

CARACTERIZACIÓN DE RESIDUOS DE MAÍZ DEL MUNICIPIO DE VENTAQUEMADA, COLOMBIA

CHARACTERIZATION OF CORN WASTE OF THE MUNICIPALITY OF VENTAQUEMADA, COLOMBIA

Sergio D. Fonseca¹, Hugo A. Rodríguez¹, Gabriel Camargo¹

(1) Universidad Libre de Colombia, Departamento de Ingeniería Mecánica, Carrera 70 N°53-40, Bogotá-Colombia
(e-mail: Sergiod.fonsecah@unilibrebog.edu.co, Hugo.rodriguez@unilibrebog.edu.co, Gabriel.camargov@unilibrebog.edu.co)

Recibido: 20/12/2016 - Evaluado: 28/01/2017 - Aceptado: 31/01/2017

RESUMEN

Con el objetivo de someter los residuos de maíz al proceso termoquímico llamado gasificación, en este trabajo se muestran resultados de diferentes análisis para conocer algunas propiedades físico-químicas que son de gran importancia antes de realizar este proceso. Se determinó el contenido de lignina la cual registro un valor de 14,7%, se determinó el poder calorífico de esta biomasa obteniendo un valor de 17,965 MJ kg⁻¹, análisis TGA con tres velocidades de calentamiento diferentes, se realiza un análisis último para revelar la composición química de la biomasa; estos resultados fueron comparados con estudios realizados en otros países. Los resultados obtenidos contribuyen a la investigación de este tipo de biomasa en Colombia, ya que no se registra información bibliográfica de la caracterización de esta; se debe aprovechar su uso en la utilización en el proceso de gasificación, ya que poseen las características necesarias para obtener un producto como el "syngas".

ABSTRACT

In order of subject the waste corn to the thermochemical process called gasification, this work shows results of different analyzes to know some physico-chemical properties that are of great importance before performing this process. The lignin content was determined, which register a value of 14.7%, the calorific value of this biomass was determined obtaining a value of 17,965 MJ kg⁻¹, TGA analysis with three different heating rates, a last analysis is carried out to reveal the chemical composition of the biomass; these results were compared with studies conducted in other countries. The results obtained contribute to the research of this type of biomass in Colombia, since there is no bibliographic information of the characterization of this biomass; their use must be exploited in the use in the gasification process, since they possess the necessary characteristics to obtain a product like the "syngas".

Palabras clave: análisis TGA, biomasa, lignina, residuos de maíz
Keywords: analysis TGA, biomass, lignin, corn stover

INTRODUCCIÓN

La producción de maíz en Colombia ha aumentado en los últimos años, generando así una dependencia en la importación del cereal. *"Al aumento en la producción, se suma el incremento en el área sembrada que en el periodo 2010 al 2013 pasó de 198 mil a 300 mil hectáreas en tanto que el rendimiento tonelada-hectárea aumentó de 4,8 a 5.2"* (Ministerio de Agricultura y Desarrollo, 2013).

El Municipio de Ventaquemada ubicado dentro del departamento de Boyacá, es una de las regiones que aporta a la producción de maíz en Colombia, pero solo se da el aprovechamiento al producto alimenticio, dejando a un lado los residuos como lo es la caña de maíz, ya que se desconoce un uso alternativo a la misma; la mayoría de estos residuos son quemados para ser utilizados como abono, pero en ocasiones inesperadas estos residuos terminan en vertimientos de aguas residuales, provocando así una contaminación ambiental y un riesgo para la población.

El uso alternativo que se ha planteado para estos residuos se relaciona directamente con las energías alternativas, ya que estos se pueden transformar en biocombustibles a través de procesos termoquímicos, el estudio de estas transformaciones ha sido de gran interés en los últimos años en diferentes países, teniendo en cuenta que es una alternativa a los combustibles fósiles, ya que a estos se les atribuye problemas del calentamiento global (Vassilev *et al.*, 2015).

El uso de energías alternativas cada vez toma mayor fuerza, *"En muchos mercados, las energías limpias se han situado como la principal fuente energética. Entre los factores a los que se atribuye este rápido crecimiento destacan una mayor competitividad de los costos de las fuentes renovables respecto a los combustibles fósiles"* (Report, 2016). Una de las fuentes de energía alternativa se da a través de la transformación de biomasa a través de procesos termoquímicos, ya que por medio de esta transformación en la mayoría de veces se obtienen gases para posterior utilización en motores de combustión interna, brindando generación de energía mecánica y eléctrica. Los residuos de maíz son considerados como biomasa residual agrícola herbácea, y su clasificación en esta área es biomasa lignocelulosa, en las cuales predominan las celulosas de hemicelulosa, holocelulosa y lignina (Martínez, 2014). Ahora, la biomasa en cuanto a emisiones de CO₂, se considera neutra, ya que lo captura por medio del proceso de fotosíntesis siguiendo un ciclo continuo (Munir *et al.*, 2009).

