

EFFECTO DEL BIOCARBÓN, CAL Y NUTRIENTES SOBRE EL CRECIMIENTO DE DOS ESPECIES ARBÓREAS EN EL AMBIENTE DE LADERA DEL SUR DE LA AMAZONÍA ECUATORIANA

EFFECT OF BIOCHAR, LIME AND NUTRIENTS ON GROWTH IN TWO TREE SPECIES IN THE SOUTHERN SLOPE ENVIRONMENT OF THE ECUADORIAN AMAZON

Miguel Villamagua¹, Carlos Valarezo M², Héctor Maza CH¹ y Luis Valarezo M¹

¹ Docente Investigador de la Universidad Nacional de Loja, Ciudadela Universitaria Guillermo Falconí, sector La Argelia, Loja, Ecuador.

² 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 amazonia ecuatoriana”. Universidad Nacional de Loja. Quitumbe 1103, Loja – Ecuador.

Autor para correspondencia: Miguel Villamagua, E-mail: miguel.villamagua@unl.edu.ec; Teléfono: 593 (0)7 2547322 extensión 110.

Carrera de Ingeniería Forestal,
Universidad Nacional de Loja, Ecuador

Web: www.bosqueslatitudcero.com
Email: bosqueslatitudcero@unl.edu.ec

Recepción: 11 de abril del 2016
Aceptación: 27 de julio del 2016

Villamagua, M, *et al.* 2016. Efecto del biocarbón, cal y nutrientes sobre el crecimiento de dos especies arbóreas en el ambiente de ladera del sur de la amazonia ecuatoriana. Universidad Nacional de Loja.

RESUMEN

En un suelo Typic Kandihumults derivado de granodiorita del ambiente de ladera del sur de la Amazonia Ecuatoriana se instaló un experimento en parcelas subdivididas (2x2x3) para determinar el efecto del carbón vegetal (0; 3; y, 6 t ha⁻¹), CaCO₃ (5 t ha⁻¹) y nutrientes (N: 200; P: 150; K: 200; Mg: 118; S: 183 ;y, Zn: 40 kg/ha), sobre el crecimiento de pachaco (*Schizolobium parahybum* Vell. Conc) y melina (*Gmelina arborea* Roxb.). A los 52 y 58 meses se registraron diferencias altamente significativas por la aplicación combinada de cal y nutrientes para las dos especies, respectivamente, en cuanto a: altura de planta, diámetro basal, diámetro a la altura al pecho y volumen comercial. La altura promedio del pachaco y melina se incrementó en 66% y 25%, el DAP en 100% y 42%, y, el volumen comercial en 348% y 77% en su orden. En las diferentes fechas de registro, no se evidenciaron efectos consistentes de la aplicación del biocarbón sobre el crecimiento de las dos especies arbóreas. El pachaco a los 52 meses agotó la reserva de B del suelo, lo que ocasionó la muerte de la mayoría de los árboles, ello fue verificado mediante un ensayo de evaluación biológica de la fertilidad del suelo en invernadero.

Palabras clave: carbón vegetal, *Schizolobium parahybum*, *Gmelina arborea*, suelos degradados de la Amazonía Ecuatoriana. Terra Preta.

ABSTRACT

In a soil derived from granodiorite (Typic Kandihumults) of the slopes in the southern Ecuadorian Amazon, a split – split plots (2x2x3) experiment was installed to determine the effect of biochar (0, 3, y 6 t ha⁻¹), CaCO₃ (5 t ha⁻¹) and nutrients (N: 200; P: 150; K: 200; Mg: 118; S: 183 and Zn: 40 kg/ha) on the growth of melina (*Gmelina arborea* Roxb.) y pachaco (*Schizolobium parahybum* Vell. Conc). After 52 and 58 months (pachaco and melina, respectively) the combined application of lime and nutrients generated highly significant differences for plant height, basal diameter, diameter at breast height and commercial volume. The average height of pachaco and melina increased by 66% and 25%, the DAP 100% and 42%, and the commercial volume 348% and 77%, respectively. In the different recording dates no consistent effects on the growth of two tree species were evident regarding the biochar application. At 52 months, pachaco exhausted the soil B reserve, causing the death of most of the trees, which was verified by a biological evaluation greenhouse assay of soil fertility.

Key words: biochar, *Schizolobium parahybum*, *Gmelina arborea*, degraded soils in Ecuadorian Amazon, Terra Preta.

