

EVALUACIÓN DEL RENDIMIENTO DE METANO DE LA PULPA Y MUCILAGO DE CAFÉ DE TRES PLANTAS DE BENEFICIADO EN COSTA RICA

B. Jurado, L. Medina, J. Víquez¹

Universidad EARTH

Las Mercedes de Guácimo, Limón, Costa Rica

Recibido 27 de noviembre 2013. Aceptado 12 de abril 2014.

RESUMEN

En la investigación, se cuantificó la producción normalizada de CH₄ a partir de pulpa y mucilago de tres plantas de beneficiado de café, en dos temporadas durante la cosecha del 2012-2013; esto por medio de un banco de pruebas de biogás usando la metodología de la fermentación de materiales orgánicos. Se caracterizó los sustratos de pulpa mediante análisis para determinar la relación C/N, que presentó valores entre 20 a 30; ST, con valores de 8 % a 25 %; SV de 68 % a 93 %; y el pH, que osciló entre 7.04 a 7.34. En el caso de mucilago, se obtuvo una C/N entre 17 a 31, ST valores de 4 % a 9 %, SV de 74 % a 85 % y el pH entre 6.7 a 7.5; de los cuales en su mayoría se encontraron dentro de los rangos óptimos para la digestión anaeróbica. También se determinó el comportamiento de la curva de producción de CH₄ para ambos sustratos, donde se obtuvieron curvas exponenciales de generación de CH₄ acumulado con la pulpa, mientras el mucilago presentó un crecimiento tipo diauxia. El rendimiento de producción de CH₄ para pulpa fue entre 143 mL/g SV y 251 mL/g SV, y de mucilago de 303 mL/g SV, presentando diferencias significativas entre plantas de beneficiado y temporadas de cosecha.

Palabras clave: café, CH₄, mucilago, pulpa, rendimiento.

ABSTRACT

The objective of the experiment was to quantify the standardized production of CH₄ from pulp and mucilage obtained from three coffee processing plants, in two time periods, collected during the 2012/2013 harvest season. The method used was the biogas batch test for fermentation of organic materials. The pulp was characterized through analysis to determine C/N ratio, which presented values between 20 to 30; for ST, with values between 8 % and 25 %; for SV, with between 68 % to 93 % and pH, which ranged from 7.04 to 7.34. Mucilage analysis results indicated a C/N ratio of 17 to 31; ST values between 3 % and 9 %; SV values of 74 % to 85 %; and pH from 6.7 to 7.5. All of the analyses indicated that the majority of the parameters were in the optimal ranges for anaerobic digestion. The CH₄ production curve from the pulp substrates was an exponential function whereas the mucilage samples modeled a diauxic growth curve. The CH₄ production from pulp was between 143 mL/g SV and 251 mL/g and from the mucilage was 303 mL/g SV. There were statistically significant differences between the samples from the processing plants and the harvest season for pulp, but no significant differences for mucilage.

Key words: coffee, CH₄, mucilage, pulp, production.

¹ Contacto: Joaquin Víquez (jviquez@earth.ac.cr)

INTRODUCCIÓN

El cultivo de café es uno de los más importantes a nivel mundial. Existe en más de 70 países en vía de desarrollo, generando empleo a más de 20 millones de personas; por lo que juega un papel primordial en estructura económica, social, nivel de vida y desarrollo de esos países (IICA y SAG, 2005). En los últimos años se ha registrado un incremento en la producción de café y Costa Rica se encuentra dentro de los países que registran un aumento en esta producción. También Costa Rica es uno de los países de Centro América que produce café de muy buena calidad. El ICAFE (2012) reporta que actualmente se cultivan 93 774 ha de café en Costa Rica. Según la información brindada por los beneficios al 8 de abril del 2013, la producción de café fruta entre el periodo del año 2012 al 2013 fue de un total de 579 602 Mg.

