



AVANCES TÉCNICOS

393

Cenicafé

Gerencia Técnica / Programa de Investigación Científica / Marzo de 2010
Fondo Nacional del Café

LOS SUBPRODUCTOS DEL CAFÉ: FUENTE DE ENERGÍA RENOVABLE

Nelson Rodríguez Valencia*, Diego Antonio Zambrano Franco*

Se denomina energía renovable a la que se obtiene de fuentes que son capaces de regenerarse por medios naturales y, por lo tanto, se consideran inagotables.

Los residuos agrícolas lignocelulósicos se pueden utilizar directamente como combustible o transformarse en bioetanol o biogás, mediante procesos de fermentación o en biodiésel, y son considerados energías renovables, dado que no se agotarán mientras puedan cultivarse los vegetales que los producen.

La formación de biomasa vegetal se lleva a cabo a través del proceso fotosintético, en donde las plantas captan la energía solar y mediante un mecanismo electroquímico fijan y almacenan el carbono contenido en el CO₂ del aire. Una de las principales características de la biomasa es su carácter renovable, puesto que la energía utilizada y las materias primas consumidas (carbono, hidrógeno, nitrógeno, potasio y fósforo) son renovables (3). Se estima que la fotosíntesis fija 220 millones de toneladas de peso seco de biomasa al año, lo que supone unas diez veces la demanda energética mundial (3).

*Investigador Científico I e Investigador Científico II, respectivamente. Calidad y Manejo Ambiental. Centro Nacional de Investigaciones de Café, Cenicafe. Chinchiná, Caldas, Colombia.

En el proceso del café se estima que menos del 5% de la biomasa generada se aprovecha en la elaboración de la bebida, el resto queda en forma residual representado en materiales lignocelulósicos como hojas, ramas y tallos, generados en el proceso de renovación de los cafetales; frutos verdes que se caen durante la recolección o que se retiran de la masa de café recolectado; pulpa o exocarpio del fruto, que representa aproximadamente el 44% del fruto fresco (27, 28); y la borra o ripio, que se genera en las fábricas de producción de café soluble y cuando se prepara la bebida a partir del grano tostado y molido, que representa cerca del 10% del peso del fruto fresco (6) y con un contenido de aceite entre el 10% y el 15% en base seca (8).

Adicionalmente, la pulpa tiene un contenido de azúcares reductores cercano al 17% en base seca (29) y durante el proceso de beneficio del fruto se genera el mucílago, rico en azúcares reductores, aproximadamente el 64% en peso seco (29), el cual representa cerca del 15% del peso del fruto fresco (27, 28).

En la Tabla 1 se observa el peso de los residuos generados en cada una

de las etapas del proceso de beneficio e industrialización del café.

En la actualidad, el beneficio ecológico, las centrales de beneficio, las altas producciones de café por hectárea, aunado a una legislación ambiental más exigente y a los altos costos de los combustibles y fertilizantes químicos, favorecen el aprovechamiento de los subproductos para la obtención de productos con valor agregado, entre los que figuran los biocombustibles.

La necesidad de los países de aumentar su matriz energética, ha impulsado la investigación y producción de los biocombustibles. Sin embargo, se ha generado una gran polémica por la utilización de materias primas que se emplean para alimentación humana y animal, como el caso de la caña de azúcar, cereales y aceite de palma, y por el balance energético del proceso productivo que, en algunos casos, es negativo. Por lo tanto, se está investigando en la generación de biocombustibles de segunda generación, provenientes de biomasa residual o de especies vegetales que no se utilizan para la alimentación.

A continuación se presenta un resumen de las investigaciones realizadas en Cenicafé y en otros

países, para obtener energía a partir de la biomasa residual del café.

1. Pulpa de café

Es el primer producto que se obtiene en el procesamiento del fruto de café (Figura 1), y representa, en base húmeda, alrededor del 43,58% del peso del fruto fresco (18).

El promedio de la producción de pulpa es de 2,25 t/ha-año (27, 28). Por cada millón de sacos de 60 kg de café almendra que Colombia exporta, se generan 162.900 t de pulpa fresca, que si no se utilizan adecuadamente producirían una contaminación equivalente a la generada durante un año, en excretas y orina, por una población de 868.736 habitantes (26).

