

ESTUDIO PRELIMINAR DEL POTENCIAL ENERGÉTICO DE CUESCO DE PALMA Y CÁSCARA DE COCO EN COLOMBIA¹

PRELIMINARY STUDY ON THE ENERGETIC POTENTIAL OF PALM CUESCO AND COCONUT SHELL IN COLOMBIA

Recibido: 10 de enero del 2012

Aprobado: 5 de marzo del 2012

CARLOS A. FORERO-NÚÑEZ*
ALEXANDRA CEDIEL-ULLOA**
JOSÉ L. RIVERA-GIL***
ANDREA SUAZA-MONTALVO****
FABIO E. SIERRA-VARGAS*****

Resumen

El uso de residuos agroindustriales en la industria energética ha tomado fuerza en los últimos años debido a que su aplicación como biomasa ha solucionado dos problemas actuales: el tratamiento de residuos sólidos y la emisión de gases de efecto invernadero. En Colombia, existen varios residuos agroindustriales, entre ellos, la cáscara de coco (protege la pulpa blanca) y el cuesco de palma africana (cáscara del fruto) utilizados en la generación de energía gracias a su poder calorífico.

Los autores enseñan una revisión bibliográfica que sirve de base para determinar el potencial energético de dichos residuos. Esta es la primera etapa del proyecto de investigación iniciado en el 2011 por el grupo de investigación "Mecanismos de desarrollo limpio y gestión energética de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de Colombia", el cual pretende producir energía eléctrica mediante la gasificación en lecho fijo de los residuos antes nombrados.

Palabras clave: cáscara de coco, cuesco, generación de energía, potencial energético, residuos agroindustriales.

Abstract

The use of agro-industrial waste in the energy industry has developed in recent years due to its application solving two different problems: the treatment of solid residues and the reduction of greenhouse gases. In Colombia there are many agroindustry residues; among them are coconut shells (the part that protects the white pulp) and the cuesco (shell of the fruit) of the African oil palm, both of which can be used for energy production.

The authors present a bibliographical review through which it is possible to determine the energetic potential of these residues. This is the first stage of a project undertaken in 2011 by the research group "Mechanisms for clean development and energy management" of the faculty of Engineering of the Universidad Nacional de Colombia, that seeks to produce electricity through fixed bed gasification of said waste.

Keywords: coconut shell, *cuesco*, power generation, energetic potential, agro-industrial waste.

• Cómo citar este artículo: Carlos A. Forero-Núñez, Alexandra Cediell-Ulloa, José L. Rivera-Gil, Andrea Suaza-Montalvo, Fabio E. Sierra-Vargas. "Estudio preliminar del potencial energético de cuesco de palma y cáscara de coco en Colombia". *Revista Ingeniería Solidaria*, Vol. 8, No. 14, 2012, pp 19-25.

¹ Artículo que presenta la primera etapa del proyecto de investigación "Generación de energía eléctrica a partir de la gasificación de residuos sólidos de procesos agroindustriales" iniciado en el 2011 por el grupo de investigación "Mecanismos de desarrollo limpio y gestión energética de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de Colombia".

* Ingeniero Químico de la Universidad Nacional de Colombia, sede Bogotá. Estudiante de doctorado en Ingeniería, Ciencia y Tecnología de los Materiales de la Universidad Nacional de Colombia, sede Bogotá. Correo electrónico: caforeron@unal.edu.co.

** Estudiante de Ingeniería Química de la Universidad Nacional de Colombia, sede Bogotá. Correo electrónico: acediellu@unal.edu.co.

*** Estudiante de Ingeniería Química de la Universidad Nacional de Colombia, sede Bogotá. Correo electrónico: jlriverag@unal.edu.co.

**** Estudiante de Ingeniería Química de la Universidad Nacional de Colombia, sede Bogotá. Correo electrónico: asuazam@unal.edu.co.

***** Doctorado en Ingeniería de la Universidad de Kassel. Maestría en Automatización Industrial de la Universidad Nacional de Colombia. Ingeniero Mecánico de la Universidad Nacional de Colombia. Profesor asociado del Departamento de Ingeniería Mecánica y Mecatrónica de la Universidad Nacional de Colombia. Correo electrónico: feserrav@unal.edu.co.

Introducción

En la actualidad, la búsqueda e implementación de nuevas fuentes de energía ha tomado gran importancia debido a problemas relacionados con el cambio climático y el agotamiento de combustibles fósiles; el uso de residuos agroindustriales ha tenido gran acogida por ser una posible fuente renovable de energía.

