Esto evita la proliferación de malas hierbas y la erosión

del terreno; mantiene la humedad y la flora natural en el campo; menores afectaciones en las labores de cultivo, con el corte mecanizado (tamaño de partículas de los RAC entre 200-400 mm).

Se recuperan 29 y 59 % de los RAC en las plantaciones cañeras, con la aplicación de los SC II y III, respectivamente; mientras entra al proceso industrial junto con la caña el 21 % (3,4 t/ha), formando parte posteriormente de la corriente de bagazo a la salida del tándem de molinos; igual para todos los casos, en aras de mantener la calidad de la materia prima en la fabricación de azúcar.

Como resultado el total de RAC disponible para el uso energético como combustible en la bioeléctrica, es equivalente al 21, 50 y 80 % en peso del total de RAC en las plantaciones cañeras, para los sistemas de cosecha I, II y III, respectivamente, con beneficios ambientales y económicos, como se muestra más adelante en el período de operación de la bioeléctrica.

Una vez realizadas estas observaciones se analiza lo que representan estos parámetros en una fábrica de azúcar con una capacidad de 4500 t/d caña molible (tabla 2).

En la tabla 2, se puede apreciar cómo varía el potencial de combustible en forma de biomasa sólida, durante la zafra, con la aplicación de los sistemas de cosecha considerados; quedan en el campo después de la cosecha de la caña: 894, 568 y 227 t/d de RAC, con la aplicación de los sistemas de cosecha I, II y III, respectivamente mientras se recuperan 636, y 670 t/d respectivamente con la

aplicación de los SC II y III.

Se produce en la industria la misma cantidad de bagazo, para un total de biomasa disponible para el uso energético equivalente a 1260,1586 y 1930 t/d. Esto representa disponer de 35 y 43 de biomasa % caña en los SC II y III, respectivamente, en lugar de 28 % como en el SC tradicional.

Como resultado el total de biomasa destinada para el uso energético en la bioeléctrica con relación a la biomasa residual total producida es equivalente al 74 y 90 % para los SC II y III, respectivamente contra 58 % en el sistema tradicional, lo cual es significativo para los efectos esperados. Esto indica la importancia que tiene en el aprovechamiento de la biomasa cañera la selección del sistema de cosecha y la aplicación del desarrollo tecnológico alcanzado.

Selección del tipo de máquina cosechadora

Considerando el alto nivel de desarrollo alcanzado en la cosecha mecanizada de la caña y la aparición de diversas máquinas, es importante establecer el tipo de máquina cosechadora más adecuada al caso de estudio.

Atendiendo a las operaciones que se realizan en el proceso tecnológico de la cosecha mecanizada de caña, las máquinas cosechadoras se dividen en cuatro tipos (29), como aparece en la figura 5.

A. Las que cortan la caña en la parte inferior, la recogen y descargan toda la masa vegetal cosechada (caña, cogollo, hojas verdes y secas), al campo o a un medio de transporte.

Tabla 1. Influencia del sistema de cosecha en la distribución y el uso de los RAC

Sistemas de cosecha	Cañaveral, t/ha		RAC total	Distribución de los RAC						Total Uso Energético	
	Caña			Campo		Recuperado		Industria			
	Molible	Limpia		t/ha	%	t/ha	%	t/ha	%	t/ha	%
I	63,4	60	16	12,6	79	-	-	3,4	21	3,4	21
II	63,4	60	16	8,0	50	4,6	29	3,4	21	8,0	50
III	63,4	60	16	3,2	20	9,4	59	3,4	21	12,8	80

Tabla 2. Potencial de materia prima y combustible, con la aplicación de los SC I, II, y III. (t/d)

Sistemas de cosecha	Campo					Industria				
	Caña		RAC		% Biomasa Total	RAC	Bagazo	Total uso energético	% Biomasa	% Caña
	Molible	Limpia	Antes corte	Desp. corte						
I	4500	4259	1136	894	2154	-	1260	1260	58	28
II	4500	4259	1136	568	2154	326	1260	1586	74	35
III	4500	4259	1136	227	2154	670	1260	1930	90	43

