

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 %.

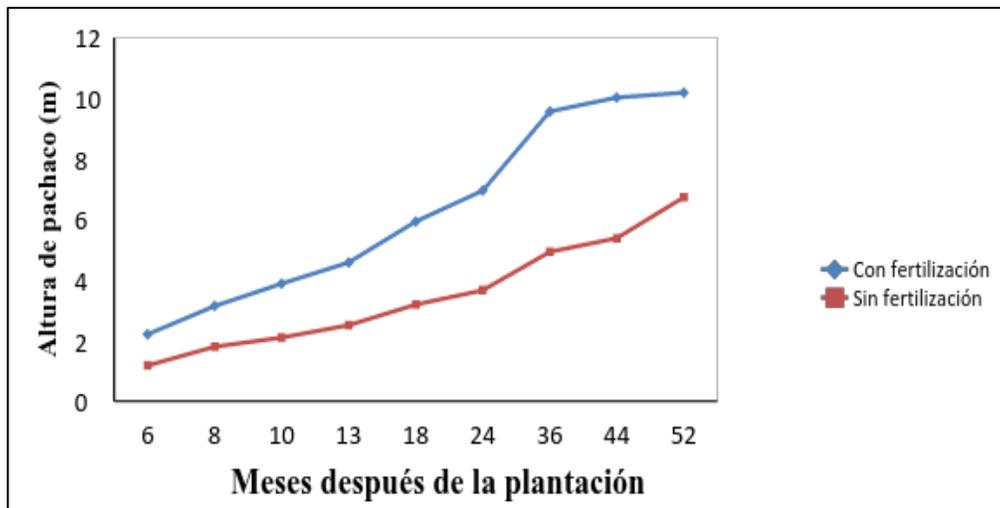


Figura 1. Evolución de la altura del pachaco sin y con fertilización a los 52 meses de la plantación.

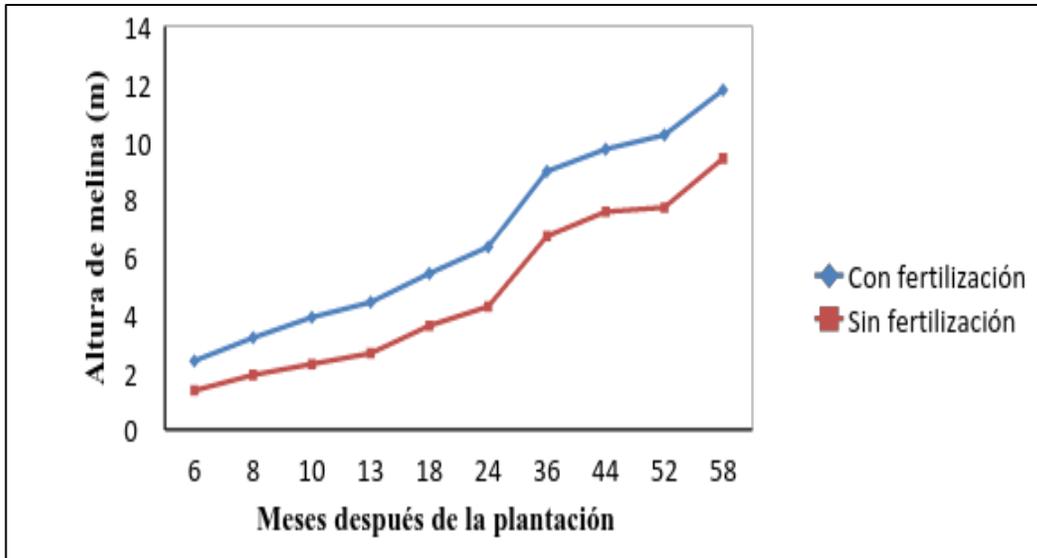


Figura 2. Evolución de la altura de melina sin y con fertilización a los 58 meses de la plantación.

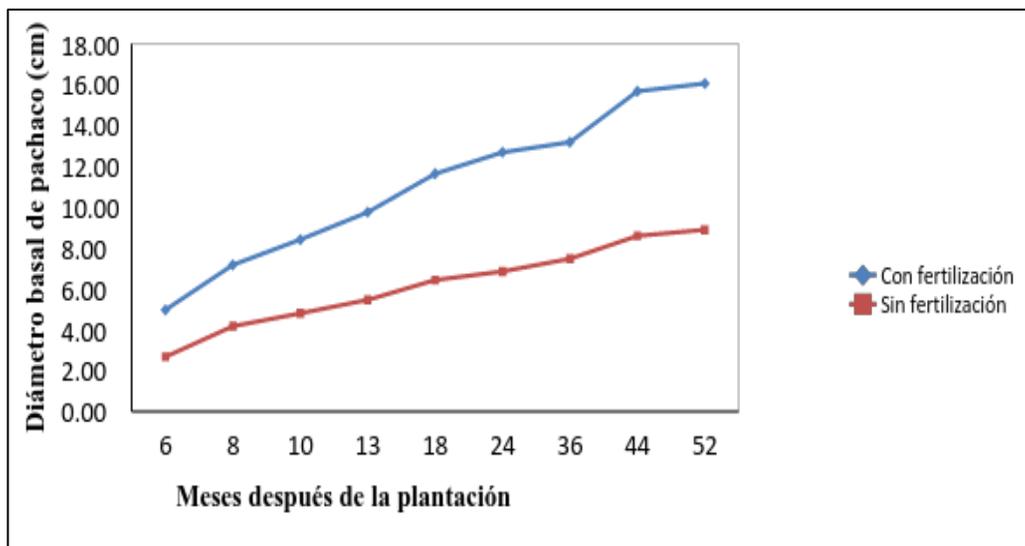


Figura 3. Evolución del diámetro basal del pachaco sin y con fertilización a los 52 meses después de la plantación.