Debido al incremento en el consumo de aceites producidos a partir de palma africana (*Elaeis guineensis*) y palma cocotera (*Cocos nucifera*), se genera también un aumento en los residuos generados a partir del proceso de producción de dichos aceites.

En los últimos años, se han estudiado algunas características y métodos de implementación en energía utilizando el cuesco de palma y las cáscaras de coco, así como diversos proyectos en gasificación, biocombustibles y densificación para la generación de biocombustibles sólidos.

Palma africana

También conocida como palma aceitera, es ampliamente utilizada en la industria para la producción de aceite de consumo humano [1]. Crece por debajo de los 500 m sobre el nivel del mar [2], por lo tanto es cultivada en países tropicales, entre los cuales se encuentran Malasia, Colombia, Ecuador, Indonesia, Nigeria y Tailandia. En el 2007, se produjeron 41.082.000 de aceite de palma [3] mundialmente, de los cuales Colombia aportó 379.927 t para un área equivalente a 35.850 ha sembradas [4].

El proceso de transformación que se debe realizar al fruto incluye la esterilización, desgranado, macerado, extracción del aceite de la pulpa, clarificación y recuperación de las almendras del bagazo resultante. De las almendras se obtienen subproductos como el aceite y la torta de palmiste; al final de la transformación se producen residuos como el cuesco y el afrecho.

Cuesco

Se refiere a la cáscara que recubre la almendra y a las fibras resultantes del proceso de prensado del fruto. El uso de este residuo agroindustrial como combustible no solo contribuye con el tratamiento de residuos del proceso de obtención del aceite de palma, sino que ayuda a disminuir la emisión de gases de efecto invernadero provenientes de los combustibles fósiles.

Las cáscaras de la almendra tienen un poder calorífico de 12,56 MJ/kg y equivalen aproximadamente al 7% del peso del racimo, mientras que las fibras mencionadas tienen un poder calorífico de 8,97 MJ/kg y son el 10% del peso del racimo [5].

Distribución nacional

En la figura 1, se presenta la producción de palma africana por departamentos. En esta, se puede ver que el mayor productor es el departamento del Meta, con el 30,5% de la producción nacional; dentro del departamento, el mayor contribuyente es el municipio de San Carlos de Guaroa [4].

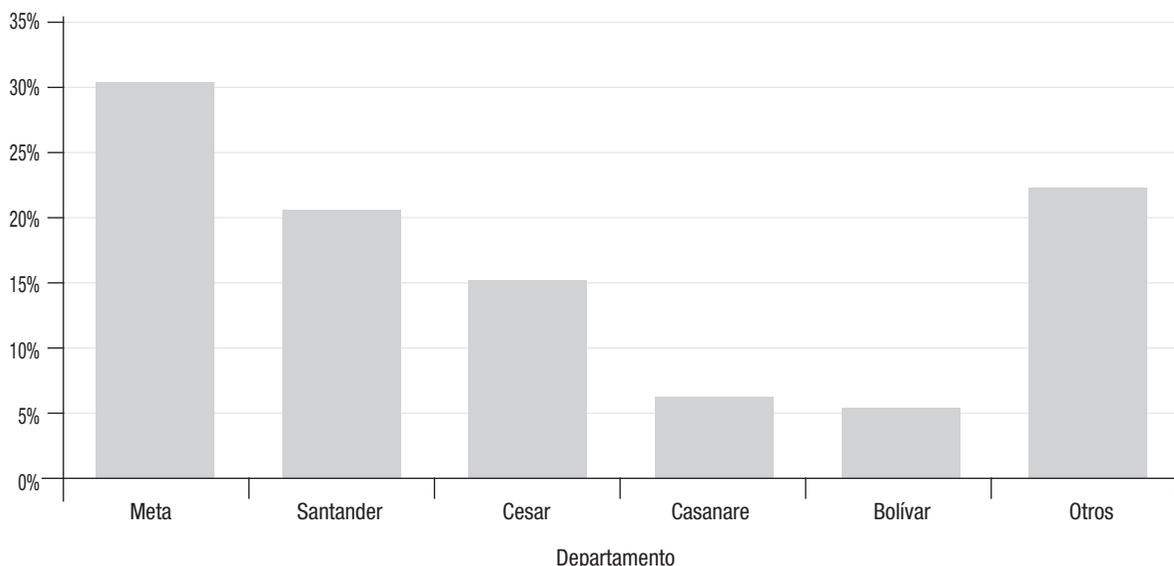


Figura 1. Participación departamental en la producción nacional, 2009

Fuente: Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural [4]