Uno de estos procesos termoquímicos es la gasificación, este es un proceso termoquímico mediante el cual un material carbonoso puede ser convertido en un producto gaseoso con gran poder calorífico generalmente en atmosfera oxidante (Higman & Burgt, 2003). A través de este proceso la biomasa es convertida en un gas de síntesis conocido también como syngas, esto en presencia de un agente gasificante que puede ser: aire, oxígeno, vapor de agua o hidrogeno; estos procesos de gasificación requieren de biomasa seleccionada y en base seca (Faussone, 2012); entre otros procesos como pirolisis y combustión; para poder realizar estos procesos es necesario realizar previamente una caracterización de la materia prima empleada, conociendo su composición química, su poder calorífico entre otras características que son relevantes en cada proceso, la caracterización de la biomasa como lo es la caña de maíz se lleva a cabo en la presente investigación, con el fin de contribuir al área de energías alternativas en Colombia y en países de interés en el desarrollo de la misma.

Un gas que es producido de la biomasa es útil si su poder calorífico es mayor a 4MJ/Nm³, la investigación realizada en Colombia por Cabrera *et al.*, (2012), acerca de la gasificación con bagazo de caña de azúcar registró un gas con un poder calorífico de 4.69074 MJ/Nm³, el cual alcanza un 117% del valor recomendado.

La transformación y el uso de la biomasa como fuente energética en la obtención de biocombustibles, toma cada vez mayor fuerza y causa interés en diferentes ramas de investigación. Para realizar un análisis de producción de biocombustibles en América Latina, es necesario verificar las tecnologías que se están empleando y los medios de producción, para lograr una optimización de los procesos que implican un uso racional de residuos orgánicos y de insumos forestales, agrícolas y forestales (Altieri & Nicholls, 2000).

Bajo el contexto de la transformación de biomasa a través de gasificación, el presente trabajo tiene como objetivo dar a conocer algunas propiedades físico-químicas de los residuos de maíz obtenidos en el Municipio de Ventaquemada Departamento de Boyacá, contribuyendo al uso alternativo de estos residuos y ampliando información bibliográfica en el país acerca de este tipo de biomasa.

MATERIALES Y METODOS

Preparación de Biomasa: Para llevar a cabo la caracterización de la biomasa, es necesario garantizar un estado óptimo de la biomasa a usar en la investigación: una vez ya ha sido recolectada es necesario realizar un proceso de molido, seguido a esto se realiza un proceso de secado en un horno eléctrico durante 24 horas a 70°C. La última fase de preparación de biomasa es el proceso de tamizado, que se realiza con tamices de la serie ASTM, utilizando el tamiz de referencia #400.

Poder calorífico: Se obtiene el poder calorífico de la caña de maíz, usando una bomba calorimétrica adiabática modelo 1341, Parr Instrument. Previamente calibrada siguiendo las recomendaciones del fabricante, agregando el oxígeno necesario para la combustión, depositando 1g de biomasa en el crisol de la bomba, tomando 10 cm de alambre de ignición, obteniendo así las globales cinéticas requeridas para los resultados.

Contenido de lignina: Estos residuos de maíz son considerados como biomasa lignocelulósica, la cual está compuesta generalmente de celulosa, hemicelulosa y lignina (Quesada *et al.*, 2014). Se realiza la prueba para determinar el contenido de lignina, esta lignina forma parte de la pared celular de las células vegetales de los residuos, brindando dureza y resistencia a los mismos. Para esta prueba es necesario 1g de la biomasa. Tomando como referencia guía, la norma TAPPI T222 os-74.

Análisis Ultimo: Se realiza el análisis ultimo a través de la contratación de servicios externos de laboratorio (en Bogotá, Colombia), que poseen los permisos pertinentes para realizar el análisis y poder determinar el contenido de los siguientes elementos químicos: C (Carbono), H (Hidrogeno), O (Oxigeno), N (Nitrógeno), y S (Azufre) en la biomasa; este análisis se realiza en base seca y base húmeda. Para previamente ser comparados con los resultados obtenidos por Kumar *et al.* (2008).