Utilización como combustible directo. Porres *et al.* (23), 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, con un balance energético negativo en el proceso, debido a que por cada unidad de energía aplicada en el secado de la pulpa sólo se generaron 0,43 unidades en la combustión del producto seco.

Tabla 1. Residuos obtenidos en el proceso de beneficio e industrialización de 1.000 g de café cereza.

Proceso	Residuo obtenido	Pérdida (en gramos)
Despulpado	Pulpa fresca	436
Desmucilaginado	Mucílago	149
Secado	Agua	171
Trilla	Pergamino	42
	Película plateada	
Torrefacción	Volátiles	22
Preparación bebida	Borra	104
Pérdida acumulada		924

Fuente: Adaptado de Calle (6).



Figura 1. Pulpa obtenida del beneficio del café.

Producción de biogás. El biogás es una mezcla gaseosa constituida por metano, en una proporción que oscila entre 50% y 80%, y gas carbónico, con pequeñas trazas de vapor de agua, hidrógeno, sulfuro de hidrógeno, amoníaco, monóxido de carbono, nitrógeno, oxígeno y trazas de compuestos orgánicos (9); y se origina por la degradación de la materia orgánica en condiciones anaeróbicas.

Se puede utilizar como combustible directo en sistemas de combustión a gas o para la producción de energía eléctrica, mediante turbinas o plantas generadoras a gas. En los estudios realizados por Calle (7) y Arcila (2), se reportan rendimientos de 25 L de biogás por 1 kg de pulpa fresca alimentada a los digestores. El poder calorífico del biogás, con un contenido de metano de 60%, es de 21,46 KJ/L (31), con un valor para la pulpa fresca de 0,54 MJ/kg.

Producción de bioetanol. 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 hasta llegar al alcohol absoluto (99,4% de pureza, como mínimo), tras un proceso específico de deshidratación. Esta última calidad es la necesaria si se quiere utilizar el alcohol en mezclas con gasolina, en vehículos convencionales (3).

En Cenicafé, Calle (6) estudió las condiciones para la obtención de alcohol a partir de la pulpa y el mucílago de café y encontró que "de 100 kg de café cereza se puede obtener un 6% de melaza, por extracción y concentración del jugo de la pulpa y del mucílago, con un contenido del

35% de azúcares totales y 6,19% de cenizas, y por fermentación alcohólica se pueden obtener, en promedio, 1,2 L de alcohol etílico de 85°, equivalentes a 500 L de etanol por 1.000 arrobas de café pergamino seco.

Rodríguez (27, 28), en estudios de fermentación alcohólica, utilizando varias cepas de levaduras, encontró un promedio de 25,17 ml de etanol, provenientes de la fermentación de 1 kg de pulpa fresca (Figura 3). La capacidad calorífica del etanol es de 21,08 MJ/L (30), por lo tanto, se alcanzó un valor de 0,53 MJ/kg de pulpa fresca, similar al alcanzado en forma de biogás.

2. Mucílago de café

El mucílago (Figura 2) se genera en la etapa del desmucilaginado, y en base húmeda, representa alrededor del 14,85% del peso del fruto fresco (18). En términos de volumen, por cada kilogramo de café cereza sin seleccionar se producen 91 ml de mucílago fermentado (35). Su producción media es de 768 kg/ha-año (27, 28). Por cada millón de sacos de 60 kg de café que Colombia exporta, se generan aproximadamente 55.500 t de mucílago fresco, que si no se utilizan adecuadamente producirían



Figura 2. Mucílago obtenido del beneficio del fruto de café.

una contaminación equivalente a la generada en un año, en excretas y orina, por una población de 310.000 habitantes (26).