INTRODUCCIÓN

En el corredor de la red fluvial Zamora-Nangaritza, en la Zona Sur de la Región Amazónica Ecuatoriana (RAE), los suelos del ambiente de ladera en el rango de altitud de 800 a 1100 m.s.n.m en condiciones naturales soportan un frondoso bosque tropical biodiverso y multi-estrato, cuya reserva de nutrientes se concentra en la biomasa y en la capa orgánica superior (Valarezo, 2004). La intervención de los colonos sobre este ecosistema, ha consistido en la extracción selectiva de las especies arbóreas de valor comercial, luego la tumba, roza y quema, para finalmente establecer pastizales. Como resultado de ello, se interrumpe abruptamente el reciclaje natural de los elementos nutritivos, los cuales se lixivian por efecto de la abundante lluvia, se acelera la mineralización de la reserva de materia orgánica, y se instala un proceso de erosión hídrica, por lo que en un tiempo relativamente corto se degrada la fertilidad del suelo y las tierras se convierten en marginales (Valarezo *et al.*, 1998). Si bien, desde la perspectiva de la utilización productiva y de recuperación de las áreas degradadas, estas tierras (pendiente: 12 a 60%) tienen vocación para la repoblación forestal con especies de valor comercial, aprovechando las condiciones de elevada temperatura y humedad de la zona; en cambio, la baja fertilidad general de los suelos y la fuerte acidez, se constituyen en sus principales limitaciones. Varios estudios señalan que las aplicaciones de carbón vegetal (denominado biocarbón para este propósito) pueden mejorar y mantener las condiciones físicas, químicas y de fertilidad de los suelos del trópico húmedo. Así, Lotter (2002) reporta que en la profundidad de la Amazonía Brasileña, en Oxisoles de baja fertilidad, donde el bosque natural ha sido reemplazado con cultivos y pastizales, se encuentran algunas pequeñas áreas dispersas

cuyos suelos no presentan el color rojo típico de los Oxisoles, sino que son de color oscuro o negro. Estos suelos se los conoce con el nombre de Terra Preta do Indio (Tierra Negra de Indio) y son característicos de los asentamientos pre-Colombinos de los nativos. Investigaciones relativamente recientes (Glasser *et al.*, 2002a y Glaser *et al.*, 2002b), han demostrado que en los suelos antropogénicos (terrapreta) el carbón vegetal puede mantener altos niveles de materia orgánica y de nutrientes aprovechables para las plantas. También, en los suelos ácidos, la aplicación de carbón vegetal incrementa el pH y disminuye la saturación de Al, factores que a menudo constituyen las principales limitaciones de la productividad de los cultivos en los suelos altamente meteorizados del trópico húmedo (Cochrane y Sánchez 1980; y, Mgagwu y Piccolo 1997); pero, no solamente incrementan el contenido de nutrientes, sino también la retención de éstos, lo cual es especialmente importante, que tienen baja capacidad de retención iónica (Glaser *et al.*, 2002). Se reporta, así mismo, que el rendimiento de los cultivos se puede incrementar aún más, cuando la aplicación de enmiendas de carbón van acompañadas de fertilizantes y abonos orgánicos (Glaser *et al.*, 2002 y Lehmann *et al.*, 2002).

MATERIALES Y MÉTODOS

A fines de julio de 2009 se instaló el experimento en un suelo Typic Kandihumults derivado de granodiorita del gran batolito de Zamora de edad Jurásica, en el ambiente de ladera del sur de la Amazonia Ecuatoriana. El diseño experimental consistió en un arreglo en parcelas sub-subdivididas (2x2x3) en bloques al azar, con doce tratamientos y cuatro repeticiones. Los tratamientos corresponden a la combinación de tres factores: dos especies arbóreas: melina (*Gmelina arborea* Roxb.) y pachaco

(*Schizolobium parahybum Vell. Conc*), dos niveles de la combinación de CaCO_3 (5 t ha^{-1}) y nutrientes (N: 200; P: 150; K: 200; Mg: 118; S: 183; y, Zn: 40 kg ha^{-1}); y tres niveles carbón vegetal (0 ; 3 ; y, 6 tha^{-1}) de diámetro menor a $0,5 \text{ cm}$.

RESULTADOS

Altura de planta.

Se evidenció diferencias altamente significativas ($p < 0,0001-0,002$) para el factor fertilización en todas las fechas de evaluación (6, 8, 10, 13, 18, 24, 36, 44 y 52 meses) y diferencia significativa ($p < 0,05$) para la interacción fertilización x especies arbóreas x carbón vegetal a los 8 meses; no hubo significancia estadística al nivel del

5% en todas los momentos muestreados, para el factor carbón vegetal, especies arbóreas y sus interacciones. El coeficiente de variación (CV) se presentó en el rango de 14% al 17%

Diámetro basal.-

Para el diámetro basal se observaron diferencias altamente significativas ($p < 0,0001$) para el factor fertilización en todas las fechas de registro. Además, se detectaron diferencias significativas ($p < 0,02$) para el factor especies arbóreas en todas las fechas de registros (10, 13, 18, 24, 36, 44 y 52 meses de la plantación), pero no se presentó ninguna interacción entre los dos factores (fertilización y especies arbóreas). El CV está en el rango de 13,6 % a 15,4 %.

