

Gasificación de biomasa residual en el sector floricultor, caso: Oriente Antioqueño

Gasification of waste biomass in the flower industry, case: Eastern Antioquia

Diego Mauricio Yepes Maya*; Farid Chejne Janna

Grupo de investigación en termodinámica aplicada y energías alternativas, Escuela de Procesos y Energías,
Facultad de Minas, Universidad Nacional de Colombia, Cra. 80 No. 65-223, Antioquia, Colombia
*dmyepesm@unal.edu.co

Fecha Recepción: 23 de abril de 2012
Fecha Aceptación: 13 de noviembre de 2012

Resumen

Este artículo presenta los resultados de gasificación de una mezcla de 1/3 de cada especie de biomasa residual del cultivo de pompón, áster y hortensia con vapor de agua como agente gasificante, en un reactor a escala de laboratorio. La biomasa, como materia prima recibió un secado solar antes de iniciar el proceso de gasificación, se realizó también un procedimiento de reducción de tamaño de partícula a fin de obtener geometrías acordes al proceso de gasificación, se caracterizó mediante el análisis próximo y último y se estableció como temperatura de operación del reactor un rango de 700 a 750°C. Como resultado, la composición del gas de síntesis producido fue analizada por cromatografía gaseosa y para el promedio de producción se obtienen: CH₄ 2,8 – 5%v, CO 9,3 – 22,2%v, H₂ 30,3 – 46,6%v.

Palabras clave: *gasificación, gas de síntesis, subproductos, cultivos de flores, energía.*

Abstract

This paper presents the results of gasification of a mixture of 1/3 of each kind of residual biomass cultivation pompon, hydrangea and aster with steam as a gasifying agent in a laboratory scale reactor. The biomass feedstock received a solar drying before starting the gasification process, there was also a method for particle size reduction to obtain consistent geometries with gasification process, was characterized by proximate and ultimate analysis and established as reactor operating temperature range of 700 to 750°C. As a result, the composition of the produced synthesis gas was analyzed by gas chromatography and the average yield obtained: CH₄ 2.8 to 5%v, CO 9.3 to 22.2%v, H₂ 30.3 to 46.6%v.

Keywords: *gasification, syngas, by-products, flower crops, energy.*

Introducción

Las técnicas para el aprovechamiento de subproductos agroindustriales siguen tomando importancia en la última década; la crisis energética mundial [1] y la inclusión de tecnologías para el manejo adecuado de residuos hacen interesante pensar en aprovechar los subproductos de cosecha de flores como posible vector energético [2,3]. Numerosos materiales o subproductos agrícolas desde residuos de poda de jardín, pasando por residuos sólidos urbanos y residuos forestales, son analizados y tratados como materias primas en procesos de gasificación para diversos análisis energéticos y exergéticos [4]. Incluir toda clase de subproductos agrícolas y forestales en procesos de gasificación, aprovechar subproductos como materia prima y dar valor agregado a materiales que eran tratados como simples desperdicios es uno de los motivos que impulsa la realización de este estudio. La gasificación es la conversión termoquímica de un material carbonoso en un gas combustible, que se genera por oxidación parcial a temperaturas elevadas, donde normalmente se trabaja con vapor de agua o con oxígeno en un 25 – 30%v en peso de la cantidad estequiométrica necesaria para la combustión [2,5]. Las tecnologías para gasificación son varias y genéricamente están dadas por el tipo de lecho en que se realiza la

conversión, ya sea lecho fijo o lecho fluidizado, siendo este último el más difundido recientemente por sus comprobadas eficiencias [3].

Los gasificadores de lecho fijo son el tipo de reactor más usado en la gasificación de biomasa, especialmente para bajas capacidades de generación (10 a 100kW) y aplicaciones en regiones apartadas debido a la sencillez del tipo de reactor. Estos gasificadores, dependiendo del sentido relativo de las corrientes del combustible (biomasa) y agente gasificante, se subdividen en gasificador de corriente descendente o *downdraft* y de corriente ascendente o *updraft*, cuando circulan en sentido opuesto [6].

Los gasificadores de lecho fluidizado, se caracterizan porque el agente gasificante mantiene el combustible suspendido hasta que las partículas se gasifican y se convierten en cenizas, algunas de ellas son cenizas volantes y son arrastradas por la corriente del gas pobre, otras se depositan en la parte inferior del reactor. La tecnología de lecho fluidizado permite la operación a relativa baja temperatura, entre 750 y 900°C, se produce menor cantidad de alquitranes y de materiales inquemados [7] y son el tipo de reactor escogido para generación a gran escala, generalmente para capacidades superiores a los 100kW.

