

ARTÍCULO DE INVESTIGACIÓN

## Impacto de la fertilización mineral y enmiendas sobre *Gmelina arborea* y *Schizolobium parahyba* en suelos andesíticos de la Amazonía Ecuatoriana

Impact of mineral fertilization and amendments on *Gmelina arborea* and *Schizolobium parahyba* in andesitic soils of the Ecuadorian Amazon

Romney Marconi Mora Erraez<sup>1</sup>, Carlos Valarezo Manosalva<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Docente Investigador de la Universidad Nacional de Loja, Loja, Ecuador, CP 110150

<sup>2</sup> Investigador Honorario del proyecto Gestión de la fertilidad del suelo con enmiendas de carbón vegetal en plantaciones de árboles maderables en el sur de la Amazonía ecuatoriana, Universidad Nacional de Loja, Loja, Ecuador, CP 110150

E-mail: marconiunl63@hotmail.es

### RESUMEN

El estudio se realizó en el sitio Los Zapotes, parroquia Panguintza, cantón Centinela del Cóndor de la provincia de Zamora Chinchipe-Ecuador, su objetivo fue determinar el efecto de la fertilización mineral, enmiendas con carbón vegetal y cal sobre el desarrollo inicial y almacenamiento de carbono de las especies *Gmelina arborea* Roxb. ex Sm. y *Schizolobium parahyba* (Vell.) S.F. Blake. El arreglo del experimento fue en parcelas sub-subdivididas (2x2x3) distribuidas en bloques al azar, con tres repeticiones y doce tratamientos que corresponden a la combinación de tres factores (a - dos especies arbóreas: Melina (*G. arborea*) y Pachaco (*S. parahyba*); b - sin y con fertilización). A los dos años la fertilización determinó diferencias significativas en las variables altura, diámetro basal y diámetro de altura del pecho en las dos especies. Las aplicaciones de 3 y 6 t ha<sup>-1</sup> de carbón vegetal no tuvieron efectos sobre el crecimiento en las especies arbóreas. En todos los tratamientos la biomasa aérea de Melina fue mayor a la del Pachaco. Hubo mayor acumulación de carbono en el suelo y en la biomasa en los tratamientos aplicados a Melina.

**Palabras clave:** fertilidad, Melina, Pachaco

### ABSTRACT

The research was realized at "Los Zapotes" site, "Panguintza" parish, "Centinela del Cóndor" canton of "Zamora Chinchipe" province, with the objective of generating alternatives for commercial reforestation of the degraded areas by the effect of cattle raising. The arrangement of the experiment was in subdivided plots (2x2x3) distributed in random blocks, with three repetitions and twelve treatments that correspond to the combination of three factors: a) two arboreal species: *Gmelina arborea* Roxb. ex Sm. and *Schizolobium parahyba* (Vell.) S.F. Blak; b) without and with fertilization. After two years the fertilization determined significant differences in the variables height, basal diameter and diameter of chest height in the two species. The applications of 3 and 6 t ha<sup>-1</sup> of vegetal coal did not have effects on the growth of arboreal

species. In all treatments the aerial biomass of Melina was higher than the Pachaco. There was also higher accumulation of carbon in the soil and in the biomass in the treatments applied to the Melina.

**Keywords:** fertility, Melina, Pachaco

## INTRODUCCIÓN

La conversión del bosque primario a pastizal interrumpe el reciclaje natural de los elementos nutritivos en este ecosistema, los cuales se lixivian por efecto de la abundante lluvia. Ello conlleva a una mineralización acelerada de la reserva de materia orgánica y se instala un proceso de erosión laminar hídrica, por lo que en un tiempo relativamente corto se degrada la fertilidad del suelo y las tierras se convierten en marginales. De esta forma se constituyen “desiertos de fertilidad”, que se caracterizan por una fuerte acidez, presencia de aluminio tóxico, y la baja disponibilidad de N, P, K, Mg, Zn, B, entre otros. El daño se estima alrededor del 50 % en las áreas del pie de monte, las colinas y montañas bajas (alrededor de 50 000 ha) de la Amazonía ecuatoriana, cifra que desafortunadamente sigue creciendo a expensas de la destrucción del bosque primario (Valarezo, 2004).

Desde la perspectiva de la reforestación comercial, la zona presenta un gran potencial para la producción de biomasa de especies maderables como la Melina (*Gmelina arborea* Roxb. ex Sm.) y Pachaco (*Schizolobium parahyba* (Vell.) S.F. Blake.); sin embargo, en las laderas degradadas la baja fertilidad y la fuerte acidez de los suelos constituyen sus principales limitaciones (Valarezo et al., 2010). Por otra parte, frente al Cambio Climático Antropogénico, atribuido al calentamiento global por el incremento de CO<sub>2</sub> en la atmósfera, surge la necesidad de conocer la capacidad de fijación de carbono en las especies maderables promisorias para la repoblación forestal comercial.

Los suelos de ladera del corredor fluvial Zamora-Nangaritza, donde se encuentra el cantón Centinela del Cóndor, son profundos, ácidos y de baja fertilidad; el tipo de material parental del que se han formado, tiene una incidencia notable en su potencial productivo.

El objetivo del presente trabajo fue determinar el efecto de la fertilización mineral, enmiendas con carbón vegetal y cal sobre el desarrollo inicial y almacenamiento de carbono en *G. arborea* y *S. parahyba* en el cantón Centinela del

Cóndor de la zona sur de la Región Amazónica Ecuatoriana.

