

## PERSPECTIVAS DE USO DE SUBPRODUCTOS AGROINDUSTRIALES PARA LA PRODUCCIÓN DE BIOETANOL

### Use perspectives of agroindustrial by-products for bioethanol production

#### RESUMEN

La búsqueda de procesos y productos limpios y amigables ambientalmente ha incrementado el auge de aprovechar los recursos naturales en la obtención de biocombustibles. El presente estudio se enfocó en la caracterización fisicoquímica de cinco subproductos agroindustriales de mayor producción en el departamento del Tolima, buscando con ello determinar su potencialidad en la elaboración de bioetanol. Los resultados hacen pensar que los cinco subproductos, por diferentes circunstancias, podrían ser considerados como materia prima para la obtención de bioetanol. No obstante, las mejores perspectivas se tienen en la cachaza de caña y los fitoresiduos de Lima Tahití y de Limón Común.

**PALABRAS CLAVE:** Biocombustibles, Bioetanol, Cachaza de caña, Lima Tahití, Limón Común, Subproductos Agroindustriales.

#### ABSTRACT

*Cleaner processes and products and environmentally friendly boom has increased the use of natural resources in obtaining biofuels. The present study was focused in the physiochemical characterization of five agroindustrial by-products of more production in the department of Tolima, to determine their potential in bioethanol production. The results suggest that the five products, in different conditions might be considered as feedstock for the production of bioethanol. However, the best prospects are in the Cane Wastes and Tahiti Lemon and Lemon Common fitowastes.*

**KEYWORDS:** *Agroindustrial by-products, Bioethanol, Biofuels, Cane Wastes, Common Lemon, Tahiti Lemon.*

#### 1. INTRODUCCIÓN

La tendencia actual de búsqueda de procesos y productos más limpios y amigables con el medio ambiente, ha dado lugar al auge del aprovechamiento de los recursos naturales, en especial los de origen agrícola en la obtención de los llamados biocombustibles, entendiéndose como tal a todos aquellos combustibles derivados de la biomasa vegetal, ya sean líquidos, gaseosos o sólidos. Este tipo de fuente energética presenta grandes ventajas como la de ser reciclable y de no contribuir al incremento de la cantidad de CO<sub>2</sub> emitido, dado que no se extraen de fuentes de carbono secuestradas de la atmósfera, como son los yacimientos fósiles. Un biocombustible que ha adquirido un gran valor a nivel mundial es el etanol, ya que al ser mezclado con gasolina o con petróleo proporciona un combustible de mejor calidad y más limpio y sobre todo representa una fuente renovable de energía. El aumento de su producción en el mundo, ha estado aparejado con el desarrollo de nuevas tecnologías que permiten obtenerlo a partir de residuos de madera, de desechos sólidos y de todos los materiales que contengan celulosa y

hemicelulosa, lo que permite revalorizar los desechos de varias industrias convirtiéndolos en materia prima para su obtención. En Latinoamérica, la mayoría de los países, entre ellos los productores de azúcar, han venido desarrollando investigaciones con el fin de determinar materias primas viables desde el punto de vista económico, químico y de proceso para su producción, logrando así obtener bioetanol a partir de diversos tipos de biomasa [1].

En el caso particular de Colombia, debe tenerse en cuenta su riqueza natural y generación de diversos productos agrícolas provocando que cada región ó departamento adopte una materia prima específica para la producción de bioetanol [2], así por ejemplo se encuentra: el Valle del Cauca con caña de azúcar, Meta con yuca y caña, Boyacá con remolacha azucarera [3]. Pese a la natural vocación agrícola del departamento del Tolima, éste aún se halla atrasado en materia de producción de biocombustibles, al no contar con instalaciones industriales y fuentes definidas para tal fin. No obstante, en esta región la producción de bioetanol se convertiría en una alternativa agrícola interesante, para contribuir en