Producción de biogás. Zambrano (34) reporta para la descomposición anaerobia del mucílago, una producción de 287 L de metano por cada kilogramo de DQO aplicado en el proceso de fermentación a 36°C (equivalente a 336 L de metano por 1 kg de DQO removido). El metano tiene un poder calorífico de 35,78 KJ/L (31) y la densidad calculada del mucílago de 1,35 kg/L (27, 28), por lo que se puede estimar que la energía contenida en el biogás generado a partir de la descomposición de 1 kg de mucílago fresco es del orden de 2,00 MJ.

Producción de bioetanol. En estudios de fermentación alcohólica se encontró un valor promedio de 58,37 ml de etanol obtenido a partir de 1 kg de mucílago fresco (27, 28), equivalente, en unidades de energía, a 1,23 MJ/kg de mucílago.

Producción de etanol/saco de café verde. En la Tabla 2 se presentan los rendimientos de etanol que podrían esperarse si la pulpa y el mucílago generados en la obtención de un millón de sacos de café verde, tipo exportación, se utilizan para la producción de este biocombustible.

3. Cisco de café

El endocarpio del fruto (Figura 3), constituido por la cascarilla (cisco) y la película plateada, es otro subproducto con excelentes propiedades combustibles.

Utilización como combustible directo. El cisco representa en peso



Figura 3. Cisco obtenido en el proceso de trilla

el 4,2% del fruto fresco (18). Roa *et al.* (25), para este subproducto, reportan una capacidad calórica de 17,90 MJ/kg.

4. Borra de café

Residuo que se genera en las fábricas de café soluble y corresponde a la fracción insoluble del grano tostado (Figura 4). Representa cerca del 10% del peso del fruto fresco (6).

Utilización como combustible directo. En las fábricas de café soluble, después del proceso de prensado y secado hasta el rango del 8% al 15% de humedad, la borra se utiliza como combustible en las calderas generadoras de vapor de agua. Su valor calorífico está entre 24,91 MJ/kg (32) y 29,01 MJ/kg de borra seca (13).

Producción de biogás. Kostenberg *et al.* (16) reportan una producción de



Figura 4. Borra de café.

Tabla 2. Bioetanol obtenido por cada millón de sacos de café verde producido.

Subproducto	Toneladas generadas	Litros de etanol/tonelada de subproducto	Galones de etanol (gal _{us})
Pulpa fresca	162.900	25,17	1.083.274
Mucílago fresco	55.500	58,37	855.888
Galones de etanol/millón de sacos de café verde			1.939.162

biogás, con un contenido de metano entre 52% y 62%, del orden de 250 a 300 L/kg de sólidos volátiles de la borra, los cuales representan el 99,8% de la materia seca (34). Lo que equivale a un potencial calorífico como biogás de 5,90 MJ/kg de borra seca.

Producción de bioetanol. Agudelo (1) reporta que se pueden obtener hasta 27,85 g de etanol a partir de 56,98 g de celulosa proveniente de borra de café delignificada enzimáticamente, utilizando procesos de sacarificación y fermentación simultánea. Así mismo, reporta un promedio del contenido de celulosa en la borra del 33,62%, lo que permite estimar que se pueden obtener hasta 207,61 ml de etanol por 1 kg de borra seca, equivalentes a un poder calorífico de 4,38 MJ/kg de borra seca.

Producción de biodiésel. El biodiésel es un combustible que se elabora a partir del proceso de esterificación de aceites de origen animal o vegetal, utilizando metanol o etanol, con el fin de reemplazar el combustible diésel, reduciendo la contaminación atmosférica al generarse menos emisiones de gases en el proceso de combustión.

En lo relacionado con la producción de aceites para la producción del biodiésel, Calle (6) reporta la obtención

de un 9% de sustancias grasas a partir de la pulpa de café seca y establece que el mucílago y el pergamino no contienen lípidos. De igual manera, reporta contenidos entre 4% y 17% de aceite, en almendras de diferentes variedades (6). Para el caso del aceite extraído de la borra, el promedio de los rendimientos fue de 10%, se comprobó que muy poco aceite pasa a la bebida y que éste puede recuperarse casi completamente de la borra (8).