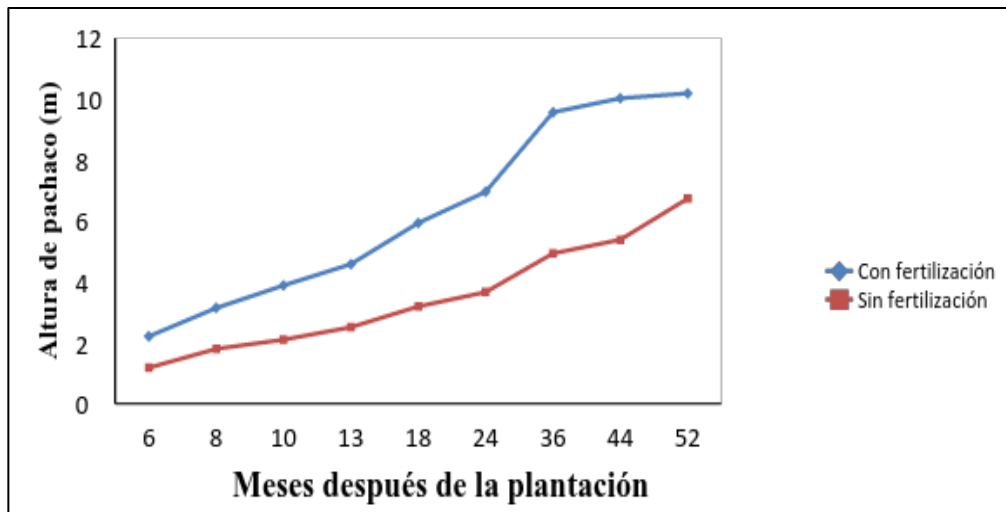


Figura 1. Evolución de la altura del pachaco sin y con fertilización a los 52 meses de la plantación.

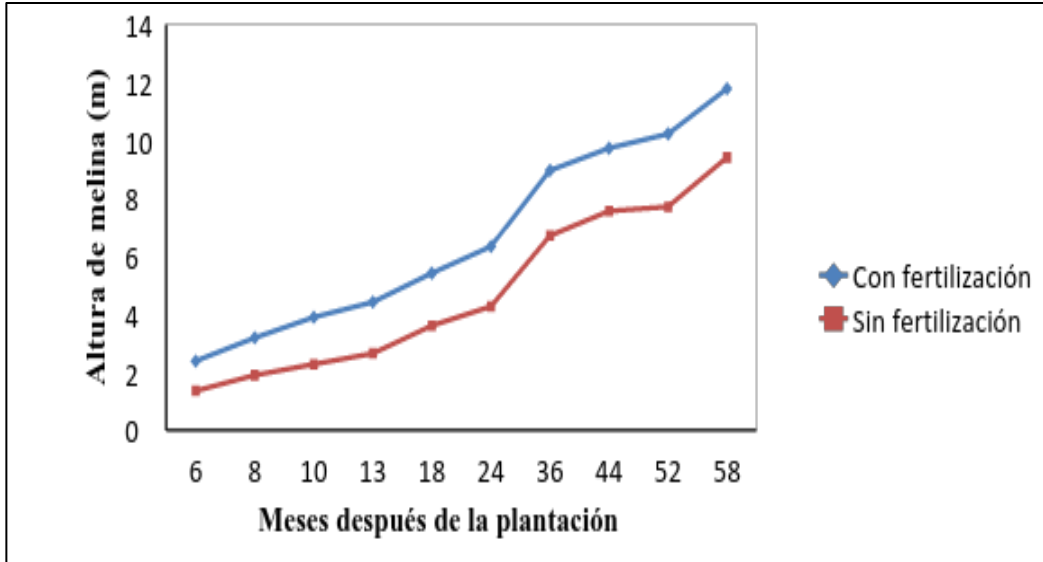


Figura 2. Evolución de la altura de melina sin y con fertilización a los 58 meses de la plantación.

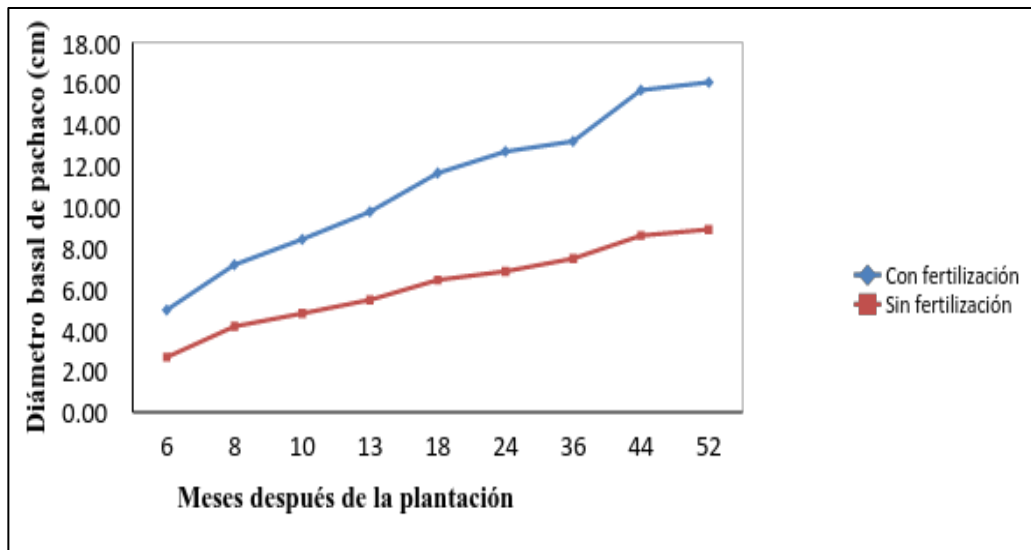


Figura 3. Evolución del diámetro basal del pachaco sin y con fertilización a los 52 meses después de la plantación.