En Costa Rica existen 130 plantas de beneficiadoras las cuales son las encargadas de llevar el café fruta a grano oro. En este proceso, se generan dos grandes residuos, la pulpa que es principalmente el exocarpio del fruto y se generan 252 591 Mg anuales, y el mucilago que está conformado por el mesocarpio del fruto y se generan 85 839 Mg anuales (Rodríguez y Zambrano, 2010). Estos residuos representan una gran problemática a nivel de país, ya que debido a que se generan en grandes cantidades y no se les da un uso adecuado vertiéndolos a los ríos o alojándolos a orillas de las plantaciones, generan enfermedades y causan serios daños ambientales. Sin embargo, existen alternativas para poder darles un uso y aprovechamiento adecuado. La pulpa y el mucilago son materiales húmedos y de rápida fermentación, por lo que constituyen un material muy valioso para la producción de biogás (Fournier, 2003).

La digestión anaeróbica es una tecnología o un proceso biológico que en ausencia de oxígeno transforma las sustancias orgánicas en biogás, la cual es una mezcla básicamente de CO₂ y CH₄. El biogás puede ser utilizado como si fuera otro combustible, como para la cocción de alimentos, en sustitución de la leña y en la generación de electricidad. Este proyecto nace debido a la poca información que existe actualmente acerca de la producción de biogás en condiciones controladas utilizando como sustrato la pulpa y mucilago de café de tres beneficios en Costa Rica en dos temporadas diferentes.

METODOLOGÍA

El proyecto se realizó a cabo en el Centro de Investigación y Desarrollo de Energías Renovables (CIDER) de la Universidad EARTH localizada en las Mercedes de Guácimo, Limón, Costa Rica. Para llevar a cabo el estudio se utilizó como materia prima dos residuos de café, pulpa y mucilago, obtenidos de tres beneficios ubicados en diferentes zonas de Costa Rica: La Eva (Sarchi, Valverde Vega-Alajuela), Coopelibertad (Heredia) y Coopevictoria (San Isidro de Grecia-Alajuela). Las muestras de cada beneficio fueron tomadas en dos temporadas de cosecha: 5 de enero y el 31 de enero del 2013; las mismas fueron recolectadas de forma compuesta a lo largo de todo proceso de beneficiado. Se trasladaron a -4 °C y luego almacenadas a -25 °C. Como inóculo para el experimento, se utilizó lodos anaeróbicos de un reactor anaerobio de flujo ascendente instalado para el tratamiento de aguas mieles de un beneficiado de café.

El estudio fue basado según las pruebas por lotes, desarrolladas por la Directiva de la Asociación de ingenieros animales, no. 4630, "Fermentación de materiales orgánicos" (VDI, 2006) utilizando como materia prima residuos de café: pulpa y mucilago. Las muestras almacenadas fueron puestas a temperatura ambiente y mediante el método de cuarteo se tomaron dos muestras representativas. Una de las muestras fue para análisis inicial de laboratorio correspondiente a

relación C/N, sólidos totales (ST), sólidos volátiles (SV) y pH. Para la otra muestra se llevó a cabo el banco de pruebas que, en base a la cuantificación de ST y SV de los sustratos evaluados, se cuantificó los gramos de sustratos que se colocará en cada botella de fermentación a evaluar. Se realizó un banco de pruebas de biogás evaluando la producción de CH₄ (ml/g SV) para los dos sustratos obtenidos en tres plantas de beneficiado de café en dos épocas de cosecha (Cuadro 1).

Cuadro 1. Descripción de tratamientos.

Sustrato	Tratamientos	Beneficio	Temporada 1	Temporada 2
Pulpa	T1	La Eva	5 de enero	31 de enero
	T2	Coopelibertad		
	T3	Coopevictoria		
	T4	Testigo		
Mucilago	T1	La Eva	5 de enero	31 de enero
	T2	Coopevictoria		
	T3	Testigo		