## MATERIALES Y MÉTODOS

La investigación se realizó en la finca Los Zapotes, en la parroquia Panguinza del cantón Centinela del Cóndor, en las coordenadas 3° 54' 58" Sur y 78° 49' 20" Oeste, en un rango de altitud de 875 a 917 msnm. En la zona la temperatura fluctúa entre los 20,8 °C y 22,6 °C con una media mensual es de 22 °C; la precipitación media anual es de 1945 mm, y humedad relativa media mensual de 88 % (Valarezo et al., 2010).

### Diseño experimental

En agosto 2009, se inició un experimento trifactorial combinando dos especies arbóreas, tres variantes de fertilización y dos niveles de enmiendas con carbón vegetal. Las 12 combinaciones se distribuyeron al azar en un diseño trifactorial 2x3x2 con tres repeticiones. Las dos especies arbóreas fueron *G. arborea* (Melina) y *S. parahyba* (Pachaco); los tres niveles de fertilización correspondieron a la fertilización mineral (200, 150, 200, 118, 229 y 40 kg ha<sup>-1</sup> de N, P, K, Mg, S, y Zn, respectivamente), Carbonato de Calcio a 3 t ha<sup>-1</sup> y No fertilización; los dos niveles de enmiendas con carbón correspondieron a las dosis de 3 y 6 t ha<sup>-1</sup>.

Las características de las unidades experimentales son las siguientes: tres repeticiones (bloques), número de plantas por subparcela de *G. arborea* y *S. parahyba*: 288. El área de la parcela grande y de la subparcela correspondió 864 y 144 m<sup>2</sup> respectivamente y el área neta experimental: 5184 m<sup>2</sup>. De cada sub-subparcela, del total de los 16 árboles se midieron las variables altura total, el diámetro basal y el diámetro de altura al pecho en los cuatro árboles centrales.

### Medición de Variables Dasométricas

Se evaluó el crecimiento de cuatro árboles de *G. arborea* y *S. parahyba* por parcela. Las

variables registradas fueron: a) altura total (ht), que es la distancia vertical entre el nivel del suelo y la yema terminal más alta del árbol; b) diámetro basal del tallo, medido a 20 cm de altura desde el nivel del suelo; c) diámetro a la altura del pecho, que es una medida estándar que se registra desde el nivel del suelo hasta 130 cm de altura; d) Diámetro de la copa, este parámetro refiere a las distancias entre puntos diametralmente opuestos, se midió por duplicado en dos direcciones perpendiculares: Norte – Sur y Este – Oeste. Se tomó como referencia la proyección de los extremos de la misma sobre el suelo. Con una cinta métrica se midió, en forma de cruz, la distancia entre extremos opuestos según la dirección. Para el análisis posterior se determinó la media entre los valores obtenidos en cada dirección y e) Volumen de la copa, para ello se midieron las variables a los 730 días y se aplicó la fórmula de HOSSFEL.

$$V = \frac{\pi}{4} \times DB^2 \times hf \times f$$

V = Volumen del árbol (m3)

$\pi = 3,1416$

DB= Diámetro basal (m)

hf = Altura de fuste (m)

f = factor de forma, diferente para cada especie, es la relación entre el diámetro basal (m) y el diámetro altura de fuste (m)

De forma general todas las variables se registraron secuencialmente a los 192, 254, 366, 430, 547 y 730 días después de la plantación, acorde con los requisitos para evaluar este tipo de parámetro del Manual de Campo según el Programa Regional de Reducción de Emisiones de la Degradación y Deforestación de Bosques en

Centroamérica y República Dominicana (REDD/CCAD-GIZ, 2014).

### El volumen de los árboles, cuantificación de la biomasa de la copa y su carbono acumulado

Para cuantificar la biomasa de la copa se tomaron cuatro ejemplares de *G. arborea* y *S. parahyba* por cada tratamiento con dimensiones similares. La biomasa a evaluar estuvo constituida por ramas y hojas procedentes de la poda total de cada árbol seleccionado. Esta fue pesada totalmente en cada caso. De la misma se tomó un kilogramo, por cada tratamiento, y fue llevada al laboratorio para secar a 60 °C hasta peso constante. El factor resultante entre peso seco/peso húmedo permitió transformar la biomasa húmeda a seca.

Al determinar el contenido de carbono acumulado por componente evaluado (t ha<sup>-1</sup>) se sumaron los contenidos del elemento químico determinado en cada una de las muestras de biomasa (anteriormente secada) en correspondencia con la especie y tratamiento y el que se encontraba en las capas de suelo de 0 a 25 cm y de 25 a 50 cm. Dicha determinación se realizó a partir de cuatro muestras de suelo de un kilogramo por cada tratamiento procesado mediante pirolisis y analizado en el Elemental Analyser.

### RESULTADOS Y DISCUSIÓN

De forma general las variables dasométricas evaluadas mostraron diferencias significativas entre las parcelas fertilizadas y aquellas a las que no se les realizó este tratamiento. Para el caso de la altura, ambas especies mostraron diferencias a partir de los 254 días después de la plantación (Figura 1). Sin embargo, para los factores carbón vegetal, especies arbóreas y sus interacciones