Un esquema típico de un gasificador de lecho fluidizado se muestra en la Figura 1[8].

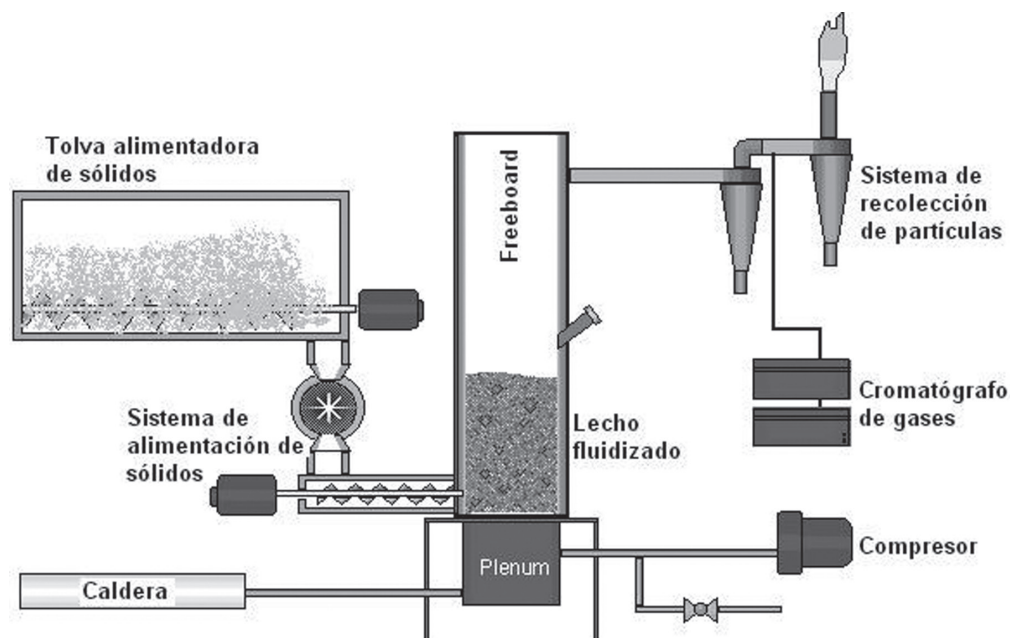


Figura 1. Esquema típico de un gasificador en lecho fluidizado [8].

Diferentes materiales de desperdicio han sido analizados como vectores energéticos, en especial subproductos de actividades agrícolas, pecuarias y forestales [3,8-11]. Para este caso en particular, los subproductos generados en la producción de flores en la región del oriente antioqueño colombiano son clasificados para determinar cuales de estos son los de mayor presencia en el departamento, posteriormente son sometidos a procesos de secado solar y tratados como materia prima en procesos de gasificación, dado su origen abundante, ya que actualmente se producen entre 2,0 y 3,5 ton/mes por hectárea de biomasa de desperdicio, ésta se compone de tallos, hojas, raíces y flores de rechazo, lo que sugiere un aproximado mensual de 4522 toneladas solo en la región del oriente antioqueño. Este residuo es llevado a procesos de compostaje para uso en mejoramiento de suelos dentro de los cultivos, no obstante esta técnica requiere de mano de obra adicional y el residuo se transforma en abono haciendo uso de un largo periodo de tiempo, en el mejor de los casos 5 o 8 semanas. Ocasionalmente, por la abundancia de residuos, el material residual es quemado a cielo abierto, lo anterior genera aumento en la contaminación por falta de mecanismos de disposición final y deja en evidencia las dificultades para una conversión o degradación apropiadas [9, 12].

Para este estudio en particular se toman datos de los reportes de producción propios del sector floricultor colombiano [9, 12-14] y se establecen los residuos de mayor abundancia en la zona del oriente antioqueño como una primera región a ser estudiada como principal generador de biomasa residual, se colectan muestras de los residuos al azar para las tres especies y se hace la clasificación de los mismos a fin de caracterizarlos como insumo para gasificación y evaluarlos experimentalmente bajo condiciones controladas de temperatura y agente gasificante.

