

# Desarrollo de perfiles térmicos en pilas aéreas para carbonización de estípites de palma de aceite

## Development of Thermal Profiles in Air Batteries for the Carbonization of Oil Palm Stipes

### AUTORES

**Aldemar Martínez G.**

Msc, Asistente de investigación.  
Programa de Plantas de Beneficio  
y Energía.

**Jesús Alberto García**

Msc, Director División de Procesos  
y Usos de Cenipalma.

**Tulia Esperanza Delgado**

Tesista

**Edna Margarita Garzón**

Investigadora asociada

**Edgar E. Yáñez A.**

Msc, Líder del Programa de Plantas  
de Beneficio y Energía

### Palabras CLAVE

Conversión de biomasa, Biocarbón,  
Perfiles de temperatura, Biomasa de  
estípites de palma.

Biomass Conversion, Biochar,  
Profiles of Temperatures, Oil Palm  
Trunk Biomass

Recibido: 23 febrero 2009  
Aceptado: 6 mayo 2009

### Resumen

En este trabajo se presenta la metodología desarrollada para el levantamiento de los perfiles de temperatura superficial e interno de una pila aérea de carbonización de estípites de palma de aceite, en la que los perfiles superficiales permiten observar temperaturas del orden de 40 y 60° C, y los internos, de unos 500° C, ambas adecuadas para el tratamiento termoquímico de biomasa. El sistema de pilas aéreas para carbonización presentó un tiempo total de operación que oscila entre 4 y 5 días después de la ignición, lo que permitió realizar las mediciones durante los tres primeros días de operación. El perfil de temperaturas internas corresponde al evaluado en la dirección angular a partir de la medición de temperaturas en seis puntos equidistantes conformando una base hexagonal de la pila. Para tales mediciones, se utilizaron termocuplas tipo "K" y un pirómetro para la medición de temperaturas internas y superficiales, respectivamente. En cuanto al proceso de carbonización, se obtuvo un rendimiento de conversión de biomasa a biocarbón del orden de 49% (base seca), a partir de biomasa de estípites de palma con humedad de 59,4%; se llegó a temperaturas de pirólisis-carbonización de 500-600° C y una masa carbonizada "biocarbón" con una humedad del 5%.

### Summary

This paper presents the methodology developed for the lifting of the profiles surface temperature as both an internal for stack aerial carbonization of oil palm trunk, where the surface profiles show temperatures of about 40 and 60° C. As the internal profiles indicate temperatures around 500° C; these temperatures are suitable for thermochemical treatment of biomass. Similarly, the system of aerial stacks to carbonization presented a total time of operation ranged from 4 to 5 days after the ignition, which



allowed the measurements during the first three days of operation of the aerial stack, where the profile internal temperatures corresponds to the evaluated in the angular direction from the measurement of temperature at six equidistant points forming a hexagonal base of the stack. For these measurements, we used thermocouples type "K" and a pyrometer to measure surface and internal temperatures, respectively. In the process of carbonization was obtained in a yield of biomass conversion to biochar of about 49% (dry basis), from oil palm trunk with moisture of 59.4%, reaching temperatures in the pyrolysis-carbonization range of 500-600° C and a mass of charred "Biochar" with humidity of 5%.



## Introducción

Entre los años 1984 y 1989 se sembraron en Colombia cerca de 50.000 nuevas hectáreas de palma de aceite, las cuales, por tener en la actualidad edades entre 18 y 23 años, están próximas a ser renovadas (se están acercando al final de su vida económica). Como la palma de aceite es una de las especies que más aporte directo de materia orgánica hace a los suelos donde se siembra, durante la renovación del cultivo se producen cerca de 75 t/ha de biomasa seca (Fedepalma, 2002). La producción total de materia seca de hojas, estípites y racimos es del orden de 20-30 t/ha anuales, lo que representa el 96% de la acumulación total de biomasa por la palma (Corley, 1971). El 56% del total de materia seca lo aportan las hojas, que permiten incorporar cada año al suelo cerca de 11-16 t/ha de materia orgánica (Cayón, 1999). Estos residuos deben ser manejados acertadamente, de manera que el acondicionamiento del suelo conduzca a la corrección de limitaciones fisicoquímicas para el establecimiento de la nueva generación del cultivo (reincorporación de nutrientes). También se espera la reducción de las fuentes de inóculo de microorganismos involucrados en enfermedades o en sitios de cría de insectos plaga.

