

Potencial de la biomasa residual del café como materia prima para la producción de biocombustibles.*

Nelson Rodríguez Valencia ³⁷

RESUMEN

El paulatino agotamiento de las fuentes de energía no renovable, y su contribución al Calentamiento Global, está impulsando la búsqueda de materias primas renovables que generen energía limpia, competitiva económicamente y que contribuyan a la mitigación y adaptación al Cambio Climático Global.

En el proceso del café se estima que menos del 3% del peso del fruto fresco se aprovecha en la elaboración de la bebida, el resto queda en forma residual, representado en materiales lignocelulósicos como las hojas, ramas, tallos, la pulpa del fruto (que se retira durante el proceso de beneficio), la cascarilla (que se retira en el proceso de trilla) y la borra (que se genera en la preparación de la bebida).

Colombia produce, anualmente, alrededor de 11 millones de sacos de café de 60 Kg, que generan alrededor de 4.432.000 toneladas frescas de biomasa (1.944.000 toneladas secas). Los volúmenes de biomasa generada durante el proceso del café, aunado a su composición química, la hacen una materia prima de interés para la producción de biocombustibles líquidos y gaseosos, generando energía renovable, y evitando la contaminación por la mala disposición de los subproductos, contribuyendo, de esta forma, a la sostenibilidad ambiental de la caficultura colombiana.

Palabras claves: Bioetanol, Biodiesel, Biogás, Energía renovable, Energía alternativa, Subproductos del café.

Potential of biomass waste from coffee like raw material for the biofuels production

ABSTRACT

The progressive exhaustion of the not renewable energy sources and their global warming contribution, is prompting the search renewable raw material to create clean and economically competitive energy and contributing to mitigating and adaptation to global climate change.

To prepare coffee drink is used less than 3% of fresh fruit weight, the remains represented in lignocellulosic materials such as leaves, branches, stems, pulp (are removed during coffee process), silver skin (removed by hulling) and spent ground (generated by beverage preparation).

Colombia produces near 11 million bags of 60 kg of coffee per year, generating approximately 4,432,000 tons of fresh biomass (1.944 million dry tons). The volumes of biomass generated during the process of coffee, combined with their chemical composition make

* Fecha de recepción: julio 9 de 2012 y fecha de aceptación: agosto 12 de 2012

37 Doctor en Ingeniería Hidráulica y Medio Ambiente., Investigador Científico II. Centro Nacional de Investigaciones de Café, Cenicafe.. Kilómetro 4 - Vía Antigua a Manizales. Chinchiná, Caldas. Colombia. eMail: Nelson.Rodriguez@cafedecolombia.com

it an interesting source for producing liquid and gaseous biofuels, generating renewable energy, and preventing pollution by wrong disposal of by-products, contributing in this way to the environmental sustainability of Colombian coffee.

Key words: Ethanol, Biodiesel, Biogas, Renewable Energy, Alternative Energy, coffee byproducts.

1. Introducción

La necesidad actual de los diferentes países de aumentar su matriz energética, de forma que se depende en menor proporción de los combustibles de origen fósil, ha impulsado el desarrollo de los biocombustibles (aquellos que tienen su origen en la biomasa).

La gran polémica, a escala mundial, que ha suscitado la utilización de materias primas que se utilizan para alimentación humana y animal (como el caso de la caña de azúcar, los cereales y el aceite de palma) para la producción de biocombustibles, aunada al balance energético del proceso productivo que, en algunos casos, es negativo, además del establecimiento de cultivos energéticos en zonas con condiciones agroecológicas adversas (ocasionando impactos ambientales negativos) está propiciando la investigación en la generación de biocombustibles de segunda generación (aquellos provenientes de biomasa residual o de especies vegetales que no se utilizan para la alimentación humana o animal).

Bajo el término de biomasa se incluye toda la materia orgánica que tiene su origen inmediato en un proceso biológico. Una de las principales características de la biomasa es su carácter renovable, puesto que la energía utilizada y las materias primas consumidas (C, H, N, K y P) son renovables.

Con políticas apropiadas y con equidad social, los biocombustibles constituyen una buena alternativa para diversificar la matriz energética de los países y mejorar el nivel de vida de las comunidades rurales.

