

## ***EVALUACIÓN PRELIMINAR DE LA CONSERVACIÓN DE JUGOS INDUSTRIALES DE CAÑA ENERGÉTICA***

### ***PRELIMINARY EVALUATION OF THE PRESERVATION OF INDUSTRIAL JUICES OF ENERGY CANE***

*Joaquín de J. Obregón-Luna<sup>1\*</sup>, Amílkar Faúldes López<sup>2</sup>  
y Rolando A. Hernández-León<sup>3</sup>*

<sup>1</sup> Centro de Estudios de Energéticos y Procesos Industriales. Universidad de Sancti Spiritus "José Martí Pérez", Avenida de los Mártires No. 360 entre Bartolomé Masó y Brigadier Reeve, Sancti Spiritus. Cuba.

<sup>2</sup> Facultad de Ciencias Pedagógicas, Universidad de Sancti Spiritus "José Martí Pérez", Sancti Spiritus, Cuba.

<sup>3</sup> Universidad de las Ciencias Informáticas (UCI), Km 2½ Autopista La Habana - San Antonio de los Baños, La Habana. Cuba.

Recibido: Junio 1, 2016; Revisado: Junio 30, 2016; Aceptado: Octubre 4, 2016

#### **RESUMEN**

En Cuba se inició la instalación de 19 bioeléctricas en centrales azucareros para cogenerar electricidad todo el año. Utilizarán como biomasa combustible el bagazo producido durante la zafra y completarán para el resto del año con marabú y caña energética. Esta última originará jugos no aptos para producir azúcar, pero sí como fuente de carbono para la fermentación alcohólica. No obstante, no todas estas industrias tienen una destilería de alcohol anexa, que motivó buscarle solución a su conservación. Para ello se realizaron entrevistas cara a cara, fueron utilizados datos experimentales disponibles de conservación de jugos industriales de caña energética, se procesaron con el software DataFit 9.0.59 a los efectos de obtener modelos matemáticos de predicción del comportamiento en el tiempo de los jugos conservados, con las variables de restricciones  $Brix \geq 70\%$ ,  $Acidez \leq 1,5 \%$  y  $UfcT/g \leq 160\ 000$ . Se determinó que la sencilla tecnología utiliza el equipamiento fabril existente, es segura la conservación durante 180 días y aporta \$ 9,57 CUP/t de forma preliminar a la factibilidad económica. Se sugiere que sea cuanto antes la utilización alcohólica de esta nueva materia prima, para reducir costos de almacenamiento.

**Palabras clave:** bioeléctricas, cogeneración, caña energética, conservación de jugos industriales

Copyright © 2017. Este es un artículo de acceso abierto, lo que permite su uso ilimitado, distribución y reproducción en cualquier medio, siempre que la obra original sea debidamente citada.

\* Autor para la correspondencia: Joaquín de J. Obregón, Email: [obregon@uniss.edu.cu](mailto:obregon@uniss.edu.cu)

## **ABSTRACT**

The installation of 19 biopower plants for the electricity cogeneration during the whole year has begun in Cuban sugar mills. As biomass fuel they will use the bagasse produced during the sugar harvest, and to complete the rest of the year they will use marabou and energy cane. The latter will originate juices not suitable for sugar production, but good as source of carbon for alcoholic fermentation. Nevertheless, not all these mills have an annexed alcohol distillery, what encouraged looking for solutions to their preservation. To this aim, face to face interviews were carried out, the available experimental data on preservation of industrial juices of energy cane were used and processed with the DataFit 9.0.59 software to obtain mathematical prediction models for the behavior in time of the preserved juices, with the restriction variables  $\text{Brix} \geq 70\%$ ,  $\text{Acidity} \leq 1,5\%$  and  $\text{UfcT/g} \leq 160\ 000$ . It was determined that the simple technology uses the existent industrial equipment, the preservation during 180 days is feasible and contribute with \$ 9,57 CUP/t in a preliminary way to the economic feasibility. It is suggested to use this new raw material for alcohol production as soon as possible, to reduce storage costs.

**Key words:** biopower plants, cogeneration, energy cane, preservation of industrial juices.

## **1. INTRODUCCIÓN**

La dependencia de Cuba en más del 50% de combustibles fósiles importados para generar la electricidad que necesita, es una de las debilidades que ha compulsado dentro de las ocho prioridades de las ciencias nacionales, ir a un progresivo empleo de las energías renovables endógenas compatibles con el medio ambiente (Pérez, 2014).