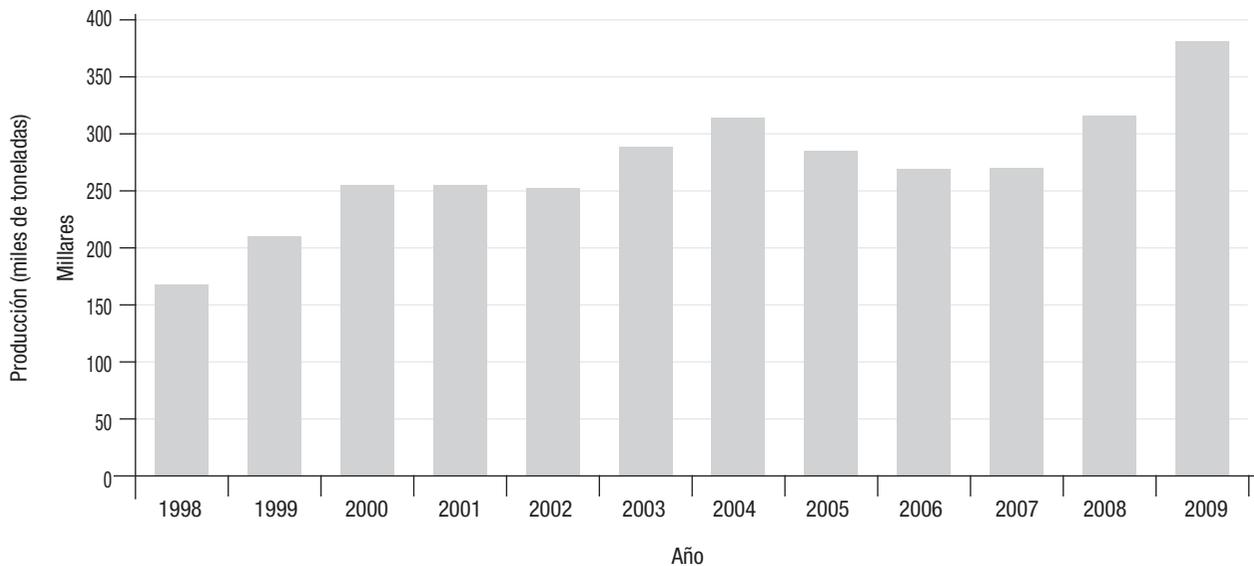


Figura 2. Producción histórica de palma aceitera

Fuente: Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural [4]

En la figura 2, se muestra la producción de palma africana total, discriminada por años, mostrando un crecimiento significativo en los últimos años y un aumento superior al 100% en 10 años.

El uso de cuesco como combustible podría contribuir tanto al cumplimiento del numeral 2.2 de la Ley 142 de 1994, la cual plantea la necesidad de ampliación de la capacidad energética del país, como a la integración de nuevos municipios a la red interconectada nacional [6]. Asimismo, se promueve la inclusión de combustibles alternativos y renovables en sistemas industriales contribuyendo con las aclaraciones de la Ley 5001 de gestión energética y el protocolo de Kioto.

Investigaciones desarrolladas empleando cuesco de palma africana

Se han llevado a cabo varias investigaciones para la utilización del cuesco como fuente de energía, bien sea mediante procesos de gasificación y combustión o mediante procesos de transformación para la obtención de diversos biocombustibles líquidos.

Varios grupos de investigación de la Universidad de los Andes [2] han elaborado procesos en los cuales se busca la conversión de cuesco de palma en bioetanol, obteniendo una concentración del 0,6% de este en los caldos finales. Por otra parte, se encuentran los estudios desarrollados por Piarpuzán, Quintero y Cardona [7], en los cuales, por medio de la sacarificación del cuesco de palma y un proceso de fermentación con la bacteria *S. Cerevisiae*, se obtuvo un rendimiento de etanol de 66,5 dm³/t.

Mustafa Abdul [8] desarrolló un estudio de la pérdida de humedad al disminuir el tamaño de grano y la longitud de *pellet* manteniendo constante la masa, obteniendo poderes caloríficos de 20 MJ/kg; se tiene, además, que a mayor compresión es posible alcanzar densidades más grandes, garantizando mayor cantidad de energía almacenada por unidad de volumen, disminuyendo así problemas de almacenamiento y transporte.