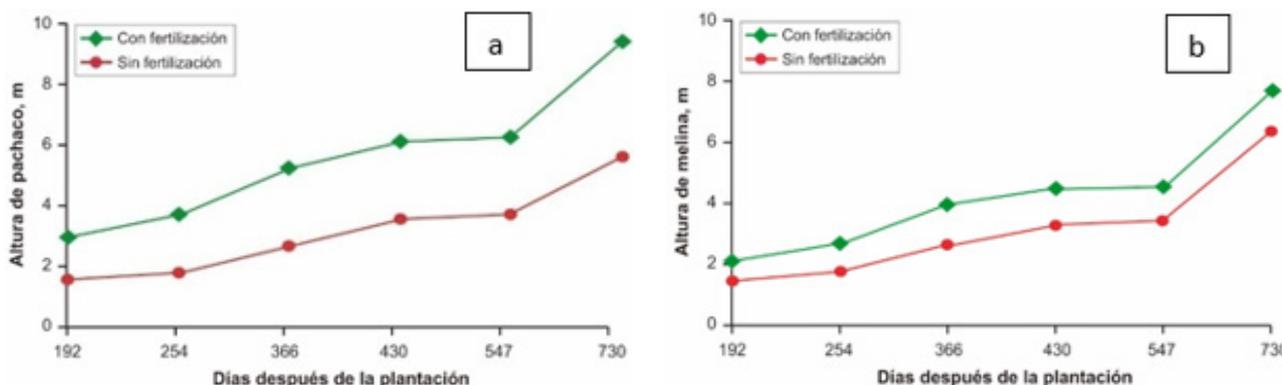


Fig. 1- Evolución de la altura de *G. arborea* (a) y *S. parahyba* (b) sin y con fertilización hasta los 730 días después de la plantación

no se observaron diferencias significativas. Una situación similar reportó Villamagua (2014) en el experimento de Zamora, cuyo suelo se ha formado a partir de granodiorita.

A los dos años después de la plantación, *S. parahyba* alcanzó una altura promedio de 5,4 y 9,2 m, sin y con fertilización, respectivamente, cuya diferencia equivale a un crecimiento de 0,7 y 1,3 cm día<sup>-1</sup>, en su orden. La mayor tasa de crecimiento promedio (1,7 cm día<sup>-1</sup>) se registró entre los 547 días y 730 días en los tratamientos con fertilización. Palacios *et al.* (2015) reporta a esta especie como promisoría para la reforestación dado su rápido crecimiento en altura y calidad fitosanitaria.

Para *G. arborea*, a los dos años después de la plantación, la altura promedio fue de 6,4 y 7,7 m sin y con fertilización, respectivamente, lo que equivale a un crecimiento de 0,9 y 1,1 cm día<sup>-1</sup>, en su orden.

El crecimiento de ambas plantas ha sido analizado bajo condiciones similares por varios autores (Useche, 2013; Villamagua, 2014; Urrego, 2004) sin embargo, en ninguno de estos estudios se alcanzaron los valores de altura de las plantas tan elevados como los obtenidos en esta experiencia.

La diferencia de altura de la planta para todas las fechas de muestreo durante los dos años se atribuye al efecto combinado de los nutrientes aplicados (N, P, K, Ca, Mg, S y Zn) y del CaCO<sub>3</sub> que neutralizó el Al<sup>3+</sup> soluble en el suelo, facilitando la absorción de los nutrientes, especialmente del Fósforo, que es precipitado por la acción del elemento.

### Diámetro basal

Los tratamientos de fertilización indujeron, en ambas especies, un incremento del diámetro basal (DB). Se encontraron diferencias estadísticas

altamente significativas para el factor fertilización en todas las fechas de muestreo, hasta los 730 días desde la plantación. Además, las diferencias en cuando a este factor fueron mucho más evidentes para el caso de la Melina con relación al del Pachaco (Figura 2).

A los dos años después de la plantación de *S. parahyba*, las mediciones tomadas en la zona basal de las plantas que crecieron en las parcelas fertilizadas, mostraron valores promedio de 14,7 cm. En contraste, aquellas que se desarrollaron en suelos sin tratar solo se alcanzó un valor medio de 9,8 cm. Esta diferencia equivale a un incremento del 50 %.

La evolución del valor del DB es lineal, con una tasa de incremento promedio de 0,23 cm mes<sup>-1</sup> en los tratamientos con fertilización entre los 547 y 730 días después de la plantación.

Para *G. arborea* a la misma edad, los valores promedio del DB sin y con fertilización fueron de 6,7 y 16,4 cm, respectivamente; esta diferencia equivale a un incremento del 144 %. La evolución del valor del DB fue lineal en los tratamientos con fertilización, su media en la tasa de incremento fue de 0,55 cm mes<sup>-1</sup> entre los 547 días y 730 días. Según Paillacho (2010) el crecimiento inicial de esta planta con diferentes dosis de potasio en el cantón Santo Domingo, ubicado en la cordillera occidental de los Andes, el diámetro basal debe incrementarse 1 cm mes<sup>-1</sup>. Sin embargo, para ese período de crecimiento, en este estudio se obtuvieron valores por debajo a los reportados por este autor. A pesar de esto, a los dos años las evaluaciones evidenciaron un incremento sustancial respecto a los 14 cm referidos por Paillacho (2010). Tales diferencias evidencian la susceptibilidad de la planta ante la fertilización potásica en un suelo andesítico en la fase inicial