Kondamudi *et al.*(15), reportan en el proceso de obtención de aceite a partir de la borra, rendimientos entre 10% y 15% en peso, dependiendo de la especie, y una conversión del 100% del aceite en biodiésel, el cual tiene una capacidad calórica de 38,4 MJ/kg (19), con lo cual se obtendría un poder calorífico de 5,76 MJ/kg de borra seca.

5. Tallos de café

Los tallos de café (Figura 5), provenientes de la práctica de zoqueo, 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.



Figura 5. Tallos de café provenientes de la remoción de cafetales.

La Federación de Cafeteros, para mantener una caficultura productiva, promueve ciclos de renovación cada cinco años y reporta un promedio de densidad de 5.000 árboles/ha (12). Farfán (10), durante el proceso de renovación reporta una producción de madera seca de 16 t/ha, para 5.000 árboles/ha, lo que permite calcular un promedio de producción de 0,6 kg de tallos por 1 kg de café cereza procesado (27, 28).

Utilización como combustible directo. Roa (24), reporta una capacidad calórica para los tallos de 19,75 MJ/kg. Oliveros *et al.* (21) registraron en el secado mecánico del café, un consumo de 4,4 kg de cisco por 1 @¹ de c.p.s., en promedio. Dado que los tallos de café presentan una capacidad calórica mayor a la del cisco (19,75 vs. 17,90 MJ/kg), se estima un consumo de 4,0 kg de tallos por 1 @ de c.p.s.

Producción de bioetanol. Es posible obtener bioetanol a partir de las fibras celulósicas de los tallos de café. Los materiales leñosos presentan una composición básica de celulosa entre 40% y 60%, de hemicelulosa entre 20% y 40% y de lignina entre 10% y 25% (4).

¹ 1 arroba = 12,5 kg

6. Ripios y café deteriorado

Son residuos del proceso de trilla y están constituidos por granos imperfectos, almendras partidas y frutos pequeños (Figura 6), y tienen la misma composición química del grano. La bebida preparada a partir de los ripios es de baja calidad (22).

Utilización como combustible directo. Los ripios presentan un valor calorífico del orden de 15,60 MJ/kg cuando se utilizan como combustible sólido (27, 28).

Producción de biodiésel. Calle (6) reporta que de café de calidad inferior se lograron obtener entre 70 y 150 kg de aceite por 1 t de café.

En Brasil, Oliveira *et al.* (20) registraron que de cada 100 kg de café defectuoso es posible obtener 12 kg de aceite, de los cuales se obtienen 9 kg de biodiésel. Al considerar que el poder calorífico del biodiésel del café es de 38,4 MJ/kg, se estima un poder calorífico de 3,46 MJ/kg de café deteriorado.

Potencial calórico de los subproductos generados en el proceso de cultivo e industrialización del café

En la Tabla 3 se presentan los valores energéticos de los subproductos



Figura 6. Ripios de café.

generados en el proceso de cultivo e industrialización del café, cuando se utilizan como combustible directo o en los biocombustibles generados cuando los subproductos se utilizan como materia prima en la producción de éstos.

Para los cálculos de producción por hectárea se tomaron los valores registrados en la página Web de la Federación Nacional de Cafeteros de Colombia: área cultivada en café de 874.000 ha y producción de café verde (cv) de 12,1 millones de sacos de 60 kg (11) y los factores de conversión reportados por Montilla (18) para café variedad Colombia sin seleccionar: 6,23 kg café cereza (cc)/kg cv; 4,89 kg cc/kg cps; 0,4358 kg de pulpa fresca/kg cc y 0,1485 kg de mucílago fresco/kg cc, con un promedio de producción de café cereza de 5.175 kg/ha, equivalente a 1.058 kg/ha de c.p.s.

7. Energía disponible a partir de los subproductos del café generados en la finca

En las fincas es posible disponer para su aprovechamiento energético, de los tallos provenientes del proceso de renovación de los cafetales, y de la pulpa y el mucílago generados en el proceso de beneficio.

