

# POTENCIAL ENERGÉTICO DE RESIDUOS AGROINDUSTRIALES DEL DEPARTAMENTO DEL CAUCA, A PARTIR DEL PODER CALORÍFICO INFERIOR

## ENERGETIC POTENTIAL OF AGROINDUSTRIAL RESIDUES OF THE DEPARTMENT CAUCA, FROM THE CALORIFIC LOWER VALUE

## POTENCIAL ENERGÉTICO DE RESÍDUOS DO DEPARTAMENTO AGROINDUSTRIALES CAUCA PODER CALORÍFICO INFERIOR

DEYANIRA MUÑOZ M.<sup>1</sup>, MILTON FERNANDO CUATIN I.<sup>2</sup>, ALVARO JAVIER PANTOJA M.<sup>3</sup>

### RESUMEN

*Se determinaron los valores energéticos de los residuos agroindustriales del departamento del Cauca, mediante análisis del poder calorífico, datos técnicos reportados en las tablas estadísticas del Anuario Estadístico del Sector Agropecuario y Pesquero 2011 y con las expresiones simples presentadas en la metodología de Antolín G.G para el cálculo de variables energéticas. Los valores obtenidos del poder calorífico en base seca fueron: 116187,97 kJ/kg para bagacillo de caña, 15419,95 kJ/kg para polvillo de fique y 15262,18 kJ/kg para afrecho de yuca. El valor promedio de las mezcla fue de 15623,35 kJ/kg. Se concluye que 15623,35 kJ/kg representa la energía promedio que puede liberarse en un proceso de combustión de estos residuos y es comparable con la energía liberada por otras fuentes de biomasa. El potencial energético del bagacillo de caña con el valor de 163,45 TJ/año, contribuye con el 35,73% de la energía, por lo cual ofrece mayores ventajas energéticas en comparación al valor del afrecho de yuca, que tiene un potencial de 0,91 TJ/año. La mezcla con la mejor característica energética esta*

---

**Recibido para evaluación:** 20/05/2013. **Aprobado para publicación:** 07/01/2014

- 1 Msc.en Ingeniería énfasis ingeniería Sanitaria y Ambiental. Facultad de Ciencias Agropecuarias. Ingeniería Agroindustrial. Profesor Titular. Universidad del Cauca.
- 2 Estudiante de ingeniería Agroindustrial. Facultad de Ciencias Agropecuarias. Universidad del Cauca.
- 3 Estudiante de ingeniería Agroindustrial. Facultad de Ciencias Agropecuarias. Universidad del Cauca.

**Correspondencia:** emunoz@unicauca.edu.co.

*compuesta por 33,3% bagacillo de caña, 33,3% polvillo de fique y 33,3% afrecho de yuca y tiene un potencial energético de 48,39 TJ/año.*

## ABSTRACT

*The energy values of agroindustrial residues of Cauca region were determined by calorific analysis, technical data reported in the statistical tables of the Statistical Yearbook of Agriculture and Fisheries Sector in 2011 and with the simple expressions presented in Antolín G.G.'s methodology for the calculation of energetic variables. The calorific values obtained in dry base were: 116187,97 kJ/kg for sugarcane bagasse, 15419,95 kJ/kg for cabuya dust and 15262,18 kJ/kg of yucca bran. The average value of the mixtures was 15623,35 kJ/kg. Concluded that 15623,35 kJ/kg is the average energy that can be released in a combustion process with these residues and are comparable to the energy released by other sources of biomass. The energetic potential of sugar cane bagasse with a value of 163,45TJ/year, which contributes 35,73% of the energy, offers great advantages in comparison with the amount of yucca bran that has 0,91TJ/year a potential. The mixture with best energetic characteristic is composed by 33,3% sugarcane bagasse, 33,3% dust cabuya and 33,3% yucca bran and has an energetic potential of 48,39TJ/year*

## PALABRAS CLAVES:

Biomasa, Energía, Subproductos.

## KEY WORDS:

Biomass, Energy, Subproducts

## PALAVRAS-CHAVE:

Biomassa, Energia, Subprodutos.