Una de las alternativas para el tratamiento de la biomasa residual de la renovación del cultivo de palma de aceite es su carbonización mediante el calentamiento bajo condiciones limitantes de oxígeno o en ausencia de éste (pirólisis). La carbonización de biomasa permite la reducción del tiempo de permanencia de residuos vegetales frescos sobre el suelo, al que la reincorporación del biocarbón obtenido en la fase mineral mejora sus características fisicoquímicas, además de facilitar

las labores de preparación y establecimiento del nuevo cultivo de palma. Como los daños provocados al cultivo por insectos plagas disminuye, probablemente también lo hagan las cantidades de insecticida que se han de aplicar.

La conversión eficiente de biomasa fresca de palma de aceite a biocarbón y su posterior incorporación al suelo es una opción promisoría de manejo de la renovación. Con este sistema se disminuyen los obstáculos propios de renovaciones de tumba y apilamiento de estípites en el campo. Usarlo posibilita la oportunidad de corregir errores del pasado (25-30 años atrás) en el diseño de los lotes, el trazado de redes de riego y drenaje, y el manejo del suelo, a la vez que permite mantener en el tiempo los beneficios de una buena preparación de las tierras (enmiendas, descompactación, reciclaje de nutrientes, establecimiento de cobertura de leguminosas, mayor capacidad para almacenar agua y nutrientes) para recibir a la nueva generación de palma de aceite.

De otro lado, con la aplicación de biocarbón obtenido a partir del tratamiento termoquímico del estípite de palma, se espera que los efectos benéficos persistan en el suelo por un largo período de tiempo, ya que sus estructuras poliaromáticas son altamente resistentes al ataque microbiano y solo hongos especializados, con enzimas extracelulares únicas, pueden mineralizar el carbono fijo en el material carbonizado y reincorporado al suelo (Willmann y Fakoussa, 1997).

Los métodos tradicionales de carbonización son susceptibles de mejoramiento, específicamente en la optimización del proceso por disminución de las emisiones de gases de efecto invernadero (GHG, por su sigla en inglés) en el que la evaluación del compor-



tamiento térmico del proceso es de vital importancia para su buen desempeño. La alternativa de carbonizar los residuos es menos contaminante que la quema directa de la biomasa, pues permite el secuestro del carbono (C) en el suelo y la reducción de emisiones de CO<sub>2</sub>. Ello también genera la posibilidad de incursionar en el sistema de créditos de carbono para mitigación del cambio climático.

Sin embargo, algunos aspectos durante la elaboración de biocarbón, entre ellos su calidad estándar, su estabilidad en el suelo y los métodos para monitorear su producción, deben ser considerados e incorporados para una eventual participación en el mercado de créditos de carbono y reducción de emisiones GHG (Ogawa *et al.*, 2006).

El presente estudio utilizó el método de pilas aéreas para la carbonización del estípite de palma de aceite procedente de la renovación del cultivo, con el fin de desarrollar perfiles térmicos (Figura 1). Se tomó esta opción, porque, comparada con la carbonización en fosas, presenta mayor eficiencia de conversión de biomasa a biocarbón.

## Materias primas para la obtención de biocarbón

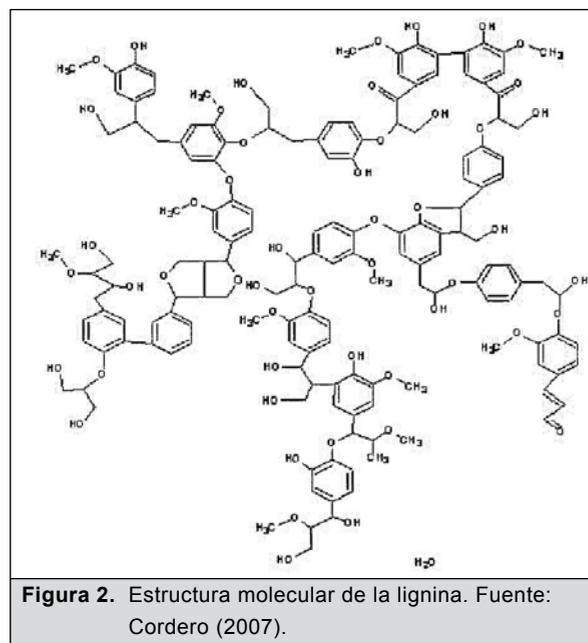
La lignina es uno de los constituyentes básicos de la madera y otras materias vegetales. El contenido en lignina de las plantas es variable según la especie, y dentro de una misma especie varía según la región de la planta que se tome.



**Figura 1.** Pilas aéreas de carbonización. Fuente: autores (2008).

Se puede considerar que alrededor del 25% de los materiales lignocelulósicos es lignina. Su misión fundamental es cementar las fibras de celulosa de la madera y proporcionarles rigidez. La lignina puede considerarse una red polimérica tridimensional formada por unidades de fenil-propano entre sí y en diferentes posiciones (Cordero, 2007).