Varias instituciones públicas de Colombia, con el apoyo de los gremios productivos, realizaron un trabajo de investigación para estimar el potencial energético de la biomasa residual de los sectores agrícola, pecuario y de residuos sólidos orgánicos.

En la Tabla 1 se presentan los resultados de la caracterización, comparando la composición elemental y el poder calorífico inferior de la biomasa obtenida de diferentes sectores productivos, con una de las energías no renovables más abundante en Colombia: el Carbón.

De la tabla se puede deducir los menores contenidos de N y S de la biomasa procedente del sector agrícola, contribuyendo en su proceso de combustión a disminuir la emisión de gases contaminantes, como NO_x y SO_x, causantes de la lluvia ácida.

En la Tabla 2 se presentan los datos de generación de biomasa en el sector agrícola colombiano. La biomasa residual del café representada por el material lignocelulósico que se genera en el proceso de cultivo y beneficio del fruto hasta café almendra (que es el estado en el cual se realiza las exportaciones del grano) y que está constituido por el exocarpio y endocarpio del fruto (pulpa y cascarilla) y por los tallos, ramas y hojas generados en el proceso de renovación de los cafetales tiene una participación del 6% respecto a la biomasa residual total generada por los principales cultivos agrícolas y su potencial en la generación de energía es de 36600 TJ/año, el 11% del potencial energético de la principal biomasa residual generada en el sector agrícola colombiano.

Tabla 1. Análisis elemental de la principal biomasa residual generada en Colombia

Fuente	Análisis proximal en Base seca (%p/p)		Análisis Elemental en Base seca (%p/p)					Contenido Energético (KJ/Kg)
	Ceniza	MV	COT	H	O	N	S	
Carbón	11,68	35,55	73,74	5,30	8,53	1,18	0,79	26.806
Agrícola	8,64	82,21	47,63	5,69	32,27	0,73	0,07	15.906
RSOU-Plaza Mercado	11,69	51,04	35,66	5,26	42,97	1,84	0,045	16.400
RSOU-Poda	17,26	16,13	30,50	3,50	46,67	2,00	0,14	16.800
Bovino	20,50	60,48	40,45	4,65	22,15	2,11	0,75	13.993
Porcino	27,05	47,32	26,45	3,04	33,25	3,12	0,116	17.600
Avícola	30,10	42,75	31,50	3,62	24,90	2,90	0,23	12.313

Nomenclatura: RSOU (Residuos Sólidos Orgánicos Urbanos). **MV:** Material volátil combustible. **COT:** Carbono Orgánico Total. **PCI:** Poder Calorífico Inferior.
Fuente: UPME, 2010

Tabla 2. Cantidad de biomasa residual proveniente de los principales cultivos de Colombia y su potencial energético

Cultivo	Área Cultivada (ha)	% Área	Cantidad Biomasa Residual (BR) (Ton/año)	% BR	Potencial TJ/año	% TJ
Caña de azúcar	209.155	8	15.534.591	22	118.579	37
Caña Panelera	168.119	6	9.513.430	13	81.055	25
Café	921.000	33	4.432.000	6	36.616	11
Arroz	418.033	15	6.282.407	9	27.836	9
Maíz	451.905	16	1.937.130	3	20.803	7
Palma de aceite	251.344	9	1.660.074	2	16.014	5
Plátano	293.588	11	20.414.043	29	11.657	4
Banano	53.696	2	11.550.891	16	6.596	2
Total	2.766.840	100	71.324.566	100	319.156	100

Fuente: Modificada de UPME, 2010

2. Resultados y discusión

En la actualidad, el beneficio ecológico, las Centrales de Beneficio, las altas producciones de café/ha, aunado a una legislación ambiental más exigente, al alto costo de los combustibles y fertilizantes químicos, favorecen el aprovechamiento de los subproductos para la obtención de productos con valor agregado.