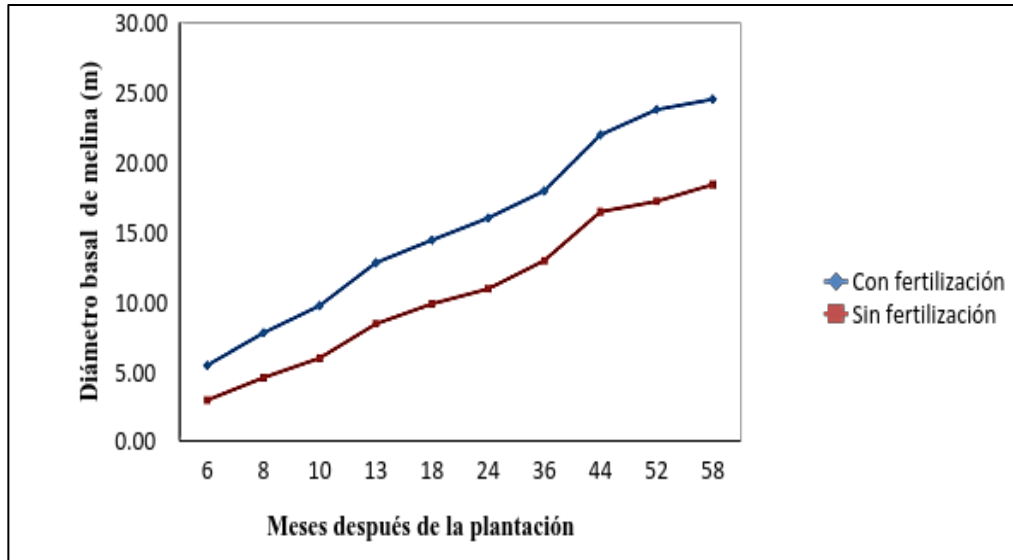


Figura 4. Evolución del diámetro basal de la melina sin y con fertilización hasta los 58 meses después de la plantación.

Diámetro a la altura del pecho (DAP)

Para DAP de los árboles a los 24, 36, 44; y, 52 meses desde la plantación se detectó diferencias altamente significativas ($p < 0,0001$) para el factor fertilización y

diferencias significativas ($p < 0,05$) para el factor especies arbóreas a los 44 y 52 meses. Además, no hubo significancia estadística para carbono vegetal ni sus interacciones. El CV está en el rango del 14 al 17 %.

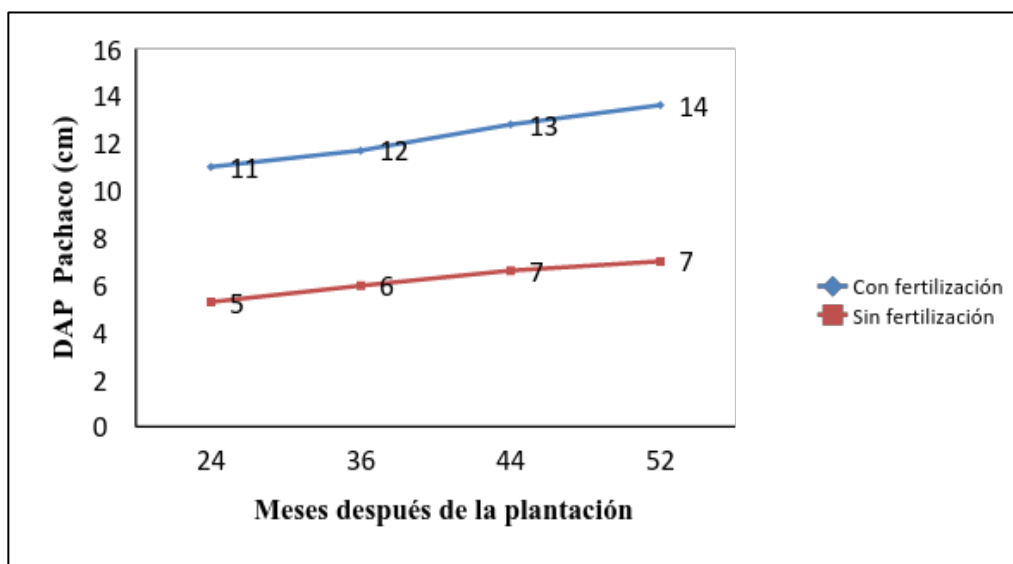


Figura 5. Evolución del DAP del pachaco sin y con fertilización desde los 24 a 52 meses después de la plantación