En cuanto a la estructura molecular de la lignina, es importante destacar su gran contenido de núcleos aromáticos (Figura 2), lo cual, en principio, favorecería un mejor ordenamiento mediante un eventual tratamiento térmico, como la pirólisis o la carbonización. Por el contrario, un tratamiento bioquímico no sería tan recomendable, debido a la alta resistencia que ofrece dicha estructura a la hidrólisis enzimática dentro del proceso de biodigestión anaerobia. Caso contrario ocurriría en materiales con altos contenidos de celulosa o hemicelulosa, que tienen una mayor aceptación de los tratamientos bioquímicos (Cordero, 2007).



Por lo general, los materiales lignocelulósicos –entre los que se encuentran los residuos vegetales–, tienen la posibilidad de ser transformados mediante un proceso termoquímico en carbonizados, caso particular en biocarbón a partir del estípite de palma de aceite. Así lo demuestran algunas experiencias de la Corporación Centro de Investigaciones en Palma de Aceite (Cenipalma) en la Zona Oriental colombiana.

Otros trabajos realizados por Cenipalma en el Campo Experimental Palmar de La Vizcaína, incluyen la carbonización de subproductos de la oleaginosa que resultan del proceso de extracción de aceite. Se obtuvo carbón vegetal a partir de tusas, fibra y cuesco, con rendimientos entre 15 y 28% (García, *et al.*, 2007). La práctica de carbonizar los subproductos del beneficio del racimo de fruta fresca (RFF) permite tener usos alternativos a los actuales, además de ser un mecanismo de control de la mosca del ganado, la cual se favorece por la aplicación de la tusa sin descomponer al suelo, especialmente en la Zona Oriental.

## Proceso de conversión termoquímica “carbonización de biomasa”

El proceso de conversión termoquímica de la biomasa se fundamenta en el calentamiento de materiales orgánicos en ausencia de oxígeno. Cuando se dirige a la obtención de los gases, aceites, alquitranes y condensados piroleñosos, el proceso se denomina “pirólisis”. En cambio, si se focaliza hacia la obtención del producto sólido carbonizado (biocarbón), se designa como carbonización de biomasa (Menéndez, 2008).

Durante la carbonización de la biomasa se produce una serie de cambios termoquímicos, que bien pueden diferenciarse en tres fases. La primera se desarrolla hasta alcanzar los 170° C, temperatura a la que se produce fundamentalmente la deshidratación de la materia y la destilación de algunos aceites esenciales (proceso endotérmico), acompañada de una leve degradación de la biomasa. En la segunda etapa la temperatura se eleva hasta los 270° C (proceso exotérmico), y se libera vapor de agua, ácido acético, metanol, alquitranes, compuestos amoniacales y gases no condensables (metano, etano, óxidos de carbono e hidrógeno). Por último, en la tercera etapa se alcanza una temperatura de unos 600° C, a la que se produce la pirólisis o la carbonización propiamente dichas, y el desprendimiento de sustancias volátiles es máximo. El carbón vegetal (biocarbón) es el residuo sólido resultante, junto con algunos materiales no carbonizados y cenizas (García, *et al.*, 2007).

El rendimiento en términos de biocarbón del proceso puede variar dentro de límites muy amplios, dependiendo del tipo de madera, de su contenido de agua, del sistema de carbonización “reactor” y de las condiciones en las que éste se haya operado para la carbonización (tiempo de calentamiento y temperatura alcanzada).

La composición de los productos finales también depende de la temperatura, la naturaleza de la biomasa vegetal y la rapidez de carbonización. Temperaturas bajas de operación en la carbonización permiten obtener un mayor rendimiento de carbonizado, pero de baja calidad (menor contenido de carbono fijo). En tanto, con una carbonización lenta y a temperaturas altas se logra una destilación más completa, es decir, una mejor calidad de biocarbón con mayores porcentajes de carbono fijo; no obstante, es considerable la reducción del rendimiento (Lim *et al.*, 2004).

Para mejorar la eficiencia global del proceso es preferible usar una biomasa con un contenido de humedad lo más bajo posible y, en cualquier caso, no superior al 15-20%. Dado que la madera fresca recién cortada contiene 40-60% de humedad, se recomienda secarla antes, bien sea al aire o por cualquier otro procedimiento (casa invernadero). Si se dispone de materiales secos, es posible alcanzar rendimientos entre 25 y 33% de carbón vegetal, con porcentajes del 70-80% de carbono fijo (Menéndez, 2008).