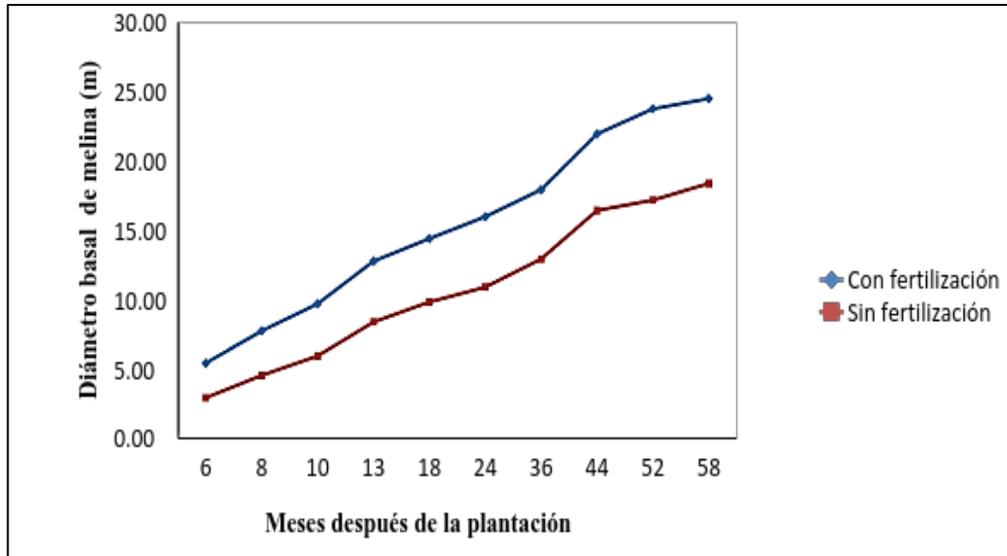


Figura 4. Evolución del diámetro basal de la melina sin y con fertilización hasta los 58 meses después de la plantación.

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 %.

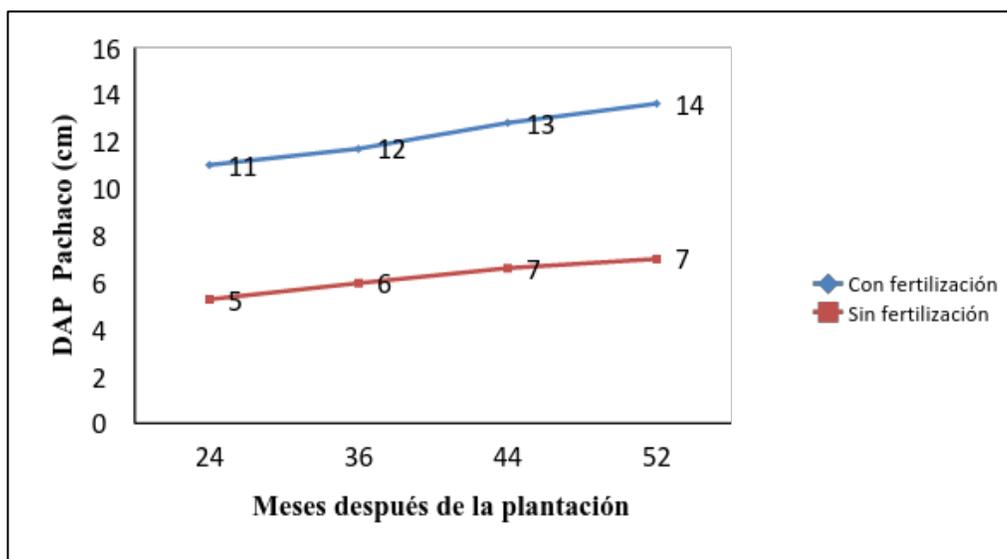


Figura 5. Evolución del DAP del pachaco sin y con fertilización desde los 24 a 52 meses después de la plantación