El volumen de biogás producido diariamente se capturó y registró en los colectores calibrados para muestras de gas. Cada medición se realizó únicamente cuando el gas en el colector se encontraba por encima de 500 mL de biogás. La producción de metano entre temporadas de cosecha y entre beneficios evaluados se realizó un análisis de la varianza y la prueba DGC para comparación de medias cuando se detectaron diferencias estadísticamente significativas ($p \leq 0.05$) mediante el programa InfoStat (Di Rienzo *et al.*, 2011).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Existen diferentes parámetros que deben cumplirse para una adecuada producción de biogás, siendo estos la relación C/N, la concentración de ST y SV, y el pH. En cuanto a relación C/N, lo ideal es de 20 a 30; dentro de este rango genera la mayor producción de gas por unidad de materia útil (Gon, 2008). De los tres beneficios, para sus dos temporadas, las muestras cumplen con los rangos óptimos requeridos para la relación C:N en la pulpa de café (Cuadro 1). De igual forma, las muestras de mucilago de los dos beneficios, para la temporada 1, están dentro de los rangos recomendados. Sin embargo, para la temporada 2, el mucilago del beneficio La Eva presentó una relación de 31:1 y en el caso del beneficio Coopevictoria, una relación baja de 17:1 (Cuadro 1). Según UPME (2010), si la relación C/N es alta, el N será consumido rápidamente por los microorganismos metanogénicos para formar proteínas y no reaccionará con el material restante, provocando así una producción de gas mayor. Por otro lado, si la relación es muy baja, el N será liberado y acumulado en forma de NH₃, provocando así un aumento en el pH en el digestor. Si el pH es mayor a 8.5 comenzará a mostrar efectos tóxicos en la población de microorganismos metanogénicos.

Cuadro 1. Características de la pulpa y el mucilago de café, según el beneficio y temporada de procedencia.

Variable	Temporada 1			Temporada 2		
	La Eva	Coopelibertad	Coopevictoria	La Eva	Coopelibertad	Coopevictoria
<u>Pulpa</u>						
C/N	30	29	20	22	24	24
ST (%)	18.5	19.3	8.4	18.4	25.1	18.2
SV (%) †	68.2	75.2	82.9	82.4	93.5	83.3
pH	7.20	7.16	7.04	7.28	7.34	7.28
<u>Mucilago</u>						
C/N	30	--	25	31	--	17
ST (%)	8.2	--	8.4	9.4	--	4.0
SV (%) †	85.5	--	82.9	74.4	--	85.4
pH	7.10	--	7.50	7.00	--	6.70

† Porcentaje de sólidos volátiles expresado en base seca.

Los ST se definen como la materia que permanece después de la remoción de agua de una determinada sustancia. El rango óptimo de ST para la mezcla en el digestor de mezcla completa es de aproximadamente el 10 % a 20 %. Estos porcentajes son importantes para establecer un mejor contacto de los microorganismos con el sustrato (Bosch, 2011). La movilidad de los microorganismos metanogénicos dentro del sustrato se ve crecientemente limitada a medida que se aumenta el contenido de sólidos y por lo tanto puede verse afectada la eficiencia y producción de gas (Hilbert, 2010). En la temporada 1, las muestras de pulpa de café de los beneficios La Eva y Coopelibertad cumplen con los rangos óptimos, mientras que las del beneficio Coopevictoria están por debajo con 8.4 % de ST (Cuadro 1). Para la temporada 2, las muestras del beneficio La Eva y del Coopevictoria presentan valores dentro del rango también mientras las del beneficio Coopelibertad se encuentra por encima con 25.1 % de ST. En lo que respecta con los ST para mucilago de café, los resultados obteniendo para las muestras de ambos beneficios, para las dos temporadas, están por debajo de los rangos óptimos y la del beneficio Coopevictoria la temporada 2 presentó un valor de 3,97 % de ST, estando muy por debajo de lo recomendado (Cuadro 1).

Según Bosch (2011), los SV son la masa orgánica que tiene la biomasa. Este valor es importante, ya que representa el contenido real de masa orgánica en el sustrato utilizado. Solamente este contenido de SV son los que se convierten en biogás durante la digestión anaeróbica y el porcentaje óptimo de SV debe oscilar entre 70 % a 95 %. Para pulpa de café con respecto a SV en las muestras, los beneficios La Eva, Coopelibertad y Coopevictoria en las dos temporadas presentaron valores entre 68 % y 94 % (Cuadro 1), siendo que las muestras cumplen con los requisitos en cuanto a ese parámetro. Se encontraron resultados similares para las muestras de mucilago de ambos beneficios en las dos temporadas que presentaron valores entre 74 % y 85 % (Cuadro 1)