## RESUMO

*A energia valores de resíduos agroindustriais foram region do Cauca determinados pela análise calorífico, dados técnicos relacionados nos quadros estatísticos do Anuário Estatístico da Agricultura e Pescas do Setor 2011 e expressões simples para calcular as variáveis de energia, com a metodologia apresentada no G.G Antolin. Os valores calóricos obtidos sur base sèche foram: 116187,97 kJ/kg para o bagaço de cana, 15419,95 kJ/kg de cabuya poeira e 15262,18 kJ/kg de farelo de mandioca. O valor médio da mistura era de 15623,35 kJ/kg. Concluiu que 15623,35 kJ/kg representa a energia média que pode ser liberado em um processo de combustão com e esses resíduos são e comparáveis com a energia liberada por outras fontes de biomassa. A energia potencial do bagaço de cana com o valor de 163,45 TJ / ano, o que contribui para 35,73% da energia, para a energia oferece grandes vantagens em comparação com o valor de farelo de mandioca, que tem um potencial de 0,91 TJ / ano. A mistura com a melhor característica de energia é composta por do bagaço de cana 33,3%, cabuya poeira 33,3% e farelo de mandioca 33,3% e tem um potencial de 48,39 TJ / ano de energia.*

## INTRODUCCIÓN

La biomasa como potencial energético tomó importancia, cuando se difundió ampliamente la escasez de los recursos naturales, la explotación inadecuada y los impactos ambientales y sociales. La escasez se reseña desde finales de 1979, por la crisis de los precios del petróleo, entonces se estableció una mezcla de gasolina y etanol, por lo tanto los biocombustibles

fueron otra opción alternativa al alza de los precios del petróleo y al posible agotamiento de los recursos no renovables [1].

La Administración de Información de la Energía de los Estados Unidos (EIA), reportó en 2007 un consumo mundial de energía de  $495,2 \times 10^{15}$  BTU y pronóstico un crecimiento anual del 1,4% hasta el año 2035 [2].

La gran mayoría de los investigadores coinciden que en el futuro, las actividades de investigación y desarrollo deben enfocarse en la producción de bio-combustibles de segunda generación que sean viables económicamente. Es factible utilizar los conocimientos científicos técnicos existentes en el proceso de conversión bioquímica de biomasa lignocelulósica en bioetanol, para promover el desarrollo de zonas de muy baja productividad agropecuaria pero que si poseen alta productividad en biomasa lignocelulósica. Los estudios buscan tecnologías eficaces que maximicen los rendimientos en los procesos de transformación [3, 4, 5].

Los proyectos bioenergéticos son desarrollados por sectores industriales con alta disponibilidad de biomasa, independiente de la localización geográfica. La potencia instalada estimada en proyectos de generación de energía eléctrica y térmica es del orden de 590,75 MW [6].

La política energética de la Comunidad de Madrid, respecto a biomasa se dirige hacia la seguridad del suministro energético mediante la reducción del uso de los combustibles fósiles, la lucha contra el cambio climático a través de tecnologías libres de emisiones de CO<sub>2</sub> y el incremento de la competitividad de la economía.

En Argentina la empresa PROBIOMASA, dirige sus esfuerzos a la implementación de "biorefinerías" para la producción integrada de alimentos, energía y químicos derivados de la biomasa. En México, el centro Investigación Científica de Yucatán, desde el año 2010, trabaja en determinar la viabilidad del cultivo de sorgo dulce (*Sorghumbicolor*) para la producción de bioenergía [7, 8, 9, 10].

La posición estratégica, geográfica y tropical de Colombia es incentivo para el desarrollo de procesos de investigación que generen conocimiento en el potencial energético. Esta variable en Colombia contribuye a mejorar las acciones para el aprovechamiento eficiente de los residuos sólidos orgánicos con fines energéticos [11, 12].

El potencial utilizable de biomasa en Colombia se estima en 450 PJ/Año [12], con valores de poder calorífico inferior de 18743,12 kJ/kg para tallos de café y 7531,20 kJ/kg para raquis de banano [13].

El objetivo principal de esta investigación es establecer el potencial energético de tres tipos de biomasa residual: bagacillo de caña, polvillo de fique y afrecho de yuca, que permita construir los análisis globales, comparativos entre biomásas e identificar el aprovechamiento como una fuente energética.

Con los valores del poder calorífico inferior (PCI) de cada uno de los residuos y mezclas, los datos técnicos reportados en las tablas estadísticas y las expresiones propuestas por Antolín G.G [14], se calcularon los valores energéticos. El potencial energético de los residuos típicos del departamento del Cauca, se valoró con el análisis global-comparativo y el rango promedio reportado en estudios nacionales e internacionales.

