

# Biocarbón de estípites de palma de aceite: una alternativa para el aprovechamiento de la biomasa y el mejoramiento de la calidad del suelo en fase de renovación

Biochar from oil palm trunks: an alternative use of biomass and improvement of soil quality during the renovation stage

AUTOR



**Edna Margarita Garzón MSc**

Cenipalma (Colombia)  
egarzon@cenipalma.org

## Palabras CLAVE

Biocarbón de estípites de palma,  
biomasa, mejoramiento del suelo

Biochar from oil palm trunks,  
biomass, soil improvement

## Resumen

Con la cooperación de Unipalma S.A. y la financiación del Fondo de Fomento Palmero, Cenipalma ha venido investigando diferentes formas apropiadas para el manejo de la biomasa, mediante el estudio de las tasas de descomposición y liberación de nutrientes. Por ello evaluó el potencial agronómico del biocarbón obtenido a partir de estípites de palma de aceite en fase de renovación, en la plantación Unipalma S.A. (Zona Oriental palmera colombiana). En una primera etapa los investigadores determinaron la cantidad de biomasa de estípites presente en una hectárea en fase de renovación, caracterizaron el material y cuantificaron la reserva de nutrientes. En la segunda etapa se generó el biocarbón a partir de los estípites, se caracterizó física y químicamente, se cuantificó la reserva de nutrientes y se evaluaron las dosis crecientes de aquel en el suelo. En este artículo se da cuenta de los resultados de la investigación.

## Abstract

With the cooperation of Unipalma S.A. and funding by the Oil Palm Development Fund, Cenipalma has been researching different appropriate ways to manage biomass, by studying the rates of decomposition and release of nutrients. To this end, Cenipalma assessed the agronomic potential of biochar from oil palm trunks undergoing renovation at the Unipalma S.A. plantation (Colombian Eastern oil palm-growing zone). In a first stage, researchers determined the amount of biomass from trunks present in one hectare, characterized the material and quantified the nutrient reserves. In the second stage, the biochar produced from the trunks was characterized physically and chemically, nutrient reserves were quantified and the level of nutrients in the soil was assessed. This article presents the research results.

## Introducción

En el año 2008 Colombia tenía 337.000 hectáreas sembradas con palma de aceite, distribuidas en cuatro zonas palmeras (Norte, Central, Oriental y Occidental).

De acuerdo con las estadísticas de la Federación Nacional de Cultivadores de Palma de Aceite, una alta proporción de esta área entrará en renovación y un buen número de plantaciones se encuentran dedicadas a establecer la segunda generación del cultivo. Para el período 2009-2015, con un ciclo de cultivo de 30 años, se espera tener aproximadamente 51.435 hectáreas en renovación. Pero si se tienen en cuenta las difíciles circunstancias de tipo sanitario por las cuales está atravesando la palmicultura colombiana, esa cifra será superada ampliamente.

Por otra parte, con un promedio teórico de 90 toneladas de biomasa seca por hectárea, se tendrían más de 4.500.000 toneladas adicionales de biomasa en paulatina descomposición.

Por lo anterior, en la fase de renovación el manejo adecuado de la biomasa y la apropiada disposición de esos materiales orgánicos son labores fundamentales que deben ser vistas no solo como un potencial, sino también como una necesidad para la palmicultura. Un buen manejo de los residuos en la fase de renovación permite corregir los errores con los que los palmeros han convivido durante 25 ó 30 años en términos de diseño de plantación, diseño de sistemas de riego y drenaje, densidad de siembra y orientación del cultivo; es de vital importancia corregir, o por lo menos aminorar muchas limitaciones de tipo físico del suelo, mediante la incorporación de materiales orgánicos, ya que por este medio se puede mejorar la fertilidad de los suelos e intervenir en los diferentes ciclos bio-geoquímicos, y aumentar la potencialidad de retener y reciclar nutrientes.

Desde el punto de vista económico, vale la pena recordar que la renovación tiene unos altos costos operativos, y por tanto debe ser una operación bien hecha, pues a la necesidad de implantarla se le añade la búsqueda de busca mitigar los costos de los fertilizantes. El manejo adecuado de esos materiales facilita la reducción del hábitat de insectos plaga y la fuente de posibles inóculos de enfermedades como el

*Strategus* y el *rhynchophorus*; de paso se contribuye a disminuir el impacto ambiental de los grandes volúmenes de materiales orgánicos en pleno proceso de descomposición, que son importantes generadores de gases que van directamente a la atmósfera y aportan al muy reconocido efecto invernadero.

La Figura 1 muestra una imagen bastante familiar para los palmicultores. Se trata de una evaluación de plagas en estípites, seis meses después de su tala. Se pueden apreciar larvas de *Rhynchophorus palmarum*, detectadas en la zona de Tumaco.



Figura 1. Plagas en estípites.

## Investigación en manejo de la biomasa

Cenipalma viene investigando diferentes formas apropiadas para el manejo de la biomasa, mediante el estudio de las tasas de descomposición y liberación de nutrientes; entre esos diferentes métodos considero la conversión de la biomasa en biocarbón, proceso con múltiples beneficios reportados en la literatura; en el marco de esta conferencia internacional sobre palma de aceite, el Dr. Christopher Steiner [ver XXX, página XX] presentó ampliamente los beneficios en términos de:

- Incremento y mantenimiento de la fertilidad del suelo
- Secuestro de carbono en formas altamente estables con una disminución en los gases de efecto invernadero
- Incremento y mantenimiento del carbono orgánico en el suelo



- Efectos positivos en las propiedades físicas, químicas y biológicas
- Incremento y mejoramiento muy notables de la actividad microbiológica.

Esta no es una alternativa tecnológica local; en realidad hay mucha gente en el mundo investigándola.

Como objetivo principal, los estudiosos se plantearon en principio evaluar el potencial agronómico del biocarbón obtenido a partir de estípites de palma de aceite en fase de renovación. Para alcanzar este objetivo surgieron otros temas específicos, como por ejemplo cuantificar la biomasa y la reserva de nutrientes almacenada en los estípites de un cultivo de palma de aceite en fase de renovación, y evaluar la conversión de esta biomasa en biocarbón, empleando dos métodos artesanales de pirólisis. Una vez obtenido el biocarbón, se procedería a caracterizarlo física y químicamente, para de esa manera determinar el almacenamiento de nutrientes que se alcanza con el proceso de carbonización, y posteriormente incorporarlo en dosis crecientes en uno de los suelos más predominantes del cultivo de la palma de aceite.