Las bacterias responsables del mecanismo de producción de biogás son sensibles a cambios en el pH. El pH aceptable para microorganismos metanogénicos varía entre 6,50 a 7,50. Si el pH supera el valor de 8, significa que existe una acumulación excesiva de compuestos alcalinos. Un pH inferior a 6 indica una descompensación entre la fase acidogénica y la metanogénica (Gon, 2008; UPME, 2010). Los resultados obtenidos en cuanto a pH de la pulpa de café para los beneficios y sus dos temporadas se encuentran entre 7.04 y 7.34 (Cuadro 1), dentro de los rangos óptimos para el proceso de metalogénesis. Los resultados obtenidos del análisis de pH en las muestras de mucilago de café, de los dos beneficios, también cumpliendo con los rangos aceptables para la producción de biogás (Cuadro 1).

La producción acumulada de CH₄ en la temporada 1 muestra la eficiencia de degradación de materia orgánica, expresada en forma de los SV. El comportamiento de la curva de producción de CH₄ de pulpa en los tres beneficiados se asemeja a una función exponencial (Figura 1) que, según el VDI (2006), representa una curva normal de producción de biogás. El mucilago de los beneficiados La Eva y Coopevictoria tiende a tener una curva diauxia generada al principio por materia orgánica fácilmente degradable, seguida por materia orgánica de degradación compleja para los microorganismos, requiriendo mayor tiempo de degradación (Figura 1).

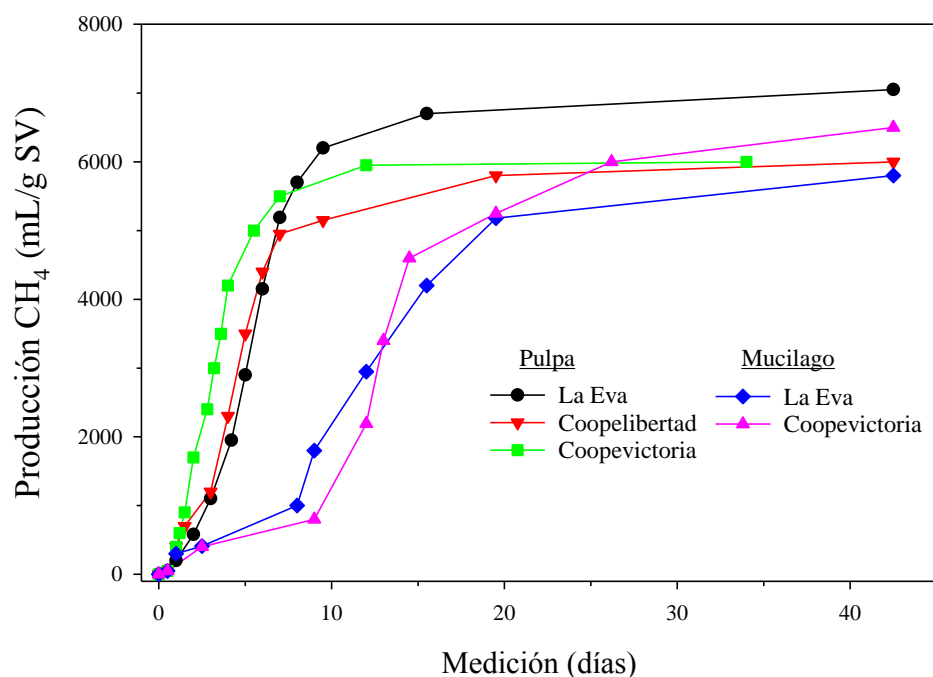


Figura 1. Producción promedio de CH₄ para la temporada 1.

La producción promedio de CH₄ en la temporada 2 de los sustratos pulpa y mucilago de café mostró el mismo comportamiento en la serie de curvas (Figura 2). Sin embargo, la muestra de pulpa del Coopelibertad no produjo una constancia de generación de CH₄ marcada. Respecto al sustrato mucilago de los beneficiados basados en el criterio de VDI (2006) presentaron una curva diauxia (Figura 2) debido a la diferencia de degradación de la materia orgánica presente en ese material.