De acuerdo con los datos de la Tabla 3, la energía disponible (E.D.) en los subproductos generados en la finca es:

$$E.D. = 0,54 \text{ MJ/kg} \times 2.258 \text{ kg/ha-año de pulpa} + 2,00 \text{ MJ/kg} \times 768 \text{ kg/ha-año de mucílago} + 19,75 \text{ MJ/kg} \times 3.200 \text{ kg/ha-año de tallos} = 65.955 \text{ MJ}$$

Considerando que el poder calorífico de la gasolina es de 34 MJ/L (30), equivalente a 128,69 MJ/gal_{US}, se tendría que la energía disponible en los subproductos del café generados por 1 ha/año, es equivalente a la contenida en 513 gal_{US} 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.

8. Balance energético de la producción de etanol a partir de la pulpa y el mucílago de café

En la Tabla 4 se presentan los resultados del balance energético

del proceso de producción de etanol a partir de la pulpa y el mucílago de café. Debido a que el etanol se produce con fines energéticos, se acepta que el balance de energía del proceso total es 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 esta 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) sobre la energía de entrada (la necesaria para obtener el producto) es mayor que 1.

Para el caso del etanol, la etapa de recuperación del producto (destilación), es la que exige mayor energía de todo el proceso, “energía gastada en la parte industrial” (Tabla 4). 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.

Existen diferencias en la eficiencia energética alcanzada en los cultivos. Para el caso del etanol de maíz, se reportan eficiencias entre 0,245 y 0,310 (14), en contraste con estudios que reportan valores en el rango entre 1,30 y 1,35 (5, 33).

Para el etanol obtenido de los granos de trigo y cebada el balance está alrededor de 0,84 (17), para el sorgo varía entre 1,11 y 1,89, dependiendo si se utilizan los subproductos del proceso (9), y para los tubérculos como la papa y la yuca está muy cercano al punto de equilibrio energético, entre 0,91 y 1,16 (9, 17).

Para el etanol obtenido de caña de azúcar, Bourne (5) reporta balances energéticos con una relación de 8,00. No obstante, otros autores reportan valores de 1,25 cuando no se utilizan los residuos del proceso en la generación de energía y de 2,42 cuando se utilizan estos residuos (9).

Para el caso de los subproductos del café, el balance energético estimado es negativo para el mucílago obtenido utilizando agua en el desmucilagador (0,6 L/kg c.p.s.), dado que el volumen a destilar para obtener 1 L de etanol es mayor. Sin embargo, si las vinazas se utilizan para la producción de metano, el balance energético se vuelve positivo, pasando de 0,80 a 1,21. Si el mucílago se obtiene sin agua el balance energético es positivo, aun sin la utilización del

Tabla 3. Capacidad calórica de los principales subproductos del café.

Subproducto	Poder calorífico	Producción	Referencia
Pulpa	15,88 MJ/kg pulpa seca. Combustible sólido (Pulpa seca)	2.258 kg/ha-año (28)	Porres <i>et al.</i> (23)
	0,54 MJ/kg pulpa fresca. Combustible gaseoso (Biogás)		Adaptado de Arcila (2)
	0,53 MJ/kg pulpa fresca. Combustible líquido (Bioetanol)		Rodríguez (27, 28)
Mucílago	2,00 MJ/kg mucílago fresco. Combustible gaseoso (Biogás)	768 kg/ha-año (28)	Adaptado de Zambrano (34)
	1,23 MJ/kg mucílago fresco. Combustible líquido (Bioetanol)		Rodríguez (27, 28)
Cisco	17,90MJ/kg. Combustible sólido	227 kg/ha-año (28)	Roa <i>et al.</i> (25)
Borra	29,01 MJ/kg borra seca. Combustible sólido	22.300 t/año (1)	Federacafé (13)
	5,90 MJ/kg borra seca. Combustible gaseoso (Biogás)		Adaptado de Kostenberg <i>et al.</i> (16)
	4,38 MJ/kg borra seca. Combustible líquido (Bioetanol)		Adaptado de Agudelo (1)
	5,76 MJ/kg borra seca. Combustible líquido (Biodiésel)		Adaptado de Kondamudi <i>et al.</i> (15)
Ripios	15,60 MJ/kg ripio. Combustible sólido	Sin datos	Rodríguez (27, 28)
	3,46 MJ/kg ripio. Combustible líquido (Biodiésel)		Adaptado de Oliveira <i>et al.</i> (20)
Tallos	19,75 MJ/kg tallo seco. Combustible sólido	3.200 kg/ha-año (28)	Roa (24)

metano proveniente de las vinazas (valor de 1,10) y con esta energía se llega a una relación de 1,66.