El estudio se realizó en la Zona Oriental palmera colombiana, en la plantación Unipalma S.A. (Figura 2), localizada en el piedemonte de los Llanos Orientales, a 500 m sobre el nivel del mar, a temperatura media de 24 °C y nivel de precipitación media anual de 2.764 mm, de 2.200 horas luz al año y humedad promedio del 80%.

Se cubrieron varias etapas de investigación. La primera consistió en determinar la cantidad de biomasa de estípites presente en una hectárea en fase de renovación, caracterizar ese material y cuantificar la reserva de nutrientes. Para ello debió determinarse primero el contenido de humedad, las densidades aparentes y el peso seco de los estípites, para realizar luego su análisis y caracterización fisicoquímica en el laboratorio.

La segunda fase comprendió la generación del biocarbón a partir de los estípites, caracterizarlo física y químicamente, cuantificar la reserva de nutrientes y evaluar las dosis crecientes de aquel en el suelo.

En el momento de realizar este documento se estaba evaluando el efecto de estas dosis crecientes de bio-

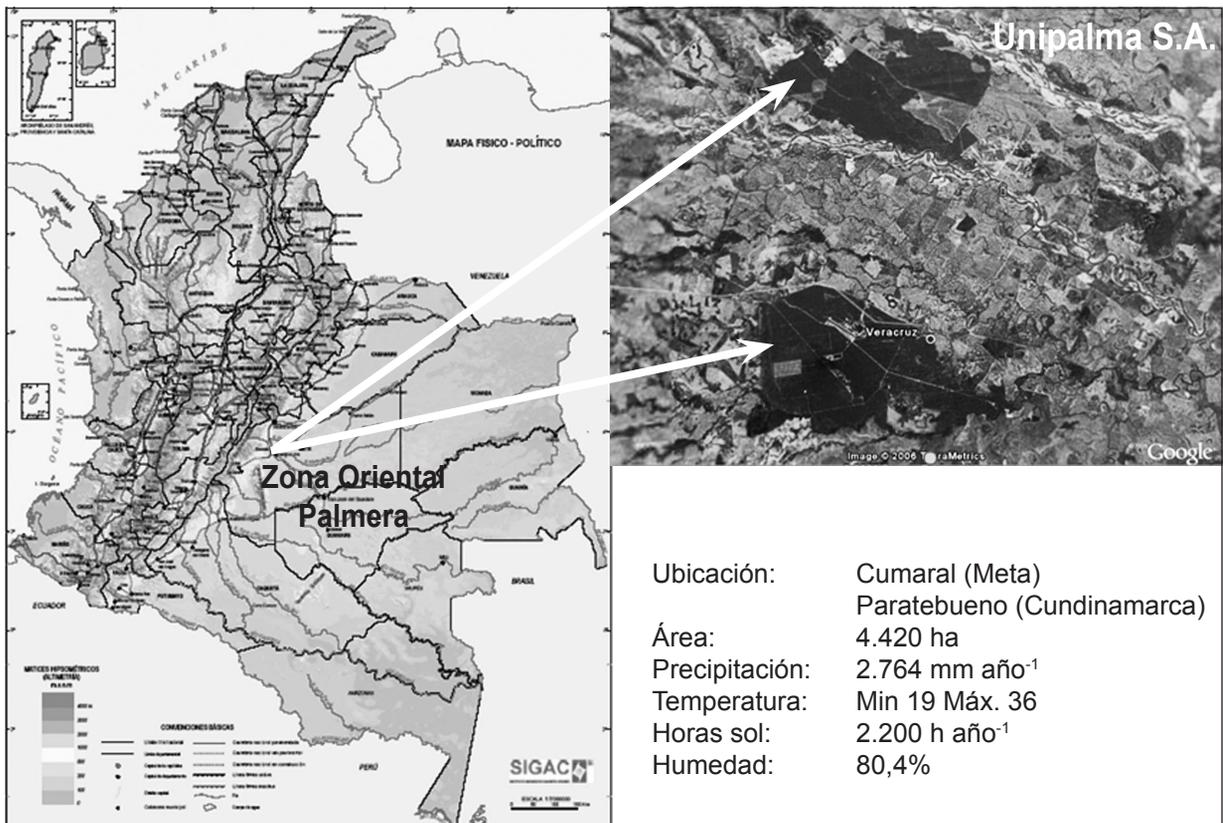
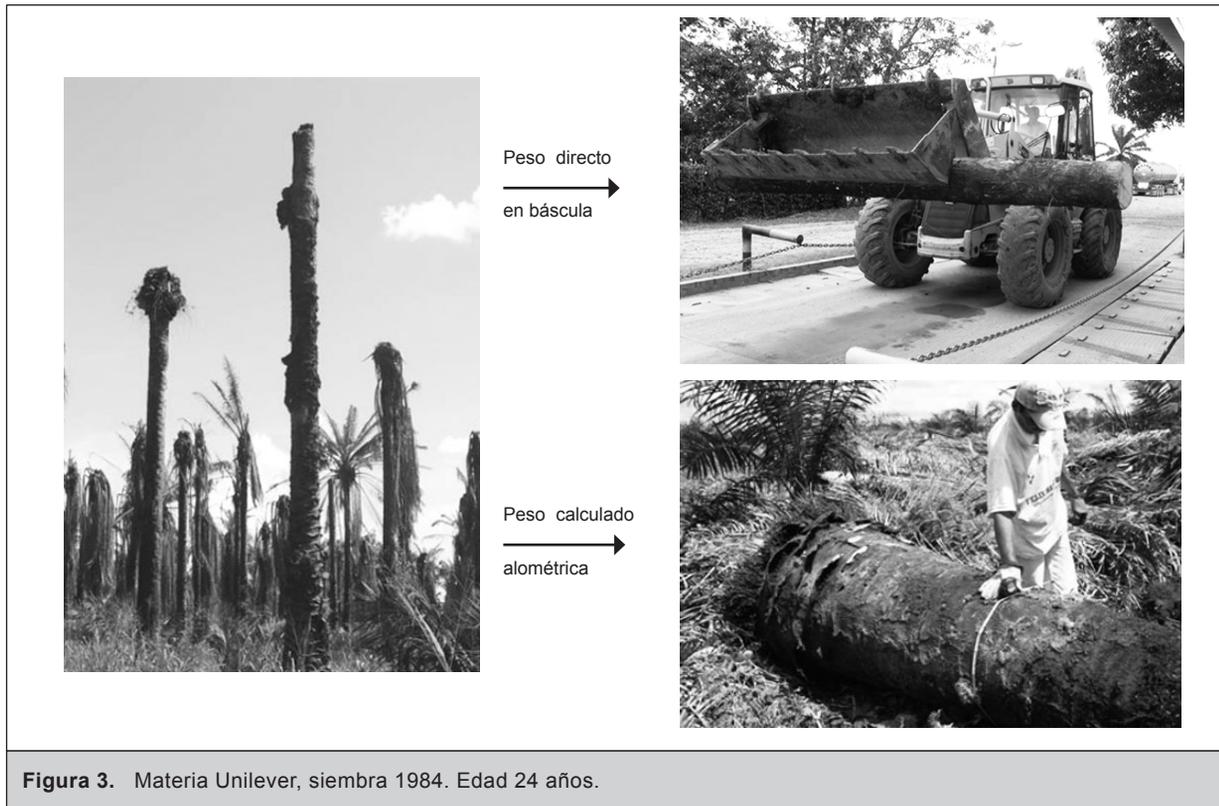