## MÉTODO

### Revisión de potencial energético y densidad energética en el ámbito internacional y nacional

Se revisó el potencial de la biomasa en el ámbito internacional y nacional, la fuente más eficiente, y las aplicaciones en la producción de biocombustibles y de otros posibles productos de interés comercial.

En el ámbito internacional, se tomaron regiones de Europa en las cuales se desarrollan procesos agropecuarios y agroindustriales con generación de volúmenes considerables de biomasa. Otro criterio fue la celebración de eventos de carácter internacional, donde las temáticas fueran aspectos energéticos de interés internacional.

Por tanto de Europa, la ciudad de Jaén, se tomó como referente de revisión, por el segundo Congreso Iberoamericano sobre Biorefinerías realizado en la Universidad de Jaén, los días 8 y 9 abril de 2013, y la población de Castilla y León, mientras en Latinoamérica se tomó la cuenca del lago Ranco, en Chile, por la evaluación que realizaron a cuatro unidades de vegetación de biomasa residual forestal.

En el ámbito nacional, se revisaron las variedades de fuentes de biomasa residual en el contexto Agropecuario y Agroindustrial del país, publicados por el Atlas del Potencial Energético de la Biomasa Residual en Co-

lombia año 2010. Información de los tipos de cultivos en las regiones de Colombia registrada en el Anuario Estadístico del Sector Agropecuario y Pesquero 2011.

### **Cálculo del potencial y densidad energética de biomasa residual en el departamento del Cauca**

Se realizó la caracterización térmica de biomasa residual del departamento del Cauca, teniendo en cuenta, que la caña de azúcar tiene un poder calorífico inferior (PCI= 19374,24 kJ/kg) considerable respecto al fique y la yuca, se evaluaron siete (7) mezclas formadas por diferentes proporciones de biomasa residual:

muestra 1(100% bagacillo de caña), muestra 2 (100% polvillo de fique), muestra 3 (100%afrecho de yuca), muestra 4 (33.3% bagacillo de caña, 33.3% polvillo de fique y 33.3% afrecho de yuca), muestra 5 (10% bagacillo de caña, 45% polvillo de fique y 45%afrecho de yuca), muestra 6 (10% bagacillo de caña, 30% polvillo de fique y 60%afrecho de yuca) y la muestra 7 (10% bagacillo de caña, 60% polvillo de fique y 30%afrecho de yuca [15].

Las muestras de biomasa residual utilizadas corresponden a la generada en el proceso de transformación de la fibra de los cultivo de caña de azúcar, fique y yuca. En el caso de caña de azúcar, se utilizó el bagacillo generado de la etapa de molienda de caña y de filtrado, proveniente del ingenio Río-paila Castilla S.A. En el caso del fique, el polvillo generado en el proceso de transformación de la fibra a productos, de la empresa Empaques del Cauca y para el caso de la yuca, el afrecho de yuca generado en la obtención del almidón de la Rayandería La nueva Zelandia.

El proceso de muestreo para componer la muestra a partir de incrementos, fue el de cuarteo. Inicialmente los residuos bagacillo de caña, polvillo de fique y afrecho de yuca, fueron secados a 70 °C, se molieron y mezclaron formando una pila. Esta se dividió en tres partes: 1/3 (parte cónica), 2/3(parte central) y 3/3(base), de cada parte se tomó una cantidad de muestra en cuatro puntos alrededor de pila y otra en el centro y se formaron incrementos por parte. Luego éstos se extendieron formando un cuadrado y de cada parte se tomó una cantidad repitiendo el procedimiento hasta obtener un peso de 1 kg de muestra. Finalmente se llevó al laboratorio para la caracterización térmica.

Se determinó el Poder Calórico Inferior (PCI), a las siete muestras de biomasa, según el procedimiento de la norma ASTM D-5865 realizado por el Laboratorio de

Combustibles de Universidad del Valle. Este ensayo se complementó con otras características reportadas en los análisis Elemental y Proximal, para posteriores interpretaciones en el aprovechamiento de este material.

Las investigaciones, reportan que el poder calorífico inferior permite cuantificar la energía liberada en los procesos de combustión de la materia, por lo tanto esta variable se consideró en el cálculo del potencial energético y de la densidad energética de la biomasa residual.