Deraman [9] menciona en su artículo el pretratamiento del cuesco con ácido nítrico (HNO₃) para obtener mejores propiedades de los gránulos adhesivos con los que se elaboraran los *pellets*, consiguiendo una relación lineal entre la dureza de la muestra y la concentración de HNO₃ en esta.

Zainal y Lahijani [10] desarrollaron la gasificación de cuesco en un reactor de lecho fluidizado obteniendo un gas con poder calorífico de 4,53 MJ/m³. Cambiando algunas condiciones de operación, Tomoko Ogi *et al.* [11] desarrollaron una comparación entre el proceso con vapor de agua y mezclas vapor-aire. Al emplear como agente oxidante solamente vapor de agua, obtuvieron un gas rico en hidrógeno con menor contenido de CO y CO₂, que puede ser usado como combustible.

Mohammed *et al.* [12] desarrollaron un estudio variando el tamaño de partícula utilizado en la gasificación, obteniendo el mayor rendimiento en cuanto a producción de hidrogeno y poder calorífico del gas de salida con las partículas de 0,3 mm y 0,5 mm. Forero *et al.* [13] emplearon un gasificador de lecho fijo corriente descendente, para evaluar la eficiencia del proceso cambiando la velocidad de entrada del aire, definiendo la eficiencia

como la relación entre la energía producida por el gas de síntesis y la que puede producir la biomasa alimentada al gasificador; obtuvieron valores cercanos al 45% en el proceso en el que se alimentó aire con velocidad de 8,5 m/s.

Abdullah y Gerhauser [14] realizaron un proceso de pirólisis rápida para la obtención de *bio-oil*, definido como el líquido oxigenado con alta densidad que puede ser empleado como sustituto de combustibles fósiles; comparando los resultados de cuesco lavado con no lavado, obtuvieron un rendimiento mayor al lavar la materia prima. Posteriormente, Abdullah *et al.* [15] hicieron un estudio de la relación entre la temperatura de proceso, el tiempo de residencia y el tamaño de partícula en un reactor de lecho fluidizado con respecto al rendimiento del líquido obtenido, confirmando así las curvas de rendimiento existentes en la literatura.

La producción de biogás por medio de la digestión anaerobia de cuesco es evaluada por Carrillo *et al.* [16]. Variando las condiciones de pretratamiento, trabajaron con diferentes concentraciones de ácido fosfórico e hidróxido de sodio, aplicando diferentes tiempos de tratamiento con el fin de comparar los rendimientos; finalmente, obtuvieron la conversión más eficiente a metano en la muestra pretratada con una solución de soda caustica (NaOH) al 8% durante 60 minutos.

Cálculo del potencial energético del cuesco en Colombia

Para el cálculo del potencial de cuesco en Colombia, se tiene en cuenta el aceite producido en el país para el 2009, que corresponde al 20% del peso de racimo; dicho potencial se plantea como la cantidad de energía que se puede generar por la quema directa del cuesco utilizando para tal fin el valor de su poder calorífico.

Las ecuaciones 1 y 2 muestran el cálculo del potencial para el cuesco obtenido para cada componente (P_c potencial correspondiente a la cáscara de la almendra y P_f el potencial correspondiente a la fibra) consiguiendo un potencial total de 6.927,11 TJ/año o 1.924,19 GWh/año.

$$P_c = 780.000 \frac{t}{año} \left(\frac{7\%}{20\%} \right) \times 12.560 \frac{MJ}{t} = 3.428,8 \frac{TJ}{año}$$

Ecuación 1. Potencial energético de la cáscara de almendra

$$P_f = 780.000 \frac{t}{año} \left(\frac{10\%}{20\%} \right) \times 8.970 \frac{MJ}{t} = 3.498,3 \frac{TJ}{año}$$

Ecuación 2. Potencial correspondiente a la fibra del cuesco

Palma cocotera

Es una palma cultivada principalmente en países tropicales, apreciada mundialmente por su fruto, conocido como coco, el cual es ampliamente utilizado en la industria alimentaria.

Se aprovecha la mayoría de la planta; la madera de esta palma es principalmente empleada para la construcción de muebles, además, se valora el uso de la raíz por sus propiedades medicinales y el consumo de agua de coco como bebida refrescante e hidratante. Asimismo, la nuez genera varios sub-productos como el aceite utilizado en cosmetología y generación de biocombustibles líquidos; la harina de coco es aprovechada para la alimentación del ganado y la cáscara es utilizada para obtener carbón activado, para quema directa o para *pelletización*, gracias a su alto poder calorífico [17].