#### ANDREA MILENA SÁNCHEZ RIAÑO

Ing. Agroindustrial  
Joven Investigador e Innovador  
COLCIENCIAS – Grupo de Inv.  
CEDAGRITOL  
Universidad del Tolima  
andreamilena0801@gmail.com

#### CARLOS ANTONIO RIVERA BARRERO

Ph.D. Ciencia y Tecn. de Alimentos,  
Director Grupo de Inv.  
CEDAGRITOL  
Universidad del Tolima  
carivera@ut.edu.co

#### ELIZABETH MURILLO PEREA

Químico, Ms.c  
Dpto. de Química  
Grupo de Inv. GIPRONUT  
Universidad del Tolima  
Emurillo8@hotmail.com

Fecha Recepción: 9 de Septiembre de 2010

Fecha aceptación: 15 de Noviembre de 2010

forma eficaz a la generación de empleo en los sectores de la agricultura, industria y servicios, fundamentalmente en el área rural, lo que seguramente contribuirá a la recomposición de economías regionales hoy deprimidas, al transformarlas en expuloras de mano de obra.

Para que los biocombustibles de origen agrícola sean una alternativa energética real se necesita que estos productos no sólo presenten características equivalentes a los de procedencia fósil, sino que el balance energético a lo largo de su cadena productiva sea positivo, y que su costo de producción, una vez tomadas en cuenta las externalidades sociales y ambientales, también resulte favorable o al menos neutro con respecto al de los combustibles fósiles. En este propósito, un primer paso es la definición y caracterización de los cultivos y/o subproductos de mayor producción de la región y análisis a nivel de laboratorio de dichos materiales, ya que el grado de viabilidad de la tecnología de la conversión de la biomasa en etanol depende de la naturaleza, contenido y calidad de la materia prima de la que se parte: azúcares monoméricos o diméricos, celulosa y hemicelulosa y almidones de grano [4], sumado a la cantidad y disponibilidad de la misma.

En este trabajo, a partir de una etapa previa de recolección de información e investigación de las potenciales materias primas de mayor producción en el Tolima para generación de bioetanol, se evaluaron y compararon a nivel de Laboratorio las características fisicoquímicas de cinco subproductos agroindustriales, con el fin de determinar el ó los materiales de mayor potencialidad para la producción de bioetanol, buscando con ello no sólo una biomasa viable para la generación del biocombustible sino también lograr un bajo impacto sobre la seguridad alimentaria del departamento e igualmente dar un uso y disposición final adecuado a dichos subproductos, que en su mayoría son causa de problemas de tipo ambiental para la comunidad.

## 2. MATERIALES Y MÉTODOS

### 2.1 SUBPRODUCTOS AGROINDUSTRIALES EMPLEADOS

Cada material empleado fue recolectado en zonas de mayor producción en el departamento del Tolima, así: La Cachaza de caña (CC) y el bagazo de caña panelera (BC), procedentes de la zona rural del municipio de Alvarado. La cascarilla de arroz (CA), donada por el molino Roa S.A. de Ibagué. La lima Tahití (LT) (*citrus latifolia*) y Limón Común (LC) (*citrus aurantifolia*) fueron colectados en Coello y Espinal, respectivamente. Todos los subproductos, a excepción de la cachaza, fueron secados, molidos y tamizados (malla 1 mm). En algunas de las pruebas se trabajó con el extracto acuoso ó etanólico. Para el caso de los cítricos se les extrajo el jugo, quedando como objeto de estudio las membranas capilares, semilla y cáscara.

## 2.2 METODOLOGÍA

A cada uno de los subproductos se le aplicó un análisis proximal siguiendo la metodología recomendada por la A.O.A.C., 1984 [5]. El contenido y la pared celular se determinó de acuerdo al método de Van Soest, 1991 [6]. La concentración de carbohidratos se evaluó por el método de la Antrona, Loewus, 1952 [7]. Los sólidos totales para la Cachaza de Caña se cuantificaron conforme a la metodología empleada por el Laboratorio LASEREX–sección de análisis de aguas [8].