Análisis TGA: En el análisis termogravimétrico se evidencia la pérdida de masa con respecto a un aumento de temperatura durante un determinado tiempo, este análisis se realiza por medio del equipo de referencia SDTA851e, llenando el crisol del equipo con la biomasa previamente tamizada, se realiza en atmosfera controlada con tres rampas de calentamiento diferentes; el equipo es calibrado según las recomendaciones del fabricante para obtener resultados confiables.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Poder calorífico: Se obtiene un poder calorífico de 17,965MJ kg⁻¹ a través de los datos obtenidos de temperatura y tiempo, para esta prueba se empleó una muestra de 1g de biomasa previamente molida y tamizada. Este dato es menor al reportado por Kumar *et al.* (2008), el cual es de 18.4 MJ kg⁻¹, el cual adelantó una investigación con los residuos de maíz en la Universidad de Nebraska, USA.

Contenido de lignina: El contenido de lignina que registro la biomasa es de 14.7%, para este análisis fue empleado una muestra de 1g de la biomasa, el dato se obtiene de la ecuación 1, donde el peso de la lignina se obtiene a través de una balanza digital y papel filtro donde se concentra la lignina de la muestra, este valor es de 0.147g.

$$\% \text{ de lignina} = \frac{\text{peso de lignina}}{\text{peso anhidrido de la muestra}} \times 100 \quad (1)$$

Este resultado fue comparado con algunos autores que realizaron el mismo procedimiento a la misma biomasa como se evidencia en la Tabla 1, corroborando así el margen de diferencia el cual fue aproximadamente un 0,031%.

Tabla 1: Paralelo de resultados de contenido de lignina

	Autores	(Richard & Trautmann, 2007)	(Demirbas, 1997)	(Evans <i>et al.</i>, 1998)
% Lignina	14.7	11	14.4	16.9

Análisis último: Al realizar el análisis último en base seca y base húmeda, se conocen los porcentajes contenidos en la materia prima de los principales elementos químicos, los resultados de este análisis se evidencian en la Tabla 2. Al realizar un paralelo de los resultados obtenidos en el análisis último con autores de Estados Unidos se evidencia que los resultados son bastante similares como se muestra en la Tabla 3, a pesar de que muchas de las condiciones externas a las que se encuentra la biomasa son diferentes.

Tabla 2: Resultados de Análisis Último

	Resultados	
	Base Húmeda	Base Seca
Humedad; %	4,39	
ANALISIS ELEMENTAL		
Carbono; C; %	40,05	41,89
Hidrógeno; H; %	5,34	5,58
Oxígeno; O; %	38,23	39,99
Nitrógeno; N; %	0,76	0,80
Azufre; S; %	0,10	0,10

Tabla 3: Paralelo de resultados de contenido de lignina

BASE SECA	Autores	(Kitani & Hall, 1989)	(Demirbas, 1997)	(Evans <i>et al.</i>, 1998)
%C	41,89	43,7	49,5	46,5
%H	5,58	5,56	5,4	5,81
%N	0,8	0,61	0,6	0,56
%O	39,99	43,3	41,8	39,7
%S	0,1	0,01		0,11

Análisis TGA: Para realizar el análisis TGA Termogravimétrico, se emplean tres rampas de calentamiento diferentes, las cuales son: 5, 10 y 20 °C min⁻¹; con un rango de temperatura de 0 a 800°C. Se realiza en atmosfera oxidante con flujo de 30mL min⁻¹; una vez es calibrado el equipo se coloca la biomasa en la

microbalanza del equipo, las gráficas obtenidas por medio del software TGA7 y complementando con Microsoft Excel; se evidencian en las Figuras 1, 2 y 3 respectivamente.