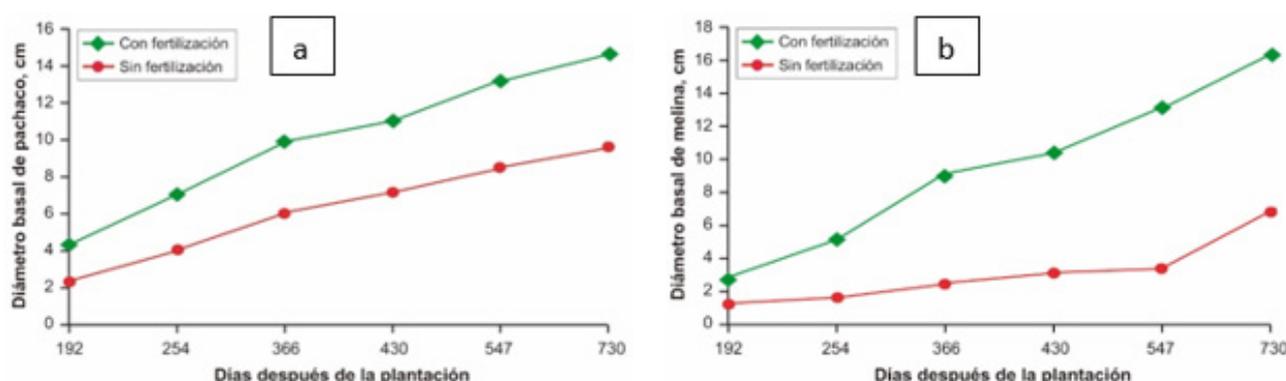


Fig. 2 - Evolución del Diámetro Basal de *S. parahyba* (a) y *G. arborea* (b) sin y con fertilización hasta los 730 días después de la plantación

y posteriormente su respuesta positiva, a más largo plazo, con los tratamientos de fertilizantes empleados en este estudio. Aguirre *et al.* (2013) indica que estas especies presentan una dinámica de crecimiento en función con las condiciones ambientales en las cuales se desarrollan. Los valores de las variables dasométricas cambian cuando las condiciones edáficas no están acordes con las normas de reacción o adaptación de las plantas en estudio.

**Diámetro a la altura del pecho**

Para diámetro a la altura del pecho (DAP) de las especies arbóreas se encontraron diferencias estadísticas altamente significativas para el factor fertilización a los 2 años después de la plantación (figura 3).

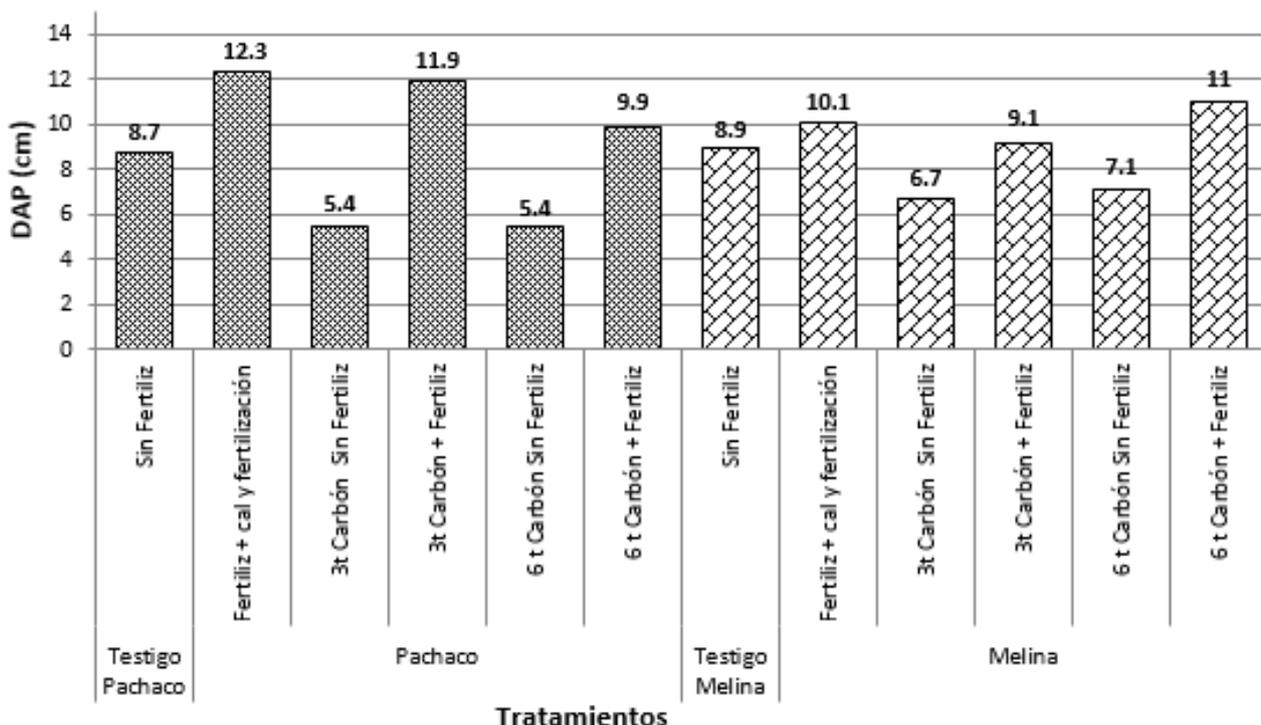
Los valores del DAP de Pachaco sin y con fertilización fueron de 5,4 y 12,3 cm, respectivamente; esta diferencia correspondió a un incremento de 127,8 %. Estos valores fueron ligeramente superiores a 6 cm y 11,1 cm para los tratamientos sin y con fertilización, respectivamente, que reportó Villamagua (2014) en Zamora. De igual forma, en el estado de Michoacán, México, se reporta el incremento sustancial del diámetro de especies de Melina en

el rango de uno a dos años. Sus resultados son similares a los determinados en este estudio lo que evidencia la respuesta positiva de la planta ante diferentes condiciones ambientales.

En las dos especies se mantuvieron las diferencias altamente significativas para las variables altura de planta, diámetro basal y diámetro de altura al pecho, lo cual denota que el suelo requirió el aporte tanto de la cal para neutralizar el aluminio soluble como del grupo de nutrientes aplicados como fertilizantes (N, P, K, Ca, Mg, S y Zn) para suplementar las deficiencias.