Figura 2. Ubicación de Unipalma S.A.



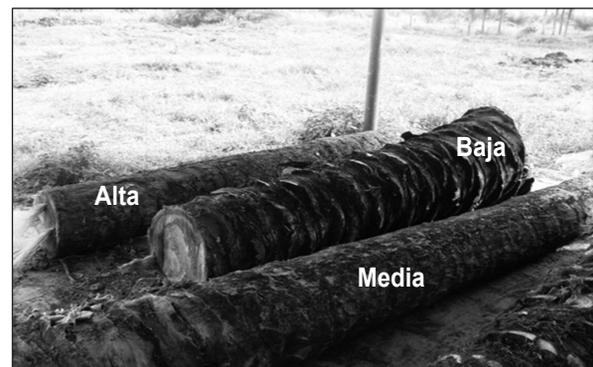
**Figura 3.** Materia Unilever, siembra 1984. Edad 24 años.

carbón en 7 hectáreas de palma recién sembradas y en fase de renovación con y sin biocarbón, y en el desarrollo de una cobertura vegetal dentro del agrosistema de la palma.

Se utilizó material Unilever sembrado en 1984, o sea con una edad de 24 años (Figura 3). Se tomaron 15 estípites de palma seleccionados al azar, se cortaron a ras de suelo y se seccionaron en partes alta, media y baja. Se utilizaron dos métodos para determinar el peso seco: el peso directo en báscula y el peso calculado utilizando las fórmulas alométricas de Corley.

En la Figura 4 se ven las secciones alta, media y baja; guiados por el diámetro del estípite en peso directo en báscula principalmente, se tomaron ocho estípites que fueron submuestreados, para obtener un total de 72 submuestras, las cuales fueron llevadas al horno a 105 °C. Para el método geométrico se procedió de igual manera para 63 muestras, que se llevaron con el fin de determinar el contenido de humedad.

La Tabla 1 muestra los resultados del estudio. Se observa que los estípites de este material tuvieron una altura media de 10,1 metro con un peso en húmedo de 1,37 toneladas por estípite y un contenido promedio



**Figura 4.** Secciones del estípite.

de humedad gravimétrica en el momento de la tala de 68%. Se presentaron diferencias estadísticamente significativas en el contenido de humedad entre el estípite de la parte baja (64), que es menor frente a las otras dos secciones (72 y 70 en la alta y la media, respectivamente). Además, el volumen de uno de esos estípites fue de 1,6 m<sup>3</sup>, y la parte baja, a pesar de ser la de menor longitud, participa con una mayor proporción del volumen con 0,63 m<sup>3</sup>.

Era necesario también determinar la densidad aparente de este material, para lo cual se utilizaron dos métodos:



**Tabla 1. Resultados**

Altura, humedad gravimétrica. Volumen del estípite						
	Peso estípite en húmedo (kg)	Altura (m)	Humedad gravimétrica (%)			Promedio
			Alta	Media	Baja	
Promedio	1.370	10,1	72a	70a	64b	68
Desvest	198,3	1,0	5,7	3,4	2,4	3,4
CV %	14,5	9,6	8,0	4,9	3,8	5,0

Sección	Alta	Media	Baja	Total
Longitud (m)	3,0	4,3	2,9	10,2
Diámetro (m)	0,4	0,4	0,6	
Volumen estípite (m3)	0,36	0,58	0,63	1,6

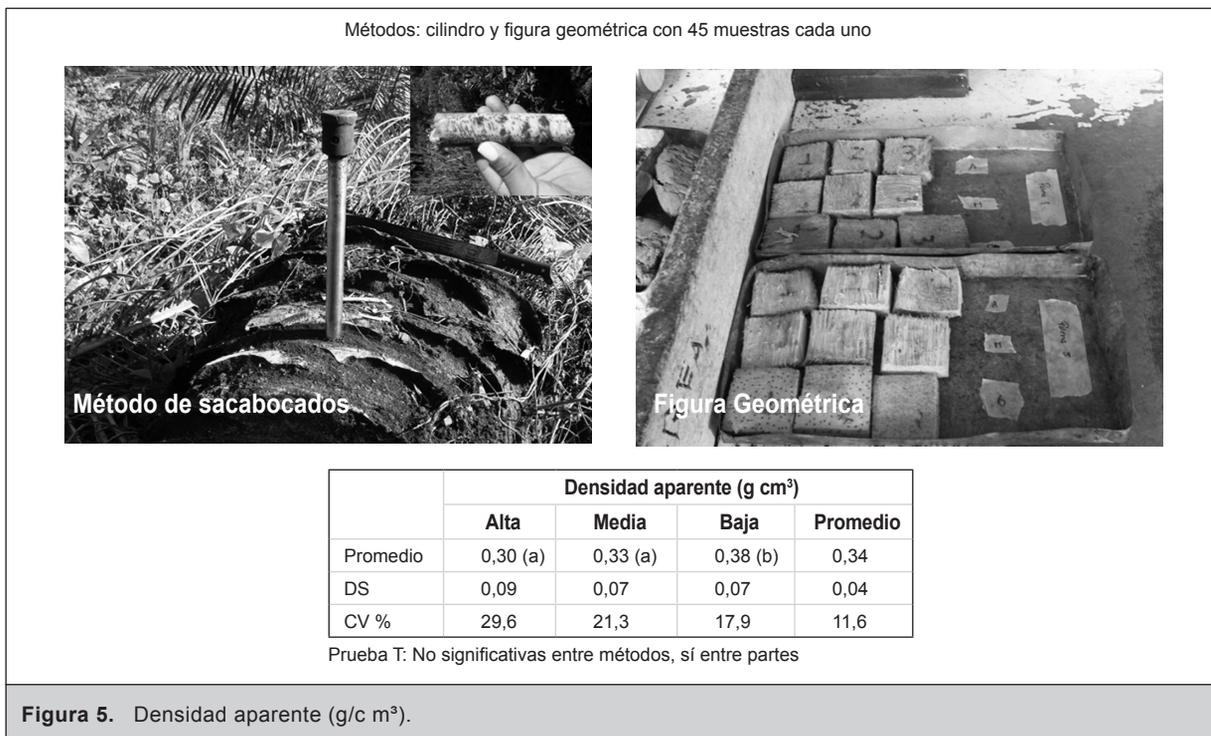
el del cilindro o sacabocado y el de la figura geométrica, para un total de 45 submuestras por método.