## 2.3 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 2.3.1 Análisis proximal

La tabla 1 muestra los resultados del análisis proximal realizado a cada uno de los subproductos de interés en este trabajo.

Parámetro (%)	Materiales				
	CA	BC	CC	LC	LT
<b>Humedad</b>	<b>8.3</b>	<b>12.7</b>	<b>76.9</b>	<b>79.3</b>	<b>77.7</b>
D.S.*	0	±0.32	±0.07	±0.63	±0.93
<b>Materia seca</b>	<b>91.8</b>	<b>87.3</b>	<b>28.1</b>	<b>20.7</b>	<b>22.3</b>
D.S.	0	±0.35	±0.03	±0.60	±0.92
<b>Cenizas</b>	<b>18.95</b>	<b>2.13</b>	<b>0.60</b>	<b>5.46</b>	<b>2.70</b>
D.S.	±0.13	±0.03	±0.03	±0.04	±0.06
<b>Fibra bruta</b>	<b>38.5</b>	<b>30.2</b>	<b>0.4</b>	<b>52.8</b>	<b>61.1</b>
D.S.	±1.80	±0.80	±0.01	±0.53	±0.25
<b>Proteína</b>	<b>3.2</b>	<b>1.5</b>	<b>1.0</b>	<b>6.7</b>	<b>6.7</b>
D.S.	0	±0.21	±0.07	±0.14	±0.21
<b>Grasa</b>	<b>1.1</b>	<b>0.8</b>	<b>0.1</b>	<b>2.4</b>	<b>1.1</b>
D.S.	±0.03	±0.04	±0.01	±0.03	±0.07
<b>E.L.N.</b>	<b>39.3</b>	<b>65.4</b>	<b>97.9</b>	<b>32.6</b>	<b>28.5</b>
D.S.	±0.18	±0.50	±0.02	±0.72	±0.05
<b>MO</b>	<b>81.01</b>	<b>97.9</b>	<b>99.4</b>	<b>94.5</b>	<b>97.6</b>
D.S.	±0.06	±0.03	±0.03	±0.02	±0.42

\* DS: Desviación Estándar. n = 3 ± DS.

Tabla 1. Análisis Proximal de los cinco subproductos agroindustriales contemplados

Los porcentajes de humedad que deja ver la tabla parecen guardar relación con las características físicas de los materiales, no obstante los subproductos sólidos cítricos revelaron los niveles más altos (79.26% y 77.71%), pese a habérseles extraído la mayor cantidad del contenido acuoso, representado en el jugo. Cabe mencionar que el agua detectada en un tejido vegetal, depende del equilibrio entre la cantidad de agua absorbida y la perdida por transpiración; sin embargo, el contenido máximo en agua experimenta variaciones entre los individuos, provocadas por sutiles diferencias derivadas del origen genético y de las modificaciones estructurales, entre otros. Es destacable que CA y BC muestran más del 50% de componentes bioactivos, expresados como biomasa seca, en tanto que el material fibroso aparece con los más altos niveles en los cítricos (52.8% y 61.1%

correspondientes a LC y LT, respectivamente), seguidos de CA (38.54%) y BC (30.15%). La cachaza de caña mostró los valores más bajos en nutrientes, destacándose sólo en el caso del material libre de nitrógeno (tipo carbohidratos) con un 98%.

### 2.3.2 Caracterización del contenido y pared celular

La cantidad y el tipo de pared celular es una determinación de importancia significativa en especies forrajeras. No obstante, en casos como el que interesa en este trabajo, parece también de particular interés dado que la biomasa a partir de las cuales es posible obtener etanol por medio de la fermentación alcohólica debe contener azúcares (glucosa, fructosa, xilosa, entre otros) o polisacáridos (almidón, celulosa, hemicelulosa). La tabla 2, deja ver los resultados obtenidos en la determinación del contenido y la pared celular de cada una de los cinco subproductos analizados, así como también de los principales constituyentes.