Se destaca que, hasta los 730 días, no se detectaron diferencias estadísticas significativas por efecto de las dosis de carbón vegetal (3 t ha<sup>-1</sup> y 6 t ha<sup>-1</sup>) en las variables de crecimiento evaluadas (altura, DB y DAP).

Tanto para Pachaco como para Melina en los tratamientos sin y con fertilización se encontraron elevados valores en las variables altura total, DB y DAP, frente a aquellos reportados en Zamora por Villamagua (2014). Ellos son el reflejo de mejores condiciones en la fertilidad en el suelo (física y química) de la zona de Los Zapotes-Panguintza respecto a las de La Victoria-Zamora.



**Fig. 3 - Promedio del Diámetro a la Altura del Pecho (DAP) por especie arbórea y nivel de fertilización a los dos años desde la plantación**

### Volumen

Para el volumen ( $\text{m}^3 \text{ha}^{-1}$ ) a los 24 meses desde la plantación, se encontraron diferencias estadísticas significativas para el factor fertilización. Los valores de volumen promedio fueron de  $32 \text{ m}^3 \text{ha}^{-1}$ , sin fertilización y  $46 \text{ m}^3 \text{ha}^{-1}$  con fertilización; esta diferencia fue equivalente a un incremento de 43,7 % (Tabla 1). El valor promedio con fertilización fue superior al encontrado por Augusto *et al.* (2000) quienes indican que en sitios óptimos para Melina se puede alcanzar rendimientos de hasta  $38 \text{ m}^3 \text{ha}^{-1}$ .

### Biomasa de la copa y contenido de carbono

El análisis de la varianza para los valores de biomasa seca y el Carbono almacenado indicó diferencias estadísticas significativas para el factor fertilización, más no para los factores especies arbóreas y dosis de carbón vegetal e interacciones. Además, los valores de Carbono almacenado en la biomasa variaron de  $7,7 \text{ t ha}^{-1}$  a  $18,6 \text{ t ha}^{-1}$  para los tratamientos sin y con fertilización, con un incremento de  $10,9 \text{ t ha}^{-1}$  (Tabla 2).

La biomasa de la copa de Melina fue de  $120 \text{ t ha}^{-1}$ , mayor que la de Pachaco. Así, el carbón almacenado fue de  $16 \text{ t ha}^{-1}$  y  $13 \text{ t ha}^{-1}$ , respectivamente.

### Carbono en el suelo

Hasta los 24 meses después de la plantación, el análisis de la varianza no registró diferencias estadísticas significativas para el contenido de carbono en las dos capas de suelo evaluadas.

A los 24 meses de evaluación, en la capa de 0 a 25 cm la media del contenido de carbono de los tratamientos T2, T4 y T6 (subparcelas de Pachaco fertilizadas) fue de  $67 \text{ t ha}^{-1}$  (Tabla 3). En contraste, el promedio de la cuantía de este elemento químico en los tratamientos de las subparcelas fertilizadas de Melina (T8, T10 y T12) ascendió a  $74 \text{ t ha}^{-1}$ , con un incremento de  $7 \text{ t ha}^{-1}$  atribuido al aporte de biomasa por la poda de Melina.

De forma similar, en los mismos tratamientos para cada una de las especies, pero en la capa de 25 cm a 50 cm el contenido promedio fue de  $42 \text{ t ha}^{-1}$  para Pachaco y  $55 \text{ t ha}^{-1}$  en Melina.

**Tabla 1** - Valores promedio del volumen de madera de las especies arbóreas sin y con fertilización a los 24 meses después de la plantación

Tratamientos	VOLUMEN ( $\text{m}^3$ )	SIN FERTILIZACIÓN	CON FERTILIZACIÓN
T1(Pachaco + 0 t carbón + Sin cal ni fertilización)	38		$\text{m}^3$
T2 (Pachaco + 0 t carbón + cal y fertilización)	54	32	46
T3 (Pachaco + 3 t carbón + Sin fertilizante)	35		
T4 (Pachaco + 3 t carbón + Con fertilizante)	48		
T5 (Pachaco + 6 t carbón + Sin fertilizante)	38		
T6 (Pachaco + 6 t carbón + Sin fertilizante)	57		
T7 (Melina + 0 t carbón + Sin fertilización)	35		
T8 (Melina + 0 t carbón + con fertilización)	38		
T9 ( Melina + 3 t carbón + Sin fertilización)	16		
T10 ( Melina + 3 t carbón + Con fertilización)	37		
T11 ( Melina + 6 t carbón + Sin fertilización)	31		
T12 ( Melina + 6 t Carbón + Con fertilización)	41		