Parte experimental

Para coleccionar el material seleccionado se han tenido en cuenta los residuos de cosecha más abundantes en la región del oriente antioqueño, ampliamente conocida como centro de producción de flores, ésta representa el 17% de la producción total nacional colombiana dentro de la canasta de oferta de flores [5]. Para efectos de este estudio se seleccionaron los tres tipos

de flores cuyos residuos son más abundantes a saber: pompón, áster y hortensia [13]. El subproducto de cosecha recibe habitualmente un tratamiento previo de corte o chipeado con el fin de reducir su tamaño entre 5 a 10mm y luego es llevado a procesos de compostaje [4]. Por tratarse de estudios iniciales con este tipo de material (hojas, flores y tallos de rechazo) con el fin de evaluar condiciones de operación de los equipos de laboratorio, el material es ingresado al proceso de gasificación dándole un tratamiento previo de secado solar en las instalaciones experimentales ubicadas en el laboratorio de ciencias de la energía de la Universidad Nacional de Colombia, sede Medellín.

La mezcla de residuos compuesta por Hortensia, Pompón y Áster se normaliza en partes iguales con el fin de tratarlos como una muestra 100% representativa de los materiales presentes en la zona, con respecto a los datos suministrados por el análisis último y próximo y la normativa empleada para los mismos, estos se presentan como resultado de los análisis de laboratorio necesario en un proceso de gasificación, las normas aplicables a cada parámetro se muestran en la Tabla 1. Estos análisis fueron realizados en el laboratorio de ciencias de la energía y el laboratorio para análisis de carbones y biomasa de la Universidad Nacional de Colombia sede Medellín.

Tabla 1. Normativa para realizar análisis próximo y último.

Análisis Próximo (%p)	Método
Humedad	ASTM D 3173
Volátiles	ASTM D 3174
Cenizas	ASTM D 3175
Carbono fijo	ASTM D 3172
Azufre	ASTM D 4239
HHV, MJ/kg	ASTM D 5865
Análisis Último C,H,N y Cenizas	ASTM D 5373-08
O**	** Por diferencia

Características del reactor y equipos accesorios

Los experimentos se realizaron en un reactor cilíndrico (Figura 2) fabricado en acero inoxidable 304L de 10cm de diámetro en la zona de reacción y 14cm de diámetro en la zona de expansión de lecho. La longitud del gasificador es 100cm, está rodeado por resistencias eléctricas, aislado por

una chaqueta de material cerámico y un sistema de alimentación que permite introducir los sólidos por la parte inferior y superior. Por la parte inferior se ubican la entrada para el agente gasificante y/o gas de arrastre, la entrada de vapor y la salida de rebose de material carbonizado o inquemados. Tres termocuplas permiten tener información de la temperatura dentro del reactor a la vez que están conectadas a un sistema de control que permite mantener condiciones estables de temperatura y flujo de alimentación del material combustible para las operaciones en continuo. A la salida del gas pobre se encuentra inmediatamente dispuesto un par de ciclones para retener material particulado

que ha sido arrastrado por la corriente gaseosa y material condensado propio de la misma. La secuencia continua con el posterior enfriamiento de los gases y la entrega de los mismos al sistema de medición por cromatografía.

El análisis de los gases de salida se realizó con el sistema PERKIN ELMER-ARNEL® que se compone de un cromatógrafo como equipo principal y los complementos y equipos auxiliares: una sonda de muestreo, un trampa filtro con sílica gel, tres trampa filtro con soluciones, y un ultra filtro. El cromatógrafo permite conocer las concentraciones de H_2 , CO , CO_2 , O_2 , N_2 y CH_4 previa calibración del equipo con gases estandarizados.