UNIVERSIDAD DE MANIZALES

Uno de los aprovechamientos de la biomasa que se ha explorado en el Centro Nacional de Investigaciones de Café, Cenicafé, desde 1950 es la utilización de los subproductos del café como combustible directo (tallos de café, cascarilla, pulpa), para la producción carbón vegetal (mediante la pirólisis de los tallos y ramas de café), para la producción de biogás, mediante la fermentación metánica (a partir de pulpa y mucílago), o su transformación en BTL (Alcoholes y Aceites) a partir de la pulpa, el mucílago y la borra (ripió que queda en la producción del café soluble o cuando se prepara la bebida a partir de café molido).

A continuación se presenta un resumen de las diferentes investigaciones que se han realizado en Cenicafé y en otros países del mundo para obtener energía a partir de la biomasa residual del café, generada tanto en campo, como en el proceso de beneficio del fruto y en su industrialización.

La pulpa de café es el primer subproducto que se genera en el beneficio del fruto. Por cada millón de sacos de 60 kg de café almendra que Colombia exporta, se generan 162900 toneladas de pulpa fresca, la cual si no se utiliza adecuadamente produciría una contaminación equivalente a la generada durante un año, en excretas y orina, por una población de 868736 habitantes (Rodríguez, 2009).

Las investigaciones relacionadas con su utilización como combustible fueron realizadas, en su mayoría, por investigadores centroamericanos. Porres et al., 1987, reportan un poder calorífico de 15,88 MJ/kg de pulpa seca y un consumo en el secado mecánico de la misma de 36,92 MJ, para un balance energético negativo en el proceso, ya que por cada unidad de energía aplicada sólo se generaron 0,43 unidades en el producto.

El biogás es una mezcla gaseosa constituida básicamente por metano (CH_4) en una proporción que oscila entre el 50 y el 80% y gas carbónico (CO_2), con pequeñas trazas de vapor de agua (H_2O), hidrógeno (H_2), sulfuro de hidrógeno (H_2S), amoníaco (NH_3), monóxido de carbono (CO), nitrógeno (N_2), Oxígeno (O_2) y trazas de compuestos orgánicos (Carrillo, 2004) y el cual se origina por la degradación de la materia orgánica en condiciones anaeróbicas (en ausencia de oxígeno).

En Cenicafé, en los estudios iniciados por Calle en 1974 y continuados por Arcila, 1979, relacionados con la producción de biogás a partir de la pulpa de café, se reportan rendimientos de 25 litros de biogás/kg de pulpa fresca alimentada a los digestores, obteniéndose un valor, para la pulpa fresca, de 0,54 MJ/kg.

El bioetanol se obtiene por fermentación de medios azucarados hasta lograr un grado alcohólico, después de fermentación, en torno al 10% - 15%, concentrándose por destilación para la obtención del denominado «alcohol hidratado» (4-5% de agua) o llegar hasta el alcohol absoluto (99,4% de pureza, como mínimo) tras un proceso específico de deshidra-

tación (Ballesteros, 1998). Los contenidos de azúcares reductores de la pulpa de café están cercanos al 17% en base seca (Rodríguez, 1999) y sus contenidos de celulosa del 29,51% y de lignina de 16,85% (Calle, 1977).

Rodríguez, 2007, en estudios de fermentación alcohólica, realizados en Cenicafé, utilizando varias cepas de levaduras, encontró un valor promedio de 25,17 ml de etanol provenientes de la fermentación de 1 kg de pulpa fresca, equivalente a un poder calorífico de 0,53 MJ/kg de pulpa fresca (muy similar al alcanzado en forma de biogás).

El mucílago de café se genera en la etapa del desmucilaginado del fruto y representa, en base húmeda, alrededor del 14,85% del peso del fruto fresco (Montilla, 2006), es rico en azúcares reductores (aproximadamente el 64% en peso seco) (Rodríguez, 1999). Por cada millón de sacos de 60 kg de café almendra que Colombia exporta, se generan aproximadamente 55.500 toneladas de mucílago fresco, el cual si no se utiliza adecuadamente produciría una contaminación equivalente a la generada durante un año, en excretas y orina, por una población de 310.000 habitantes (Rodríguez, 2009).

Rodríguez y Zambrano, 2010, reportan un poder calorífico, en forma de biogás, de 2,00 MJ/kg de mucílago fresco.