**Tabla 2** - Promedios de biomasa total aérea y carbono en las especies arbórea

Descripción	Biomasa (kg)			t ha <sup>-1</sup>	Carbono (kg)			t ha <sup>-1</sup>
	Fuste	Copa	Árbol	Total	Fuste	Copa	Árbol	Total
T1 = a1 f1 c1: pachaco sin fertilización y 0 t ha <sup>-1</sup> de carbón vegetal	33,7	9,9	43,6	48,0	5,7	2,1	7,8	8,6
T2 = a1 f2 c1: pachaco con fertilización y 0 t ha <sup>-1</sup> de carbón vegetal	85,4	13,3	98,7	108,6	15,9	3,1	19,0	20,9
T3 = a1 f1c2: pachaco, sin fertilización y 3,0 t ha <sup>-1</sup> de carbón vegetal	27,1	8,3	35,4	38,9	5,6	2,8	8,4	9,3
T4 = a1 f2 c2: pachaco, con fertilización y 3,0 t ha <sup>-1</sup> de carbón vegetal	67,8	11,1	78,9	86,8	12,3	2,5	14,7	16,2
T5 = a1 f1 c3: pachaco, sin fertilización y 6,0 t ha <sup>-1</sup> de carbón vegetal	19,8	8,4	28,3	31,1	2,7	2,0	4,7	5,1
T6 = a1 f2 c3: pachaco, con fertilización y 6,0 t ha <sup>-1</sup> de carbón vegetal	89,0	13,6	102,6	112,9	13,8	3,1	17,0	18,7
T7 = a2 f1 c1: melina, sin fertilización y 0 t ha <sup>-1</sup> de carbón vegetal	42,6	37,4	79,9	87,9	3,6	7,7	11,3	12,4
T8 = a2 f2 c1: melina, con fertilización y 0 t ha <sup>-1</sup> de carbón vegetal	79,1	51,9	131,0	144,1	6,2	10,4	16,6	18,2
T9 = a2 f1 c2: melina, sin fertilización y 3,0 t ha <sup>-1</sup> de carbón vegetal	19,6	19,4	39,0	42,9	2,1	4,4	6,5	7,1
T10 = a2 f2 c2: melina, con fertilización y 3,0 t ha <sup>-1</sup> de carbón vegetal	95,8	80,9	176,8	194,4	6,4	15,4	21,8	24,0
T11 = a2 f1 c3: melina, sin fertilización y 6,0 t ha <sup>-1</sup> de carbón vegetal	46,3	41,2	87,5	96,2	3,5	8,0	11,5	12,6
T12 = a2 f2 c3: melina, con fertilización y 6,0 t ha <sup>-1</sup> de carbón vegetal	79,5	61,6	141,2	155,3	4,5	12,4	16,9	18,6

En las dos capas de suelo evaluadas los contenidos promedio de carbono en los tratamientos sin fertilización fueron superiores para la Melina (Tratamientos T7, T9 y T11) con 74,3 t ha<sup>-1</sup> en la profundidad de 0 cm a 25 cm y 58 t ha<sup>-1</sup> de 25 cm a 50 cm. Los valores de los tratamientos en las subparcelas de Pachaco (Tratamientos T1, T3 y T5), se encontraron en 67 t ha<sup>-1</sup> y 49,3 t ha<sup>-1</sup> respectivamente para cada una de estas profundidades

La estimación del Carbono Total para cada especie, referido como la suma total de la concentración de carbono determinada en las dos profundidades de todos los tratamientos evaluados fue de 113 t ha<sup>-1</sup> en las parcelas de Pachaco y 130 t ha<sup>-1</sup> en las de Melina con un incremento de 17 t ha<sup>-1</sup> que, aunque no fue estadísticamente significativo, refleja el efecto de una mayor producción y aporte de biomasa al suelo a consecuencia del conjunto de nutrientes aplicados y el encalado, situación que se espera

que sea más notoria en los años siguientes del experimento.

#### **Almacenamiento de carbón en la biomasa de la copa y en el suelo**

No se detectaron diferencias estadísticas para el contenido de carbono en la biomasa de la copa y en las dos capas en estudio hasta los 24 meses después de la plantación, por efecto de la fertilización (Tabla 4). Tampoco estos valores se modificaron significativamente por efecto de la aplicación de 3 t ha<sup>-1</sup> y 6 t ha<sup>-1</sup> de carbón vegetal ni por el aporte de la biomasa por parte de las especies arbóreas (podas de Melina y efecto caducifolio del pachaco).

De forma general, hasta los 24 meses después de la plantación de 0 cm a 50 cm de profundidad del suelo constituye el mayor reservorio de carbono orgánico. La media de su contenido para los tratamientos donde se empleó fertilización asciende a 145 t ha<sup>-1</sup> en las subparcelas de Pachaco

**Tabla 3** - Valores promedio del contenido total de carbono orgánico en el suelo a los 24 meses después de la plantación

Descripción	Carbono orgánico t ha <sup>-1</sup>		
	0-25 cm	25-50 cm	Total Carbono
T1 = a1 f1 c1: Pachaco sin fertilización y 0 t ha <sup>-1</sup> de carbono vegetal	64	41	105
T2 = a1 f2 c1: Pachaco con fertilización y 0 t ha <sup>-1</sup> de carbono vegetal	67	44	111
T3 = a1 f1c2: Pachaco, sin fertilización y 3,0 t ha <sup>-1</sup> de carbono vegetal	63	52	116
T4 = a1 f2 c2: Pachaco, con fertilización y 3,0 t ha <sup>-1</sup> de carbono vegetal	72	41	113
T5 = a1 f1 c3: Pachaco, sin fertilización y 6,0 t ha <sup>-1</sup> de carbono vegetal	74	55	129
T6 = a1 f2 c3: Pachaco, con fertilización y 6,0 t ha <sup>-1</sup> de carbono vegetal	63	41	105
T7 = a2 f1 c1: Melina, sin fertilización y 0 t ha <sup>-1</sup> de carbono vegetal	66	55	121
T8 = a2 f2 c1: Melina, con fertilización y 0 t ha <sup>-1</sup> de carbono vegetal	72	55	127
T9 = a2 f1 c2: Melina, sin fertilización y 3,0 t ha <sup>-1</sup> de carbono vegetal	80	58	138
T10 = a2 f2 c2: Melina, con fertilización y 3,0 t ha <sup>-1</sup> de carbono vegetal	77	55	132
T11 = a2 f1 c3: Melina, sin fertilización y 6,0 t ha <sup>-1</sup> de carbono vegetal	77	61	138
T12 = a2 f2 c3: Melina, con fertilización y 6,0 t ha <sup>-1</sup> de carbono vegetal	72	52	124