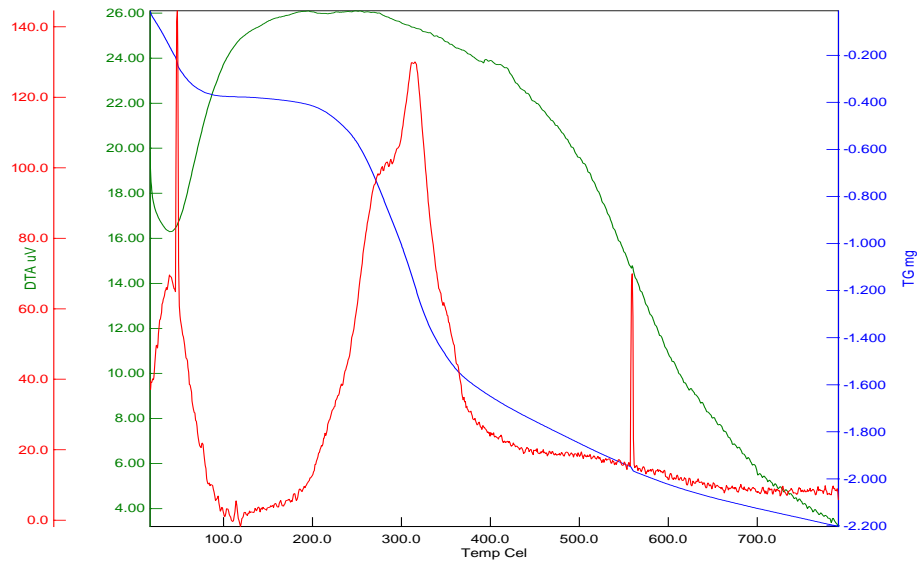


Fig. 1: TGA con rampa de calentamiento de 5 °C min⁻¹

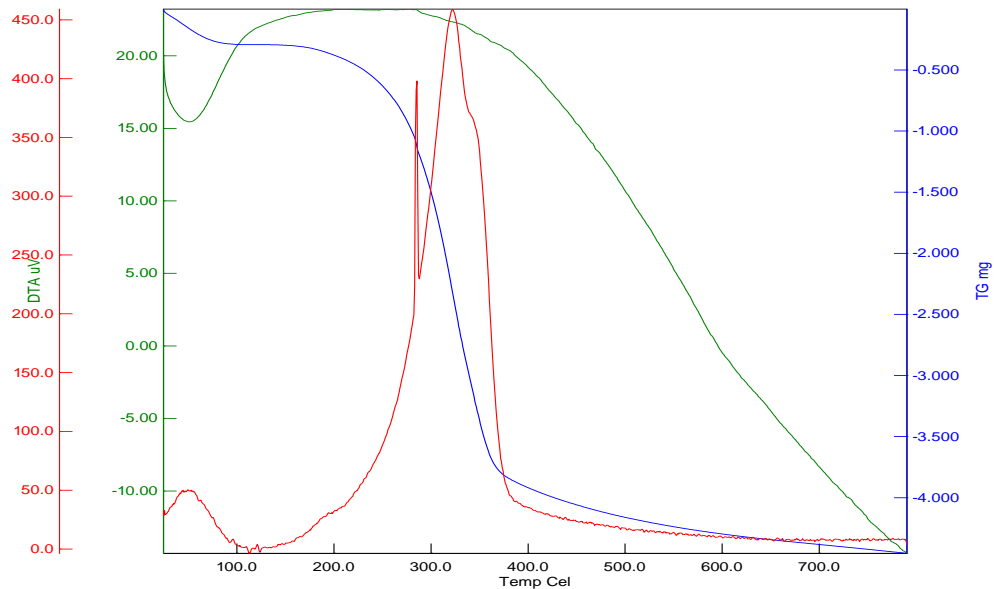


Fig. 2: TGA con rampa de calentamiento de 10 °C min⁻¹

En las gráficas del TGA, se encuentra en el eje x la temperatura en °C, se evidencia la curva TG % que se debe a la pérdida de peso con respecto al aumento de la temperatura, la curva DTG de termogravimetría diferencial que es el diferencial de pérdida de peso con respecto al tiempo, los picos evidenciados en los TGA según Mansaray y Ghaly (1999), se deben a la pérdida de agua y los compuestos volátiles de la biomasa. La primera pendiente de la curva TG%, con la rampa de calentamiento de 5°C min⁻¹, es menor que las demás, debido a

que pierde menor humedad con respecto a las demás, la quema de biomasa alcanza mayor rapidez con las otras velocidades de calentamiento, pero no alcanzan una pérdida de peso significativa.