Rodríguez, 2007, en estudios de fermentación alcohólica, realizados en Cenicafé, encontró un valor promedio de 58,37 ml de etanol a partir de 1 kg de mucílago fresco, equivalente a 1,23 MJ/kg de mucílago.

Cascarilla de café se genera durante el proceso de trilla, posee excelentes propiedades combustibles, con un poder calorífico de 17,90 MJ/kg (Roa, 2003).

Tallos de café provenientes de la zoca, son utilizados por los productores para la cocción de alimentos y el secado del grano, contribuyendo a la conservación del bosque nativo, lo cual tiene una influencia directa en beneficio del ciclo hidrológico y en la regulación del calentamiento global.

Se puede estimar una producción media de 0,6 kg de tallos de café/kg de café cereza procesado (Rodríguez, 2007), con un poder calorífico de 19,75 MJ/kg (Roa, 2003).

Oliveros, 2007, reporta para el secado mecánico del café utilizando cascarilla o tallos de café como combustible y eficiencias del 50% en los intercambiadores de calor (con superficie aletada) un consumo de 5 kg de combustible/arroba de café pergamino seco.

La borra de café es el residuo principal que se genera en las fábricas de café soluble y corresponde a la fracción insoluble del grano torrefactado. Representa cerca del 10% del peso del fruto fresco.

Análisis de los datos obtenidos por Agudelo, 2002, relacionados con la producción de bioetanol, permiten inferir que se pueden obtener

207 ml de etanol por cada kg de borra seca, equivalente a un poder calorífico de 4,42 MJ/Kg.

En Brasil, Pereira et al., 2000, realizaron un estudio para obtener aceites a partir de la borra de café, utilizando extracción con alcohol etílico como solvente, alcanzando unos rendimientos en el proceso del 82%, con una relación etanol: borra de 7:1 y una temperatura de 75°C, equivalentes a 25,6 kg de aceite/100 kg de borra seca. Si se considera una conversión a Biodiésel del 75% (de acuerdo con los resultados de Oliveira et al., 2003), se tendrían 19,2 kg de biodiésel, con un poder calorífico de 7,2 MJ/Kg de borra seca.

Balances energéticos. En la Tabla 3 se condensan los resultados obtenidos del balance energético realizado al proceso de producción de etanol a partir de diferentes productos agrícolas, adaptado de la literatura y el obtenido del proceso productivo de etanol a partir de la pulpa y el mucílago de café.

Puesto que el etanol se produce con fines energéticos, los investigadores aceptan que es el balance de energía del proceso total el que determinará su viabilidad económica.

Se busca que la energía generada por el producto sea mayor que la energía utilizada en su fabricación, sobre todo cuando ésta última es energía fósil, dado que es la que se busca reemplazar.

El balance energético es positivo cuando la relación energía de salida (la generada por el producto)/energía de entrada (la necesaria para obtener el producto) es mayor a 1.

Para el caso del etanol, la etapa de recuperación del producto (la destilación), es la que exige mayor energía de todo el proceso, tal como se condensa en la columna de la Tabla "energía gastada en la parte industrial". Por ello, las mejoras en el proceso de destilación tendrán mayor influencia en el éxito del proceso total que las mejoras en la propia fermentación.

Bourne, 2007, reporta balances energéticos con una relación de 1,3 para el maíz y de 8 para la caña de azúcar, en su artículo en la revista National Geographic de octubre del 2007. No obstante en la Tabla 3, para la caña de azúcar se condensan estudios en donde el balance energético es de 1,25 cuando no se utilizan los residuos del proceso en la generación de energía y de 2,42 cuando sí se utilizan.

Para el etanol obtenido de los granos de trigo y cebada el balance es negativo, para el sorgo varía entre 1,11 y 1,89, dependiendo si se utilizan los subproductos del proceso y para los tubérculos como la papa y yuca está muy cercano al punto de equilibrio energético.