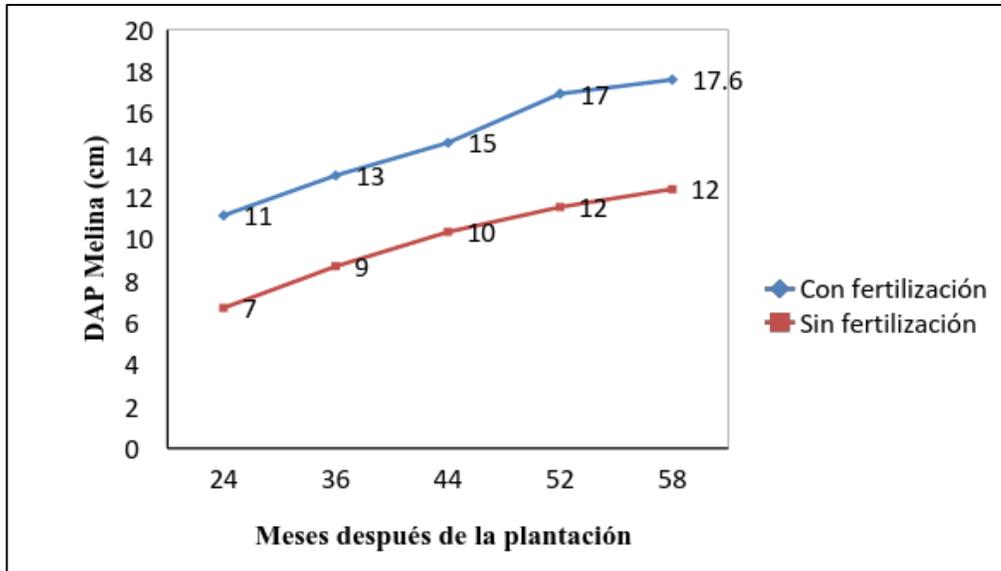


Figura 6. Evolución del DAP de la melina sin y con fertilización desde los 24 meses hasta los 58 meses después de la plantación

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.

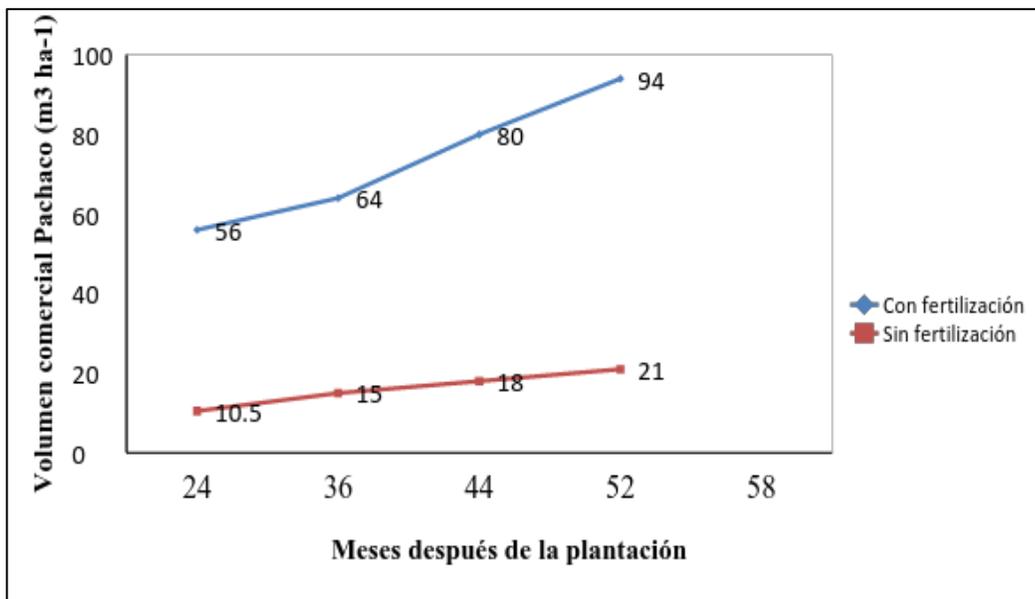


Figura 7. Evolución del volumen comercial del pachaco sin y con fertilización a partir de los 24 meses a los 52 meses.

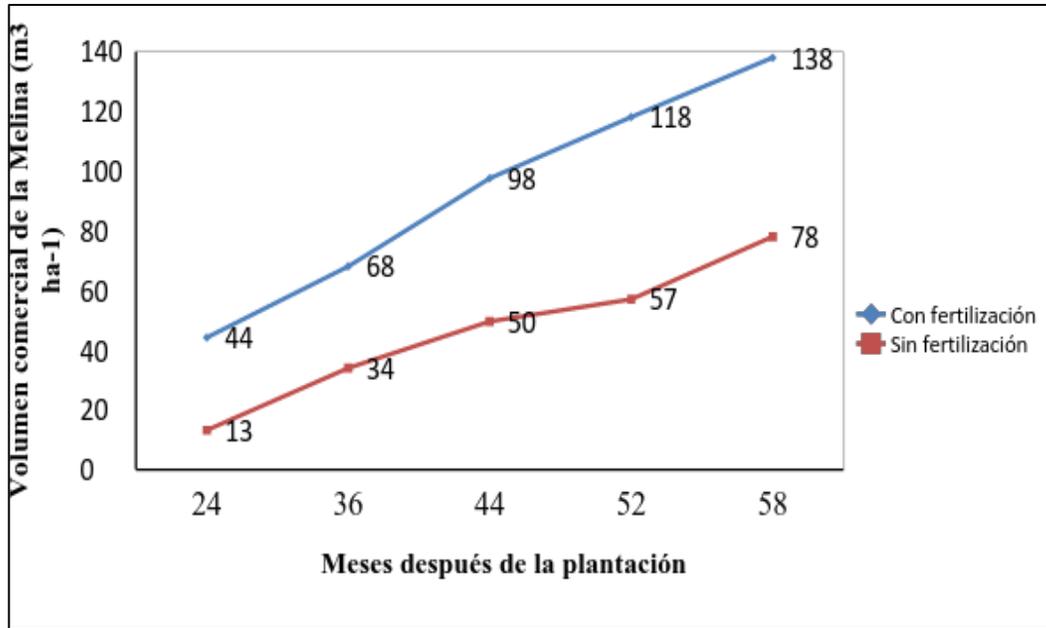


Figura 8. Evolución del volumen comercial de melina sin y con fertilización a partir de los 24 meses a los 58 meses.