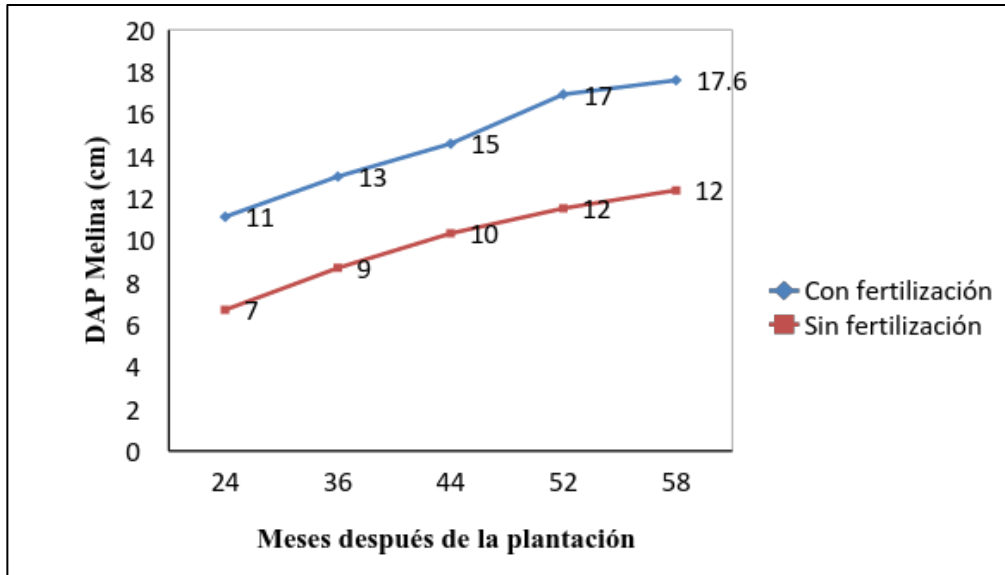


Figura 6. Evolución del DAP de la melina sin y con fertilización desde los 24 meses hasta los 58 meses después de la plantación

Es pertinente mencionar que en las dos especies arbóreas no se detectaron diferencias significativas en las tres variables de crecimiento (altura, DB y DAP) por efecto de las dosis de 0 t ha⁻¹; 3 t ha⁻¹; y, 6 t ha⁻¹ de carbón vegetal.

Volumen comercial (m³ ha⁻¹): A los 52 meses de la plantación, se encontró diferencia altamente significativas ($p < 0,0001-0,0007$) en el volumen comercial únicamente para el factor fertilización.

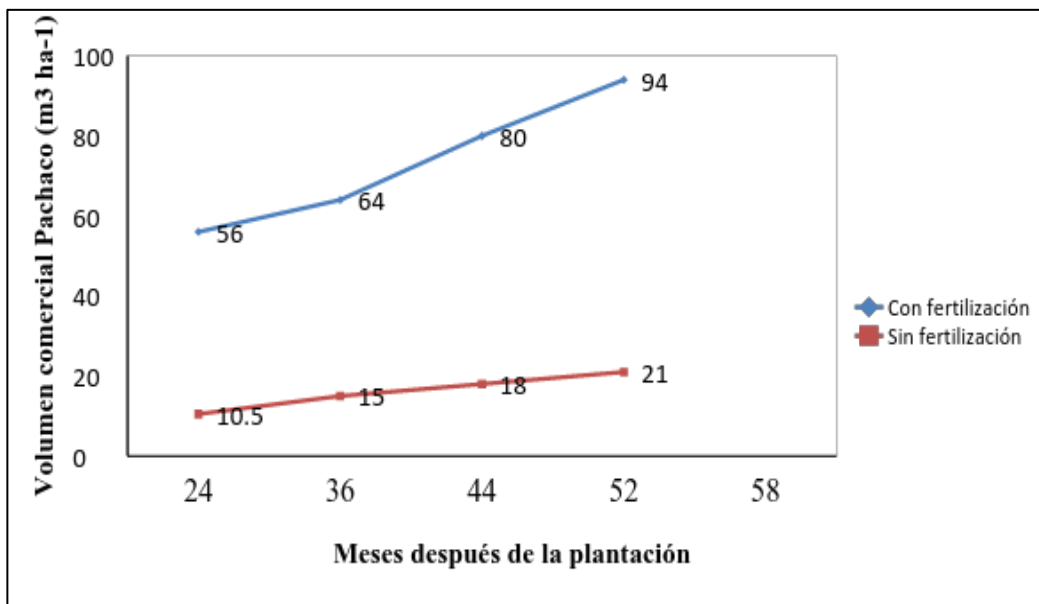


Figura 7. Evolución del volumen comercial del pachaco sin y con fertilización a partir de los 24 meses a los 52 meses.

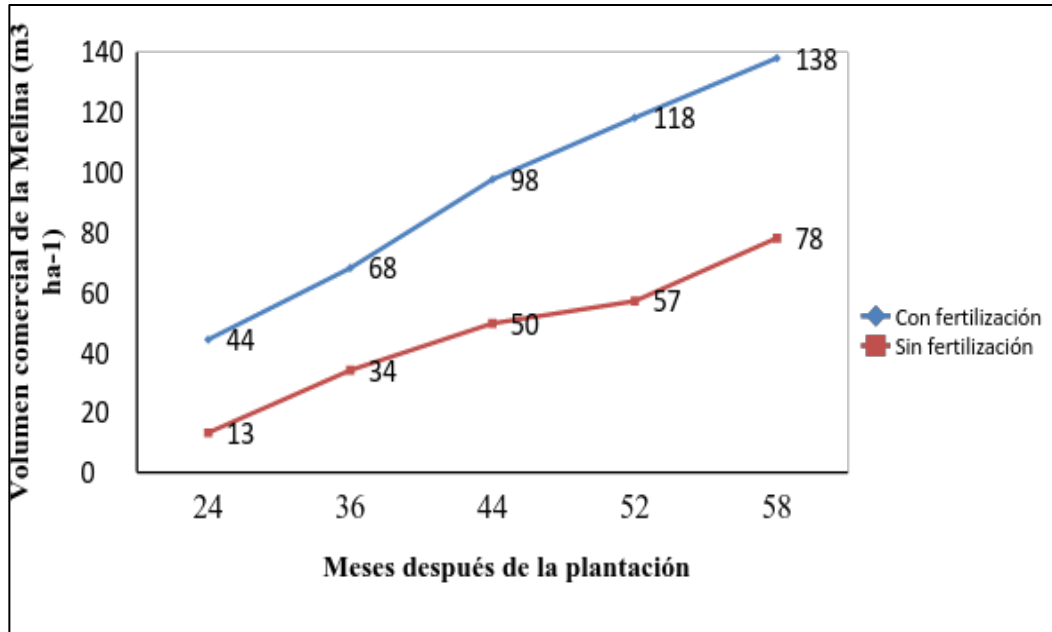


Figura 8. Evolución del volumen comercial de melina sin y con fertilización a partir de los 24 meses a los 58 meses.