Contenido (%)	Materiales				
	CA	BC	CC	LC	LT
<b>FDN</b>	<b>75.42</b>	<b>53.80</b>	<b>1.23</b>	<b>19.90</b>	<b>27.32</b>
D.S.*	±0.57	±0.20	±0.14	±0.52	±0.25
<b>FDA</b>	<b>64.05</b>	<b>34.66</b>	<b>0.75</b>	<b>17.90</b>	<b>22.29</b>
D.S.	±1.06	±0.54	±0.07	±0.99	±0.10
<b>FDL</b>	<b>26.23</b>	<b>9.66</b>	<b>0.02</b>	<b>5.90</b>	<b>7.36</b>
D.S.	±0.55	±0.44	0	±0.22	±0.06
<b>Celulosa</b>	<b>37.82</b>	<b>25.00</b>	<b>0.73</b>	<b>12.00</b>	<b>15.11</b>
D.S.	±0.51	±0.11	±0.07	±0.78	±0.04
<b>Hemicelulosa</b>	<b>11.37</b>	<b>19.14</b>	<b>0.48</b>	<b>2.00</b>	<b>4.85</b>
D.S.	±0.49	±0.34	±0.07	±0.48	±0.15
<b>Lignina</b>	<b>12.86</b>	<b>9.16</b>	<b>0.02</b>	<b>5.84</b>	<b>7.21</b>
D.S.	±0.33	±0.46	0	±0.20	±0.04
<b>Contenido Celular</b>	<b>24.59</b>	<b>46.20</b>	<b>98.77</b>	<b>80.10</b>	<b>72.19</b>
D.S.	±0.57	±0.21	±0.14	±0.52	±0.95
<b>Sílice</b>	<b>13.37</b>	<b>0.50</b>	<b>0</b>	<b>0.06</b>	<b>0.15</b>
D.S.	±0.23	±0.01	0	±0.02	±0.01

\* DS: Desviación Estándar. n = 3 ± DS.

Tabla 2. Caracterización de la pared celular de cada uno de los subproductos agroindustriales contemplados

Si se correlacionan los resultados de la tabla en cuestión con los que muestra la inmediatamente anterior (tabla 1), se encuentra que la cachaza de caña (CC) además de poseer el mayor contenido celular, el que parece estar constituido básicamente de polisacáridos (E.L.N, tabla 1.); ello podría justificarse en el origen de este subproducto, simultáneamente evidencia una pared celular con bajo contenido de material fibroso (celulosa, hemicelulosa y lignina) y un estado físico que lo insinúan como una buena alternativa tecnológica como fuente de bioetanol. La cascarilla de arroz (CA) y el bagazo de caña panelera (BC) revelaron los valores más altos de FDN y FDA, representados en polisacáridos hidrolizables por fermentación.

### 2.3.3 Determinación del contenido de carbohidratos

No debe perderse de vista que el etanol puede ser obtenido sintéticamente a partir del petróleo (93%) y un 7% por conversión de materiales derivados de la biomasa, a través de la fermentación [9]. El proceso menos complicado para la producción del etanol es a partir de biomasa que contiene azúcares monoméricos o diméricos (disacáridos); en consecuencia resulta de particular importancia conocer la concentración de estos constituyentes celulares a la hora de evaluar la potencialidad de un fitoproducto. Resultan destacables los niveles de azúcares totales y reductores encontrados para los subproductos de lima Tahití (274.92 y 219.04, respectivamente), para la cachaza de caña (264.61 y 171.33, respectivamente) y para el bagazo de caña (197.64 y 99.82, respectivamente). Ver tabla 3.