Se calcularon los valores energéticos de la biomasa residual: el potencial energético y la densidad energética a partir de: los resultados del análisis del PCI, los datos de superficie cosechada, producción y rendimiento de los cultivos permanentes de caña de azúcar, fique y yuca, en el departamento del Cauca, reportados en las tablas estadísticas del Anuario Estadístico del Sector Agropecuario y Pesquero 2011.

La producción de biomasa residual de bagacillo de caña, polvillo de fique y afrecho de yuca y las mezclas, se estimaron según lo reportado por las investigaciones y el valor se mantuvo constante.

Antolín G.G. y otros [14], en el trabajo "Evaluación del potencial de aprovechamiento energético de la biomasa en castilla y león", expresa: no es posible realizar una estimación de biomasa total a partir de datos satelitales, se requiere de imágenes de satélite, modelos que relacionen reflectancia, biomasa y densidad de biomasa.

Con el uso de la imagen de teledetección, software y equipos adecuados, cartografía de usos del suelo, registro de empresas e industrias relacionadas con la biomasa, se obtienen valores con un índice de error del 30%. En la metodología desarrollada por Antolín G.G. y Otros [14], plantea expresiones simples que permiten una estimación sencilla de las variables energéticas. En el cálculo se utilizaron:

Potencial energético =

$$AS(\text{ha}) \times PB \left( \frac{\text{t}}{\text{año.ha}} \right) \times \left( 1000 \frac{\text{kg}}{\text{t}} \right) \times \text{PCI} \left( \frac{\text{kcal}}{\text{kg}} \right) \times \left( \frac{\text{Mcal}}{1000\text{kcal}} \right) = \text{Mcal/año} \quad (\text{Ec.1})$$

Densidad energética =

$$\text{Densidad energética} = \quad (\text{Ec.2})$$

$$\frac{\text{potencial energético}}{\text{ha}} = \frac{\text{Mcal}}{\text{año.ha}}$$

Donde:

AS= áreas de superficie, donde el uso principal es uno, ha

PB= Producción de biomasa = (producción /año) \* (1/superficie cosechada)\* Fi = t/ha año

Fi= Factor de investigación, representa el porcentaje de bagacillo generado a partir del residuo de un cultivo, por ejemplo bagacillo a partir del bagazo de caña.

PCI=Poder calorífico inferior, kcal/kg

El factor Fi para cada uno de los residuos, se asignó según revisión bibliográfica. Se reporta que de 2.700.000 t/año de bagazo el 25% corresponde a bagacillo, de 450.000 t/año de desechos industriales de fique el 26% es bagazo y de materia seca de afrecho de yuca el 2% es fibra.

### Comparación conjunta en el ámbito internacional, nacional y regional

Se evaluó el poder calorífico inferior, el potencial energético y la densidad energética, del bagacillo de caña,

polvillo de fique, afrecho de yuca y mezclas, se compararon con datos reportados para otras biomásas, determinando los porcentajes de contribución. En el ámbito nacional los datos se tomaron del Atlas del Potencial Energético de la Biomasa Residual en Colombia, 2010 [12]. Mientras en el ámbito internacional, la información se tomó de los resultados que fueron determinados con metodologías sofisticadas de campo, sistemas de información Geográfica (SIG) y modelos matemáticos.

## RESULTADOS

### Evaluación conjunta del poder calorífico de la biomasa en el ámbito internacional, nacional y regional

La comparación del poder calorífico inferior (PCI) de combustibles tradicionales con la biomasa residual en el ámbito mundial, nacional y este estudio 2013, [6, 7, 10, 12, 14, 16], se reporta en el cuadro 1. Se observa que los valores de biomasa residual nacional fluctúan en un rango más estrecho entre 7564,67 y 19999,52 kJ/kg y está incluido en el rango mundial.

El PCI de los combustibles tradicionales está entre 29288 y 40584,80 kJ/kg, mostrando que el rango estimado de