En tal sentido, las 19 bioeléctricas que se instalan e instalarán en Cuba, emplearán principalmente el bagazo de caña azucarera durante la zafra y acumular para después de esta. Completarán no menos de 300 días de operaciones al año, con marabú y bagazo procedente de variedades cubanas de caña energética entre otros (Lodos, 2015). La mayor efectividad técnica, económica, social y ambiental nacional se obtiene; al emplear el bagazo en la generación de vapor y electricidad (Diez-Torres, y Garrido-Corralero, 2012). Se pretende llegar al 2020 con el 16,5% de aporte de las energías renovables en la matriz energética del país. Estas nuevas variedades de caña energética utilizables también para la industria de la celulosa y el papel (Triana et al., 2008), contiene el doble de bagazo de la caña azucarera, sus jugos no tienen factibilidad técnica-económica para producir azúcar; características análogas al manifestado por similares variedades en otros países (Bonomi, 2015) (Salassi et al., 2015).

Con todo un paquete tecnológico agroindustrial desarrollado durante más de una década en la provincia de Sancti Spíritus, la industrialización de la caña energética cosechada integralmente se ha realizado hasta el momento en Cuba, solo en la Unidad Empresarial de Base Central Azucarero (UEB-CA) Melanio Hernández antes de iniciar y para terminar zafra azucarera, tiene anexa la UEB Derivados con la destilería Paraíso. Ha utilizado sus jugos industriales en la producción de bioetanol (Obregón-Luna, 2008). Sin embargo, por su mayor tamaño y superiores disponibilidades de caña y áreas para

estas, el grupo Azcuba decidió que una de las bioeléctricas se instale en la UEB-CA Uruguay (Bravo, 2014). Al no tener esta entidad una planta de derivados que utilice dichos jugos, unido a que ha sido demostrado que no es viable estabular animales para consumirlos directo (Obregón-Luna, 2008); se evidenció la necesidad de la conservación de jugos industriales de caña energética en la evitación de que conviertan en un residual líquido agresivo al medio ambiente. Al considerar que sí existen datos experimentales de conservación de los mismos (Obregón-Luna, 2008), se precisó el propósito de este trabajo: evaluar de forma preliminar la conservación de jugos industriales de caña energética con las obtenciones de ecuaciones de regresión de pronóstico de estabilidad al transcurrir los días, propuestas del esquema tecnológico y estimación del aporte económico.

## **2. MATERIALES Y MÉTODOS**

### **2.1 Entrevistas**

En 2015 se procedió a realizar entrevistas cara a cara según la metodología de la investigación cualitativa (Rodríguez y col., 2008), con las preguntas siguientes:

- Empresarios de la UEB-CA Uruguay: ¿Tienen previsto algún destino útil para los jugos de caña energética? ¿Les interesaría conservarlos para su comercialización?
- Funcionarios de la Empresa Comercializadora Tecnoazúcar Sancti Spíritus: ¿Tendría el nuevo producto cubano jugos de caña energética conservados mercado seguro para fermentación y producción bioetanol?

### **2.2 Compilación de datos experimentales**

Fueron utilizados datos experimentales existentes de la conservación de jugos de caña energética industriales mezclados con Miel Final a 75% Brix nominal hasta los 90 días (Obregón\_Luna, 2008). El término % Brix nominal obedece a que los balances de materiales de sólidos solubles, no consideraron la contracción que sufre la Miel Final al ser diluidas a menor concentración (Obregón-Luna, 2008).

La forma de experimentación está descrita con claridad paso a paso en la fuente original (Obregón-Luna, 2008). En esencia consistió en coleccionar unos 5 L de jugos industriales de caña energética pasterizados calientes de la UEB-CA Melanio Hernández, se mezclaron con Miel Final previamente caracterizada en macrocomposición química y microbiológica, a un Brix nominal de 75%. La mezcla se depositó en un tanque plástico de 20 L con la tapa ajustada no estanco para simular un tanque de miel de almacenamiento. Fue colocado en la azotea de las oficinas de la destilería Paraíso a la intemperie durante cinco meses. Otra parte de la misma Miel Final fue diluida al propio Brix nominal de 75% con agua desmineralizada, se colocó en otro tanque plástico de igual capacidad. Fue el testigo utilizado en el trabajo original (Obregón-Luna, 2008). La Tabla 1 muestra los datos.