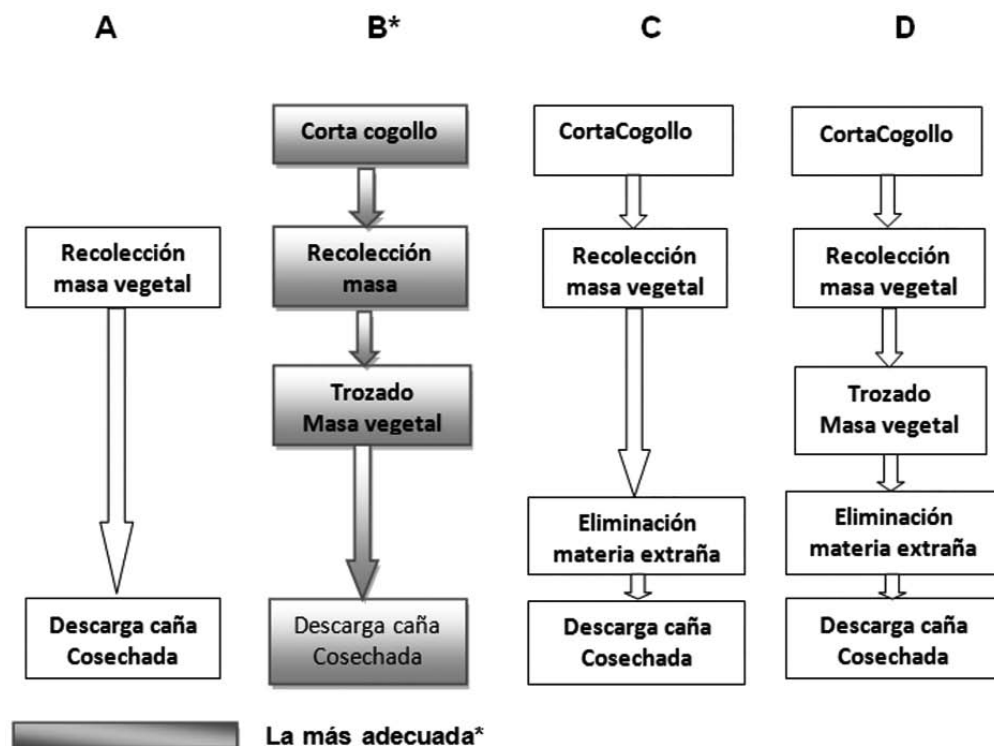


Figura 5. Características de las máquinas cosechadoras.

- B. Las que cortan y dejan el cogollo en el campo, cortan la caña en la parte inferior, trozan la masa vegetal cosechada (cañas, hojas verdes y secas) y la depositan sobre un medio de transporte.
- C. Las que cortan y dejan el cogollo en el campo realizan el corte de la caña en la parte inferior, separan materias extrañas (hojas verdes y secas) y descargan la caña cosechada al campo o al medio de transporte.
- D. Las que cortan y dejan el cogollo en el campo realizan el corte de la caña en la parte inferior, trozan la masa vegetal, eliminan las materias extrañas y descargan los trozos de caña cosechada a un medio de transporte.

- 50,0 %, VCI 1825 kcal/kg.
- RAC; humedad 35,0 %, VCI 2465 kcal/kg
- Turbogenerador*; 20 MW.

El empleo de los resultados obtenidos con la aplicación de los sistemas de cosecha estudiados, se muestra en la tabla3, donde se han considerado dos períodos de zafra (150 y 180 días).

En la tabla 3, para zafas de 150 días es posible la operación de la bioeléctrica durante 32 y 81 días más, después de terminada la zafra, con el uso de las tecnologías II y III en la cosecha de la caña, respectivamente; con períodos de operación anual de 182 y 231 días, respectivamente; mientras con la tecnología I el período de operación es de solo 134 días/año.

Tabla 3. Período de operación de la bioeléctrica con el uso de los SC I, II y III.

SISTEMAS DE COSECHA	I		II		III	
VCI Comb. (Kcal/kg)	1825		1957		2047	
Combustible Disponible/Neces.	0,90		1,21		1,54	
Período de Operación, (días)						
Días de zafra	150	180	150	180	150	180
Bioeléctrica	134	161	182	218	231	277
Sin zafra	-16	-19	32	38	81	97

Por las características conocidas, el tipo de máquina B es el recomendable o más adecuado para la cosecha de la caña con alto contenido de RAC (caña integral) y su procesamiento en las IM, donde se obtienen caña limpia y RAC preparado para el uso energético.

Período de operación de la bioeléctrica

Con las características en el esquema energético siguientes:

Generador de vapor

- Capacidad, 110 t/d.
- Eficiencia, 85,0 %.
- Características del vapor; temperatura 485 °C, presión 6,4 Mp y entalpía 825,9 kcal/kg.

Combustible

- Bagazo; humedad

CONCLUSIONES

1. La selección del sistema de cosecha es de gran importancia en el aprovechamiento de la biomasa cañera.
2. El tipo de máquina B es el más recomendable o más adecuado para la cosecha de la caña mecanizada con alto contenido de RAC o integral, en los sistemas de cosecha II y III objeto de análisis, para el uso de los RAC como fuente de energía en las bioeléctricas.
3. La tecnología III ofrece mejores resultados en la recuperación de los RAC para el uso energético en las bioeléctricas. Recupera el 90 % del total de biomasa en las plantaciones cañeras, lo que permite generar electricidad durante 277 días/año (6648 horas), incluyendo 97 días después de terminada la zafra de 180 días; en una bioeléctrica asociada a la fábrica de azúcar.