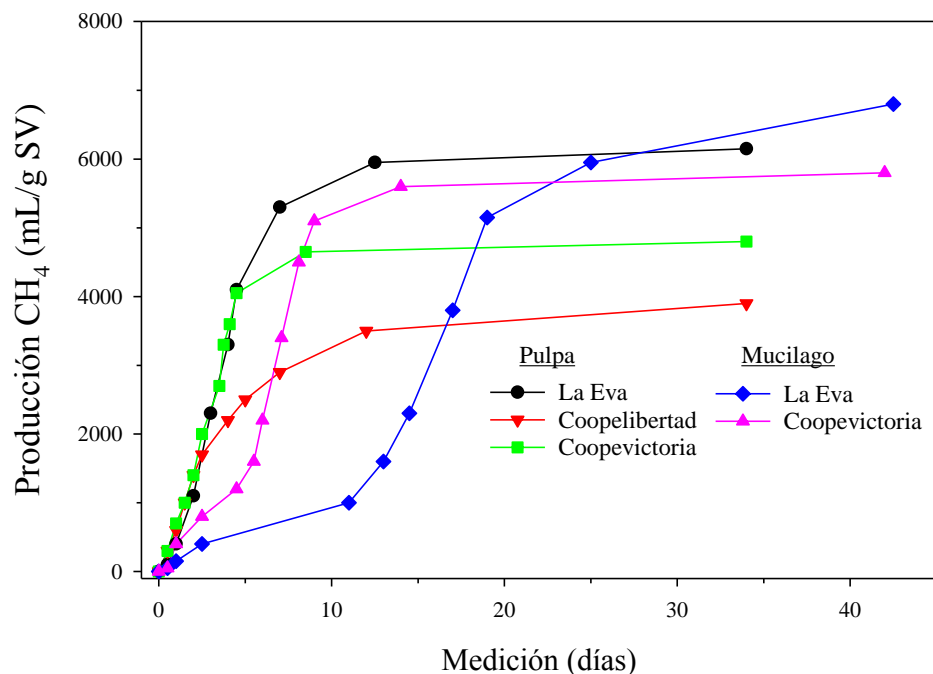


Figura 2. Producción promedio de CH₄ para la temporada 2.

Las muestras de pulpa del beneficio La Eva, en ambas temporadas, obtuvieron una estadísticamente mayor producción de CH₄ ($p \leq 0.05$) (Figura 3), en promedio 251.4 mL/g SV. Las muestras de pulpa del beneficio Coopelibertad, en la temporada 1, produjo más CH₄ que las del beneficio Coopevictoria pero en la temporada 2 no hubo una diferencia significativa ($p \leq 0.05$) entre la producción de CH₄ entre estos dos beneficios (Figura 3). En promedio para las dos temporadas, el beneficio de Coopelibertad tuvo una producción de 196.6 mL/g SV mientras el beneficio Coopevictoria produjo 143.4 mL/g SV de CH₄. La diferencia puede deberse al manejo del proceso de cada planta de beneficiado y el método de beneficio utilizado. Según el estudio realizado por Duicela *et al.* (2010), existen varios métodos de beneficiado: húmedo, subhúmedo y beneficio por vía seca; los mismos interfieren con las características organolépticas del café. El estado en el que se encuentra el sustrato al final del proceso depende del método de beneficio, el cual interfiere directamente con el contenido de materia orgánica disponible para la producción de biogás.