Parámetros (mgEG/gvs)	Materiales				
	CA	BC	CC	LC	LT
<b>Carbohidratos</b>					
<b>Totales</b>	<b>21.50</b>	<b>197.64</b>	<b>264.61</b>	<b>191.89</b>	<b>274.92</b>
C.V. (%)*	0	2.33	0.33	2.52	1.83
<b>Reductores</b>	<b>14.66</b>	<b>97.82</b>	<b>171.33</b>	<b>157.63</b>	<b>219.04</b>
C.V. (%)	0	0.11	0	2.22	0.80
<b>No Reductores</b>	<b>6.84</b>	<b>99.82</b>	<b>93.28</b>	<b>34.26</b>	<b>55.88</b>

\*C.V.: Coeficiente de Variación, n = 3. mgEG/gvs: miligramos equivalentes de glucosa/gramo de material vegetal seco

Tabla 3. Contenido de Carbohidratos de cada uno de los subproductos agroindustriales contemplados

La biomasa a partir de la cual es posible obtener etanol por medio de la fermentación alcohólica se puede clasificar convenientemente en tres tipos principales: fuentes con alto contenido de azúcares, fuentes con alto contenido de almidón, y fuentes con alto contenido de celulosa. Los resultados mostrados hasta el momento hacen pensar en los cinco subproductos bajo estudio como fuentes promisorias de bioetanol.

### 2.3.4 Determinaciones adicionales realizadas a la Cachaza de Caña Panelera

Con el propósito de tener un mayor conocimiento de las posibilidades de las materias primas objeto de interés en este trabajo, y teniendo en cuenta las diferencias físicas de la cachaza de caña, con relación a los restantes materiales, se realizaron algunas determinaciones que complementarían la información. La tabla 5 contiene las respuestas obtenidas. Pese a que una buena parte de los sólidos totales de este subproducto son volátiles, puede contarse aún con un 40% de los sólidos (suspendidos y fijos) a la hora de someter el material a procesos tecnológicos de biotransformación.

De otra parte, la escala Brix mide la gravedad específica de un líquido en relación con una solución de azúcar (sacarosa) en agua. Concentraciones elevadas de azúcares y sales en la materia prima impiden que los microorganismos puedan fermentarlas, debido a la gran

presión osmótica que generan sobre sus paredes celulares.

DETERMINACIÓN	RESULTADO
<b>Sólidos totales (g/L)</b>	<b>532.96</b>
C.V. (%)*	6.92
<b>Sólidos volátiles (g/L)</b>	<b>225.88</b>
C.V. (%)	7.01
<b>Sólidos fijos (g/L)</b>	<b>7.1</b>
C.V. (%)	3.98
<b>Sólidos suspendidos (g/L)</b>	<b>183.6</b>
C.V. (%)	0.54
<b>pH</b>	<b>4.3</b>
<b>°Brix</b>	<b>24.2</b>
<b>Acidez Titulable (gE A.Aconítico/ 100 ml)</b>	<b>0.003</b>

\* C.V.: Coeficiente de Variación; n=3

Tabla 5. Caracterización adicional realizada a la cachaza de caña panelera.

En estos casos, es necesario diluirlas; para ello, se les agrega agua, hasta obtener diluciones de 25° Brix o menores; a valores mayores se tiene el riesgo de inicios lentos de fermentación y contaminación bacteriana [10]. Los grados Brix obtenidos para CC hacen pensar en un material apto para los propósitos buscados.

### 3. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Los resultados hacen pensar que los cinco subproductos, por diferentes circunstancias, podrían ser tenidos en cuenta como materia prima para la obtención de bioetanol, especialmente por la vía de la fermentación. Sin embargo, las mejores perspectivas se tienen en la cachaza de caña. No obstante, los fitoresiduos de Lima Tahití (membranas capilares, semilla y cáscara) y los de Limón Común podrían también arrojar buenos rendimientos como sustrato, teniendo en cuenta además que el departamento del Tolima es el primer productor nacional de estos vegetales con una participación del 75% [11]. El estudio da a conocer otra posibilidad de utilización de estos frutos; lo que aunado a su manejo en fresco, contribuirían al mejoramiento de la economía tolimense.