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 amendmets*. 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.

RESPUESTA DEL PACHACO (*Schizolobium parahybum* Vell. Conc) Y LA MELINA (*Gmelina arborea* Roxb.) A LA APLICACIÓN DE BIOCARBÓN Y FERTILIZACIÓN EN EL SUR DE LA AMAZONIA ECUATORIANA

RESPONSE PACHACO (*Schizolobium parahybum* Vell. Conc) AND MELINA (*Gmelina arborea* Roxb.) TO THE IMPLEMENTATION OF BIOCARBON AND FERTILIZATION IN THE SOUTH OF THE AMAZON ECUATORIANA

Carlos A Valarezo¹, Miguel A Villamagua², Romney M Mora², Héctor Maza², Wolfgang Wilcke³, Carlos Nieto⁴

¹ 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. Quitumbe 1103, Loja – Ecuador.

² Docente Investigador de la Universidad Nacional de Loja. Ciudadela Universitaria Guillermo Falconí, sector La Argelia, Loja, Ecuador.

³ Investigador. Institute of Geography and Geoecology, Karlsruhe Institute of Technology, Karlsruhe, Germany

⁴ Investigador. Fundación desde El Surco, Quito Ecuador.

Autor para correspondencia: Miguel Villamagua, e-mail: miguel.villamagua@unl.edu.ec; Telefax: 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: 02 de marzo del 2016

Aceptación: 27 de julio del 2016

Valarezo, C, *et al* 2016. Respuesta del pachaco (*schizolobium parahybum* vell. Conc) y la melina (*gmelina arborea* roxb.) a la aplicación de biocarbón y fertilización en el sur de la amazonia ecuatoriana. Universidad Nacional de Loja

RESUMEN

Se instalaron dos experimentos en suelos del ambiente de ladera degradados por la ganadería bovina en el sur de la Amazonia Ecuatoriana (La Victoria – Zamora, *Typic Kandihumults*, formado de granodiorita; y, Los Zapotes – Panguintza, *Typic Kandiudults*, formado de andesita y brechas tobáceas). Cada experimento tiene 12 tratamientos que se derivan de la combinación de dos especies arbóreas de rápido crecimiento, pachaco (*Schizolobium parahybum* Vell. Conc) y melina (*Gmelina arborea* Roxb.), la aplicación de dos niveles de fertilización y cal (sin y con N 200, P 150, K 200, Mg 118, S 183 y Zn 40 kg/ha + CaCO₃, 5 and 3 t ha⁻¹ in La Victoria and Los Zapotes, respectivamente) y tres niveles de biocarbón (0,0, 3,0 y 6,0 t ha⁻¹), los cuales se arreglaron en un diseño de parcelas sub – sub divididas (2x2x3), con cuatro repeticiones. Cada sub – sub parcela contiene 16 árboles plantados a 3 x 3 m. En los dos experimentos, en todas las fechas de registro hasta los dos años, se encontraron diferencias altamente significativas por efecto de la fertilización + cal para: altura de planta, diámetro basal y diámetro a la altura del pecho. El crecimiento y la acumulación de biomasa de melina superó al pachaco en los dos sitios. El mayor crecimiento en altura de las dos especies en Los Zapotes se atribuye a mejores condiciones de fertilidad del suelo que en La Victoria. En los dos experimentos el tiempo de corte para pulpa fue de dos años con la aplicación de cal y nutrientes, en comparación a seis años que se reportan para otras localidades.

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

ABSTRACT

Two experiments were laid out on cattle degraded slopping soils in La Victoria - Zamora (*Typic Kandihumults*, granodiorite, slope 15%) and Los Zapotes - Panguintza, (*Typic Kandiudults*, andesite and tuffaceous breccias, slope 60%). Each experiment has twelve treatments derived from the combination of: two rapid growing timber species pachaco (*Schizolobium parahybum* Vell. Conc) and melina (*Gmelina arborea* Roxb.), the application of two levels of nutrients and lime (without and with N 200, P 150, K 200, Mg 118, S 183 and Zn 40 kg/ha + CaCO₃, 5 and 3 t ha⁻¹ in La Victoria and Los Zapotes, respectively) and three levels of biochar (0,0, 3,0 y 6,0 t ha⁻¹), which were arranged in a sub- sub-split plots random design (2x2x3), with four replications. Each sub-sub plot contains 16 trees, planted at 3 x 3 m. In both experiments fertilization effects (nutrients + lime) have been highly significant for plant height, basal diameter and diameter at breast height in all recording times during the two years after planting. Growth and biomass accumulation of melina exceeded those of the pachaco in the two study sites. The effects of biochar were no significant in the growth of the two species. The greater height and diameter of the two tree species in Los Zapotes is attributed to better soil fertility than in La Victoria. In both experiments the time for harvesting for pulp of the tree species with the application of nutrients and lime is 2 years, compared to 6 years reported for other localities.