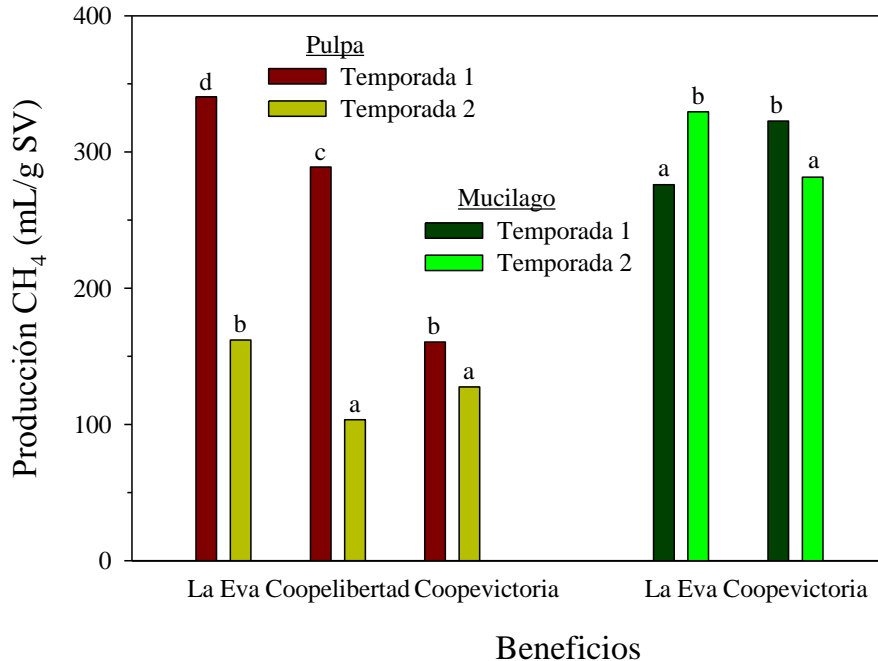


Figura 3. Comparación entre producción de CH₄ de pulpa y de mucilago de café entre beneficios en dos temporadas de cosecha (barras con letras distintas, para cada sustrato, indican diferencias estadísticamente significativas, $p \leq 0.05$).

Para las muestras de mucilago, en la temporada 1, las del beneficio Coopevictoria obtuvieron mayor producción de CH₄ pero en la temporada 2, fueron las muestras del beneficio La Eva con mayor producción (Figura 3). Sin embargo, no hubo diferencias significativas ($p \leq 0.05$) entre temporadas del mucilago, dando como resultado un promedio de producción de CH₄ para la temporada 1 de 299.4 mL/g SV y 305.5 mL/g de SV para la temporada 2. La composición del mucilago para las dos temporadas es la misma; no obstante, la cantidad al finalizar el proceso de desmucilaginado es diferente, tomando en cuenta el estado de madurez de los frutos (Peñuela *et al.*, 2010).

La pulpa y mucilago son buenos sustratos, ya que cumplen con los parámetros requeridos para la buena producción de biogás. El potencial de producción de CH₄ de la pulpa, 197 mL/g SV, y mucilago, 302 mL/g SV, de café son comparables con otros sustratos como piña 356 mL/g SV, plátano 292 mL/g SV, purín de vacuno 196 mL/g SV y gallinaza 272 mL/g SV (Agencia Andaluza de la Energía, 2011). Tomando en cuenta los rendimientos obtenidos y que en la industria de café genera altas cantidades de estos sustratos, muestran tener gran potencial para la producción de CH₄.

CONCLUSIONES

Las características analizadas para la pulpa y el mucilago, cumplieron en su mayoría con los requerimientos de relación C/N, ST, SV y pH y manteniéndose dentro del rango óptimo para la producción de biogás en cada beneficiado y temporadas evaluadas. El potencial de producción de CH₄ de la pulpa y mucilago de café son comparables con otros sustratos como piña, plátano, purín de vacuno y gallinaza.

El comportamiento de la curva de producción promedio de CH₄ en la temporada 1, los tres beneficiados, La Eva, Coopelibertad y Coopevictoria, tuvieron una curva exponencial respecto a la producción de biogás de pulpa mientras el mucilago de los beneficios La Eva y Coopevictoria tuvo una curva diauxia. Con respecto a la temporada 2 se observó el mismo comportamiento. En cuanto a la pulpa de los tres beneficios tuvieron una curva exponencial generada por una degradación estable; para el mucilago de ambos beneficios, una curva tipo diauxia debido a la diferencia de degradación de la materia orgánica presente en ese material.