**Tabla 1.** Comportamiento de las variables de estabilidad en el tiempo de la mezcla a 75 %Brix nominal de jugos de caña energética+Miel Final

No.	T (d)	% Brix	% A. T.	UfcT/g*10 <sup>3</sup>	% Acidez
1	0	75,41	47,42	79,9	0,85
2	10	75,40	47,35	80,3	0,90
3	20	75,36	47,19	80,6	0,93
4	30	75,34	47,00	81,0	0,94
5	40	75,28	46,87	81,1	0,94
6	50	75,16	46,49	81,5	0,94
7	60	75,01	46,70	81,9	0,98
8	70	74,81	46,64	90,6	0,99
9	80	74,73	46,50	91,8	1,04
10	90	74,54	46,36	93,0	1,06

Leyenda:

% Brix: % peso de sólidos solubles.

% A. T.: % Azúcares Totales

T(d): tiempo de la medición en días.

UfcT/g: Unidades formadoras de colonias Total/gramo.

% Acidez: % peso de ácido acético equivalente.

Los valores de restricciones de las variables de estabilidad química-microbiológica del sustrato de jugos de caña energética conservados, contra riesgos de contaminaciones en la fermentación alcohólica fueron acatados. Estos son: a) Brix  $\geq 70\%$ , b) Acidez  $\leq 1,5\%$  y c) UfcT/g  $\leq 160\ 000$  (Obregón-Luna, 2008). Se adjudicó igual precio que la Miel Final a la fracción peso de jugos, al no existir una norma nacional actualizada del precio de compra y venta de la caña energética (Faildes-López, 2015), a los efectos de realizar una estimación preliminar del aporte económico, aunque existe un referente extranjero (Salassi et al., 2013).

### **2.3 Obtención de las ecuaciones de regresión de predicción por variable de restricción**

Para predecir en los días el comportamiento de la mezcla jugos de caña energética con Miel Final, se obtuvieron las ecuaciones de regresión de las variables de restricciones: % Brix, UfcT/g y % Acidez con los datos de la Tabla 1. Fue utilizado el software DataFit 9.0.59 (2009), incluyeron el coeficiente de correlación  $R^2$ , el estadígrafo d de Durbin-Watson y Error Estándar  $\leq 0,05$ , para precisar la robustez de los modelos matemáticos obtenidos. A partir de los mismos se calcularon el comportamiento cada una de las variables a los 140, 180 y 200 días de conservados los jugos de caña energética bajo las condiciones de ensayo. Se estableció que si el valor de una sola de las variables de restricciones es alcanzado o sobrepasado, ello definiría los días de conservación segura. La fuente original establece 80 días el límite, basado en la media nacional de la experiencia práctica de almacenamiento de la Miel Final por decenas de años (Obregón-Luna, 2008).

### 2.4 Propuesta del esquema tecnológico

Fue utilizada la misma ingeniería conceptual propuesta en la fuente original (Obregón-Luna, 2008).

### 2.5 Estimación del precio de venta preliminar de la fracción jugos de caña energética

Para estimar precios de venta de solo la fracción de jugos de caña energética en la mezcla con Miel Final a los 60 días de conservación, como ilustración de utilidad práctica de los modelos matemáticos obtenidos, se utilizaron los precios establecidos por el Ministerio de Finanzas y Precios (MFP, 2014), la Tabla 2 los muestra.

**Tabla 2.** Precios Resolución 484, Cuba

<i>Producto</i>	<i>Precio de la miel (CUP)/t</i>	<i>Especificaciones de calidad</i>
Miel Final	\$ 76,25	85 % Brix; 52% A.T.
Miel B	\$ 320,85	84 % Brix; 54% A.T.

Para ajustar precios se utilizó la ecuación (1) (MINAZ, 1986):

$$\text{Precio del producto} = \text{Precio de la miel según Tabla 1} * A/B \quad (1)$$

A=%Brix real del producto\* % A.T. real del producto

B=%Brix (Especificaciones de Calidad: Tabla 1).\* % A.T. (Especificaciones de Calidad: Tabla 1).

La ecuación (1) es la forma establecida en el país para ajustar los precios de compra-venta en la economía real contractual, entre el comprador y el vendedor.