En el balance energético se tuvo en cuenta la energía gastada en el proceso de beneficio, para el caso del mucílago obtenido sin agua se incrementó en un 20% el gasto energético, previendo que el consumo del desmucilagador puede ser mayor. Si esta energía no se tiene en cuenta, los balances energéticos serían ligeramente mayores.

Para la pulpa y los jugos de la misma se tuvo en cuenta la energía gastada en el proceso de beneficio y de prensado. Para los jugos, el balance energético es positivo, si se tiene en cuenta la energía generada en la digestión anaeróbica de las vinazas.

La pulpa de café presenta el balance energético más desfavorable, de 0,45, el cual es muy similar al encontrado en el secado mecánico de la misma (0,43). Si al proceso se le adiciona la energía proveniente de la digestión anaeróbica de las vinazas, alcanza el valor de 0,91, y si se adiciona la

energía proveniente de la digestión anaeróbica de la pulpa residual del proceso de fermentación alcohólica, se llega a un balance energético positivo, de 1,26.

Con los datos de las Tablas 2 y 3 se puede estimar el promedio de la cantidad de etanol generado al año por una hectárea de café.

$$\text{Etanol} = 58,37 \text{ L/t} \times 0,768 \text{ t/ha-año de mucílago} + 25,17 \text{ L/t} \times 2,258 \text{ t de pulpa} = 102 \text{ L de etanol.}$$

De la pulpa y el mucílago generados al año por 1 ha de café se pueden obtener 102 L de etanol, que generan 2.150 MJ de energía equivalente a la contenida en 17 gal_{US} de gasolina.

Necesidades energéticas por hectárea. Para obtener el etanol del mucílago generado por 1 ha/año, se requieren 861 MJ (cuando se obtiene sin agua) y 1.178 MJ (cuando se utiliza un volumen de agua de 1 L/kg c.p.s. en el desmucilagador mecánico) y de la pulpa generada por 1 ha/año, se requieren 2.639 MJ, para un total entre 3.500 y 3.817 MJ.

La energía potencial de los tallos de café generados por hectárea, siguiendo las recomendaciones de renovación de cafetales (1/5 del área), sería de 63.200 MJ. Si se diseñan intercambiadores de calor que permitan una eficiencia calórica en el proceso de combustión del 50%, se dispondría de 31.600 MJ, entre ocho y nueve veces la energía necesaria en el proceso industrial de producción de etanol a partir de los subproductos del café.

La energía proveniente de los tallos de café generados en el proceso de zoqueo por hectárea 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.

LITERATURA CITADA

1. AGUDELO A., R.A. Obtención de etanol a partir de la borra de café. Manizales: Universidad Nacional de Colombia. Facultad de ingeniería y arquitectura, 2002. 120 p. Trabajo de grado: Ingeniero químico.
2. ARCILA O., F. Producción de biogás a base de pulpa de café. En: REUNIÓN Internacional sobre la utilización

Tabla 4. Balance energético del bioetanol obtenido de la pulpa y el mucílago del café.

Subproducto	Rendimiento etanol (L/t de subproducto)	Energía (MJ)				Energía neta producida	E.generada/E.consumida	
		Gastada		Producida			Sin residuos	Con residuos
		Agrícola	Industrial	Etanol	Residuo			
Mucílago del desmucilagado mecánico con 0,6 L de agua/kg c.p.s. (25 L)*	40	0,879	25,390	21,080	10,735 V	5,546	0,80	1,21
Mucílago del desmucilagado mecánico sin agua (17 L)	58	1,700	17,509	21,080	10,735 V	12,606	1,10	1,66
Jugo de pulpa prensando la pulpa a 25 KN (21 L)	47	5,802	21,328	21,080	17,297 V	11,247	0,78	1,41
Pulpa café (40 L) (30 kg)	25	5,802	40,624	21,080	21,113 V 16,200 P	-4,233 11,967	0,45	0,91 1,26

Los valores entre paréntesis se refieren al volumen necesario para obtener 1 L de etanol. V: Energía adicional proveniente de la fermentación anaeróbica de las vinazas obtenidas; P: Energía adicional proveniente de la fermentación anaeróbica de la pulpa de café prensada.