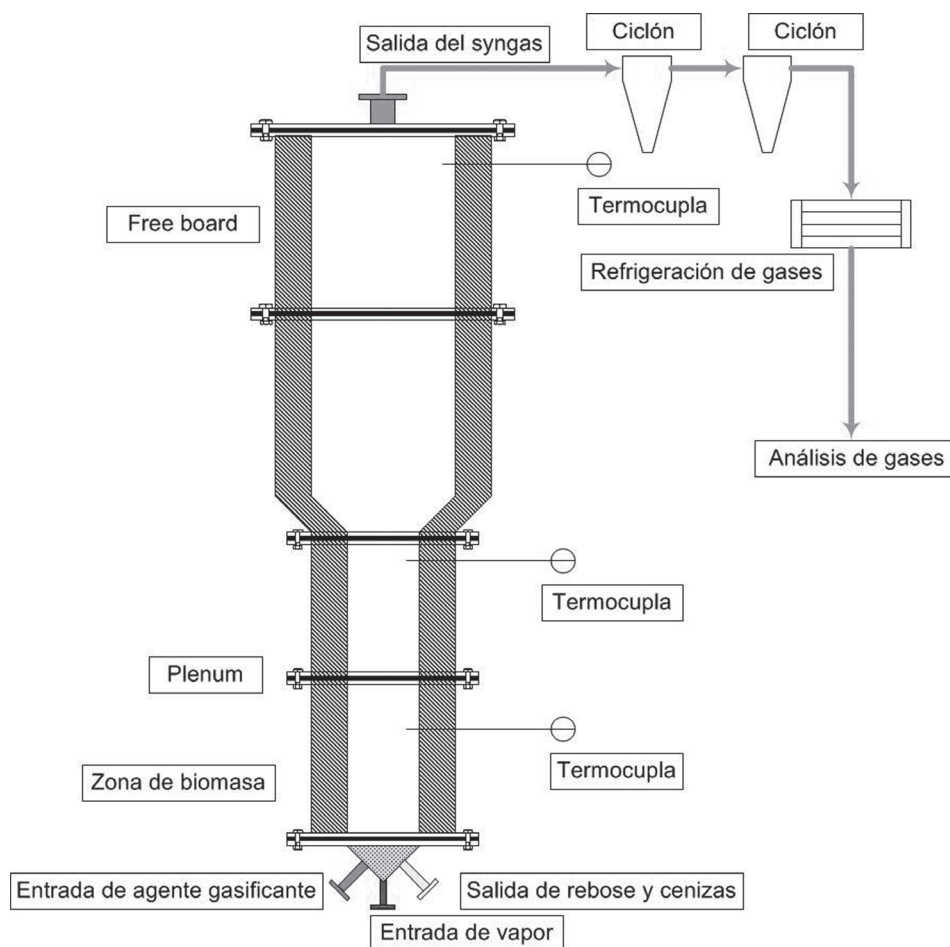


Figura 2. Esquema del gasificador experimental.

Del material previamente estabilizado en laboratorio, compuesto por residuos de cosecha de hortensia, pompón y áster en partes iguales y de una granulometría entre 5 – 10mm, se toma una muestra de 300g para que sean alimentados al equipo de

gasificación. Por tratarse de pruebas preliminares y para asuntos de trazabilidad y confiabilidad se realizaron dos corridas con la misma mezcla de residuos de cosecha y bajo las mismas condiciones de operación que se describen a continuación.

Condiciones de operación

Diferentes estudios sobre gasificación de biomasa residual han dado muestra de que las temperaturas de operación para materias primas similares [15, 16] oscilan entre 700 y 900°C, en este caso, para las pruebas se ajustó la temperatura de los controladores del reactor a una tasa de calentamiento de 200°C/h hasta llegar a la temperatura de operación y muestreo, una vez alcanzada esta temperatura se introdujo el agente gasificante y se inició el proceso de muestreo y análisis por cromatografía gaseosa una vez se alcanzan los 750°C y este proceso continúa durante 4h cada 30 min.

Por tratarse de un material con gran contenido de humedad que ha sido secado a temperatura ambiente, se establece como agente gasificante vapor de agua, lo cual permite aprovechar la humedad residual de la materia prima en el proceso mismo de gasificación. Las condiciones de operación para las pruebas de gasificación se describen en la Tabla 3.

Tabla 3. Condiciones de operación para las corridas experimentales.

Descripción	Parámetro de Operación
Agente gasificante	Vapor de agua
Temperatura de gasificación	700 -750°C
Análisis por GC	Cada 30 min.

Resultados

A las muestras de residuos por separado y a la mezcla representativa de la zona seleccionada se les realizan análisis próximo para conocer condiciones de humedad residual, cenizas, material volátil, carbono fijo y poder calorífico. Además se realizó un análisis último, el cual permite conocer los contenidos, en porcentaje para las especies: hidrógeno, carbono y nitrógeno. Como se muestran en la Tabla 2.

Tabla 2. Análisis próximo y último % base sec.