## 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 3.1 Entrevistas

Los empresarios de la UEB-CA Uruguay manifestaron que no tenían previsto un destino útil para los jugos de caña energética, por lo que valoraban de atinado su conservación para después comercializarlos si tenían clientes. Los funcionarios de Tecnoazúcar expresaron que la destilería Paraíso insumirían todos los jugos conservados, por la experiencia de años de utilizar los mismos en la fermentación alcohólica para producir alcohol (Obregón-Luna, 2008). Que aun a 75% Brix resultaba más rentable la transportación por el costo del combustible principalmente, que traer mieles de otras provincias a veces muy distantes y que registraban menos de 80% Brix.

### 3.2 Ecuaciones de regresión de predicción de la conservación en días

La Tabla 3 mostrada a continuación, compila los modelos matemáticos obtenidos.

**Tabla 3.** Ecuaciones de regresión

<i>Variable Y</i>	<i>Ecuación de regresión</i>	<i>R<sup>2</sup></i>	<i>d</i>	
%Brix	$Y = a + b \cdot \ln(x) + c \cdot \ln(x)^2 + d \cdot \ln(x)^3 + e \cdot \ln(x)^4$	0,99	2,46	0,04
%AzT	$Y = a + b \cdot \ln(x) + c \cdot \ln(x)^2 + d \cdot \ln(x)^3 + e \cdot \ln(x)^4 + f \cdot \ln(x)^5$	0,93	2,61	0,04
Acidez	$Y = a \cdot x^6 + b \cdot x^5 + c \cdot x^4 + d \cdot x^3 + e \cdot x^2 + f \cdot x + g$	0,95	2,04	0,02
ufcT	$Y = a + b/\ln(x) + c/\ln(x)^2 + d/\ln(x)^3 + e/\ln(x)^4 + f/\ln(x)^5$	0,88	2,63	0,05

La Tabla 3 evidenció que los modelos de regresión satisfacen los supuestos de: correlación significativa entre las variables acorde con los valores registrados de  $R^2$ , no autocorrelación en los residuos en correspondencia con los datos numéricos del estadígrafo de Durbin-Watson; así como, los errores manifestado por fueron igual y menores al límite prefijado. Demostraron que son modelos matemáticos consistentes.

### ***3.2.1 Cálculo de las variables de restricciones en función de los días de conservación.***

Los resultados de la predicción con las ecuaciones de regresión de la Tabla 3 al comportamiento de las variables de restricciones, se muestran en la Tabla 4.

**Tabla 4.** Variables de restricciones vs. Días de conservación de los jugos de caña energética

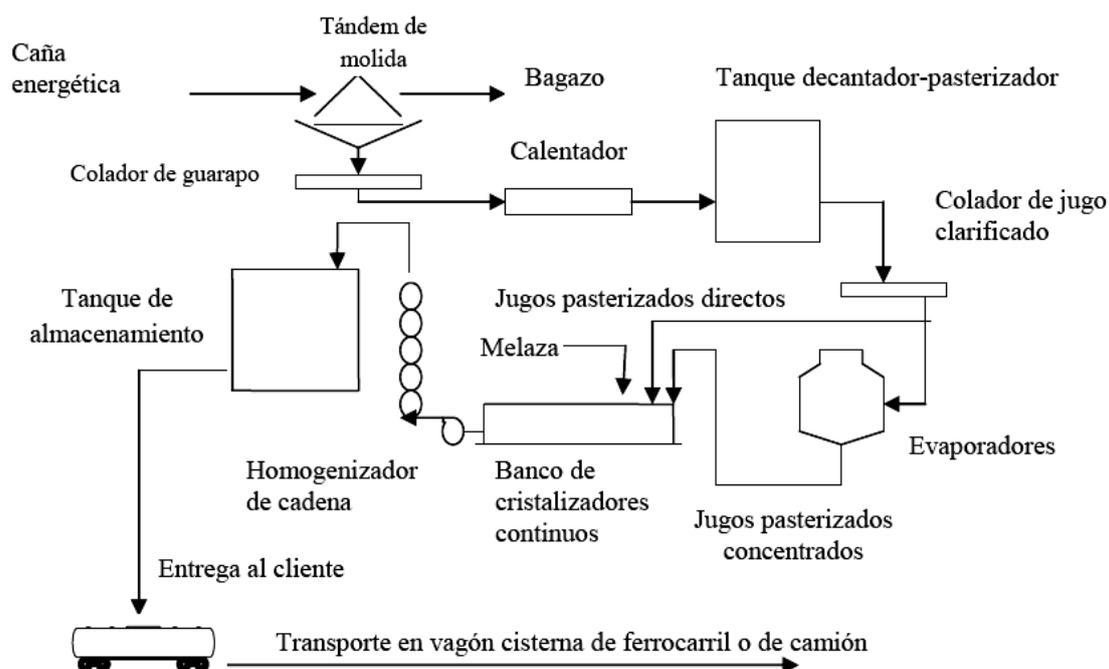
<b>Tiempo en días</b>	<b>%Brix</b>	<b>% Acidez</b>	<b>ufcT</b>
140	73,08	1,270	123 299
180	71,93	1,510	161 422
200	71,29	1,646	186 048