Para el caso de los subproductos del café, el balance energético estimado es negativo para el mucílago obtenido utilizando agua en el

desmucilagador (550 ml de agua/min), dado que el volumen a destilar para obtener 1 litro de etanol es mayor. Sin embargo si las vinazas se utilizan para la producción de metano, el balance energético se vuelve positivo, pasando de 0,81 a 1,22. Si el mucílago se obtiene sin agua el balance energético es positivo aún sin la utilización del metano proveniente de las vinazas (1,11) y con ésta energía se llega a una relación de 1,67.

La pulpa de café presenta el balance energético más desfavorable, de 0,46. Si al proceso se le adiciona la energía proveniente de la metanización de las vinazas, alcanza el valor de 0,92 y la energía proveniente de la metanización de la pulpa residual del proceso de fermentación alcohólica se llega a un balance energético positivo, de 1,26.

Tabla 3. Balance Energético del bioetanol obtenido de diferentes cultivos									
Cultivo	Rendto. Etanol l/ ton	Energía (E) MJ					(E)generada/ (E) consumida		Referencia
		Gastada		Producida		Balance	Sin Residuo	Con Residuo	
		Agrícola	Industrial	Etanol	Residuo				
Caña de azúcar	66	4,858	12,695	22,008	20,544	25,058	1,25	2,42	Adaptado de Carrillo, 2004
Yuca	174	4,267	14,731	22,008	0,000	3,010	1,16	1,16	
Sorgo	83	6,498	13,366	22,008	15,480	17,625	1,11	1,89	
Trigo-Cebada	350	13,337	12,099	21,377	0,000	-4,059	0,84		Adaptado de Miliarum, 2007
Sorgo	80	3,690	12,099	21,377	0,000	5,588	1,35		
Papa	100	11,420	12,099	21,377	0,000	-2,142	0,91		
Maíz	314			23,400	0,000		0,245-0,310 1,13-1,34		Adaptado de Honty and Gudynas, 2007
Subproductos del café									
SoluciónMucilago Agua	40	0,879	25,390	21,377	10,735V	5,843	0,81	1,22	
Mucilago sin agua	58	1,700 (20%+)	17,509	21,377	10,735V	12,903	1,11	1,67	
Jugo de pulpa	47	5,802	21,328	21,377	17,297V	11,544	0,79	1,43	
Pulpa café	25	5,802	40,624	21,377	21,113V 16,200P	-3,936 12,264	0,46	0,92 1,26	

V: Energía adicional proveniente de la metanización de las vinazas.

P: Energía adicional proveniente de la metanización de la pulpa prensada.

3. Conclusiones

La energía disponible en los subproductos del café en forma sólida o gaseosa /ha es de cerca de 70 GJ, que es equivalente a la contenida en 573 galones de gasolina. Energía que por provenir del campo es renovable y tiene un gran valor económico en la actualidad, dada la inestabilidad de los precios de los combustibles provenientes de fuentes fósiles.

De la pulpa y el mucílago generados por ha de café se pueden obtener 102 litros de etanol que generan 2180 MJ de energía equivalente a la contenida en 18 galones de gasolina. La energía proveniente de los tallos de café generados en el proceso de zoqueo/ha es suficiente para abastecer las necesidades energéticas del proceso de producción de etanol a partir de la pulpa y el mucílago generados en esa misma área.

De la pulpa y el mucílago generados por cada millón de sacos de café almendra que Colombia exporta se podrían obtener 1.939.162 galones de etanol.

En conclusión, la biomasa residual proveniente del proceso de cultivo del café tiene un gran potencial para la producción de biocombustibles de segunda generación (que no compiten con materias primas utilizadas para la alimentación humana y animal), contribuyendo a la diversificación de la matriz energética nacional y evitando el deterioro del medio ambiente cafetero por la inadecuada disposición de los subproductos del café.