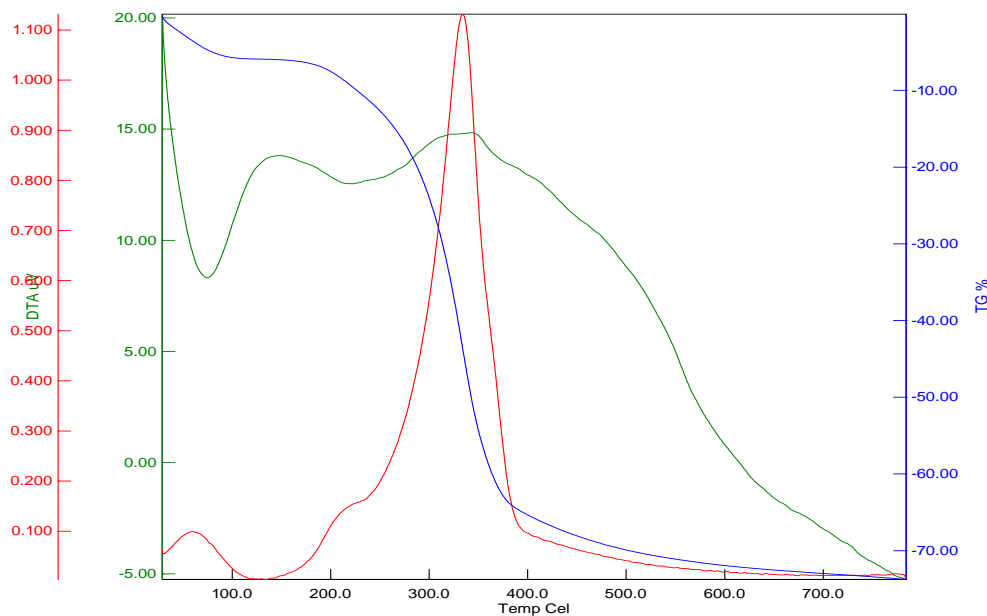


Fig. 3: TGA con rampa de calentamiento de 20 °C min⁻¹

En el análisis TGA, se presentan tres etapas principalmente las cuales son evidenciadas en la Tabla 4: la primera es la deshidratación, la segunda es la pirolisis activa que es donde se presenta una pérdida de peso muy rápida y por último la pirolisis pasiva donde se presenta una continua y lenta pérdida de peso. Estas etapas presentan una variación en la temperatura. Allí se evidencia que la etapa de pirolisis pasiva inicia prematuramente con la velocidad de 5°C min⁻¹, es por esta razón que la mayor pérdida de peso se refleja en esta rampa, a pesar que en la etapa de deshidratación perdido menor cantidad de humedad comparada a las demás rampas de calentamiento.

Tabla 4: Variables de Peso y temperatura en las etapas del TGA

	5 °C min ⁻¹		10°C min ⁻¹		20 °C min ⁻¹	
	Temperatura °C	Peso %	Temperatura °C	Peso %	Temperatura °C	Peso %
Etapas 1	30	100	30	100	30	100
	110	96,04	120	95,26	120	93,74
Etapas 2	200	94,6	210	92,99	205	91,26
	360	43,87	410	40,57	415	37,4
Etapas 3	360	43,87	410	40,57	415	37,4
	800	10,62	800	12,34	800	14,21

Así mismo la pérdida de peso se ve reflejada en los datos de peso inicial de la biomasa en el crisol del equipo, con respecto al peso final, que principalmente corresponde a las cenizas. Estos pesos son relacionados en la Tabla 5.

Tabla 5: Datos de peso

	5 °C min-1	10 °C min-1	20 °C min-1
Peso Inicial (mg)	7,368	5,704	6,861
Peso Final (mg)	0.782	0.704	0.975

El valor de la energía de activación obtenido a partir de los datos del TGA se evidencia en la Tabla 6, tomando en cuenta el procedimiento de los parámetros cinéticos de reacción aplicado por Kumar *et al.* (2008). Esta energía es interpretada como la energía mínima que se requiere para que ocurra una reacción química entre dos moléculas.

Tabla 6: Energía de activación a partir del TGA

VELOCIDADES	E (KJ mol-1)
5°C min-1	46,23
10°C min-1	
20°C min-1	

CONCLUSIONES

Al momento de realizar la ignición en la bomba calorimétrica adiabática para obtener el poder calorífico de la biomasa se evidencia que la muestra no es quemada totalmente, las cenizas o residuos quedan en el crisol de la bomba, lo que refleja que la biomasa no realiza una combustión completa, durante el periodo de prueba analizado.

En otros países se han adelantado algunas investigaciones con los residuos de maíz, esto es de gran importancia y un gran aporte a la investigación que se realizó, ya que en Colombia no se encuentra en bases de datos resultados de investigaciones acerca de la caracterización de esta biomasa o uso en el área de las energías alternativas; la comparación con resultados obtenidos por otros autores toma gran importancia, ya que a través de diferentes métodos y diferentes agentes externos a los que se encuentra la biomasa, los resultados no registran un margen alto de diferencia.