**Cuadro 1.** Panorama comparativo del poder calorífico

Panorama mundial					
	Gasóleo	Fuell oil	Gas Natural	Carbón	Rango Biomasa mundial
PCI kJ/kg	40584,80	40166,40	38911,2	29288	12552 a 20443,02
Panorama nacional					
	carbón	Biomasa residual a 2009	Biomasa agrícola	Rango biomasa residual	Biomasa residual y mezclas en el Cauca, año 2013
PCI kJ/kg	26806,89	7999,81 a 19999,52	7861,74 a 19371,92	7564,67 a 18643,90	15037,71 a 16187,94
Comparación de fuentes de biomasa internacional					
	China	Argentina	Asia	Chile	España
Tipo de biomasa	PCI kJ/kg				
RAC	20443,02				
Rango fuente biomasa	16012,17 a 20016,26	12552 a 14644	15999,62 a 19999,52		17572,80
Comparación entre fuentes de biomasa general y Departamento del Cauca					
Tipo de biomasa	General	Colombia, Atlas 2010	Investigaciones Valle y Cauca	Departamento Cauca 2013	
RAC	18761,06	15413,86		Tipo de biomasa	PCI kJ/kg
Bagazo de caña	19246,40	18643,90	16238,94	bagacillo de caña	16187,94
Madera	13472,48		16297,01	polvillo de fique	15419,96
Rango de otras fuentes biomasa		7564,67 a 18643,90		afrecho de yuca	15262,19
				mezcla de biomasa	15039,43 a 15605,57
				<b>Promedio</b>	15623,35

incremento entre combustibles convencionales y la biomasa residual esta entre el 50,72% y el 74,17%.

El valor promedio del PCI= 15623,35 kJ/kg de la biomasa del estudio 2013, es inferior al de los países europeos, es comparable con los latinoamericanos y se mantiene en el rango general. Lo anterior indica que la energía liberada de 15623,35 kJ/kg en el proceso de combustión de residuos de bagacillo de caña, polvillo de fique, afrecho de yuca y las mezclas es similar a la obtenida con otras fuentes de biomasa y el lugar de generación influye en un bajo porcentaje del 2,35% al 21,95%.

La energía contenida en la biomasa residual expresada en unidades absolutas (TEP), la potencia (MW) y en unidades relativas como el potencial energético (TJ/año), la densidad energética (TJ/año ha), en el ámbito nacional e internacional [17, 18, 19] y la contribución

del potencial de los residuos evaluados de bagacillo de caña, polvillo de fique, afrecho de yuca y las mezclas, respecto a la biomasa residual de Colombia y al departamento del Cauca se presenta se resumen en el cuadro 2 [20, 21].

Se observa que la cantidad de energía contenida en la biomasa del sector agrícola de 11657.02 TJ/año en su forma natural puede generar una potencia de 12000 MWh/año y según el tipo y la fuente generación de biomasa el valor puede aumentar o disminuir. El bagacillo de caña presenta un valor de 163.45 TJ/año mayor al afrecho de yuca con un valor de 0.91 TJ/año.

Mientras la variable densidad energética para todos los residuos y las mezclas evaluados en el departamento del Cauca varían entre 0.002 y 0.0047 TJ/año ha, se mantiene en un promedio de 0.004 TJ/año ha, y es similar al valor nacional de biomasa del sector agrícola.

**Cuadro 2.** Comparativo del contenido energético de biomasa residual

Provincia Jaén		Nacional 2009, atlas 2010		
	Energía kTEP/año	Tipo de biomasa	Potencial energético TJ/año	Densidad energética, TJ/año ha
Biomasa a partir de residuo	29,19	Biomasa sector agrícola	11657,02	0,0039
<b>Castilla y León</b>		Residuo de cultivo permanente	2000	0,2
	Potencia MW	Biomasa residual de caña de azúcar	17689,55	0,5130
Biomasa de residuo	10 a 12	<b>Departamento del Cauca 2009, Atlas 2010</b>		
<b>Chile</b>		biomasa residual sector agrícola	457,41	0,0035
	Potencia MW	<b>Departamento del Cauca, estudio 2013</b>		
Biomasa a partir de residuo	310 a 470	bagacillo de caña	163,45	0,0047
<b>Colombia</b>		polvillo de fique	35,87	0,0046
	Capacidad energética MWh/año	afrecho de yuca	0,91	0,0003
Biomasa a partir de residuo	12000	mezcla de biomasa	17,99 a 48,39	0,002 a 0,0032
<b>Contribución del potencial energético de la biomasa del estudio</b>				
	% Contribución del potencial al residuo de cultivo permanente nacional	% desviación del potencial respecto a la biomasa de caña de azúcar nacional	% Contribución del potencial a la biomasa del sector agrícola, nacional	% Contribución del potencial a la biomasa del sector agrícola, Dpto del Cauca
bagacillo de caña	8,17	0,92	1,4	35,73
polvillo de fique	1,79	0,2	0,31	7,84
afrecho de yuca	0,05	0,01	0,01	0,2
mezcla de biomasa	0,9 a 2,42	0,10 a 0,27	0,154 a 0,415	3,93 a 10,58

El 35,73% del potencial energético la biomasa del sector agrícola del departamento del Cauca, se obtiene con bagacillo de caña, indicando que es el mayor contribuyente, mientras el afrecho de yuca es el menor y lo máximo que puede aportar una mezcla de residuos es el 10,58%, el cual corresponde a la mezcla M4: 33,3% bagacillo de caña, 33,3% polvillo de fique y 33,3% afrecho de yuca.