Para el 2004, se cultivaron 10.701.230 ha de palma cocotera en el mundo, principalmente en países como Indonesia, India y las Filipinas, con el 89,72% de dicha producción [18]. Para el 2009, Colombia tenía un promedio de 13.674 ha sembradas, las cuales tuvieron una producción igual a 102.921 t [4].

Cáscara

Se entiende como cáscara de coco las dos capas, la fibra, y el endocarpio o cáscara, las cuales recubren la almendra. La fibra es aprovechada para la fabricación de aislantes térmicos y fibras textiles, mientras que el endocarpio es utilizado como recipiente, combustible o en artesanías [19]. La cáscara de coco posee propiedades que la hacen apta para el aprovechamiento como fuente de energía. El valor del poder calorífico de la capa fibrosa es de 14,70 MJ/kg y constituye el 33% del fruto; este usualmente es desechado como residuo sólido y, por tanto, se puede usar como biomasa. Por otro lado, la capa dura tiene un poder calorífico de 23,01 MJ/kg y constituye el 15% del fruto [20], lo cual implica un mayor poder calorífico en la capa dura. Teniendo en cuenta que la cáscara es totalmente desechada como residuo sólido, se puede hacer uso de ella como biomasa sin afectar la seguridad alimentaria; de igual modo, se sabe que este recurso se puede considerar renovable, haciendo de él un buen candidato para su uso en la generación de energía.

Distribución nacional

En la figura 3, se puede ver la producción por regiones de palma cocotera, siendo el mayor productor el departamento de Nariño, el cual produce casi el 50% de la producción nacional [4].

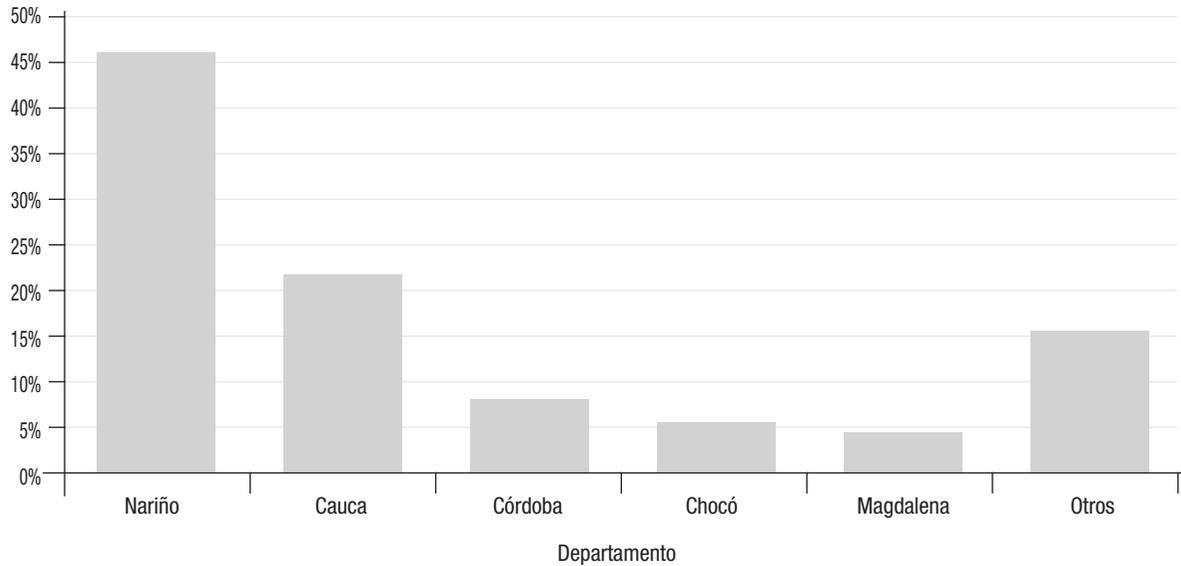


Figura 3. Participación departamental en la producción nacional, 2009

Fuente: Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural [4]