El efecto de la rampa de calentamiento se ve reflejado en un aumento de las temperaturas al iniciar y finalizar cada una de las etapas del TGA, la mayor pérdida de peso se da con la rampa de calentamiento de 5 °C min⁻¹ ya que el residuo del maíz pierde aproximadamente un 80 % de su masa en materia volátil entre los 200°C y los 400°C los valores se muestran en la Tabla 5.

Los resultados registrados en la investigación contribuyen un aporte importante para nuevas líneas de investigación que deseen realizar en el país, aprovechando la caña de maíz como biomasa y su aplicación en diferentes procesos termoquímicos. De acuerdo con los resultados, la caña de maíz cuenta con características físico-químicas necesarias para obtener un gas de excelentes propiedades por medio de gasificación, ya que datos como el poder calorífico es mejor que el de la caña de azúcar registrado por (Cabrera *et al.*, 2012), cuyos autores obtuvieron un gas que cumple con el 117% de mínimo requerido.

REFERENCIAS

1. Altieri, M. & Nicholls, C.I. (2000). *Teoría y práctica para una agricultura sustentable*. En AGROECOLOGÍA (págs. 1-257). México D.F: pnuma.

2. Cabrera, G., Madriñana, S. & Muñoz, D. (2012). Caracterización del gas de síntesis obtenido a partir de algarrobo y bagazo de caña. *Bioteconología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial*, 10 (1), 166-172.
3. Demirbas, A. (1997). Calculation of higher heating values of biomass fuel. *Fuel*, 76 (5), 431-434.
4. Evans, R.J., Knight, R.A., Onischak, M. & Babu, S.P. (1998). *Development of biomass gasification to produce substitute fuels*. Pacific Northwest Laboratory, PNL-6518/UC-245, USA.
5. Fausson, G.C. (2012). Biomass gasification with circle draft[®] process. *Environmental Progress & Sustainable Energy*, 31 (2), 216-218.
6. Higman, C. & Burgt, M. (2003). *Gasification*. Burlington: Elsevier.
7. Kitani, O. & Hall, C.W. (1989). *Biomass handbook*. New York: Grodon and Breach Science Publishers.
8. Kumar, A., Wang, L., Dzenis, Y.A., Jones, D.D. & Hanna, M.A. (2008). Thermogravimetric characterization of corn stover as gasification and pyrolysis feedstock. *Biomass & Bioenergy*, 32 (5), 460-467.
9. Mansaray, G.K. & Ghaly, A.E. (1999). Determination of kinetic parameters of rice husks in oxygen using thermogravimetric analysis. *Biomass and Bioenergy*, 17 (1), 19-31.
10. Martínez, P.E. (2014). Biomasa residual vegetal: Tecnologías. *Innovaciencia*, 2 (1), 45-52.
11. Ministerio de Agricultura y Desarrollo. (en línea). *minagricultura*. Recuperado, Febrero 13, 2015, sitio web: <https://www.minagricultura.gov.co/noticias/Paginas/En-m%C3%A1s-de-600-mil-toneladas-se-increment%C3%B3-la-producci%C3%B3n-de-ma%C3%ADz-en-Colombia.aspx>
12. Munir, S., Daood, S.S., Nimmo, W., Cunliffe, A.M. & Gibbs, B.M. (2009). Thermal analysis and devolatilization kinetics of cotton stalk, sugar cane bagasse and shea meal under nitrogen and air atmosphere. *Bioresource Technology*, 100 (3), 1413-8.
13. Quesada, J., Faba, L., Díaz, E. & Ordóñez, S. (2014). La biomasa como alternativa al petróleo para la obtención de productos químicos: acetona y etanol como moléculas plataforma. *Avances en Ciencias e Ingeniería*, 5 (2), 31-49.
14. Report, R.2. (2016). *cicconstruccion*. (en línea). Recuperado, Octubre 19, 2016. sitio web: http://www.cicconstruccion.com/es/notices/2016/06/las-renovables-tuvieron-en-2015-su-mayor-crecimiento-a-nivel-mundial-68388.php#.V188_rvhDct.
15. Richard, T. & Trautmann, N. (2007). (en línea). *Substrate Composition Table*. Cornell Composting. Science & Engineering. Recuperado, Marzo 12, 2016. sitio web: <http://compost.css.cornell.edu/calc/lignin.noframes.html>.
16. Vassilev, S.V., Vassileva, C.G. & Vassilev, V.S. (2015). Advantages and disadvantages of composition and properties of biomass in comparison with coal: An overview. *FUEL*, 158, 330-350.