## CONCLUSIONES

Los valores del poder calorífico determinados en el estudio de los subproductos de la agroindustria del departamento del Cauca, bagacillo de caña, el polvillo de fique y afrecho de yuca y las mezclas en diferentes proporciones, se mantienen homogéneo en un valor promedio de 15623,35 kJ/kg y es comparable con el valor de otras fuentes de biomasa evaluadas en el ámbito nacional e internacional.

La cantidad de bagacillo de caña es el residuo que aporta mayor cantidad de energía, respecto al polvillo de fique y al afrecho de yuca y mantiene el rasgo característico del bagazo de caña, por lo cual la aplicación como combustible es de interés en instalaciones térmica de menor capacidad y aparatos domésticos de uso común en el campo rural.

El afrecho de yuca considerando los resultados del potencial energético y la densidad energética, podría tener posibilidades de emplearse en un proceso de combustión al mezclarse con otros residuos en las proporciones dadas en una mezcla 33% de bagacillo de caña, 33% de polvillo de fique y 33% de afrecho de yuca. Otro aprovechamiento por el contenido de almidón residual sería de interés para la conversión en azúcares reductores.

El mayor potencial energético de los residuos evaluados lo presenta el bagacillo de caña, con una buena contribución en el contenido energético. Mientras la variable densidad energética se mantiene en promedio, aproximadamente homogénea para la mayoría los residuos evaluados a excepción del afrecho de yuca donde los valores energéticos son muy bajos.

## AGRADECIMIENTOS

Al grupo de investigación en Diseños, Procesos y Energía de la Facultad de Ciencias Agropecuarias de la

Universidad del Cauca, por la adecuación de la materia prima para los ensayos del poder caloríficos de los residuos y mezclas, realizados durante la ejecución del Proyecto de investigación ID: 3610 "Potencial energético de la mezcla de bagacillo de caña, polvillo de fique y afrecho de yuca para obtener bioetanol" aprobado por la Vicerrectoría de Investigaciones en la VI convocatoria interna.

## REFERENCIAS

- [1] SALINAS, C.E. y GASCA V.Q. Los biocombustibles. *El Cotidiano*, 157(10), 2009, p. 75-82.
- [2] NARVAEZ, P.C. Fuentes convencional y no convencional de energía: estado actual y perspectivas. *Ingeniería e Investigación*, 30(3), 2010, p.165-173.
- [3] WEITZ, D.A. y FELDMAN, S.R. Energías renovables para desarrollo sostenible: Producción de bioetanol a partir de biomasa lignocelulósica en ambiente rural. *Revista VirtualPro*, 122(3), 2012.
- [4] TORRES, A.O. y PEÑA, C.F. Antecedentes para la planificación energética regional: zonificación del potencial energético de la biomasa residual forestal en la cuenca del lago Ranco en Chile. *Bosque*, 32(1), 2011, p. 77-84.
- [5] ESPAÑA. CENTRO NACIONAL DE ENERGIA RENOVABLE. CENER. La biomasa como fuente energética: potencial y limitaciones. Toledo (España): 2006.
- [6] ARGENTINA. MINISTERIOS DE AGRICULTURA, GANADERÍA Y PESCA. GRASSI. Secretaría de Agricultura, Ganadería y Pesca. Ministerio de Planificación Federal. Inversión Pública y Servicios. Secretaría de Energía: relevamiento de proyectos bioenergético-cos. Buenos Aires (Argentina): 2012.
- [7] COMUNIDAD DE MADRID. Jornada sobre Biomasa para Usos Térmicos. 17 Mayo de 2011 [online]. Available: <http://www.fenercom.com/pdf/formacion/Jornada-sobrebiomasa-para-usos-termicos-fe-nercom-2011.pdf> [citado 25 de febrero de 2013].
- [8] ARGENTINA. SECRETARIA DE ENERGÍA. PRO-BIOMASA. Proyecto para la Promoción de la Energía Derivada de Biomasa [online]. Available: <http://energia-3.mecon.gov.ar/contenidos/verpagina.php?idpagina=3682> [citada 25 de febrero de 2013].
- [9] LEVIN, D.B., CARLO, R.C., RICHARD, S. and NAZIM, C. Third Generation Biofuels Via Direct Cellu-