En los tratamientos evaluados para la producción de biogás, se presentaron diferencias significativas entre temporadas, siendo la temporada 1 la que obtuvo mayor rendimiento de producción de CH₄ con pulpa de café. El mucilago no presentó diferencias significativas entre temporadas en cuanto a producción de CH₄ entre los dos beneficiados. Se detectó interacción estadísticamente significativa entre beneficio de procedencia y temporada evaluada en el sustrato pulpa, obteniendo mayor producción promedio el beneficio La Eva en temporada 1. Para el mucilago hubo interacción estadísticamente significativa entre beneficios y temporadas.

AGRADECIMIENTOS

Este estudio se pudo realizar gracias al financiamiento brindado por la Administración Académica y la Unidad de Investigación de la Universidad EARTH, Guácimo, Costa Rica.

LITERATURA CITADA

- Agencia Andaluza de la Energía. 2011. Estudio básico del biogas. [en línea] Sevilla (ES) [consultado 7 noviembre 2013]. 166 p. Disponible en el *World Wide Web*: <https://www.agenciaandaluzadelaenergia.es/sites/default/files/estudio_basico_del_biogas_0.pdf>.
- Bosch Marti, A. 2011. *Estudio de viabilidad de la instalación de una planta de metanización en un buque crucero*. Barcelona (ES): Universitat Politècnica de Catalunya. 80 p.
- Di Rienzo, JA.; Casanoves, F.; Balzarini, MG.; González, L.; Tablada, M. y Robledo, CW. 2011. *InfoStat: software estadístico* [programa de cómputo]. Versión 2011. Córdoba (AR): Universidad Nacional de Córdoba, Grupo InfoStat. Disponible para descarga en el *World Wide Web*: <<http://www.infostat.com.ar>>.
- Duicela, LA.; Corral Castillo, R.; Farfán Talledo, D.; Fernández, F.; Shiguango, D.; Guamán, J. y García, J. 2010. *Influencia de métodos de beneficio sobre la calidad organoléptica del café Robusta. Informe técnico*. Portoviejo (EC): COFENCAC; SICA; Ultramares del Café. 28 p.
- Fournier, L. 2003. *Recursos naturales*. San José (CR): EUNED. 235 p. ISBN 9977-64-655-6.
- Gon, LMI. 2008. *Guía para proyectos de biodigestión en establecimientos agropecuarios*. [Trabajo de aplicación Ingeniería Ambiental]. Santa Fe (AR): Universidad Católica de Santa Fe. Facultad de Ciencias de la Tierra y del Ambiente. 27 p.
- Hilbert, JA. 2010. *Manual para la producción de biogás* [en línea]. Argentina (AR): INTA [consultado 22 octubre 2013]. Disponible en el *World Wide Web*: <<http://inta.gob.ar/documentos/manual-para-la-produccion-de-biogas>>.

- ICAFFE (Instituto del Café de Costa Rica). 2013. *Historia del café en Costa Rica* [en línea]. [consultado 28 julio 2013]. Disponible en el *World Wide Web*: <<http://www.icafe.cr/nuestro-cafe/historia/>>.
- IICA (Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura, HN) y SAG (Secretaría de Agricultura y Ganadería, HN). 2005. *Análisis de la cadena de café en Honduras*. 1a ed. Tegucigalpa (HN). 179 p.
- Peñuela Martínez, AE.; Oliveros Tascón, CE. y Sanz Uribe, JR. 2010. Remoción del mucilago de café a través de fermentación natural. *Cenicafé*, vol. 61, no.2, p. 159-173.
- Rodríguez Valencia, N. y Zambrano Franco, DA. 2010. Los subproductos del café: fuente de energía renovable. *Cenicafé: Avances Técnicos*, marzo, no. 393, 8 p.
- UPME (Unidad de Planeación Minero Energética, CO). 2010. *Formulación de un programa básico de normalización para aplicaciones de energías alternativas y difusión: guía para la implementación de sistemas de producción de biogás*. Bogotá (CO): ICONTEC; AENE Consultorías. 47 p.
- VDI (Verein Deutscher Ingenieure, DE). 2006. *Fermentation of organic materials. characterisation of the substrates, sampling, collection of material data, fermentation tests*. Germany (DE): VDI-Handbuch Energietechnik. 92 p.