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 en el rango de altitud de 800 a 1.100 msnm del ambiente de ladera, en condiciones naturales soportan un frondoso bosque tropical biodiverso y multi-estrato, constituido por un conjunto de especies en equilibrio y armonía, cuya reserva de nutrientes se concentra en la biomasa y en la capa orgánica superficial (Valarezo 2004).

La intervención humana sobre este bosque natural, al igual que en el resto de la RAE, ha consistido en la extracción selectiva de las especies arbóreas de valor comercial, luego la tumba, roza y quema, para finalmente establecer pastizales. Así, la conversión del bosque natural a pastizal, 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. Se estima que la afectación alcanza alrededor del 50% de las áreas del pie de monte y las colinas y montañas bajas (aproximadamente 50 000 ha), la misma que lamentablemente sigue creciendo a expensas de la destrucción del bosque primario (Valarezo *et al.*, 1998).

Desde la perspectiva de la utilización productiva y de recuperación de las áreas degradadas, estas tierras (de pendiente entre 12 y 60%) tienen vocación para la repoblación forestal con especies de valor comercial, aprovechando las condiciones de elevada temperatura y humedad de la zona.

Ello permitiría su re-introducción en el sistema comercial y servir como un medio poderoso para diversificar el manejo de la tierra, a la vez que los agricultores se beneficiarían de los efectos de la recuperación (Knoke *et al.*, 2009). Además, las plantaciones forestales pueden constituirse en un mecanismo adecuado para reducir la cantidad de CO₂ en la atmósfera (Onyekwelu *et al.*, 2011). En cambio, la baja fertilidad general de los suelos, la intensa lixiviación de los nutrientes y la fuerte acidez, se constituyen en sus principales limitaciones (Valarezo 2004).

Los fracasos en la reforestación, especialmente en el trópico húmedo a menudo se atribuyen a limitaciones de nutrientes en el suelo (Ultisol) que afectan al crecimiento de los árboles (Siddique 2008). Aunque la fertilización no ha sido una práctica común en el establecimiento y mantenimiento de las plantaciones forestales del trópico, progresivamente se está convirtiendo en un medio importante para mejorar la nutrición de los árboles y consecuentemente acelerar las tasas de crecimiento y reciclaje de nutrientes en los sitios con deficiencias nutritivas (Nwoboshi 2000; Evans y Turnbull 2004). Con la intensificación de la silvicultura que incluye altas densidades y el acortamiento del período de rotación de la plantación, el uso de fertilizantes para potenciar el crecimiento de los árboles cada vez más gana aceptación como práctica cultural (Onyekwelu *et al.*, 2011). Así, en varias partes de Asia la fertilización con P al momento de la plantación es una práctica estándar para *Gemelina arborea* (Evans y Turnbull 2004).

El biocarbón ha sido promovido como una enmienda para recuperar suelos degradados, elevar la productividad agronómica,

incrementar el secuestro del CO₂ atmosférico y entrar en los futuros mercados de comercio de carbono (Spokas *et al.*, 2011). Como biocarbón se denomina al carbón vegetal que se aplica al suelo para mejorar sus propiedades físicas, químicas y de fertilidad (Lehmann, 2007). El biocarbón se puede elaborar a partir de cualquier material orgánico: leña, ramas, hojas, paja, residuos de cultivos, basura orgánica, e inclusive de excretas (Bruges 2010).

Diferentes estudios señalan que las aplicaciones de biocarbón 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 suelos de baja fertilidad, donde el bosque natural ha sido reemplazado con cultivos y pastizales, se encuentran algunas pequeñas áreas dispersas que 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.

Varias investigaciones han demostrado que en los suelos antropogénicos denominados de Terra Preta, el biocarbón puede mantener altos niveles de materia orgánica y de nutrientes aprovechables para las plantas (Glaser *et al.*, 2002a y Glaser *et al.*, 2002b). En los suelos ácidos, la aplicación de biocarbón 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 de los trópicos húmedos (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 en los suelos mencionados, que tienen baja capacidad de retención iónica (Glaser *et al.*, 2002a). 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.*, 2002a y Lehmann *et al.* 2002). Es en este marco que se formuló el proyecto denominado “GESTIÓN DE LA FERTILIDAD DEL SUELO CON ENMIENDAS DE CARBÓN VEGETAL EN PLANTACIONES DE ÁRBOLES MADERABLES EN EL SUR DE LA AMAZONIA ECUATORIANA”, con un horizonte de mediano plazo (seis años), orientado a generar alternativas para la recuperación de la fertilidad de los suelos ácidos y pobres en las laderas de la Zona Sur de la RAE, como estrategia para la producción de árboles de especies maderables de valor comercial, en la perspectiva de recuperar las áreas degradadas, elevar la captura de CO₂, dinamizar la economía, y atenuar la degradación del bosque primario (Valarezo, 2008).

Uno de los objetivos específicos del proyecto se orienta a determinar el efecto de la aplicación de biocarbón, cal y nutrientes, sobre el crecimiento de las especies arbóreas maderables indicadoras, (*Schizolobium parahybum* y *Gmelina arborea*); para lo cual, en julio-agosto de 2009 se instalaron dos experimentos en suelos degradados por la ganadería del ambiente de ladera del corredor fluvial Zamora – Nangaritza, en el sur de la Amazonia Ecuatoriana, en los sitios la Victoria - cantón Zamora y Los Zapotes – Panguintza, cantón Centinela del Cóndor. En el presente artículo se presentan y discuten

los resultados del crecimiento de las dos especies arbóreas indicadoras hasta los dos años después de la plantación.