- integral de los subproductos de café (2: Diciembre 3-5 1979: Guatemala). Chinchiná: Cenicafé, 1979. 17 p.
3. BALLESTEROS P., M. Uso energético de la biomasa. Página 3. En: Seminario internacional sobre aprovechamiento de residuos agroindustriales. (Mayo 19 al 21 1998: Manizales). Manizales: Universidad Nacional, 1998 26. p.
 4. BEVILAQUA, J.V. P&D Petrobras. Etanol utilizando enzimas. En: Bio 2009. IV Seminario Latinoamericano y del Caribe de Biocombustibles. Abril 28 - 30. 2009. Cali (Colombia), IICA - OLADE - FAO. 24 dp.
 5. BOURNE, J. K. Green dreams. National geographic. Octubre 2007: 38-59.
 6. CALLE V., H. Subproductos del café. Chinchiná: Cenicafé, 1977. 84 p. (Boletín Técnico No. 6).
 7. —. Cómo producir gas combustible con pulpa de café. Chinchiná: Cenicafé, 1974. 12 p. (Boletín Técnico No. 3).
 8. —. Aceites del café. Cenicafé 11(9):251-258. 1960.
 9. CARRILLO, L. Energía de biomasa. Edición del autor, San Salvador de Jujuy (Argentina). 1° Ed. 2004. 82 p.
 10. FARFÁN V., F. El zoqueo del café conserva el bosque nativo. Chinchiná: Cenicafé, 1994. 4 p. (Avances Técnicos No. 209).
 11. FEDERACAFÉ. Principales indicadores de la caficultura colombiana. [En línea]. Disponible en internet: <http://www.cafedecolombia.com>. Consultado en diciembre del 2009.
 12. —. La crisis cafetera en 15 respuestas. Café Red. Red de Información Cafetera. N° 2. Bogotá. Marzo del 2000. 16 p.
 13. —. Fábrica de café liofilizado: Composición química de la borra de café. Chinchiná. Septiembre de 1997. Fax D-372. 2 p.
 14. HONTY, G.; GUDYNAS, E. Agrocombustibles y desarrollo sostenible en América latina y el Caribe. Santa Cruz [Bolivia]: PROBIOMA, 2007. 31 p.
 15. KONDAMUDI, N.; MOHAPATRA, S. K.; MISRA, M. Spent coffee grounds as a versatile source of green energy. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* (56):11757-11760. 2008.
 16. KOSTENBERG, D.; MARCHAIM, U.; WATAD, A.A.; EPSTEIN, E. Biosynthesis of plant hormones during anaerobic digestion of instant coffee waste. *Plant growth regulation* 17:127-132. 1995.
 17. MILIARIUM. Cultivos para implementar en España. [En línea]. Disponible en internet: http://www.miliarium.com/Monografias/Biocombustibles/Cultivos_Energeticos/Cultivos. Consultado en noviembre 2007.
 18. MONTILLA P., J. Caracterización de algunas propiedades físicas y factores de conversión del café. Manizales: Universidad de Caldas, 2006. 107 p.
 19. OLIVEIRA, L.S. DE; FRANCA, A.S.; CAMARGOS, R.R. DA S.; FERRAZ, V. P. Coffee oil as a potential feedstock for biodiesel production. *Bioresource technology* (99):3244-3250. 2008.
 20. 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. 10 Refs. Port
 21. OLIVEROS T., C. E.; SANZ U., J. R.; RAMÍREZ G., C. A.; PEÑUELA M., A. E. Aprovechamiento eficiente de la energía en el secado mecánico del café. Chinchiná, Cenicafé. 8 p. (Avances Técnicos N° 380). 2009.
 22. PARRA H., J.; CALLE V., H. Conversión de los ripsos de café en compost. Cenicafé (Colombia) 18(4):103-115. 1967.