El análisis estadístico mostró que no hubo diferencias entre los dos métodos para determinar esta propiedad, dando como resultado que este material de estípite tiene una densidad promedio de 0,34 g/cm<sup>3</sup>, en el que la densidad del estípite en la parte baja es mayor y significativo, con 0,38 g/cm<sup>3</sup> (Figura 5).

Una vez obtenidos estos datos, es decir el volumen, la densidad aparente, el contenido de humedad, etc., se procedió a determinar la biomasa seca por hectárea. Los resultados se muestran en la Figura 6.

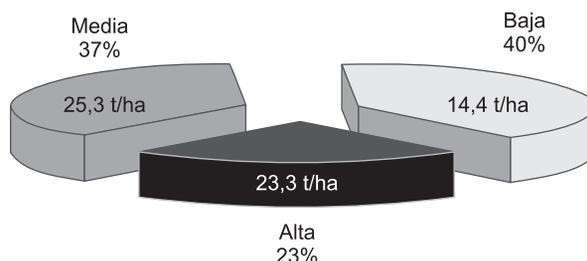
Mediante la utilización del método directo de medición de palmas en báscula se encontró que cada estípite tuvo un peso medio de 440 kg de masa seca por estípite. Al llevarlo a una población de 143 palmas por hectárea, se obtuvo un registro de 62,9 toneladas por hectárea de materia seca solamente proveniente de los estípites.

Al compararlo con el método alométrico, se encontró 10% de incremento utilizando las fórmulas del cilindro; pero se sabe que estadísticamente son métodos similares, de acuerdo con los resultados encontrados previamente por Khalid Haron y otros autores.



	Masa seca de palmas pesadas en báscula		Masa seca por el método geométrico de cilindros	
	Masa seca	Masa seca	Masa seca	Masa seca
	(kg /estípite)	(t ha <sup>-1</sup> )	(kg /estípite)	(t ha <sup>-1</sup> )
Promedio	440,1	62,9	485,0	69,4
DS	42,7	6,1	39,6	5,7
CV (%)	9,7	9,7	8,2	8,2

Prueba T: No significativas entre métodos



**Figura 6.** Estimación de la biomasa seca (143 palmas/ha).

En la Tabla 2 se observa una relación de los métodos de laboratorio, según el parámetro utilizado. Se procedió a la caracterización química del estípite (Tabla 3), para lo cual se tomaron 13 muestras por cada sección de estípite, las mismas que fueron analizadas siguiendo los métodos y procedimientos de Laboratorio de Análisis Foliar y de Suelos de Cenipalma con unas contra-muestras enviadas al laboratorio de la Universidad Industrial de Santander.

Como resultado en términos de concentración de elementos, para el carbono orgánico se encontró una concentración promedio de 48,9%, mientras que potasio, nitrógeno, calcio y magnesio fueron los que tuvieron mayores concentraciones.

Al compararlos con los contenidos o concentraciones de nutrientes en las tusas o raquis, se concluyó que

el estípite presenta una concentración similar a la de aquellos, tanto en los datos de Malasia como en los datos sobre Colombia producidos por Román y Munévar en 1999.

En cuanto al potasio en el estípite, es un poco menor al que se encuentra en las tusas, pero es interesante ver cómo en términos de concentración se presenta mayor concentración de calcio y magnesio en el estípite que en estas tusas o raquis.

En almacenamiento se encontró un nivel medio de 30,8 toneladas de carbono orgánico por hectárea, con una mínima de 28 toneladas y una máxima de 34 (Figura 7). El almacenamiento para los demás nutrientes alcanzó valores de 509 kilogramos de nitrógeno por hectárea, 58,7 kg de fósforo y 840,8 kg de potasio.

Al tomar como base un estudio realizado por el Dr. Khalid Haron, y asimilando que el estípite contribuye con el 48% de la biomasa por hectárea, este almacenamiento podría alcanzar 1.061 kilogramos de nitrógeno por hectárea y 1.751 kg de potasio (Tabla 4).

No obstante, en este trabajo el Dr. Khalid asimila el 48% tomando en cuenta todas las bases peciolares, lo cual no fue el caso en este estudio y, por el contrario, este material de palma en el momento de la renovación no los conserva; por tanto, el estípite contribuiría con el 60% de la biomasa total y con un almacenamiento total de nitrógeno de 849 kg y de 1.401 kg de potasio, bastante alto, y superior a los otros datos registrados en la literatura.