La pirólisis o carbonización de la biomasa generada en las plantas de beneficio ha sido tratada por algunos autores. Islam *et al.* (1999) estudiaron en el laboratorio la obtención de compuestos fenólicos de los líquidos pirolíticos. Guo & Lua (2000a, 2000b) hicieron estudios cinéticos con la fibra y trabajaron con el cuesco para la obtención de aditivos. Lim *et al.* (2004) carbonizaron tusas en el laboratorio y obtuvieron, además del carbonizado, un condensado a partir de las emisiones gaseosas generadas durante el proceso. García *et al.* (2007) obtuvieron algunas constantes cinéticas de degradación térmica en el laboratorio para la fibra, la tusa y el cuesco.

Dada la relevancia que presenta la temperatura de operación de carbonización en la eficiencia de conversión de biomasa a biocarbón, en el presente trabajo se desarrollan los perfiles superficiales e internos de temperatura para pilas aéreas de carbonización de estúpide de palma de aceite, utilizando la metodología que se explica a continuación.



## Metodología

La metodología utilizada para el levantamiento de los perfiles superficiales e internos de temperatura en las pilas aéreas de carbonización consta de las siguientes fases:

- Montaje y puesta en marcha de las pilas aéreas de carbonización
- Selección de puntos de muestreo (trayectoria circular de muestreo)
- Medición y desarrollo de perfiles de temperatura.

### Montaje y puesta en marcha de las pilas aéreas de carbonización

Se utilizaron 490 kg de estípites de palma (con humedad del 59,4%), acondicionados en tamaños adecuados mediante cortes transversales, y dispuestos alrededor de un termopozo (tubo sellado con aceite mineral) hasta una altura de 1,50 m (Figura 3). Para la cobertura o capa externa de la pila aérea se utilizó fibra proveniente de la etapa de separación de fibras en el proceso de extracción de aceite de palma.

Una vez finalizado el montaje de la pila aérea de carbonización, se procedió a su arranque y puesta en marcha, para lo cual se empleó un hilo “mechero” co-



**Figura 3.** Montaje de la pila aérea de carbonización de estípites de palma. Fuente: autores (2008).



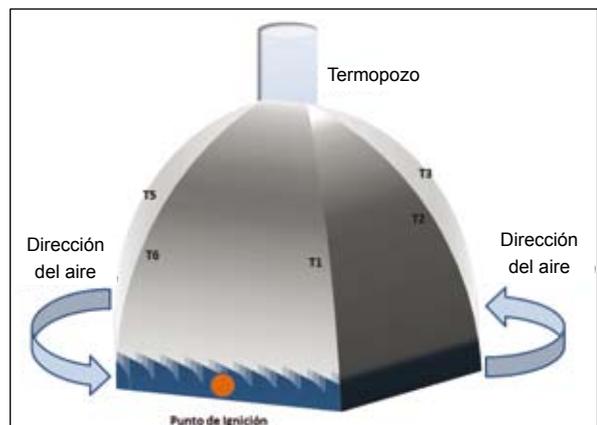
**Figura 4.** Ignición de la pila aérea de carbonización. Fuente: autores (2008).

locado en el centro de ella para su respectiva ignición. Antes de medir la temperatura se dio un tiempo adecuado (un día) para el arranque y autosostenimiento energético del proceso de carbonización (Figura 4).

### Selección de puntos de muestreo “Trayectoria circular”

En esta etapa de la metodología se procedió a seleccionar los puntos de muestreo sobre la superficie de la pila aérea de carbonización (Figura 5). Tales puntos obedecen a una trayectoria circular (dirección angular de la pila), en la que el termopozo actúa como guía y eje axial para el montaje de la “campana” de estípites de palma.

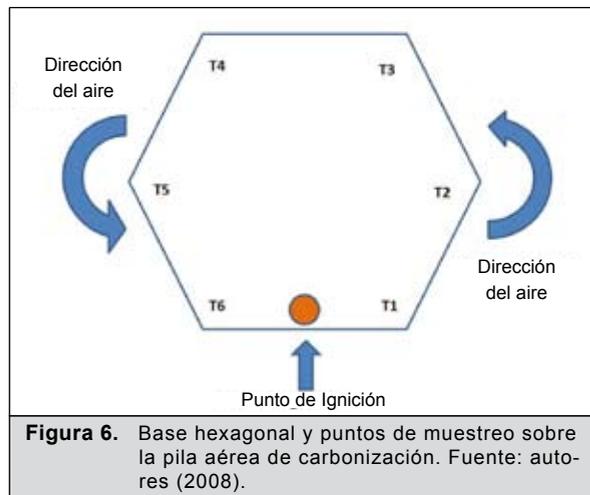
En la Figura 5 se observa el punto de ignición ubicado en la base de la pila aérea, en donde la dirección del viento induce una trayectoria antihoraria en la



**Figura 5.** Selección de puntos de muestreo en la pila aérea de carbonización. Fuente: autores (2008).

evolución y desarrollo del proceso de carbonización de estípite. Asimismo, la reducción de volumen de biomasa en las pilas aéreas se presenta en la medida en que el proceso de carbonización avanza en la trayectoria descrita.