RECOMENDACIONES

1. Realizar evaluación económica del uso energético de los RAC con las tecnologías objeto de estudio.
2. Implementar el uso energético de los RAC; en una empresa azucarera, considerando los resultados anteriores; para su evaluación en la práctica social.

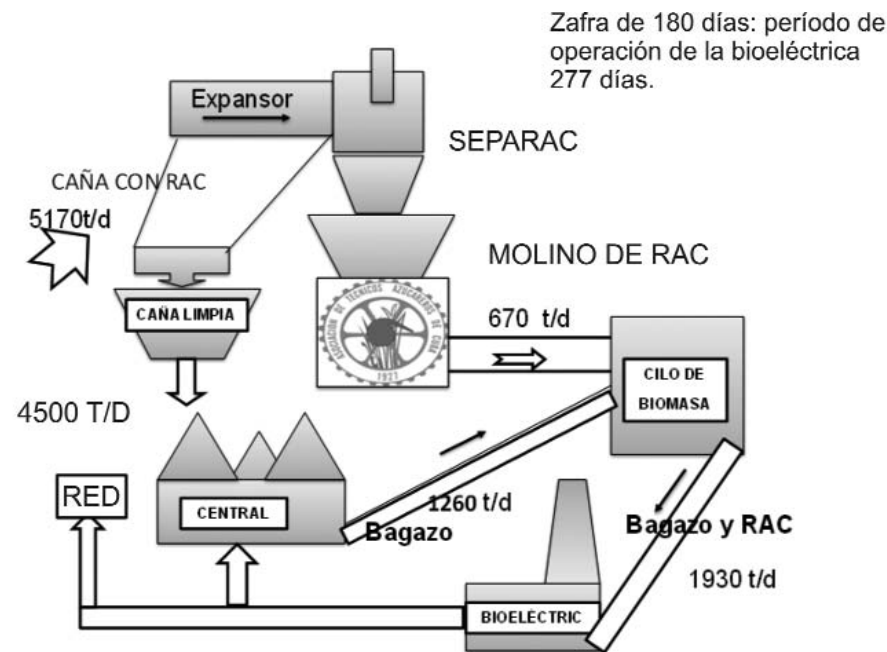


Figura 6. Instalaciones tecnológicas en la industria para el aprovechamiento energético de los RAC.

Cuando la zafra tiene una duración de 180 días, la bioeléctrica puede operar mayor tiempo una vez terminada la zafra (38 y 97 días, respectivamente). Similarmente, el período de operación anual es mucho mayor 218 y 277 días respectivamente; mientras, con el sistema convencional en la cosecha de la caña, el período de operación anual de la bioeléctrica es de sólo 161 días, con el combustible producido en el período de zafra considerado. Para el uso energético de los RAC es conveniente disponer en la industria de instalaciones tecnológicas como aparece en la figura 6.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Repsol. Matriz energética mundial. [Http://www.repsol.com](http://www.repsol.com); 2013. Consultado: 04/01/2017; 8:26 a.m.
2. Castro, R. F. Conferencia de Naciones Unidas sobre Medio Ambiente y Desarrollo. Río de Janeiro, Brasil. 1992.
3. Unión Europea. La cooperación con los países en vía de desarrollo. Cumbre mundial de Johannesburgo sobre Desarrollo Sostenible. 2002.
4. Larousse. ISBN 84-816-266-X. Edición electrónica. Editorial S.A. 1998.
5. Aureum. Boletín informativo <http://www.alu.ua.es/v/vap/index.htm>. 2004. 07/02/2017, 9:10 a.m. Consultado: 17/06/2017, 2:23 pm.
6. Fernández, M. A. Ingeniería y Medio Ambiente. N0. 4. 2010. <http://www.alu.ua.es/v/vap/index.htm>; 04/01/2017; 8:56 a.m. Consultado: 17/06/2017, 2:56 pm.
7. Martínez, P. A. <http://www.cubaenergia.cu/index.php/es/publicaciones/renovable-cu/41-renovable-cu-septiembre-2015/file>; 08/02/2017, 9:05 am. Consultado: 17/06/2017.
8. Bueno, G. G.; Cordobés, H. M.; Delgado, A. G. (2009). Sorgo dulce: Sus potencialidades productivas. Revista ICIDCA, Vol. 43, No 3