**Tabla 2.** Métodos de laboratorio para la caracterización química del estípite

Parámetro	Método
Nitrógeno	Colorimétrico
K, Ca, Mg, Cu, Mn, Zn, Fe	Digestión húmeda con ácido sulfúrico. Absorción atómica
Fósforo	Colorimétrico
Boro	Colorimétrico (Azometina H)
Azufre	Turbidimetría
Cloro	Titulación potenciométrica
Silicio	Absorción atómica

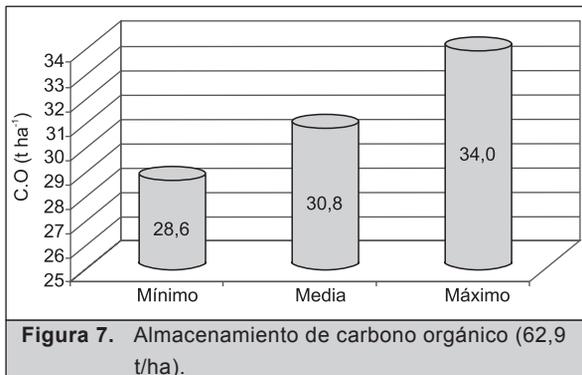


**Tabla 3.** Resultados de la caracterización química del estípite

Sección	Muestras	Elementos (%)						
		C.O	N	P	K	Ca	Mg	S
Alta	13	47,98	0,9	0,12	1,47	0,24	0,15	0,15 a
Media	13	49,31	0,69	0,08	1,28	0,25	0,24	0,09 a
Baja	13	49,50	0,84	0,08	1,26	0,20	0,23	0,08 b
Promedio		48,93	0,81	0,09	1,34	0,23	0,21	0,11
Min		45,46	0,37	0,01	0,40	0,10	0,06	0,05
Max		53,99	2,23	0,25	2,84	0,46	0,41	0,20

Muestras	Elementos (%)					
	C.O	N	P	K	Ca	Mg
Trozos de pino	57,1	0,10	0,01	0,06	0,08	0,02
Malasia- Tusas o raquis*		0,80	0,10	2,40	0,18	0,18
Colombia- Tusas o raquis**		0,73	0,21	1,70	0,21	0,21

Gaskin, Steiner, Das, 2008; \*\* Roman, Munévar, 1999; \* Rebshew, 2003



**Figura 7.** Almacenamiento de carbono orgánico (62,9 t/ha).

Como ejercicio teórico, si fuera posible tomar todos esos nutrientes y convertirlos en fuentes fertilizantes se lograría un ahorro en fuentes de nutrientes fácilmente disponibles de US\$2.948 por hectárea.

La segunda fase fue la generación del biocarbón. El objetivo del estudio no fue entrar a trabajar directamente en el método y en el proceso directo de generar el biocarbón. No obstante, para obtener la biomasa se procedió a utilizar dos métodos artesanales: el método de la fosa de 1 metro de profundidad por 4 de largo y 2 de ancho, y el de la pila, que es un amontonamiento (Figura 8). En ambos métodos es fundamental la organización o arreglo de los estípites de tal manera que entre la menor cantidad de oxígeno, después se tapan con unas cubiertas vegetales y también con suelo, y se procede a encender.

Como producto de este proceso de carbonización, se obtienen trozos de biocarbón, trozos parcialmente

**Tabla 4.** Almacenamiento varios elementos

Elemento	Almacenamiento (kg ha <sup>-1</sup> )		
	Mínimo	Máximo	Media
N	232,7	1402,7	509,5
P	6,3	157,3	58,7
K	251,6	1786,4	840,8
Ca	62,9	289,3	144,7
Mg	37,7	257,9	130,0
S	31,5	125,8	67,1
B	0,1	1,1	0,5
Fe	3,6	134,2	16,3
Cu	0,0	3,9	0,4
Mn	2,3	11,7	7,3
Zn	0,01	4,5	1,4
Cl	232,7	1138,5	492,3

	Si estípite =48%	Si estípite =60%
	kg ha <sup>-1</sup>	kg ha <sup>-1</sup>
C.O	64098	51279
N	1061	849
P	122	98
K	1751	1401
Ca	301	241
Mg	271	217
S	140	112

Khalid et al. 2000

carbonizados, que se denominan requemas y cenizas (Figura 9).

Producción de biocarbón: Dos métodos artesanales de pirólisis.  
Método de la fosa: 1 m de profundidad, 4 m de largo y 2 m de ancho.



Figura 8. Generación del biocarbón utilizando el método de la fosa.

Para evaluar la tasa de conversión de estípite a biocarbón se utilizó la cantidad de biocarbón producido en kilogramos de masa seca sobre la cantidad total de estípite que entró en el proceso, también en kilogramos de masa seca por 100. Una vez producido el biocarbón se le tomaron muestras y se obtuvo el contenido de humedad ante este biocarbón, el cual osciló entre 4,7 y 5,4%.

En las tablas 5 y 6 se presentan las tablas de conversión para los dos métodos utilizados. El método de la fosa no fue tan eficiente en la conversión; se hicieron muchos ensayos, pasando por tasa del 17% hasta el mejor resultado obtenido que fue de 29% de conversión de estípite a biocarbón.

El método que resultó ser más eficiente fue el método de la pila que, después de muchos intentos y de



Biocarbón

Trozos parcialmente carbonizados

Cenizas

Humedad del biocarbón, después del proceso de carbonización: 5,4%

Figura 9. Productos de la conversión.



**Tabla 5.** Tasa de conversión. Método de la fosa

Tasa de conversión (%) de estípite a biocarbón método de la fosa								
Ensayo	Humedad %	Cobertura	Materia Prima (Kg)		Productos (Kg)			Conversión (%)
			Estípite (en húmedo)	Estípite (en seco)	Biocarbón	Trozos parcialmente carbonizados	Cenizas	
1	68,3	Kudzú,	3480	1102	187	30	61	17
2	61,2	Kudzú, Pasto	1468	570	111	174	53	19,4
3	68,3	Kudzú, Pasto	2253	714	207	110	56	29

**Tabla 6.** Tasa de conversión. Método de la pila

Tasa de conversión (%) de estípite a biocarbón método de la pila								
Ensayo	Humedad %	Cobertura	Materia Prima (kg)		Productos (kg)			Conversión (%)
			Estípite (en húmedo)	Estípite (en seco)	Biocarbón	Trozos parcialmente carbonizados	Cenizas	
4	36,2	Pasto, Fibra	400	255	98	20	5	38,2
5	47,3	Pasto, Fibra	400	211	107	2	3	50,5
6	55,9	Pasto, Fibra	400	176	91	9	2	51,6