Los resultados de la Tabla 4 demostraron que bajo las condiciones de ensayo con jugos industriales de caña energética, es segura la conservación hasta los 180 días, al sobrepasar discretamente los valores de las variables de restricciones % Acidez y ufcT. No obstante, cuanto más rápido se utilicen será menor el costo de almacenamiento (Nic, 2005).

### ***3.3 Propuesta del esquema tecnológico***

La implementación práctica en la UEB-CA Uruguay utilizará las mismas instalaciones industriales existentes, inactivas hasta la próxima zafra azucarera. Conllevará a habilitar un banco de cristalizadores continuos, construir y montar con recursos propios un homogenizador de cadena; concentrar los jugos de caña energética alimentados al segundo vaso de un evaporador múltiple efecto, para evitar temperaturas por encima de  $90^{\circ}$  C que originan reacciones química con aparición de inhibidores a la levadura y por ende, a la fermentación alcohólica (Obregón-Luna, 2008).

La Figura 1 mostrada a continuación, brinda el esquema tecnológico industrial propuesto para el período no zafra.



**Figura 1.** Esquema tecnológico propuesto para la conservación industrial de jugos de caña energética

Hasta Jugos pasterizados directos de la Figura 1, empleará la tecnología de la patente CU 23 211 (Obregón-Luna y col., 2007). Para la UEB-CA Uruguay se enviarán al segundo vaso de los evaporadores múltiple efectos y concentrarán por encima de los 30% Brix. Calientes aun, se bombean al banco de cristalizadores continuos donde se mezclarán a 75% Brix nominal con Miel Final, se bombearán a través del Homogenizador de cadena y se depositarán en el Tanque de almacenamiento. Se señala que como no son purificados con cal-calor, es probable que se originen incrustaciones frecuentes en los evaporadores, aspecto aun a estudiar. No se justifica adquirir equipos similares a un concentrador de vinazas autolimpiable (Praj, 2012), por operar tres meses/año a lo sumo.

### 3.4 Estimación preliminar del aporte económico

El cálculo del precio de venta de los jugos de caña energética conservados mostró:

Precio de venta/t a los 60 días= \$ 76,25 \* [75,01 \* 46,70/ 85,00\* 52,00]= \$ 60,43 CUP/t.

Como la conservación experimental representó 15,83 % peso de jugos de caña energética pasterizados directos industriales (Obregón-Luna, 2008) (Faildes-López, 2015), se obtuvo:

\$ 60,43 CUP \* 15,83 / 100= \$ 9,57 CUP/t.

Se observa que el aporte estimado al valor de \$ 9,57 CUP/t junto a la Miel Final utilizada en la conservación de jugos de caña energética, incorpora varios aportes: 1) libera parte de dicha miel para otros empleos como la alimentación animal, 2) aumenta su disponibilidad para la propia destilería Paraíso y 3) reduce costos de utilización de la caña energética en bioeléctricas que contribuye a su factibilidad económica del empleo de esta biomasa combustible. Este análisis conlleva a precisar que si los jugos no se

conservan, existe el riesgo de que conviertan en un residual líquido agresivo al medio ambiente.

#### **4. CONCLUSIONES**

1. La evaluación preliminar de la conservación de los jugos de caña energética demostró de forma proactiva, que es una tecnología viable aplicable no solo a la UEB-CA Uruguay, sino a todos aquellos centrales azucareros cubanos sin destilerías anexas, que instalarán bioeléctricas y utilizarán caña energética; novedad no encontrada en las fuentes consultadas.
2. -Es segura la conservación por unos seis meses, incrementa el valor agregado a la cogeneración eléctrica con estas nuevas variedades de caña energética, deben utilizarse en fermentación alcohólica cuanto antes. Su concentración aumentará proporción en la mezcla, que aprovechará más las capacidades de almacenamiento.
3. Se requiere estudiar el comportamiento de las incrustaciones en los evaporadores múltiples efectos, al ser jugos no purificados con cal-calor.