MATERIALES Y MÉTODOS

La zona de estudio: La zona de estudio corresponde al territorio del corredor de la red fluvial Zamora-Nangaritza, en la Zona Sur de la RAE, en el rango de 800 a 1 100 m s.n.m, que se extiende entre las ciudades de

Zamora en el Sur y Gualaquiza en el Norte.

El gran paisaje de la zona consiste en un valle estrecho y alargado, con flancos de montañas a ambos lados, pertenecientes a las estribaciones de la Cordillera Real (Oeste) y parte de la Cordillera del Cóndor (Este). El principal sistema de drenaje es el río Zamora con los ríos Yacuambi y Nangaritza como sus afluentes principales.

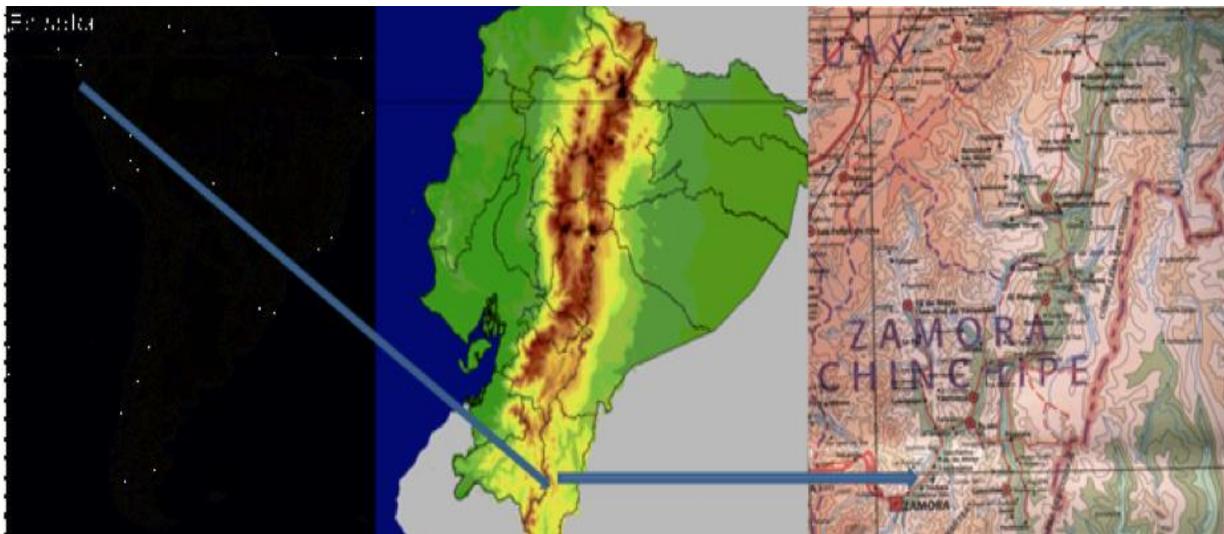


Figura 1. Zona de estudio

El clima del piso bajo de la zona (850 a 1 000 m s.n.m.) presenta las siguientes características: temperatura media mensual 22,0°C; mínima 20,8°C y máxima 22,6°C, precipitación media anual 1 945 mm, con un rango de 1 865 a 2 314 mm; y, humedad relativa media mensual 88% (INAMHI 1993).

Los sitios experimentales

La Victoria (Zamora)

El primer sitio experimental está ubicado en el sector La Victoria, en un terreno perteneciente a la Unidad “BS-62 Zamora”, del Ejército Ecuatoriano, en el cantón Zamora, entre las coordenadas 9 552541 y

9552562 O; y, 0730436 y 0730492 S; y en un rango de altitud de 949 a 964 m s.n.m. El paisaje corresponde a pie de monte, el tipo de relieve es una vertiente y la forma del terreno es una ladera moderadamente escarpada, con 15% de pendiente promedio. Geológicamente se asienta en el gran Batolito de Zamora, de alrededor de 1 800 km², compuesto de leuco granodioritas y granodioritas hornbléndicas (DGGM, 1989).

El suelo (*Typic Kandihumults*), está conformado por una delgada capa orgánica (Horizonte O) de 3 a 4 cm y los horizontes Ap, AE; Bt1; Bt2, CB y C de textura franco arenosa a franco-arcillo arenosa, franco arcillo arenosa. Las raíces se concentran en