**Tabla 4** - Valores promedio de los contenidos de carbono en el suelo (00 a 50 cm) y en la biomasa de los doce tratamientos del experimento, a los 24 meses desde la plantación

Descripción	Carbono orgánico (t ha <sup>-1</sup> ) (00 - 50 cm)		
	Suelo	Biomasa	Total
T1 = a1 f1 c1: Pachaco sin fertilización y 0 t ha <sup>-1</sup> de carbono vegetal	105	10,2	115,2
T2 = a1 f2 c1: Pachaco con fertilización y 0 t ha <sup>-1</sup> de carbono vegetal	111	20,7	131,7
T3 = a1 f1c2: Pachaco, sin fertilización y 3,0 t ha <sup>-1</sup> de carbono vegetal	116	12,6	128,6
T4=a1 f2 c2: Pachaco, con fertilización y 3,0 t ha <sup>-1</sup> de carbono vegetal	113	16,6	129,6
T5= a1 f1 c3: Pachaco, sin fertilización y 6,0 t ha <sup>-1</sup> de carbono vegetal	129	7,90	136,9
T6=a1 f2 c3: Pachaco, con fertilización y 6,0 t ha <sup>-1</sup> de carbono vegetal	105	21,3	126,3
T7= a2 f1 c1: Melina, sin fertilización y 0 t ha <sup>-1</sup> de carbono vegetal	121	17,6	138,6
T8=a2 f2 c1: Melina, con fertilización y 0 t ha <sup>-1</sup> de carbono vegetal	127	26,4	153,4
T9 = a2 f1 c2: Melina, sin fertilización y 3,0 t ha <sup>-1</sup> de carbono vegetal	138	10,7	148,7
T10=a2 f2 c2: Melina, con fertilización y 3,0 t ha <sup>-1</sup> de carbono vegetal	132	35,4	167,4
T11 = a2 f1 c3: Melina, sin fertilización y 6,0 t ha <sup>-1</sup> de carbono vegetal	138	18,6	156,6
T12=a2 f2 c3: Melina, con fertilización y 6,0 t ha <sup>-1</sup> de carbono vegetal	124	31,9	155,9

y de 128 t ha<sup>-1</sup> en las de Melina. A diferencia de ello, el contenido de carbono orgánico de la biomasa reveló valores sustancialmente inferiores, en el caso del Pachaco su valor fue de 19,3 t ha<sup>-1</sup> mientras que para Melina 31,2 t ha<sup>-1</sup>. Se destaca un aspecto importante, el contenido de carbono en el suelo de las subparcelas de Pachaco fue mayor que en la de Melina; sin embargo, la biomasa de esta última presentó valores superiores a las del Pachaco.

Tal diferencia revela la eficiencia de las plantas para la acumulación de carbono aspecto, relacionado con las características fenológicas y fisiológicas de cada especie (Concha *et al.*, 2007).

Los resultados confirman que las dos capas de suelo evaluadas y la biomasa colectada son depósitos importantes de carbono, la media general entre los 12 tratamientos analizados fue de 122 t ha<sup>-1</sup> para el carbono orgánico en

el suelo y de 19 t ha<sup>-1</sup> para la biomasa. Ello coincide con lo encontrado por Sánchez *et al.* (2016), quienes manifiestan que la asociación de especies forestales de rápido crecimiento, en sistemas agroforestales, permitió incrementar los contenidos de carbono en el suelo.

Finalmente, merece resaltar que las aplicaciones de 3 t ha<sup>-1</sup> y 6 t ha<sup>-1</sup> de carbón vegetal no evidenciaron diferencias estadísticas sobre las variables de crecimiento de las especies arbóreas, tanto en la producción de biomasa como en los contenidos de carbono almacenado. Según estudios de Cheng *et al.* (2008), Major *et al.* (2010) y Ascough *et al.* (2011) referencian que la respuesta de algunos forestales ante la aplicación del carbón vegetal es tardía, razón por la cual en el período de experimentación no se detectaron diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos evaluados. Es posible que para ello se requiera más tiempo de evaluación.

Este resultado está acorde con los obtenidos por Kimetu *et al.* (2008) sobre un ultisol degradado de Kenia (suelo ácido, altamente meteorizado y pobre en nutrientes) en el que la producción de maíz se duplicó después de tres aplicaciones repetidas de 7 t ha<sup>-1</sup> de carbón a lo largo de 2 años. Sin embargo, Major *et al.* (2010) no encontraron cambio en la producción de maíz en el primer año, pero sí un aumento significativo en el tercer año después de la aplicación de una dosis única de 20 t ha<sup>-1</sup> de carbón en un oxisol en la sabana colombiana.

## CONCLUSIONES

La aplicación conjunta de N + P + K + S + Mg + Zn + CaCO<sub>3</sub> propició en la etapa juvenil de las dos especies arbóreas un mayor crecimiento en cuanto a la altura de planta, diámetro basal y diámetro de altura al pecho frente a los tratamientos sin fertilización.

Hasta los 24 meses después de la plantación no se observaron efectos de la aplicación de 3 y 6 t ha<sup>-1</sup> de carbón vegetal sobre el crecimiento en las especies arbóreas.

La fertilización incrementó significativamente la biomasa en las dos especies arbóreas.