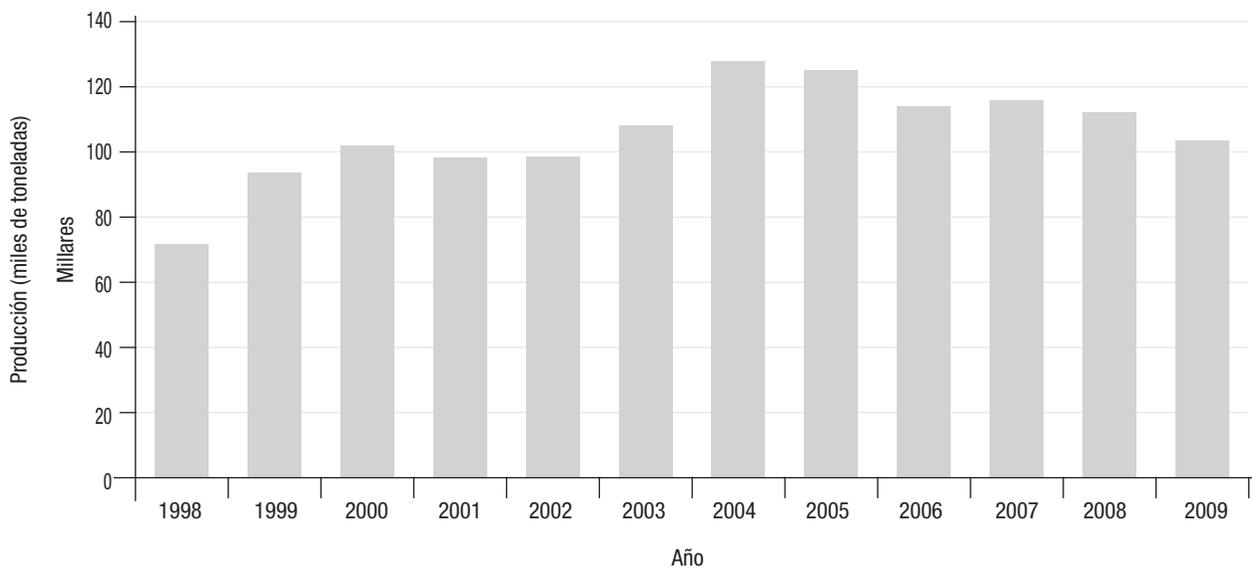


Figura 4. Tabla de producción histórica de palma cocotera

Fuente: Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural [4]

La figura 4 muestra la producción de palma cocotera desde 1998 hasta el 2009, a partir de la cual se puede concluir que la producción colombiana de coco se mantiene en un intervalo definido entre 100.000 y 120.000 t métricas en los últimos años.

Debido a la producción nacional relativamente estable y a su distribución, el coco como fuente de energía es una posibilidad viable en departamentos como Nariño y Chocó, los cuales no se encuentran en el Sistema

Interconectado Nacional (SIN) [21]. El departamento de Nariño cuenta con cerca del 50% de la producción nacional de coco y alrededor de un 30% de su población no se encuentra en el SIN; por otro lado, el departamento del Chocó cuenta con el 5% de la producción nacional y un 60% de su población está fuera del SIN [22]. Mediante el uso de cáscaras de coco para la producción de energía se podría suplir parte de la necesidad energética en estos departamentos.

Investigaciones realizadas empleando cáscara de coco

Hasta el momento, pocos estudios con respecto a la producción de energía a partir de la cáscara de coco han sido realizados. Estudios de la Universidad Chia Nan de farmacia y ciencia de Taiwan [23] presentan una comparación entre la pirólisis rápida de biomasa tradicional, cáscara de arroz, coco y bagazo de caña de azúcar, con el fin de obtener biocombustibles líquidos. Debido a que poseen más de un 65% de agua y a que pocos compuestos carbonilos son formados, el biocombustible obtenido tiene un pH y un poder calorífico bajo; para esto proponen que el tiempo de proceso sea mayor para lograr la separación del agua concentrada y del biocombustible.

Por otro lado, estudios realizados en Suecia muestran las características de la pirólisis de cáscara de coco y nueces [24]. En este estudio, comparan la pirólisis de la cáscara de coco con la de *pellets* de madera y cáscara de nuez. Los resultados obtenidos muestran que los *pellets* de madera tienen un comportamiento diferente que al ser empleadas cáscaras de coco o nueces; de estos se obtiene una menor cantidad de alquitrán y mayor cantidad de hidrocarburos, así como una energía de activación de 130 a 216 kJ/mol.