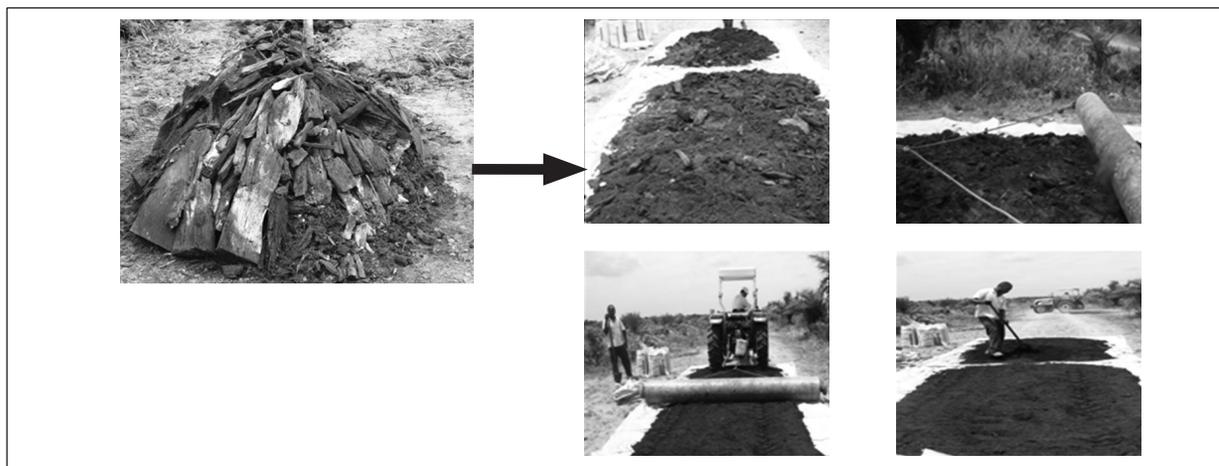
32,5 t ha<sup>-1</sup> de biocarbón

mejoramientos en las coberturas, pasó de 15 a 20, y finalmente se logró 51,6% de conversión, lo cual lleva a un cálculo de una producción total de 32,5 toneladas por hectárea de biocarbón.

El carbón sale en forma de trozos gruesos que deben ser triturados para facilitar su aplicación al suelo. Se emplearon varios métodos de trituración y finalmente

se trabajó con un rodillo de aproximadamente una tonelada de peso (Figura 10).

Se quiso medir cuál era la distribución granulométrica del biocarbón obtenido. Para el efecto se utilizaron dos métodos de distribución: por tamizado mecánico y el del hidrómetro de Bouyoucos. Se encontró que los triturados obtenidos de biocarbón estaban compues-



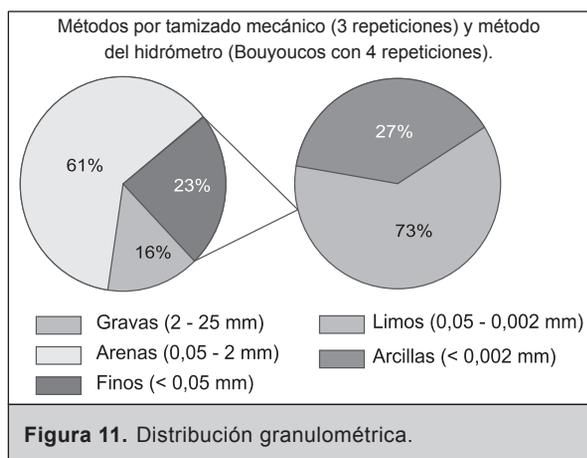
**Figura 10.** Trituración con rodillo.

tos principalmente (61%) por partículas del tamaño de las arenas, esto es, partículas de entre 0,05 y 2 mm. En menor proporción, partículas grandes del tamaño de las gravas menores de 25 mm, y 23%, de lo que en suelos se denomina contenido de tierra fina (Figura 11).

Al auscultar detenidamente la tierra fina, se encontró que el 73% de las partículas correspondieron a partículas de tamaño de los limos y el 27% restante a partículas inferiores a 0,002 milímetros.

La densidad aparente, la real y la porosidad se determinaron por el método del cilindro para los triturados, y por el método de la parafina para los trozos de biocarbón; la densidad real se calculó por el método del picnómetro. Este material de biocarbón del estípite de palma presentó una densidad de 0,45 g y una porosidad total de 71%, que es considerada bastante alta para este tipo.

La caracterización química del biocarbón, cuyos resultados se muestran en la Tabla 7, se efectuó en el laboratorio de carbones del Instituto de Investigación e Información Geocientífica (Ingeominas) que es el



encargado de todos estos análisis, tanto de carbón de origen vegetal como carbón de origen mineral.

Como resultado, en términos de concentración de nutrientes, se encontró que en ese biocarbón el carbono presenta una concentración de 72,4%, nitrógeno de 0,82% y fósforo 0,14%. Se quiso comparar con una información del Dr. Steiner con trozos de pino y se determinó que la palma de aceite tiene una concentración de carbono muy similar a la de aquel, pero muchísimo mayor de nitrógeno, fósforo, calcio, magnesio, potasio y azufre.

Al hacer un análisis y un parangón entre las concentraciones de nutrientes en los estípites y el biocarbón, claramente se observa que el proceso de carbonización conduce a la concentración de nutrientes en el material de biocarbón. Por ejemplo, el caso del hierro, que es uno de los más dramáticos, en el estípite se presentaban concentraciones de 258 ppm y en el biocarbón pasó a 502 ppm (Figura 12).

En términos de almacenamiento de carbono en el biocarbón, utilizando las concentraciones mínima, promedio y máxima, se encuentra que en una hectárea de biomasa, o sea de la conversión de estípites a biocarbón, se logró almacenar 23,5 toneladas, convirtiendo esa biomasa a biocarbón, con un máximo de 27 toneladas y un mínimo de 17 (Figura 13).