Análisis Próximo (%p)	Mezcla rep. zona	Áster	Pompón	Hortensia	Método
Humedad	10,87	10,63	11,29	12,63	ASTM D 3173
Volátiles	46,44	45,10	44,80	48,20	ASTM D 3174
Cenizas	27,80	31,30	30,06	23,44	ASTM D 3175
Carbono fijo	14,89	12,99	13,19	15,63	ASTM D 3172
Azufre	0,30	0,40	0,56	0,20	ASTM D 4239
HHV, MJ/kg	13,60	12,12	12,99	14,23	ASTM D 5865
Análisis Último * (%p)	Mezcla rep. zona	Áster	Pompón	Hortensia	
C	39,80%	43,83%	39,94%	47,17%	
H	3,68%	4,77%	4,20%	5,02%	
N	2,57%	2,10%	2,86%	3,20%	
O**	22,42%	13,83%	18,48%	17,55%	
Cenizas	0,34%	0,45%	0,63%	0,23%	
O/C	0,42	0,24	0,35	0,28	
H/C	1,11	1,31	1,26	1,28	

* Material seco y reporte según ASTM D 5373-08. ** Por diferencia.

Luego de la caracterización del material por separado y la muestra; la muestra representativa de la zona se gasifica bajo los parámetros de operación descritos anteriormente, se mencionan los principales hallazgos en términos de conversión termoquímica. Durante la gasificación, los gases

son analizados y se determina el promedio de la composición de los mismos, como se muestra en la Tabla 4. Donde la composición de especies es analizada para un intervalo definido a partir del momento en que se alimenta el vapor de agua como agente gasificante.

Tabla 4. Rangos de composición de gases durante el proceso de gasificación durante 4 horas del proceso.

Especie	CH ₄ (%v)	CO (%v)	H ₂ (%v)	CO ₂ (%v)
Contenido	2,8 – 5	9,3 – 22,2	30,3 – 46,6	22,5 – 53,4

En cuanto a la formación de especies gaseosas, la literatura informa valores hallados a partir de la experimentación en reactores por lotes [6,15],

donde el material combustible es alimentado al inicio del proceso y el agente gasificante es suministrado durante el tiempo de residencia del combustible en el lecho. Por tratarse de una etapa exploratoria con este tipo de material, se determina hacer las corridas experimentales iniciales en un proceso por lotes. Los perfiles de formación de gases de una de las corridas obedecen a las lecturas del cromatografo cada 30min (ver Figura 3).

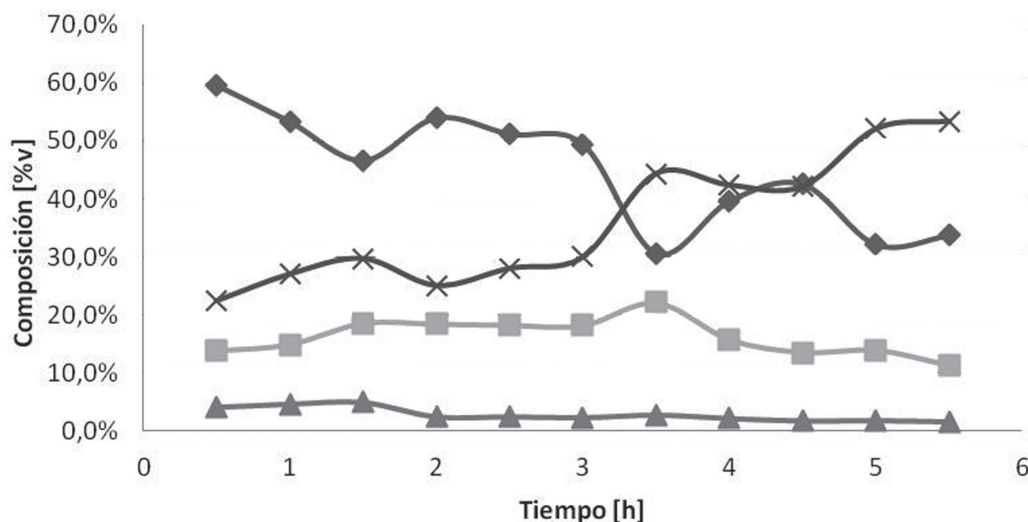


Figura 3. Perfiles de formación de los gases (→ H₂, — CO, ▲ CH₄, × CO₂) para el intervalo de lecturas.