- lose, Fermentation. DOI: 10.3390/ijms9071342. International Journal of Molecular Sciences, 9, 2008, p.1342-1360.
- [10] MIJANGOS, J., PÉREZ, D. y PENICHE, I.R. Evaluación de la potencialidad para producir bioetanol y forraje de sorgo dulce en el oriente de Yucatán. Primer Simposio Estatal Actividades de Investigación y Desarrollo Tecnológico en Energía Renovable. Centro de Investigación Científica de Yucatán (México): 10 Noviembre, 2010.
- [11] CALA, D. Conferencia de Biocombustibles. Memoria del Seminario Internacional Residuos para Biocombustibles y Biorefinerías. Impactos, Logística y Simulación, 31 mayo al junio 2 de 2011. Corporación para el Desarrollo Industrial de la Biotecnología y Producción Limpia (Corpodib). Santiago de Cali (Colombia): 2011.
- [12] COLOMBIA. MINISTERIO DE MINAS Y ENERGIA. UPME, IDEAM, COLCIENCIAS Y UIS. Atlas del potencial energético de la biomasa residual en Colombia: Contenido Energético de la Biomasa. Bogotá (Colombia): 2010.
- [13] COLOMBIA. CONSORCIO ENERGÉTICO CORPOEMA. Formulación de un Plan de Desarrollo para las Fuentes no Convencionales de Energía en Colombia. Volumen 2: diagnóstico de las FNCE en Colombia. Bogotá (Colombia): 2010.
- [14] ANTOLÍN, G. G., GONZÁLEZ, F. L. DIEZ, C. S. y LÓPEZ, A. R. Evaluación del potencial de aprovechamiento energético de la biomasa en castilla y león. [online]. Available: <http://www.potencial-biomasacas-tilla.pdf> [citado 25 de febrero de 2013].
- [15] MUÑOZ, D., CUATIN, M.F., PANTOJA, A.J. Potencial energético de la mezcla de bagacillo de caña, polvillo de fique y afrecho de yuca para obtener bioetanol [Proyecto Investigación VRI ID-3601]. Popayán (Colombia): Universidad del Cauca, Facultad de Ciencias Agropecuarias, 2012, 8 p.
- [16] EUROPA. PRESS/JAEN. La provincia de Jaén lidera el consumo de biomasa para usos térmicos en la comunidad, 15 de Agosto de 2012 [online]. Available: <http://www.ideal.es/jaen/20120815/local/jaen/provincia-jaen-lidera-consumo-20120815-11-57.html> [citado 25 de febrero de 2013].
- [17] COLOMBIA. MINISTERIO DE AGRICULTURA Y DESARROLLO RURAL. Anuario Estadístico Agropecuario y Pesquero 2011: resultados evaluaciones agropecuarias municipales 2011. Bogotá (Colombia): 2012.
- [18] SANDOVAL, S.N.V. El sistema agroalimentario localizado de producción de almidón agrio de yuca en el Departamento del Cauca – Colombia. PRO-YUCA, CIAT, PRODAR /IICA, 2001.
- [19] BENAVIDES, O.L., ARANGO, O., HURTADO, A.M. y ROJAS, M.C. Cuantificación de Sapogeninas del Jugo Fresco y Fermentado de Figue (*Furcraea gigantea*) mediante Cromatografía Líquida de Alta Resolución (HPLC-PDA). Información Tecnológica, 23(3), 2012, p. 67-76.
- [20] AGROCADENAS [online]. Available: <http://201.234.78.28:8080/jspui/bitstream/123456789/3609/2/01032.pdf> [citado el 21 de marzo 2013].
- [21] TECNOLOGIAS PREVENTIVAS. Cálculos y Convenios UIS – IDEAM [online]. Available: [http://www.tecnologias-limpias.org/html/central/311801/311801\\_alt.htm](http://www.tecnologias-limpias.org/html/central/311801/311801_alt.htm), , [citado 21 de marzo 2013].