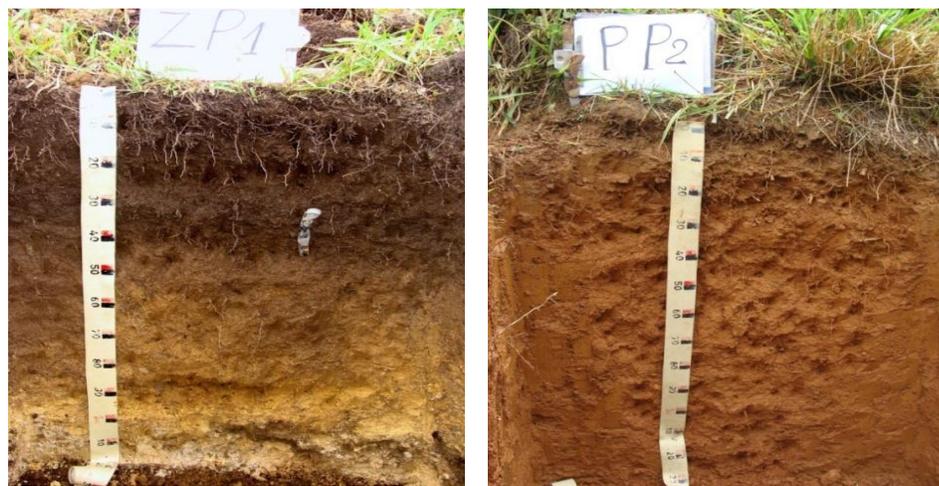
la capa superior del suelo. La reacción es muy fuertemente ácida, con valores de pH_{H_2O} entre 4,7 y 4,9. La acidez intercambiable ($H^+ + Al^{3+}$) disminuye con la profundidad (3,48 a 1,74 $cmol(+)kg^{-1}$). El contenido de materia orgánica (MO), oscila entre 0,17% para el horizonte C y 3,8% para el horizonte Ap (Valarezo *et al* 2010).

Los Zapotes (Panguintza)

El segundo sitio experimental está ubicado en la finca “Los Zapotes” en la parroquia Panguintza del cantón Centinela del Cóndor, entre las coordenadas 9 5668110 y 9 5668160 O; y, 0741799 y 0741868 S, en un rango de altitud de 875 a 917 m s.n.m. El paisaje corresponde a pie de monte, el tipo de relieve es una vertiente y la forma del terreno es una ladera muy escarpada de 60% de pendiente promedio. El material parental

está constituido por rocas de lavas afánicas de color gris verdoso, identificadas como andesita y brechas tobáceas, que corresponden al Miembro Superior de la Formación Chapiza del Jurásico (DGGM 1989).

El suelo, *Typic Kandiuults*, no presenta los horizontes originales O, A y E, que han desaparecido por erosión. Hasta 120 cm de profundidad está constituido por los horizontes Ap, Bt21, Bt22, Bt23, de textura franco arcillo arenosa a arcillosa. Las raíces se concentran en la capa superior del suelo. La reacción es muy fuertemente ácida, con valores de pH_{H_2O} de 4,5 a 4,9. La acidez intercambiable ($H^+ + Al^{3+}$), aumenta con la profundidad (2,90 a 6,38 $cmol(+)kg^{-1}$). El contenido de materia orgánica (MO) oscila entre 0,9% para el horizonte Bt23 y 2,8% para el horizonte Ap. (Valarezo *et al.*, 2010)



(a)

(b)

Figura 2. Perfiles de suelo: (a) La Victoria – Zamora *Typic Kandihumults* y (b) Los Zapotes – Panguintza, *Typic Kandiuults* (USDA Soil Taxonomy 2010)

Las especies maderables indicadoras

Como especies arbóreas maderables indicadoras de rápido crecimiento se seleccionaron el pachaco (*Schizolobium parahybum* Vell. Conc) y la melina (*Gmelina arborea* Roxb.). El pachaco es un árbol leguminoso de rápido crecimiento, nativo de Centro y Sudamérica, de fuste recto, alcanza hasta 22 m de altura y diámetro a la altura del pecho (DAP) de alrededor de 1 m. Prefiere suelos húmedos pero bien drenados, con un rango de pH de 5 a 7,5 y una precipitación anual de 1 000 a 1 800 mm (Tropical Biology 2006).

Un importante beneficio de este árbol es que puede ser plantado para mejorar la fertilidad del suelo por sus altos niveles de producción de biomasa (Orwa 2006) Aporta nitrógeno al suelo y por su rápido crecimiento contribuye a la captura de CO₂ en un tiempo relativamente corto, en comparación con las maderas más duras. Su madera es de densidad liviana, pero tiene diferentes usos (contrachapados, aglomerados, enlistonados, pulpa, y como medio de aislamiento).

La melina es un árbol originario del Sudeste Asiático que ha sido introducido en diferentes partes del mundo. Se adapta a una diversidad de condiciones en un rango de precipitación anual de 750 – 5000 mm y temperatura anual de 20-28°C (Duke 1983; Jensen 1995). Es una especie que no tolera la sombra, por lo que necesita espacio para su dosel (World Agroforestry Centre 2000). Prefiere suelos bien drenados, con pH de 5 – 8, pero puede tolerar muchos suelos incluyendo los suelos ácidos fuertemente lixiviados y pobres (Duke 1983; Hossain 1999). Según CORMADERA (2002), bajo condiciones apropiadas de sitio es una de las especies de mayor crecimiento en el mundo.

Los frutos se emplean para la preparación de champú, el follaje joven es apetecido por los animales, sus flores son bastante melíferas, las hojas, los frutos y la corteza se utilizan con fines medicinales, produce carbón de elevado poder calorífico, su turno para pulpa es de 5 a 6 años y para madera de 12 años. Su madera es durable bajo el agua y se la usa para la construcción, tableros aglomerados, muebles, juguetes, fósforos, instrumentos musicales, esculturas y cajas de embalaje (Duke 1983; Hossain 1999).