DISCUSIÓN

Altura de planta.

La diferencia de la altura de planta por efecto de la fertilización en las dos especies arbóreas se atribuye al efecto combinado de los nutrientes aplicados (N, P, K, Ca, Mg, S, Zn) y del ion carbonato de la cal (CO₃=) que facilita la absorción de los nutrientes, especialmente del fósforo, debido al incremento del pH (Valarezo, 2004b).

Las diferencias de crecimiento a los 52 meses después de la plantación con y sin fertilización del pachaco (3,45 m equivalente a 66%) y la melina a los 58 meses con y sin fertilización (2,37 m equivalente a 25%) se expresan en forma consistente durante todas las fechas de registro, lo que significa que la fertilización (nutrientes + cal) influyó positivamente en el crecimiento.

La tasa de crecimiento del pachaco en los tratamientos con fertilización fue de 0,65 cm día⁻¹, frente a 0,43 cm día⁻¹ de aquellos sin

fertilización. Para la melina los valores fueron de 0,68 cm día⁻¹, frente a 0,54 cm día⁻¹, en los tratamientos con y sin fertilización, respectivamente.

La altura promedio del pachaco con fertilización a los 4,3 años después de la plantación fue de 10,2 m que equivale a una tasa de crecimiento anual de 2,4 m valor que se encuentran en el rango de 2 a 3 m para esta especie según lo que reportan Orwa (2009) y Leopold (2001 citado por Valarezo *et al.*, 2014); lo que no ocurre en los árboles sin fertilización. Es pertinente mencionar que esta especie por su rápido crecimiento a los 52 meses agotó la reserva de nutrientes, particularmente el B, produciéndose la muerte en la mayoría de los árboles, lo cual fue verificado mediante la evaluación biológica de la fertilidad del suelo (Burneo, 2012). Onyekwelu *et al.*, (2003) citado por Valarezo *et al.*, (2014) encontraron una altura promedio para la melina de 14,1 m a los cinco años (2,82 m a⁻¹) en el ensayo para este mismo tiempo se encontró un promedio de 2,5 m a⁻¹.

Diámetro basal (DB)

La diferencia de crecimiento en el diámetro basal promedio para el pachaco con y sin fertilización fue de 7 cm equivalente al 78%; mientras que en la melina fue de 6,1 cm equivalente al 33%. Este incremento en los tratamientos con fertilización igual se atribuye a la aplicación combinada de nutrientes y cal.

Diámetro a la altura del pecho (DAP).

El incremento del DAP a los 52 meses después de la plantación en el pachaco, entre los tratamientos sin y con fertilización fue de 7 cm equivalente al 100%; mientras que en la melina, el incremento fue de 5,2 cm equivalente al 42%. Esto se explica por la acción combinada de los nutrientes y la cal aplicados.

Volumen (m³ ha⁻¹)

En los tratamientos con fertilización, se incrementó significativamente el volumen comercial m³ ha⁻¹ del pachaco y melina al igual que para la altura, diámetro basal y DAP explicándose este efecto por la acción combinada de los nutrientes y la cal aplicados. Las dosis de 0 t ha⁻¹; 3 t ha⁻¹; y, 6 t ha⁻¹ de carbón vegetal no generaron diferencia significativa sobre las variables de crecimiento de los árboles. Al respecto, es necesario señalar que las enmiendas con carbón vegetal dependen de sus propiedades físicas y químicas, las condiciones climáticas, las condiciones del suelo y el tipo de cultivo (Zwiten *et al.*, 2010; Yamato *et al.*, 2006; Gaskin *et al.*, 2010; y, Haefele *et al.*, 2011). En esta línea, varios autores han reportado efectos agronómicos tanto positivos como negativos de las aplicaciones de enmiendas de biocarbón en los suelos (Atkinson *et al.*, 2010; Lehmann *et al.*, 2003; Lehmann *et al.*, 2011; Major *et al.*, 2010; Novak *et al.*, 2009; Spokas *et al.*, 2011). Ello sugiere que la aplicación de biocarbón al suelo no es una enmienda de

talla única que calce a todos los paradigmas (Spokas *et al.*, 2011) sino más bien requiere de consideraciones cuidadosas de sus propiedades relacionadas con cada material particular de biocarbón y cómo esas propiedades pueden remediar una deficiencia específica en el suelo (Novak y Bussher, 2011).