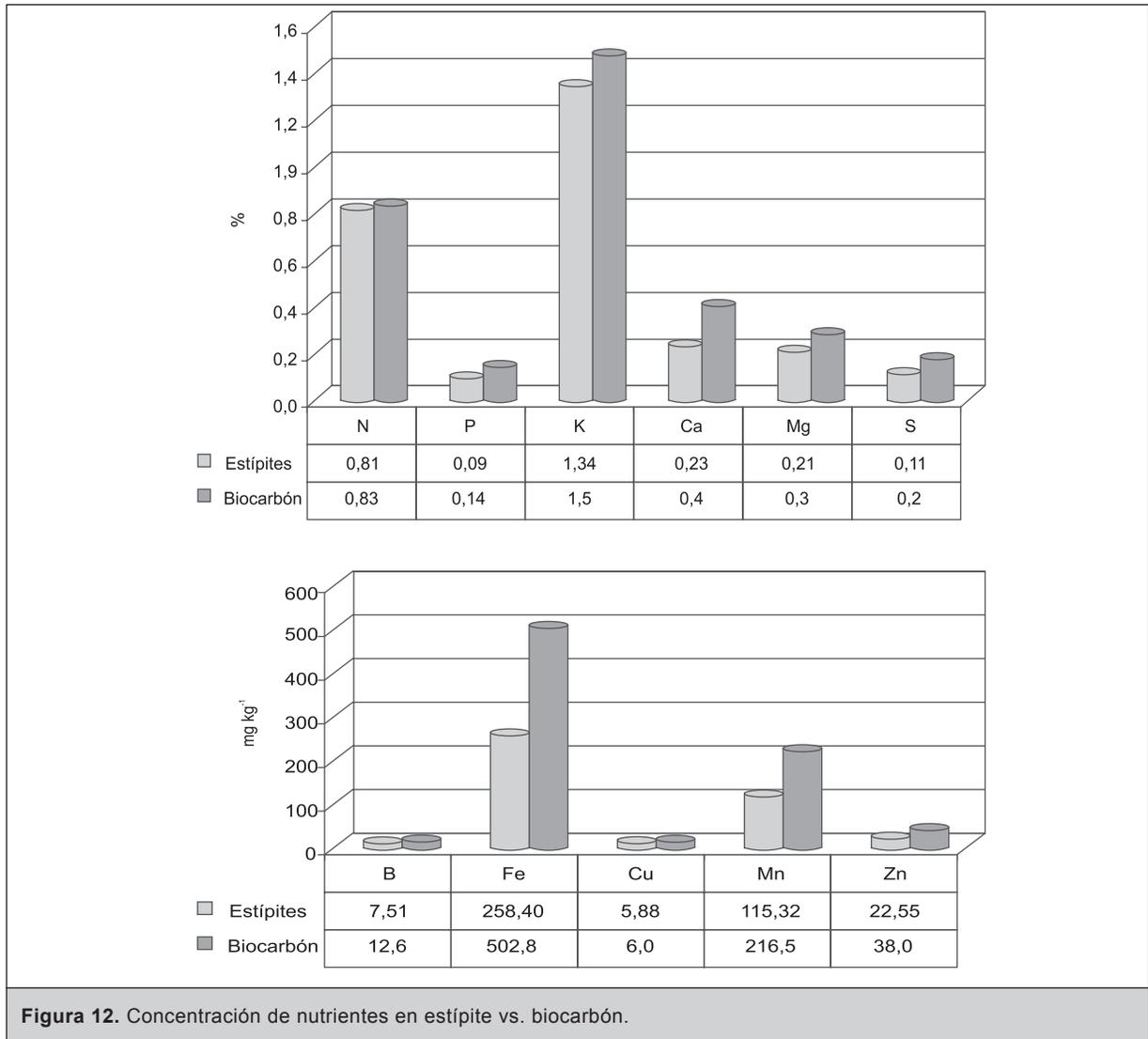
La Tabla 8 permite observar el factor almacenamiento de los demás nutrientes. Es pertinente recordar las concentraciones y almacenamientos obtenidos en los estípites en fresco para compararlos con los generados en el biocarbón. En nitrógeno se obtuvo un almacenamiento de 45,8 kg de fósforo y 476 kg de potasio.

Cuando se analiza el grado de conservación de esos elementos, es decir, de estípites a biocarbón, clara-

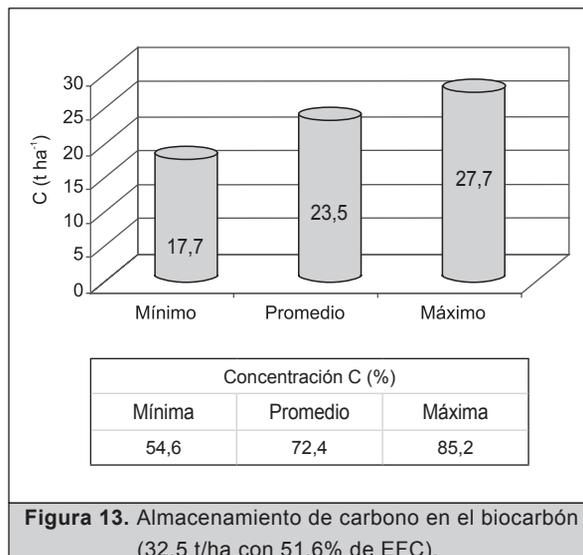
**Tabla 7.** Caracterización química del biocarbón

Muestras	Elementos (%)						
	C	N	P	K	Ca	Mg	S
Palma de aceite	72,39	0,83	0,14	1,47	0,4	0,28	0,17
Trozos de pino	73,9	0,26	0,02	0,145	0,171	0,06	0,001
Cáscaras de maní	73,2	2,43	0,18	1,52	0,46	0,22	0,056
Cáscara de coco	92,3	0,47				0,04	
Cáscara de arroz	52,6	0,57				0,06	

Antal, M. 2003; Gaskim, Steiner, Das, 2006\*



**Figura 12.** Concentración de nutrientes en estípites vs. biocarbón.



**Figura 13.** Almacenamiento de carbono en el biocarbón (32,5 t/ha con 51,6% de EFC).

mente se puede observar que hay una parte que se conserva en gran medida en el biocarbón, pero hay otra parte de los nutrientes que se conserva o pasa a otros productos del proceso, como son las cenizas y las requemas, y muchas veces en forma de gases.

El resultado para los ensayos indica que el carbono se conservó en 76%. Sin embargo, y este es uno de los temas que más se ha discutido con el Dr. Christopher Steiner, se han obtenido diferentes resultados en diferentes ensayos, pasando por conservaciones de carbono que partieron en el 55%, pasaron luego a 69% y finalmente arrojaron el 76%; este, no obstante, es un tema que se debe seguir siendo estudiado.

Por otro lado, también fue posible ver cómo, según lo esperado, el nitrógeno se conservó en 52% y el

Tabla 8. Almacenamiento de nutrientes en el biocarbón (32,5 t/ha con 51,6% de EFC)			
Elemento	Mínimo	Máximo	Media
N	142,8	545,3	269,0
P	23,4	107,1	45,8
K	169,7	1674,1	476,2
Ca	36,3	178,5	129,3
Mg	23,6	136,3	91,7
S	9,0	178,5	55,1
B	0,02	1,0	0,4
Fe	8,9	24,4	16,3
Cu	0,001	0,4	0,2
Mn	3,5	10,8	7,0
Zn	0,3	1,9	1,2
Na	8,4	82,8	41,7
Al	12,6	616,7	162,8

potasio en 56%, pasando muy seguramente el 43% de la cantidad de potasio a las cenizas; a propósito, hay que recordar que era una práctica del pasado la de llevar a ceniza los materiales orgánicos para con ellos suplir la fertilización potásica. Asimismo, algunos elementos también se conservaron en gran cantidad en el biocarbón, como son, por ejemplo, el manganeso, el hierro y el boro.