En este orden de ideas, la selección de los diferentes puntos de muestreo de temperatura atiende al comportamiento generado en el sistema de tratamiento termoquímico de la biomasa en particular. En la Figura 6 se muestra la base hexagonal de la pila aérea de carbonización y los respectivos puntos de muestreo establecidos en la dirección angular de la misma. De manera similar cada punto corresponde a un vértice del hexágono descrito y ubicados equidistantemente a 1,5 metros entre ellos sobre la base de la pila aérea.



## Medición y desarrollo de perfiles de temperatura

Para la medición de temperaturas internas y superficiales se utilizaron termocuplas tipo “K” y un pirómetro, respectivamente. Las termocuplas fueron rotadas en cada uno de los vértices del hexágono (Figura 7), en los que para cada punto de muestreo se realizaron perforaciones con profundidad de 50 cm, buscando alcanzar el seno de la reacción de conversión termoquímica de la biomasa en biocarbón.

De igual forma, las termocuplas fueron acopladas a un lector digital para facilitar la lectura de temperaturas en diferentes canales y posiciones. En la Figura 8 se muestra el sistema de termocuplas acondicionado so-



**Figura 7.** Rotación de termocuplas sobre la base hexagonal de pila de carbonización. Fuente: autores (2008).



**Figura 8.** Lector digital de temperaturas internas en la pila de carbonización. Fuente: autores (2008).

bre la pila aérea con una lectura de temperatura interna adecuada para el proceso de pirólisis-carbonización de biomasa.

El levantamiento de datos de temperatura y repeticiones se llevaron a cabo durante tres días de operación continua de la pila de carbonización, considerando que el tiempo total del proceso de carbonización de estípite por medio de este sistema oscila entre 4 y 5 días, mucho más rápido que en el método de fosas.



**Figura 9.** Pila de carbonización próxima a la etapa final del proceso termoquímico. Fuente: autores (2008).

**Tabla 1.** Composición de emisiones gaseosas en la carbonización de estípites de palma (1atm; 300°K)

Componentes	Valor	Unidades
O <sub>2</sub>	6,0	% V/V
CO	3300	ppm
CO <sub>2</sub>	10,6	% V/V
NO	139	ppm
NO <sub>2</sub>	0	ppm
NO <sub>x</sub>	139	ppm
SO <sub>2</sub>	388	ppm
H <sub>2</sub> S	31	ppm
CH <sub>4</sub>	0	ppm

Fuente: autores (2008).

## Análisis de resultados

El proceso de carbonización de estípites de palma en pilas aéreas demanda un tiempo de unos 4-5 días después de la ignición. La Figura 9 muestra una pila próxima a la etapa final del proceso de carbonización, en la cual las emisiones de gases son mínimas comparadas con las generadas durante el arranque del sistema.

Las emisiones no fueron cuantificadas en términos de flujos volumétricos, dada la dificultad que para su captura total presentan estos sistemas; sin embargo, en la Tabla 1 se observa la composición típica de aquellas durante el tratamiento termoquímico de la biomasa en particular. Por otro lado, en la Tabla 2 se presentan algunas características físicas de la biomasa (estípites de palma de aceite) y de los productos del proceso de carbonización, como también las dimensiones de la pila aérea de carbonización e

**Tabla 2.** Características de la biomasa y su conversión termoquímica

Características de la biomasa	Valor	Unidades
Estípites de palma de aceite	490,0	kg
Densidad del estípites de palma	350,0	kg / m <sup>3</sup>
Humedad del estípites de palma	59,4	%
Estípites de palma seco	198,9	kg
Productos de carbonización	-	-
Conversión de biomasa-biocarbón	49,0	%
Biocarbón obtenido	97,5	kg
Biomasa no carbonizada	41,8	kg
Cenizas	59,6	kg
Humedad del biocarbón	5,0	%
Dimensiones de la pila aérea	-	-
Diámetro de la pila aérea	3,12	m
Altura de la pila aérea	1,50	m
Volumen de la pila aérea	6,9	m <sup>3</sup>
Parámetros de carbonización	-	-
Masa promedio de partícula (estípites)	6,9	kg
Área lateral promedio de partícula (estípites)	0,251	m <sup>2</sup>
Relación área específica de partícula/biomasa	0,0364	m <sup>2</sup> /kg de biomasa
Relación biomasa/volumen de reactor	71,01	kg/m <sup>3</sup> de reactor
Temperatura superficial de la pila aérea	50	°C
Temperatura interna de carbonización	550 – 600	°C

Fuente: autores (2008).

indicadores del tratamiento termoquímico de estípites de palma de aceite.