Se debe reconocer que la naturaleza química y la composición del biocarbón varía ampliamente, dado que consiste en una colección heterogénea de estructuras carbonizadas, elementos inorgánicos atrapados, así como estructuras químicas heredadas del material de origen, sustancias volátiles adsorbidas y ceniza (Brewer *et al.*, 2009; Keiluwet *et al.*, 2010; Spokas *et al.*, 2011). Esta variabilidad es evidente cuando se examina la información sobre la composición orgánica e inorgánica del biocarbón que se reporta en la literatura. Incluso biocarbones obtenidos del mismo material, bajo condiciones similares de pirolisis, pero en unidades diferentes, pueden presentar características químicas diferentes. Además, diferencias en las propiedades físicas y químicas pueden resultar en función del tamaño de la partícula en el mismo tipo de biocarbón (Francioso *et al.*, 2011; Nocentini *et al.*, 2010).

CONCLUSIONES

La aplicación de cal más fertilización mejoró las características dasométricas de los árboles; y, el volumen de madera en el pachaco y la melina. Las alturas promedio del pachaco y la melina con y sin fertilización, fueron: 10,2 y 6,7 m y 11,8 y 9,4 m respectivamente, con un incremento de 66% y 25%, en su orden. Los valores del DAP del pachaco y la melina con y sin fertilización fueron de 14 y 7 cm y 17,6 y 12,4 cm, respectivamente.

El volumen comercial para el pachaco y la melina con y sin fertilización fueron de 94 y

21 m³ ha⁻¹; y; 138 y 78 m³ ha⁻¹ en su orden. Durante el tiempo de evaluación, no se evidenciaron efectos significativos del carbón vegetal sobre el crecimiento de las dos especies arbóreas. El pachaco a los 52 meses agotó la reserva de B del suelo, lo que ocasionó la muerte de la mayoría de los árboles.

REFERENCIAS

- Ascough, L; Bird, M. ; Francis, M; Thornton, B; Midwood, J; Scott, C; y, Apperley, D. 2011. *Variability in oxidative degradation of charcoal: influence of production conditions and environmental exposure*, Geochim Cosmochim Acta 75(9):2361-2378.
- Atkinson, C; Fitzgerald, J; Hipps, C. 2010. *Potential mechanisms for achieving agricultural benefits from biochar applications to temperate soils: a review*. Plant Soil 337(1):1-18.
- Berkowitz, N; Chakrabarty, S; Cook, F; y, Fujikawa, J. 1970. *On the agrobiological activity of oxidatively ammoniated coal*. SoilSci. 110:211-217.
- Burneo, C. 2012. *Evaluación biológica de la fertilidad de un suelo desarrollado sobre Andesita tratado con carbón vegetal, cal y nutrientes en el Sur de la Amazonia Ecuatoriana*. Tesis Ing. Agrónomo. Universidad Nacional de Loja. 101 p.
- Brewer, C; Schmidt-Rohr, K; Satrio, J; y, Brwon, R. 2009. *Characterization of biochar from fast pyrolysis and gasification systems*. Environ ProgrSust Energy 28(3):386-396.
- Chidumayo, E. 1994. *Effects of wood carbonization on soil an initial development of seedlings in miombo woodland, Zambia*. For Ecol Manage 70:353-357.
- Cheng, H; Lehmann, J; Engelhard, M. 2008. *Natural oxidation of black carbon in soils: changes in molecular form and surface charge along a climo sequence*. Geochim Cosmochim Acta 72(6):1598 – 1610
- Cochrane, T; Sánchez, P. 1980. *Land resources, soil properties and their management in the Amazon region: a state of knowledge report*. In: International Conference on Amazon Land Use and Agricultural Research, CIAT. Cali, Colombia.
- Di Rienzo, J; Casanoves, F; Balzarini, M;González, L; Tablada, M; y, Robledo, C. (2008). *InfoStat, versión 2008*. Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina.
- FAO. 1975. *“Guía y Claves para la Descripción de Perfiles de Suelos”*.
- Francioso, O; Sánchez,S; Bonora, S; Roldan, M; y, Certini, G. 2011. *Structural characterization of charcoal size fractions from a burnt Pinuspinea forest by FT-IR, Raman and surface-enhanced Raman spectroscopies*. J. Mol. Struct 994(1-3):155-162
- Gaskin, J. W; Speir, A; Harris, K; Das, K; Lee, R; y, Morris, L. 2010. *Effect of peanut hull and pine chip biochar on soil nutrients, corn nutrient status, and yield*-Agron. J. 102:623-633.
- Glaser, B;Guggenberger, G;y,Zech, W. (2002a). *Past anthropogenic influence on the present soil properties of anthropogenic dark earths (Terra Preta) in Amazonia (Brazil)*. Geoarcheology (in press).
- Glaser, B; Lehmann, J; y, Zech, W. (2002b). *Ameliorating physical and chemical properties of highly weathered soils in the tropics with charcoal – a review*. Biology and Fertility of Soils: 35:219-230.
- Haefele, M; Konboon, Y; Wongboon, W; Amarante, S; Maaiafat, A; Pfeifer, M; y, Knoblauch, C. 2011. *Effects and fate of biochar from rice residues in rice-based systems*. Field Crops Res. 121:430-440.