El contenido de carbono en la biomasa de las copas de 0 a 25 cm y 25 a 50 cm, hasta los 24 meses no fue modificado significativamente por la aplicación del carbón vegetal ni por el aporte de biomasa por las podas de Melina o efecto caducifolio del pachaco.

## BIBLIOGRAFÍA

- AGUIRRE, Z., LEÓN, N., PALACIOS, B., y AGUIRRE, N. 2013. Dinámica de crecimiento de 29 especies forestales en el Jardín Botánico El Padmi, Zamora Chinchipe, Ecuador. *CEDAMAZ*, 3 (1): 18-36.
- AGUSTO, C., KARIANTO, O., HARDIWINOTO, S., HAIBARA, K., TODA, H. 2000. Biomass in fast growing species of tropical *Gmelina arborea* Roxb. Plantation forest. *Transaction of the 111st Japanese Forestry Society*, pp. 557-558. Disponible en: [http://www.fonafifo.go.cr/text\\_files/proyectos/Manual %20Prod %20Melina.pdf](http://www.fonafifo.go.cr/text_files/proyectos/Manual_%20Prod_%20Melina.pdf). Consultado el 4/2014.
- ASCOUGH, P., BIRD, M., FRANCIS, S., THORNTON, B., MIDWOOD, A., SCOTT, A., *et al.* 2011. Variability in oxidative degradation of charcoal: influence of production conditions and environmental exposure. *Geochim Cosmochim Acta*, 75 (9): 2361-2378.
- CONCHA, J.Y., ALEGRE, J.C. y POCOMUCHA, V. 2007. Determinación de las reservas de carbono en la biomasa aérea de sistemas agroforestales de *Theobroma cacao* L. en el departamento de San Martín, Perú. *Ecología Aplicada*, 6 (1-2): 75-82.
- CHENG, C., LEHMANN, J., ENGELHARD, M. 2008. Natural oxidation of black carbon in soils: changes in molecular form and surface charge along a climate sequence. *Geochim Cosmochim Acta*, 72 (6): 1598-1610.
- KIMETU, J., LEHMANN, J., NGOZE, S., MUGENDI, D., KINYANGI, J., RIHA, S., *et al.* 2008. Reversibility of soil productivity decline with organic matter differing quality along degradation gradient. *Ecosystems*, (11): 726-739.
- MAJOR, J., LEHMAN, J., RONDON, M., GOODALE, C. 2010. Fate of soil applied black carbon: downward migration, leaching and soil respiration. *Global Change Biol*, 4: 1366-1379.
- PAILLACHO, C. 2010. Evaluación del crecimiento inicial de *Eucalyptus urograndis*, *Gmelina arborea* Roxby, *Ochroma pyramidale* Cav

- bajo la aplicación de cuatro dosis de potasio en la hacienda Zoila Luz del cantón Santo Domingo. *CEDAMAZ*, p. 38.
- PALACIOS, B., AGUIRRE, Z., LOZANO, D. 2015. Experiencias de enriquecimiento forestal en bosque secundario en la microcuenca “El Padmi”, Zamora Chinchipe Ecuador. *CEDAMAZ*, 5 (1): 5-11.
- REDD/CCAD-GIZ. 2014. Manual de campo para el inventario forestal nacional de Costa Rica: Diseño de parcela y medición de variables de sitio y dasométricas, 72p. DOI: 10.13140/RG.2.1.3599.3684.
- SÁNCHEZ, F., PÉREZ-FLORES, J., OBRADOR, J.J., SOL, A., RUIZ-ROSADO, O. 2016. Árboles maderables en el sistema agroforestal de cacao en Cárdenas, Tabasco, México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 14: 2711-2723.
- URREGO, J. 2004. Growth potential of *Gmelina arborea* at three years of age in Colombia. *New Forest*, (28): 269-276.
- USECHE, A. 2013. Yopo (*Anadenanthera peregrina*), Acacia (*Acacia mangium* Wild) y Melina (*Gmelina arborea*), Tres especies arbóreas propicias para los sistemas silvopastoriles en el piedemonte llanero. Trabajo de Grado presentado como requisito parcial para Optar al título de Ingeniero Agroforestal. UNIVERSIDAD NACIONAL ABIERTA Y A DISTANCIA (UNAD), Bogotá, Colombia. 64 p.
- VALAREZO, C. 2004. Características, distribución, clasificación y capacidad de uso de los suelos en la Región Amazónica Ecuatoriana. Universidad Nacional de Loja-Programa de Modernización de los Servicios Agropecuarios-PROMSA. Editorial Universitaria, Loja, Ecuador, 201p.
- VALAREZO, C., MAZA, H., CHAMBA, C., VALAREZO, L., MERINO, B., VILLAMAGUA, M., et al. 2010. Criterios en la instalación de los experimentos y caracterización de los sitios del proyecto “Gestión de la fertilidad del suelo con enmiendas de carbón vegetal en plantaciones de árboles maderables en el sur de la Amazonía Ecuatoriana”. *CEDAMAZ*, 1 (1): 65-80.
- VILLAMAGUA, M. 2014. Almacenamiento de carbono y evolución de la fertilidad de un suelo desarrollado sobre granodiorita, en la fase inicial de una plantación de *Gmelina arborea* y *Schizolobium parahyba* con enmiendas de carbón vegetal, en la zona sur de la Amazonía Ecuatoriana. Maestría en Nutrición Vegetal. Universidad Tecnológica Equinoccial, Santo Domingo de los Tsáchilas, 54 p.

---

Recibido el 12 de diciembre de 2017 y aceptado el 21 de junio de 2018