Y al realizar el ejercicio teórico de tomar esa realidad en forma de fuentes de nutrientes, se tendría un ahorro de US\$1.721. En este caso, los nutrientes sí pueden ser empacados y envueltos en tulas para ser aplicados al suelo.

La tercera fase de la investigación fue incorporar este biocarbón de estípite a un suelo en el cual se cultivan grandes extensiones de palma, como es el *Typic Dystrudept*, que es un suelo distrófico con muy bajo contenido de nutrientes, ácido y de muy baja capacidad de intercambio catiónico.

Se trabajó el suelo testigo sin biocarbón (Figura 14) y tres dosis: 7,5, 15 y 30 toneladas por hectárea. Se colocaron en el suelo y se incorporaron con rastra de discos.

La Figura 15 es una vista de cómo queda el suelo seis meses después con una dosis de 30 toneladas por hectárea. Se hicieron lecturas a los tres, seis y nueve meses, determinando densidad real, densidad aparente y porosidad; se tienen datos de infiltración y conductividad hidráulica.



Figura 14. Incorporación del biocarbón con rastra de discos.



Figura 15. Incorporación del biocarbón con rastra de discos.

Los parámetros utilizados indican que a medida que aumenta la dosis de biocarbón en mezcla con el suelo, disminuye la densidad aparente del suelo original y aumenta consecuentemente la porosidad; sin embargo, estas diferencias no fueron estadísticamente significativas, pero esta tendencia se presentó a los tres, seis y nueve meses de evaluación.

Cuando se analizan los cambios que se producen en las concentraciones de nutrientes en este suelo y para el pH, se encuentra que para la capacidad de intercambio catiónico no se presentaron diferencias estadísticamente significativas, pero sí para la acidez y el aluminio intercambiable, disminuyendo a medida que se aumentó la dosis de biocarbón. Se pudo observar que de 0,7 mEq por 100 g de suelo pasó a una acidez de 0,5 a 0,1, y lo mismo sucedió con el aluminio. De tal manera que con una dosis de 30 toneladas por

**Tabla 9.** Efecto según diversas dosis

Dosis Biocarbón (t ha <sup>-1</sup> )	Ca (cmol (+) kg <sup>-1</sup> )		Mg (cmol (+) kg <sup>-1</sup> )		K cmol (+) kg <sup>-1</sup>		P (mg kg <sup>-1</sup> )	
	Mes 3	Mes 6	Mes 3	Mes 6	Mes 3	Mes 6	Mes 3	Mes 6
0	0,99	1,03	1,3	1,33	0,18	0,17	14,5	14,9
7,5	1,03	1,04	1,32	1,43	0,39	0,27	22,7	16,5
15	1,05	1,12	1,37	1,44	0,53	0,36	22,3	17,6
30	1,02	1,23	1,37	1,61	0,57	0,57	27,6	23,7

hectárea se llegó a un límite inferior al límite inferior de detección del método de laboratorio.

En los demás elementos, esto es calcio, magnesio, azufre y boro, no se presentaron diferencias estadísticamente significativas debidas a los tratamientos, pero sí se presentaron en el caso del potasio y del fósforo. Para el potasio, en todos los casos la aplicación de biocarbón incrementó la concentración de potasio intercambiable, siendo más alto este incremento con la dosis de 30 toneladas por hectárea. Esto se mantuvo así en la evaluación de los tres, seis y nueve meses.

Igual circunstancia se observó para el fósforo disponible en el suelo, incrementado notoriamente después de los seis meses de aplicado el biocarbón, al pasar de una concentración de 5 ppm a concentraciones de 20 y 22 ppm a los nueve meses.

Para corroborar esta información también se realizó una prueba de incubación en laboratorio con lecturas a los tres y seis meses. Esta prueba de incubación verificó y confirmó lo que se había encontrado durante los ensayos en el campo.

La Tabla 9 permite apreciar cómo se pasó de 0,18 mEq de potasio en el suelo sin tratamiento con biocarbón, a 0,57 mEq de potasio después de aplicar la dosis de 30 toneladas por hectárea, y el fósforo se incrementó a 27 y 23 ppm.

## Conclusiones

- Se generó información para Colombia sobre la cantidad de biomasa y reserva de nutrientes en áreas de renovación. La biomasa en estípites fue de 63 t/ha con una reserva de nutrientes de 509 kg de N, 58 kg de P, 841 kg de K, 130 kg de Mg, 143 kg de Ca y 66 kg de S.
- En los estípites hubo un almacenamiento medio de 30,8 t/ha de carbono orgánico.

- El método más eficiente fue el de pila, con una tasa de conversión de biomasa a biocarbón (51,6%) con menor tiempo de pirólisis (4 a 5 días) y una producción de 32,5 t/ha de biocarbón.
- Se generó información propia sobre las cualidades del biocarbón del estípite proveniente de palma de aceite. La reserva total de nutrientes ascendió a 269 kg de N, 46 kg de P, 476,2 kg de K, 92 kg de Mg, 129 kg de Ca y 55 kg de S.
- En el biocarbón hubo un almacenamiento medio de 23,5 t/ha de carbono.
- En el biocarbón se conservó entre el 52 y el 76% del carbono almacenado en el estípite.
- La incorporación del biocarbón en diferentes dosis afectó de manera significativa las concentraciones de K y P; igualmente disminuyeron la acidez y el Al intercambiable.

## Recomendaciones

Es importante continuar en la búsqueda de un método más eficiente para la producción del biocarbón y su aplicación en el suelo, de tal manera que sea rentable para las plantaciones.

Se recomienda continuar con la evaluación del biocarbón como mejorador de las condiciones fisicoquímicas y biológicas del suelo a más largo plazo, porque en el estudio realizado solamente se incluyó un panorama de nueve meses; el próximo año se efectuarán las siguientes evaluaciones, pero muy probablemente a más largo plazo se podría seguir encontrando adicionales beneficios de este material.

Finalmente, se recomienda evaluar el efecto del biocarbón en el desarrollo y producción del cultivo de la palma de aceite.