Cálculo del potencial energético

La cáscara comprende tanto la capa dura (Pd), como la capa fibrosa (Pa), por tanto, para determinar el potencial de esta, en Colombia se deben tener en cuenta los valores caloríficos de ambas. El potencial de cáscara de coco en Colombia, así como el del cuesco, se plantea como la cantidad de energía que se puede generar por la quema directa de esta teniendo en cuenta la producción de coco en el 2009.

$$P_d = 102.921 \frac{t}{\text{año}} \left(\frac{15\%}{100\%} \right) \times 23.010 \frac{MJ}{t} = 355,23 \frac{TJ}{t}$$

Ecuación 3. Cálculo del potencial de la capa dura del coco

$$P_a = 102.921 \frac{t}{\text{año}} \left(\frac{33\%}{100\%} \right) \times 14.700 \frac{MJ}{t} = 499,27 \frac{TJ}{\text{año}}$$

Ecuación 4. Cálculo del potencial de la capa fibrosa del coco

Las ecuaciones 3 y 4 muestran el cálculo del potencial para la cáscara de coco obtenido para cada componente, lo cual indica un potencial total de 854,5 TJ/año, equivalentes a 237,36 GWh/año.

Conclusiones

Mediante el uso de la cáscara de coco sería posible generar energía suficiente para cerca de 240.000 personas por año, teniendo en cuenta que el consumo de energía eléctrica per cápita equivale a 984 kWh/año [25], mientras que del cuesco de palma se podrían favorecer aproximadamente 1.950.000 personas por año.

Partiendo del interesante potencial existente para estas dos materias primas y de algunos de los resultados obtenidos mediante las investigaciones realizadas, es posible ver la necesidad de establecer el comportamiento del uso de las cáscaras de coco y del cuesco de palma en el proceso de gasificación para la generación de gas de síntesis que se puede utilizar bien sea en aplicaciones térmicas, o en la generación de energía eléctrica.

Se puede ver cómo la falta de información y de trabajo con las cáscaras de coco abre una brecha importante para el desarrollo de proyectos de investigación como el que se pretende realizar por el grupo de investigación “Mecanismos de Desarrollo Limpio y Gestión Energética” (MDL&GE), mediante el cual se emplea una planta de gasificación de 10 kWe y un gasificador a escala laboratorio de lecho fijo corriente descendente, para producir tanto gas de síntesis como corriente eléctrica.

El uso de residuos agroindustriales en la generación de energía es viable y puede ser de gran utilidad teniendo en cuenta la situación actual del mundo y del país, debido a que no solo se debe garantizar la generación de energía, sino, a su vez, la seguridad alimentaria.

Con base en la distribución del cultivo de estos productos, es posible establecer que, si bien se pueden emplear dichos residuos, los sistemas de generación de energía deben ser de pequeña y mediana escala, puesto que el transporte y posible almacenamiento de todos los residuos a una sola planta centralizada aumentaría costos de operación relacionados con el transporte y adecuación.

El aprovechamiento de los residuos de coco y palma aceitera en la generación de energía contribuye a la solución de problemas actuales, ambientales y energéticos, tales como el uso de combustibles fósiles para la producción de energía y el inadecuado manejo de residuos agrícolas, siendo adicionalmente fuente de empleo y de industrias dedicadas a la generación de energía especialmente en departamentos como Nariño o Meta que actualmente no poseen suministros de energía de buena calidad.

Colombia, debido a la siembra de estas plantas y al continuo incremento de su consumo, puede emprender

proyectos de aprovechamiento de residuos y generación de energía, dando cumplimiento a algunas determinaciones de la legislación nacional.