Un parámetro susceptible de análisis está dado por la cantidad de masa que se transforma a lo largo del proceso de gasificación, en especial esto permite conocer el porcentaje de conversión del mismo. En la Tabla 5 se presenta el análisis último de la muestra representativa de la zona en partes iguales sin gasificar y de los residuos de la gasificación, donde, a partir de la muestra inicial alimentada por completo al inicio del proceso de gasificación, gran parte del carbón presente debió salir en forma de gases volátiles, gases condensados y de esta forma el análisis último del char presenta contenidos mas bajo de carbono [7,10]. Lo anterior arroja información frente al porcentaje simple de conversión de carbono en el proceso de gasificación igual al 93%p.

Tabla 5. Comparación de análisis último de la muestra inicial y los residuos de gasificación.

Muestra	C (%v)	H (%v)	N (%v)	Cenizas (%v)
Mezcla representativa	37,41	5,51	3,4	0,62
Residuos	2,66	0,72	0,01	17,0

Conclusiones

Se prepararon y caracterizaron los tres tipos de residuos de cosecha de flores más abundante en la región del oriente antioqueño como insumo dentro de un proceso de gasificación de biomasa residual.

Se realizaron pruebas experimentales de gasificación por lotes en un equipo a escala de laboratorio y se conocieron indicadores de conversión termoquímica a partir de la cantidad de carbono que se transforma en corriente gaseosa y la formación de especies combustibles via cromatografía gaseosa.

Referencias

- [1] FAO. Situación de los bosques el mundo2011 (Sito en internet) FAO. Disponible en: <http://www.fao.org/docrep/013/i2000s/i2000s.pdf>. Acceso el 29 de agosto de 2011.
- [2] Alzate C, Chejne F, Valdés C, Berrio A, Cruz

- J, Londoño C. CO-gasification of pelletized wood residues. *Fuel*. 2009;88(3):437-45.
- [3] Puig-Arnavat M, Bruno J, Coronas A. Review and analysis of biomass gasification models. *RSER*. 2010;14(9):2841-51.
- [4] Sues A, Jurascik M, Ptasinski K. Exergetic evaluation of 5 biowastes-to-biofuels routes via gasification. *Energy*. 2010;35(2):996-1007.
- [5] Saidur R, Abdelaziz E, Demirbas A, Hossain M, Mekhilef S. A review on biomass as a fuel for boilers. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2011;15(5):2262-89.
- [6] Basu P. *Biomass gasification and pyrolysis*. Burlington, MA: Elsevier Inc; 2010 [cited 2011].
- [7] Higan C, van der Burgt M. Gasification. In: GPP, Higan C, van der Burgt M. *Gasification*. 2 ed, Burlington, MA: Elsevier Inc; 2007. p. 438.
- [8] Alzate C. Aprovechamiento de residuos madereros peletizados en un proceso de co gasificación (tesis de maestría). Medellín: Universidad Nacional de Colombia; 2007.
- [9] Flores Carmel. Entrevista sobre el sistema de gestión de residuos sólidos. Rionegro, Antioquia 2009.
- [10] Amigun B, Gorgens J, Knoetze H. Biomethanol production from gasification of non-woody plant in South Africa: Optimum scale and economic performance. *Energy Policy*. 2010;38(1):312-22.
- [11] Biagini E, Masoni L, Tognotti L. Comparative study of thermochemical processes for hydrogen production from biomass fuels. *Biotech*. 2010;101(16):6381-8.
- [12] Yepes Maya D.M. Gasificación atmosférica de biomasa de rechazo en el sector floricultor (tesis de maestría) Medellín, Colombia: Universidad Nacional de Colombia; 2012.
- [13] Asocolflores. Hoja de Datos de la Floricultura Colombiana. (sitio de internet). Asocolflores, Bogotá, Colombia. Disponible en: <http://www.asocolflores.org/>. Acceso el: 24 de agosto de 2011
- [14] Asocolflores. *Florverde, Reglamento General V4*. Bogotá 2007.
- [15] Martínez J, Silva E, Andrade R, Jaén R. Experimental study on biomass gasification in a double air stage downdraft reactor. *Biomass and Bioenergy*. 2011;35(8):3465-80.
- [16] Lora E, Andrade R. Biomass as energy source in Brazil. *RSER*. 2009;13(4):777-88.