### 4. AGRADECIMIENTOS

Al Departamento Administrativo de Ciencia, Tecnología e Innovación–COLCIENCIAS, por su apoyo a la presente investigación mediante el programa “Jóvenes Investigadores e Innovadores”. La colaboración del personal del Laboratorio LASEREX de la Universidad del Tolima es altamente apreciada.

### 5. BIBLIOGRAFÍA

[1] Oscar J. Sánchez and Carlos A. Cardona, “Trends in biotechnological production of fuel ethanol from different feedstocks”. Bior. Tech. 99 (2008) 5270–5295. Table, 1.

- [2] Carlos O. Briceño, “Aspectos estructurales y de entorno que enmarcan los proyectos e inversiones para la producción de bioetanol en Colombia”. Disertación, CENICAÑA. Citado el 19 de marzo de 2009. [Online]. Disponible en: <http://www.cengicana.org/Portal/SubOtrasAreas/Etanol/Presentaciones/ArticuloProduccionBioetanolColombia.pdf>
- [3] Sistema Nacional de Competitividad, “Producción de biocombustibles”. Noticia, Junio de 2009. Citado el 17 de enero de 2010. [Online]. Disponible en: [http://www.snc.gov.co/Es/Prensa/2009/Paginas/nsnc\\_090608d.aspx](http://www.snc.gov.co/Es/Prensa/2009/Paginas/nsnc_090608d.aspx)
- [4] R. Patrouilleau, C. Lacoste, y Otros, “Perspectivas De Los Biocombustibles En Argentina, Con Énfasis En El Etanol De Base Celulósica”. Informe, 2006. (INTA). Extraído el 22 de marzo de 2009. [Online]. Disponible en: [http://www.inta.gov.ar/intaComunidad/Images/soporte\\_digital/Biocombustibles\\_etanol\\_lignocelulosico\\_2006\\_11\\_20.pdf](http://www.inta.gov.ar/intaComunidad/Images/soporte_digital/Biocombustibles_etanol_lignocelulosico_2006_11_20.pdf)
- [5] AOAC International, Official Methods of Analysis of AOAC International, Edition 1984.
- [6] Van Soest, P.J., J.B. Robertson, and B.A. Lewis. Journal of Dairy Science 74:3583-3597. 1991
- [7] Estudio de las rizobacterias de *V. Villosa*: Optimización de la productividad – Materiales y Métodos (parte 2 y 3) (Método antrona, Loewus, 1952). Citado el 15 de enero de 2010. [Online]. Disponible en: [http://descargas.cervantesvirtual.com/servlet/SirveObras/01316164233915050977802/005921\\_4.pdf](http://descargas.cervantesvirtual.com/servlet/SirveObras/01316164233915050977802/005921_4.pdf) y [http://descargas.cervantesvirtual.com/servlet/SirveObras/01365170983414940365679/005650\\_3.pdf](http://descargas.cervantesvirtual.com/servlet/SirveObras/01365170983414940365679/005650_3.pdf)
- [8] Laboratorio de Servicios de Extensión en Análisis Químico – LASEREX, Universidad del Tolima. Metodología de análisis de sólidos en aguas.
- [9] Rhodes A & D Fletcher, Principles of Industrial Microbiology. 1996. Pergamon Press, New York.
- [10] Lyons, T.P. y otros, The Alcohol Textbook. First Edition. Nottingham [Reino Unido]. Nottingham University Press. 1995. 31 p.
- [11] MADR- Agrocadenas (Colombia), “La cadena de cítricos en Colombia una mirada global de su estructura y dinámica 1991-2005”. Citado el 7 de mayo de 2009. [Online]. Disponible en: [http://www.agrocadenas.gov.co/citricos/documentos/caracterizacion\\_citricos.pdf](http://www.agrocadenas.gov.co/citricos/documentos/caracterizacion_citricos.pdf)