#### **REFERENCIAS**

- Bonomi, A., Brazil-EU Workshop: Coordinated Call on Advance Lignocellulosic Biofuel., 2015, Disponible en: [www.ctbe.cnpem.br](http://www.ctbe.cnpem.br)
- Bravo, A., Estudio de oportunidad planta Bioeléctrica de 50 MWh UEB Central Azucarero "Uruguay"., 2014, Empresa Azucarera Sancti Spíritus, Documento interno, pp. 1-17.
- Datafit 9.0.59., Oakdale Engineering, 2009, Software USA.
- Diez-Torres, F., y Garrido-Corralero, N., Bagazo de caña de azúcar: ¿energía o etanol carburante?, Revista Ingeniería Química, Año XLIV, No. 506, Mayo, 2012, pp. 76-85.
- Faildes-López, A., Obtención del índice de eficiencia energética equivalente por ventas de jugos de caña energética conservados., Tesis presentada en la opción al Título Académico de Master en Eficiencia Energética, Dirección de Investigaciones Aplicadas, Universidad de Sancti Spíritus "José Martí Pérez, Cuba, 2015.
- Lodos, J., La estrategia de desarrollo de bioeléctricas dos años después: 2013-2015., En: Congreso Internacional de Azúcar y Derivados, Diversificación 2015, La Habana, Cuba, 2015, pp. 35-38.
- MFP., Precios de venta de la miel final y miel B., Resolución 484, Ministerio de Finanzas y Precios, La Habana, Cuba, 2014.
- MINAZ., Metodología de ajuste de precios de compra-venta de melaza., Dirección de Economía, Ministerio del Azúcar, 1986.
- Nic., Norma Internacional de Contabilidad No. 2., 2005, pp. 4. Disponible en: <http://www.normasinternacionalesdecontabilidad.es>
- Obregón-Luna, J.J., Hernández-León, R., Vera-Méndez, A. y Romero-Romero, O., Procedimiento de preparación de jugos de caña energética como sustrato para producir bioetanol y biomasa de levadura., Oficina Cubana de la Propiedad Industrial, Patente CU 23 211, Cuba, 23 de abril de 2007, pp. 1-2.

- Obregón-Luna, J.J., Estudio para la obtención de bioetanol a partir de jugos de caña energética como componente del substrato., Tesis presentada en la opción al Grado Científico de Doctor en Ciencias Técnicas, Especialidad Ingeniería Química en la Universidad Central Marta Abreu de Las Villas, Cuba, 2008. Disponible en: <http://revistas.mes/elibro/tesis/ciencias tecnicas>
- Pérez, M., ¿Cuáles son las prioridades de la ciencia en Cuba? Centro de Información Bancaria y Económica, RNPS: 2331, 5 diciembre 2014, pp. 8-9 Disponible en: <http://www.interbancario.cu/>
- Praj., El Poder de Cinco., Documento pdf., 2012, pp. 1-16, Disponible en <http://www.praj.net>
- Rodríguez, G., Gil, J. y García, E., Metodología de la investigación cualitativa., Capítulo IX, Entrevista. Editorial Félix Varela, La Habana, Cuba, Licencia Especial No. 04, Prentice-Hall, 28 de enero de 2007, 2008, pp. 168-182.
- Salassi, M. E., K. Brawn, B., Hilbun, M., Deliberto, M.A., Farm-Scale Cost Producing Perennial Energy Cane as a Biofuel Feedstock., BioEnergy Research, Vol. 1, No. 2, 2013, pp. 1- 28.
- Salassi, M. E., Falconer, L.L., Mark, T.B., Deliberto, M.A., Economic Potential for Energy Cane Production as a Cellulosic Biofuel Feedstock in the Southeastern United States., AIMS Energy, Vol. 3, No. 1, 2015, pp. 25-40.
- Triana, O., Abril, A., and Wong, A., Energy Varieties of Sugar Cane as a Novel Source of Fibre for the Cellulose and Paper Industry., Appita Journal, 2008, pp. 402-407.