### Perfil de temperatura interna de la pila aérea de carbonización de biomasa

La Figura 10 muestra el perfil de temperatura interna del proceso de carbonización de estípites de palma en pilas aéreas, en donde la superficie respuesta de temperaturas está compuesta por seis puntos de muestreo ubicados equidistantemente (1,5 m entre ellos) en los vértices de la base hexagonal de pila aérea. Estos se monitorearon durante tres días de operación continua del sistema termoquímico. En el primero y segundo día de operación de pila se alcanzan los valores máximos de temperatura, principalmente en las zonas más cercanas al punto de ignición.

Los incrementos de la temperatura se deben en lo fundamental a la presencia y permanente circulación de aire en la dirección antihoraria alrededor de la base de pila aérea. Ello favorece las condiciones mínimas de oxígeno para el desarrollo de las reacciones de oxidación parcial con carácter exotérmico que pueden ocurrir en el proceso de pirólisis-carbonización y el incremento de la temperatura interna (Figura 10).

Durante el tercer día de operación se observa una tendencia a la disminución de la temperatura en todos los puntos monitoreados, como consecuencia de la culminación parcial del proceso de pirólisis-carbonización; al cuarto día de operación la pila aérea de carbonización está próxima a la etapa de apertura y despojo de biomasa carbonizada producida o "biocarbón".

### Perfil de temperatura superficial de la pila aérea de carbonización de biomasa

El perfil de temperaturas superficiales de la pila aérea de carbonización aparece en la Figura 11. Se aprecia una superficie de temperatura generada a partir de las mediciones térmicas, tanto en los puntos de muestreo previamente establecidos sobre la base hexagonal de la pila aérea (puntos equidistantes), como también en dirección radial de la misma. A diferencia del perfil

interno de temperatura, el cual se fundamenta en gradientes térmicos con respecto al tiempo, el perfil superficial de temperaturas se basa en gradientes térmicos espaciales en la dirección radial de la pila de carbonización.

De igual modo, la Figura 11 muestra valores máximos de temperatura (55-60° C) próximos al eje central de la pila de carbonización, en donde se concentra gran parte de la energía térmica generada en el proceso de conversión termoquímica; no obstante, en las regiones apartadas del eje central, en las extremidades de la pila, se pueden observar temperaturas más bajas, del orden de 35-45° C. Estos valores de temperatura también indican que el material de cobertura (fibras) cumple un buen papel como material de sello para la entrada controlada de aire y como aislante térmico, con lo cual se logra disminuir las pérdidas de energía térmica a los alrededores por radiación y convección, y garantizar la adecuada eficiencia energética del sistema en cuestión.

## Conclusiones

Con el presente trabajo se realizó el montaje y puesta en marcha de una pila aérea de carbonización para biomasa proveniente del estípite de palma de aceite, en la cual se pudo determinar el tiempo de operación