- Instituto Ecuatoriano de Minería (DGGM) (1989). *Mapa geológico del Ecuador. Hojas de Paquisha y Zamora*. Instituto Geográfico Militar. Quito, Ecuador.
- Keiluweit, M; Nico, P; Johnson, M; y, Kleber, M. 2010. *Dynamic molecular structure of plant biomass-derived black carbon (biochar)*. Environ Sci Technol 44(4):1247- 1253.
- Kimetu, J; Lehmann, J; Ngoze, S; Mugendi, D; Kinyangi J; Riha, S; Verchot, L; Recha, J; y, Pell, A. 2008. *Reversibility of soil productivity decline with organic matter of differing quality along a degradation gradient*. Ecosystems 11:726-739.
- Kishimoto, S., y Sugiura, G. 1985. *Charcoal as a soil conditioner*. IntAchieveFuture, 5:12-23.
- Lehmann, J; Silva, J; Rondon, M; Silva, C; Greenwood, J; Nehls, T; Steiner, C; y, Claser, B. 2002. *Slash-and-char- a feasible alternative for soil fertility management in the central Amazon*. In: Soil Science: Confronting New Realities in the 21st century. 7th World Congress of Soil Science, Bangkok. p. 12.
- Lehmann, J; Silva, J; Steiner, C; Nehls, T; Zech, W; y, Glaser, B. 2003. *Nutrient availability and leaching in an archeological Anthrosol and a Ferrasol of the Central Amazon basin: fertilizer, manure and charcoal amendments*. Plant and Soil 249: 343-357.
- Lehmann, J; Rillig, M; Thies, J; Masiello, C; Hockaday, W; y, Crowley, D. 2011. *Biochar effects on soil biota – A review*. Soil Biol Biochem 43: 1812-1836.
- Major, J; Rondon, M; Molina, D; Riha, S; y, Lehman, J. 2010. *Maize yield and nutrition during 4 years after biochar application to a Colombian savanna oxisol*. PlantSoil. 333 (1-2):117-128.
- Mgagwu, J y Piccolo, A. 1997. *Effects of humic substances from oxidized coal on soil chemical properties and maize yield*. In: Drozd J. Gonet SS. Senesiñ, Weber, J. (eds) *The role of humic substances in the ecosystems and in environmental protection*. IHSS, Polish Society of Humic Substances, Wroclaw, Poland. p. 921-925.
- Nocentini, C; Certini, G; Knicker, H; Francioso, O; y, Rumpel, C. 2010. *Nature and reactivity of charcoal produced and added to soil during wilde fire are particle-size dependent*. OrgGeochem. 41(7):682-689.
- Novak, J. M; Bussher W. J; Laird, D; Ahmenda, M; Watts, D; y, Niandou M. 2009. *Impact of biochar amendment on fertility of a Southeastern coastal plain soil*. SoilSci. 174(2):105-112.
- Novak, J; y Bussher, W. J. 2011. *Selection and use of designer biochars to improve characteristics of Southern USA Coastal Plain degraded soils*. Advanced Biofuels and Byproducts. Springer Science. New York. p. 69-96.
- Spokas, K. A; CCantrll, K; Novak, J; Archer, D; Ippolito, J; Collins, H; Boateng, A. ; Lima, I; Lamb, M; McAloon, A; Lentz, R; y, Nichols, K. 2011. *Biochar: A synthesis of its agronomic impact beyond carbon sequestration*. Journal of Environmental Quality. p. 973 - 989.
- Sys, C. 1979. *Regional Pedology. Tropical Soils II*. Lecture notes. State University of Ghent, Belgium.
- Valarezo, C. (2004a). *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. p. 201.
- Valarezo, C. (2004b). *Gestión de la fertilidad del suelo en el trópico húmedo, en la región Amazónica ecuatoriana y bajo sistemas agroforestales*. Universidad Nacional de Loja- Programa

- de Modernización de los Servicios Agropecuarios –PROMSA. Editorial Universitaria, Loja. p.141.
- Valarezo, C; Iñiguez, M; Valarezo, L; y, Guaya, P. 1998. *Condiciones físicas de los suelos de la región sur del Ecuador. Una guía para proyectos de riego, drenaje, manejo y conservación de suelos*. Universidad Nacional de Loja, Loja, Ecuador. p. 227.
- Valarezo, C; Maza, H; Chamba, C; Valarezo, L; Merino, B; Villamagua, M; Mora, M; y, González, R. 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 amazonia ecuatoriana”*. Revista CEDAMAZ 1(01). pp. 65 – 80.
- Valarezo, C; Villamagua, M; Mora, M; Maza, H; Wolfgang, W; y, Nieto, C. 2014. *Respuesta del pachaco (Schizolobium parahybum Vell. Conc) y la melina (Gmelina arborea Roxb.) a la aplicación de biocarbón, cal y nutrientes, a los dos años después de la plantación en dos sitios del sur de la amazonia ecuatoriana*. En prensa.
- Yamato, M; Okimori, Y; Wibowo, I; Anshori, S; y, Ogawa, M. (2006). *Effects of the application of charred bark of Acacia mangium on the yield o maize, cowpea and peanut, and soil chemical properties in South Sumatra, Indonesia*. SoilSci Plan Nutr 52:489-495.
- Zwieten, V. L; Kimber, S; Morris, S; Chan, Y; Downie, A; y, Rust, J. (2010). *Effects of biochar from slow pyrolysis of paper mill waste on agronomic performance and soil fertility*. Plant Soil 327:235-246.