Referencias

- [1] Fedepalma. *Documentos*. 03 de mayo del 2011, Disponible: <http://www.fedepalma.org>.
- [2] A. F. González, I. C. Jiménez, M. Rodríguez, S. Restrepo, M. Gómez. "Combustibles de segunda generación: una mirada a la contribución de la Universidad de los Andes". *Revista de ingeniería. Universidad de los Andes*, Vol. 28, pp 70-82, 2008.
- [3] United States Department of Agriculture (USDA). *Palm oil: world supply and distribution*. 02 de octubre del 2011, Disponible: <http://www.fas.usda.gov/psdonline/psdReport.aspx?hidReportRetrievalName=Table+11%3a+Palm+Oil%3a+World+Supply+and+Distribution+&hidReportRetrievalID=710&hidReportRetrievalTemplateID=8>.
- [4] Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural. "Anuario Estadístico del sector agropecuario y pesquero 2009", Bogotá, D.C., 2009.
- [5] J. J. Cardona. *Sustitución de carbón por cuesco de palma africana en Bucaramanga*. Calderas JTC. 20 de enero del 2011, Disponible: http://www.minambiente.gov.co/documentos/Ambiente/memorias/memorias_seminario_bioenergia/030510_sustitucion_carbon_cuesco_palma_jct_040610.pdf.
- [6] Congreso de la República de Colombia. *Ley 142 de 1994*, "por la cual se establece el régimen de los servicios públicos domiciliarios y se dictan otras disposiciones". julio 11 de 1994.
- [7] D. Piarpuzán, J. A. Quintero, C. A. Cardona, "Empty fruit bunches from oil palm as a potential raw material for fuel ethanol production". *Biomass and Bioenergy*, Vol. 35, pp 1130-1137, 29 de noviembre del 2010.
- [8] M. K. A. Aziz, N. A. Morad, N. Wambeck, M. H. Shah. "Optimizing palm biomass energy through size reduction". *IEEE*, 2011.
- [9] R. O. M. Deraman, S. Zakaria, I. R. Mustapa, M. Talib, N. Alias. "Electrical and mechanical properties of carbón pellets from acid (HNO₃) treated self-adhesive carbon grain from oil palm empty fruit bunch". *Journal of Materials Science*, Vol. 37, 2002.
- [10] Z. A. Zainal, P. Lahijani. "Gasification of palm empty fruit bunch in a bubbling fluidized bed: A performance and agglomeration study". *Bioresource Technology*, Vol. 102, p 9, 28 de septiembre del 2010.
- [11] T. Ogi, M. Nakanishi, Y. Fukuda, K. Matsumoto, "Gasification of oil palm residues (empty fruit bunch) in an entrained-flow gasifier," *Fuel*, p. 8, 17 de septiembre del 2010.
- [12] M. A. A. Mohammed, A. Salmiaton, W. A. K. G. Wan Azlina, M.S. Mohammad Amran, A. Fakhru'l-Razi. "Air gasification of empty fruit bunch for hydrogen-rich gas production in a fluidized-bed reactor". *Energy Conversion and Management*, Vol. 52, p 7, 2009.
- [13] C. A. Forero Núñez; N. F. Aristizabal, M. A. Rodríguez, C. E. Vargas, J. U. Castellanos. "Eficiencia energética del proceso de gasificación de cuesco de palma en un gasificador de lecho fijo corriente descendente con una relación aire combustible constante". *Revista Revisiones de la Ciencia, Tecnología e Ingeniería de los Alimentos ReCiTelA*, Vol. 11, No. 1a, 2011.
- [14] N. Abdullah, H. Gerhauser. "Bio-oil derived from empty fruit bunches". *Fuel*, Vol. 87, p 8, 14 de febrero del 2008.
- [15] N. Abdullah, H. Gerhauser, F. Sulaiman. "Fast pyrolysis of empty fruit bunches". *Fuel*, Vol. 89, 2010.
- [16] D. Carrillo Nieves, K. Karimi, I. Sárvari Horváth. "Improvement of biogas production from oil palm empty fruit bunches (Opefb)". *Industrial Crops and Products*, 2011.
- [17] M. Lizano. "Guía técnica del cultivo de coco". El Salvador: Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura, 2005.
- [18] Sistema Producto Nacional Palma de Coco. "Plan rector sistema producto nacional palma de coco," Sagarpa, Mexico D.F., 2005.
- [19] D. Granados Sánchez, G. F. López Ríos. "Manejo de la palma de coco (Cocos Nucifera L.) en Mexico". *Revista chapingo*, Vol. 8, No. 001, 2002.
- [20] J. A. Banzon. "The coconut as a renewable energy source". *Philippine Journal of coconut Studies*, 1980.
- [21] R. Miranda. "Micro centrales hidroeléctricas: tecnologías de reducción de costos y posibilidad de construcción". 6 de mayo del 2011, Disponible: http://es.scribd.com/john_alvarado_2/d/39484044-Articulo-Ruben-Miranda-Zni
- [22] Unidad de Planeación Minero Energética (UPME). "Mapa de consumo energético nacional". Bogotá: UPME.
- [23] W. T. Tsai, M. K. Lee, Y. M. Chang. "Fast pyrolysis of rice straw, sugarcane bagasse and coconut shell in an induction-heating reactor". *Department of environmental engineering and science, Chia Nan University of pharmacy and science*, Vol. Tainan 717, 2006.
- [24] A. J. Tsamba, W. Yang, W. Blasiak. "Pyrolysis characteristics and global kinetics of coconut and cashew nut shells". *Royal institute of technology*, 2005.
- [25] IEA. *Key world energy statistics*. Paris, 2010.