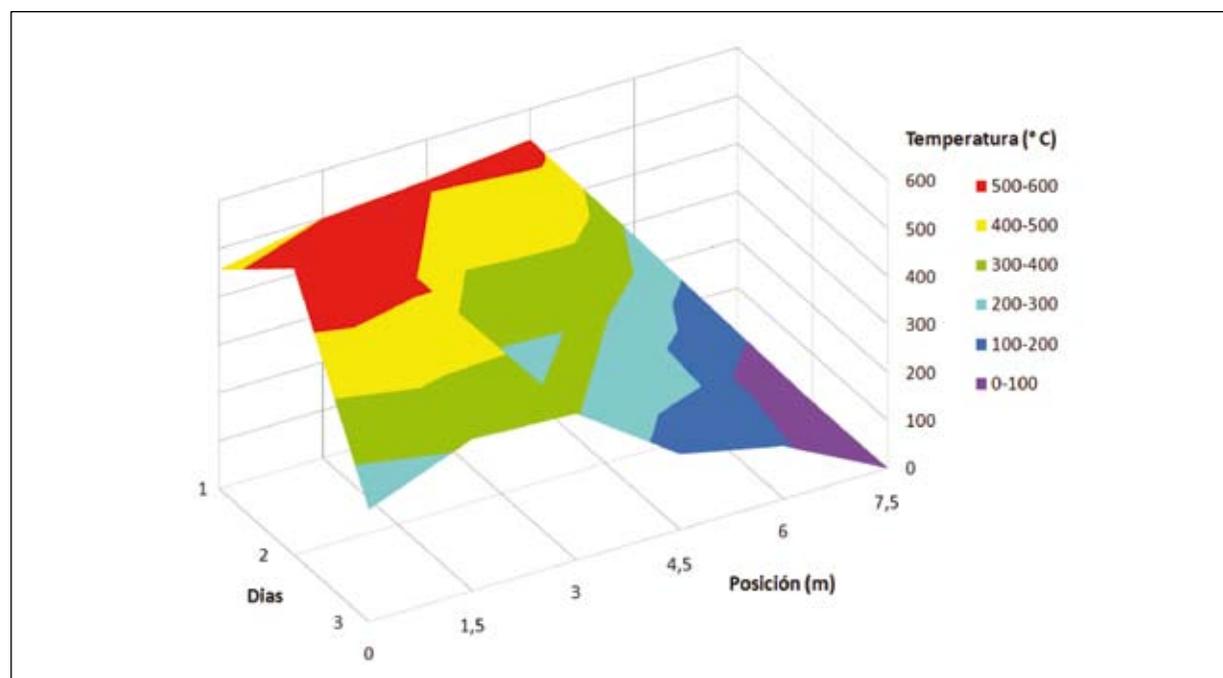
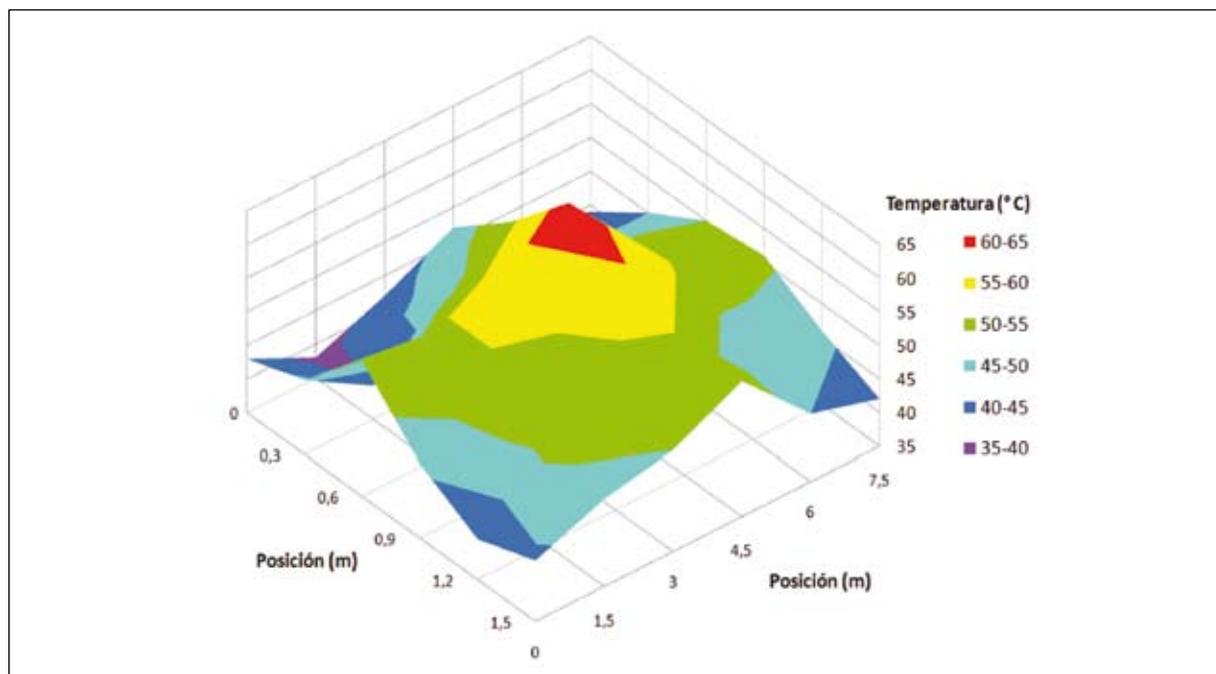


Figura 10. Perfil de temperaturas interna en la pila aérea. Fuente: autores (2008).



**Figura 11.** Perfil de temperaturas superficial en la pila aérea. Fuente: autores (2008).

(entre 4 y 5 días después de la ignición). De igual modo, se determinó el rendimiento de conversión (49%) de biomasa (estípites de palma con humedad del 59,4%) a biocarbón, y se cuantificaron otros productos residuales (cenizas y no carbonizados) generados durante la operación de estos sistemas termoquímicos para el tratamiento de la biomasa.