 23. 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. 17 Refs. Esp.
 24. ROA, M., G. Potencialidad del café y sus residuos rurales como cultivo energético, en Colombia. Cenicafé. *Disciplina Ingeniería Agrícola*. 2p. 2003.
 25. ROA, G.; OLIVEROS, C.E.; ÁLVAREZ, J.; RAMÍREZ, C.A.; SANZ, J.R.; DÁVILA, M.T.; ÁLVAREZ, J.R.; ZAMBRANO, D.A.; PUERTA, G.I.; RODRÍGUEZ, N. Beneficio Ecológico del café. Chinchiná (Colombia), Cenicafé. 1999. 300 p.
 26. RODRÍGUEZ V., N. Estudio de un biosistema integrado para el posttratamiento de las aguas residuales del café utilizando macrofitas acuáticas. Valencia (España), Universidad Politécnica de Valencia. Departamento de Ingeniería hidráulica y Medio ambiente, 2009. 508 p. Esp. (Tesis: Doctor) (Tesis dirigida por Miguel Rodilla Alamá).
 27. RODRÍGUEZ V., N. Balance energético en la producción de etanol a partir de la pulpa y el mucílago de café y poder calorífico de los subproductos del proceso del cultivo de café. Chinchiná (Colombia), Cenicafé. *Disciplina de Calidad y Manejo Ambiental*. 2007. 7 p.
 28. RODRÍGUEZ, N. Producción de bioetanol a partir de la pulpa y el mucílago del café. In: Informe anual de actividades 2006-2007. Chinchiná (Colombia), Cenicafé. *Disciplina de Calidad y Manejo Ambiental*, 2007. 78p.
 29. RODRÍGUEZ 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.
 30. SÁNCHEZ, M. S. Energías Renovables: Conceptos y Aplicaciones. WWF. Fundación Natura. Quito. Ecuador. 2003. 153 p.
 31. SASSE, L. La planta biogás. Bosquejo y detalle de plantas sencillas. Braunschwig, Fredr. Vieweg & Sohn, 1984.
 32. SILVA, M. A.; NEBRA, S.A.; MACHADO-SILVA, M. J.; SÁNCHEZ, C. G. The use of biomass residues in the Brazilian soluble coffee industry. *Biomass and Bioenergy* 14 (5-6): 457-467. 1998.
 33. SMUSKIEWICZ, A. J. The promise of Ethanol. In: The 2007 World Book. Year Book. World Book, In. Chicago. pp 178 - 189. 2007.
 34. ZAMBRANO F., D. A. Estudios de planta piloto para el tratamiento anaeróbico de las aguas residuales del proceso de beneficio húmedo del café. Centro Nacional de Investigaciones de Café, Chinchiná, Cenicafé, 1994. (Proyecto QIN-02-00).
 35. ZAMBRANO F., D. A.; ISAZA H., J. D. Lavado del café en los tanques de fermentación. *Revista Cenicafé (Colombia)* 45(3):106-118. 1994.

Los trabajos suscritos por el personal técnico del Centro Nacional de Investigaciones de Café son parte de las investigaciones realizadas por la Federación Nacional de Cafeteros de Colombia. Sin embargo, tanto en este caso como en el de personas no pertenecientes a este Centro, las ideas emitidas por los autores son de su exclusiva responsabilidad y no expresan necesariamente las opiniones de la Entidad.

Cenicafé
 Centro Nacional de Investigaciones de Café
 "Pedro Uribe Mejía"

Chinchiná, Caldas, Colombia
 Tel. (6) 8506550 Fax. (6) 8504723
 A.A. 2427 Manizales
www.cenicafe.org
cenicafe@cafedecolombia.com

Edición: Sandra Milena Marín L.
 Fotografía: Gonzalo Hoyos Salazar
 Diagramación: María del Rosario Rodríguez L.