9. Palomo, M. N. Energía de Biomasa. 23/02/2010 <http://energiapositivanoa.blogspot.com/2010/02/energia-biomasa.html>. Consultada 19/06/2017, 10:41 am.
10. Best, G. La biomasa en los países en desarrollo: Potencialidades y restricciones. Departamento de Desarrollo Sostenible, FAO, Roma. <http://www.fao.org/forestry/es/>
11. Aguilar, A. Potencialidad de los residuos agrícolas de la caña. Parte I: Características energéticas. Revista Cuba Azúcar No. 1. pág. 38. 1989.
12. Fernández, M. A. Biomasa, una energía renovable de gran futuro. 4 de Septiembre, 2010 Biología, Divulgación, Ingeniería, Medio Ambiente. <http://www.consumer.es/>. 08/02/2017, 11:12 a.m.
13. Bueno, G. Informe final del Proyecto: "Obtención de etanol a partir de sustratos alternativos". Código: 286. Institución ejecutora: Instituto Cubano de Investigaciones de los Derivados de la Caña de Azúcar (ICIDCA). (2009).
14. FAO. "El rol de biotecnologías agrícolas para la producción de bioenergía en países en desarrollo". 2007.
15. Michelen, G.; Bueno, G.; Álvarez, A.; Eng, F.; Viñals, M.; Carreras, E. et al. Estudios de la Hidrólisis alcalina y enzimática del bagazo de la caña de azúcar para la producción de etanol celulósico. XIII Congreso Nacional de Biotecnología y Bioingeniería, México, junio, 2009.
16. Boza, S. y Saucedo A. Informe, Proyecto "Desarrollo Sostenible de los biocombustibles; GER/08/007. 2011.
17. Rico, J. Energía de la biomasa. Manuales de energías renovables. Depósito Legal: M-44500-2007. ISBN: 978-84-96680-15-9. Madrid, octubre de 2007. http://www.idae.es/uploads/documentos/documentos_10374_Energia_de_la_biomasa_07_28e17c9c.pdf. Consultado, 20/06/2017.
18. Sánchez, Á. Abengoa construirá la mayor planta de biomasa del mundo en Reino Unido. Madrid 10/09/2015; http://economia.elpais.com/economia/2015/08/10/actualidad/1439192868_374966.html. Consultado 20/06/2017.
19. Jarabo, F.; Fernández J. Energía de la biomasa. (En línea) Tenerife. Edición S.A. de Publicaciones Técnicas, 1997. ISBN 84-86913-04-7. (Resumen del libro); <http://documentslide.com/documents/energia-de-la-biomasa-55b07ac294761.html>. (Consultado, 10 jul. 2016).
20. BRASIL: el país con más renovables en electricidad del BRICS. <http://www.energias-renovables.com/articulo/el-pais-con-mas-renovables-en-electricidad-20150914>; 07/02/2017, 13:50 p.m.
21. Roca, S. J A. Las 10 mayores plantas de biomasa del mundo. 11/01/2016. <http://elperiodicodelaenergia.com/>; mail: redaccion@elperiodicodelaenergia.com 08/02/2017, 11:45, a. m
22. Rodríguez, E. Las plantas de energía de biomasa más grandes del mundo. 2 Abr, 2014. <http://www.fierasdelaingenieria.com/las-plantas-de-energia-de-biomasa-mas-grandes-del-mundo/07/02/2017>, 11:36, a. m
23. Aguilar, P. A. Apuntes sobre la revalorización de los residuos agrícolas de la caña. Tecnologías de preparación. ICIDCA sobre los derivados de la caña de azúcar (La Habana) XLVIII (2): p. 50-55, 2014.
24. Lodos, J. ¿Cuál es la bioeléctrica que la industria azucarera y Cuba necesitan? Memorias Diversificación; Sección Energía renovable, p. 465, 2013.
25. Hernández, M. B. Situación y perspectiva energética de la industria de la caña de azúcar en Cuba. Encuentro Cuba -Alemania. Diciembre. 2013.
26. Aguilar A., Pérez J. A, Aguilar D. "Nuevos paradigmas en la cosecha de la caña para el uso sostenible de toda la biomasa en las bioeléctricas. Parte I". ICIDCA sobre los derivados de la caña de azúcar (La Habana L (3): p. 3-8, 2017.
27. Legrá, M. J.; Pérez S. S., López S. Y. Estudio energético en la UEB Central Paquito Rosales de la provincia Santiago de Cuba. <http://scielo.sld.cu/pdf/rtq/v34n1/rtq10114.pdf>. Aprobado 12/2013. Consultado 12/06/017
28. Ramírez, C. H.; Salcedo, M. A.; Briones, E. F.; Lucero, M. F.; Cárdenas, L. A.; Marcof, A. C.; et al. Rendimiento, caracterización morfológica y bromatológica de la punta de caña de azúcar en la Huasteca Potosina, México. Cubana de Ciencia Agrícola. [en línea] 2014, 48 (4):[Fecha de consulta: 16 de junio de 2017] Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=193033033017>>ISS
29. Puig, L. A. Clasificación de aparatos trozadores de las cosechadoras para la caña. ATAC, Asociación de técnicos Azucareros de Cuba (La Habana), (5), p. 51-59; 1982.