Entre otros parámetros evaluados en el proceso de carbonización se encuentra la masa promedio de partícula de estípites de palma (6,9 kg), la relación área específica de partícula por unidad de biomasa (0,0364 m<sup>2</sup>/kg de biomasa), la cantidad de biomasa por unidad de volumen de reactor (71,01 kg / m<sup>3</sup> de reactor) y la temperatura promedio durante la pirólisis-carbonización, la cual alcanzó valores alrededor de 550-600° C.

Con respecto a las emisiones gaseosas generadas durante la carbonización de estípites de palma, se registró la composición química de estos gases como producto de la oxidación parcial de la biomasa, dadas las cantidades mínimas de oxígeno presente en el sistema.

En relación con el seguimiento de temperaturas se desarrollaron los perfiles térmicos superficiales e

internos en la pila aérea de carbonización; se alcanzaron temperaturas promedio a nivel superficial del orden de 55° C, lo que permite inferir bajas pérdidas de energía térmica a los alrededores por radiación y convección. Entre tanto, internamente se registraron temperaturas en el rango de 400-600° C, atendiendo a los requerimientos térmicos exigidos por el proceso de conversión termoquímica de biomasa.

Por último, vale decir que con el presente trabajo se genera una herramienta útil para el estudio térmico en sistemas tipo “pilas aéreas” para carbonización de biomasa. Se espera que ésta se constituya en un insumo más para la optimización a escala industrial de reactores modulares portátiles, o para cualquier sistema de tratamiento termoquímico de biomasa en el que la evaluación del comportamiento térmico del proceso es de alta relevancia para su buen desempeño.

## Agradecimientos

Al personal del departamento agronómico de la planta Unipalma S.A. por su disposición y colaboración. Asimismo, a Fedepalma - Fondo de Fomento Palmero (FFP), por la financiación del presente estudio.



## Referencias

- Cayón, D. *et al.* 1999. Apuntes sobre fisiología del crecimiento y desarrollo de la palma de aceite. *Palmas* (Colombia), 20(3): 43-54.
- Cordero, T. 2007. Preparación de materiales de carbono a partir de la lignina. Universidad de Málaga, Facultad de Ciencias. Óptica pura y aplicada, 40: 161-168.
- Corley, R; Gray, B. *et al.* 1971. Productivity of the oil palm (*Elaeis Guineensis* Jacq.) in Malaysia. *Experimental Agriculture* (Reino Unido), 7: 307-315.
- García N, JA; Fernández B, CA; Bermúdez S, VH. 2007. Carbonización a escala piloto de los residuos del beneficio del fruto de la palma de aceite. Cenipalma, Bogotá. En prensa.
- García N, JA; García, M; DAS, K. 2007. Determination of kinetic parameters of thermal degradation of palm oil Mill by-products using thermogravimetric analysis and differential scanning calorimetry. *American Society of Agricultural and Biological Engineers* 51(2): 547-557.
- Guo, J; Lua, AC. 2000a. Kinetic study on pyrolysis of extracted oil palm fiber. Isothermal and non-isothermal conditions. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry* 59: 763-774
- Guo, J; Lua, AC. 2000b. Preparation and characterization of adsorbents from oil palm fruit solid wastes. *Journal of Oil Palm Research* 12(1): 64-70
- Islam, MN; Zailani R; Ani FN. 1999. Pyrolytic oil from fluidised bed pyrolysis of oil palm shell and its characterisation. *Renewable Energy* 17: 73-84
- Lim, KO; Chiew, YL; Chua, SC. 2004. Carbonization of Oil Palm Empty Fruit Bunches – A Preliminary Study. *The Planter* (Malasia) 80 (945): 771-775
- Menéndez, A. 2008. Residuos de biomasa para la producción de carbones activos y otros materiales de interés tecnológico. Universidad de Oviedo, Facultad de Geología. Memorias del curso de extensión universitaria.
- Ogawa, M; Okimori, Y; Takahashi F. 2006. Carbon sequestration by carbonization of biomass and forestation: Three case studies. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Changes*. 11: 429 – 444.
- Willmann, G; Fakoussa, RM. 1997. Extracellular oxidative enzymes of coal-attacking fungi. *Fuel Process. Technol.* 52: 27-41.
- Federación Nacional de Cultivadores de Palma de Aceite (Fedepalma). 2002. *Guía Ambiental para el subsector de la agroindustria de la palma de aceite*. Colombia.

# PAUTA

# BANCO AGRARIO