Bibliografía

- AGUDELO A., R.A. Obtención de etanol a partir de la borra de café. Manizales (Colombia), Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Ingeniería y Arquitectura, 2002. 120 p. 56 Refs. Esp. (Tesis: Ingeniero Químico).
- ARCILA O., F. Producción de Biogás a base de pulpa de café. In: REUNION Internacional sobre la utilización integral de los subproductos de café, 2. Guatemala, Diciembre 3-5. 1979. Chinchiná (Colombia), CENICAFE, 1979. 17 p. Esp.
- BALLESTEROS P., M. Seminario Internacional sobre aprovechamiento de residuos agroindustriales. Uso energético de la biomasa. Universidad Nacional Sede Manizales. Manizales. Mayo 19 al 21. 1998. 26. p.
- BOURNE, J. K. Green Dreams. National Geographic. October. 2007. pp 38-59. 2007.
- CALLE V., H. Subproductos del café. Chinchiná (Colombia). Cenicafé. 1977. 84 p. (Boletín Técnico N° 6).
- CALLE, H. Cómo producir gas combustible con pulpa de café. Chinchiná, Cenicafé, 1974. 12 p. (Boletín Técnico Cenicafé N° 3).
- CARRILLO, L. Energía de Biomasa. Jujuy, 2004. 82 p. ISBN 987-43-8679-7.
- HONTY, G.; GUDYNAS, E. Agrocombustibles y Desarrollo Sostenible en América Latina y El Caribe. PROBIOMA. Santa Cruz, Bolivia. 2007. 31 P.
- MILIARIUM. Cultivos para implementar en España. On line Internet. Disponible en http://www.miliarium.com/Monografias/Biocombustibles/Cultivos_Energeticos/Cultivos. Fecha de consulta Noviembre 2011.
- MONTILLA P., J. Caracterización de algunas propiedades físicas y factores de conversión del café.: Manizales (Colombia), Universidad de Caldas. Facultad de Ciencias Agropecuarias, 2006. 107 p.
- OLIVEIRA, L.S. DE; FRANCA, A.S.; CAMARGOS, R.R. DA S.; BARROS JR., M.C. DE. Avaliacao preliminar da viabilidade de producao de biodiesel a partir de graos defeituosos de café. Revista Brasileira de Armazenamento (Brasil) No. 7:74-77. 2003.
- OLIVEROS T., C. E. Secado de café con empleo de energía solar y en silo Cenicafé. Disciplina Ingeniería Agrícola. 5p. 2007.
- PEREIRA F., S.; LOBO M., P.; CELI A., R. Extração do óleo da borra de café solúvel com etanol comercial. Consórcio Brasileiro de Pesquisa e Desenvolvimento do Café. In: Simpósio de Pesquisa dos Cafés do Brasil. Anais. Poços de Caldas/MG. 2000. p.740 –743 p.
- PORRES, C.; CALZADA, J.F.; ROLZ, C. Combustión de la pulpa de café. In: SIMPOSIO Internacional sobre la Utilización Integral de los Subproductos del Café, 3. Guatemala, Febrero 16-18, 1987. Guatemala, ICAITI-ANACAFE-PNUMA, 1987. p. 16-19.

REPÚBLICA DE COLOMBIA. MINISTERIO DE MINAS Y ENERGÍA. UNIDAD DE PLANEACIÓN MINERO ENERGÉTICA. Aproximación al Potencial Energético de la Biomasa Residual en Colombia. Colombia. 2010. 22 dp.

ROA, M., G. Potencialidad del café y sus residuos rurales como cultivo energético, en Colombia. Cenicafé. Disciplina Ingeniería Agrícola. 2p. 2003.

RODRÍGUEZ V., N. Estudio de un biosistema integrado para el postratamiento de las aguas residuales del café utilizando macrófitas acuáticas. Valencia (España), Universidad Politécnica de Valencia. Departamento de Ingeniería hidráulica y Medio ambiente, 2009. 508 p.

RODRIGUEZ, N. Informe anual de actividades 2006 2007. Chinchiná (Colombia), Cenicafé. Disciplina de Calidad y Manejo Ambiental, 2007. (Mecanografiado). 78p.

RODRIGUEZ V., N. Contenido de azúcares reductores en la pulpa y el mucílago de café. In: Informe anual de actividades 1998 - 1999. Chinchiná (Colombia), Cenicafé. Disciplina de Química Industrial, 1999. 90p.

RODRÍGUEZ V., N.; ZAMBRANO F., D.A. Los subproductos del café: Fuente de energía renovable. Chinchiná. CENICAFE, 2010. 8 p. (Avances Técnicos No. 393).