El biocarbón

Se utilizó biocarbón de una sola fuente, elaborado mediante un proceso tradicional local del sector Santa Bárbara, de la parroquia Jimbilla, del cantón Loja, provincia de Loja, a partir del material leñoso de los siguientes árboles: 80% tábano (*Casearia sp.* familia Flacourtiaceae); y, 20% de cashco (*Weinmania fagaroides*), canelo (*Nectandra laurel* Nees) y capulí (*Prunus opaca* (Benth. Walp.)). No se dispone de información sobre la temperatura y condiciones de pirolisis en las que fue producido. El material obtenido fue molido de manera de garantizar un tamaño de partícula inferior a 0,5 cm (Bruno Glasser, comunicación personal).

Características de los experimentos

Los experimentos incluyen el estudio de tres factores: el primero corresponde a la determinación del crecimiento de las dos especies forestales (pachaco y melina). El segundo factor es el biocarbón evaluado en tres niveles: 0, 3 y 6 t ha⁻¹; y, el tercer factor es la fertilización, en dos niveles: Sin y Con 200 de N, 150 P, 200 K, 118 Mg, 183 S y 40 Zn kg/ha más 5 y 3 t ha⁻¹ de CaCO₃, en La Victoria – Zamora y Los Zapotes - Panguintza, respectivamente.

La dosis de carbonato de calcio para cada sitio experimental se estableció a partir de los promedios ponderados de los contenidos de Al^{3+} intercambiable y de materia orgánica, de las muestras tomadas de la capa de 00 a 25 cm de profundidad, aplicando la siguiente relación: 2 cmol(+)/kg de Ca^{2+} por cada 1 cmol(+)/kg de Al^{3+} (Sys 1979). La cal, los fertilizantes y el biocarbón se distribuyeron uniformemente en un círculo de 2,4 y 2 m de diámetro en La Victoria y en Los Zapotes, respectivamente. Luego se incorporaron homogéneamente hasta una profundidad de 25 cm.

El diseño del experimento correspondió a un arreglo factorial de (2 x 2 x 3), en parcelas sub-subdivididas, en bloques al azar, con doce tratamientos y cuatro repeticiones. Consecuentemente, cada bloque está formado por dos parcelas grandes para el factor especies arbóreas; a su vez, éstas se dividen en dos sub parcelas para los dos niveles de fertilización (sin y con), y dentro de éstas, se ubican las sub-sub parcelas que corresponden a los tres niveles de biocarbón. Cada sub-sub parcela contiene 16 plantas de una de las especies maderables, plantadas en cuadro a 3 x 3 m (Cuadro 1).

Cuadro 1. Descripción de los Tratamientos, Factores y Niveles en estudio

Tratamientos	Factores	Niveles
T1 = A1F1 C1	Especies arbóreas	A1. Pachaco, Schizolobium parahybum
T2 = A1F2 C1	Cal y fertilización	A2. Melina, Gmelina arbórea
T3 = A1 F1C2		F1. 0 t cal / ha + 0 kg de nutrientes/ ha
T4 = A1 F2C2		F2. 2 cmol(+)/kg-1 Ca^{2+} por 1 cmol(+)/kg-1 Al^{3+} /100 g suelo (cal) + 200 kg/ha de N, 150 kg/ha de P, 200 kg/ha de K, 118 kg/ha de Mg, y 40 kg/ha de Zn, aplicados en una sola vez para cubrir la extracción total de la especie arbórea.
T5 = A1F1 C3		Biocarbón
T6 = A1F2 C3		C2. 3,0 t biocarbón/ha
T7 = A2F1 C1		C3. 6,0 t biocarbón/ha
T8 = A2 F2C1		
T9 = A2F1 C2		
T10= A2F2C2		
T11= A2F1C3		
T12 =A2F2C3		

A = Árbol maderable; F = Fertilización; C = biocarbón

Variables de respuesta

Para evaluar el crecimiento de los árboles y la producción de biomasa se viene midiendo tres variables: altura de planta desde la base del tallo, hasta el ápice final; diámetro basal del tallo medido a veinte centímetros del suelo; y, el diámetro a la altura del pecho (DAP).

Análisis estadístico

En el análisis de la varianza (ADEVA), las pruebas de significación y las curvas de regresión se ha utilizado el software estadístico InfoStat (Di Rienzo *et al.*, 2008). Con la finalidad de comparar los dos sitios experimentales, se realizó el análisis de la varianza aplicando el siguiente modelo:

Factor (A) Sitios (La Victoria y Los Zapotes); Factor (B) Niveles de fertilización; y, Factor (C) Niveles de biocarbón.

En el Cuadro 2 se presentan los valores promedio de altura de planta, diámetro basal y diámetro a la altura del pecho (DAP) de los doce tratamientos del experimento del sitio La Victoria – Zamora, a los dos años desde la plantación.

RESULTADOS

Crecimiento de las especies arbóreas en La Victoria - Zamora

Cuadro 2. *Valores promedio de altura de planta, diámetro basal y DAP del experimento en el sitio La Victoria - Zamora, a los dos años desde la plantación.*

Tratamientos	Altura (m)	Diámetro basal (cm)	DAP (cm)
T1 (Pachaco sin fertilización + 0 t/ha biocarbón)	3,2	6,2	4,6
T2 (Pachaco con fertilización + 0 t/ha biocarbón)	6,9	12,6	10,9
T3 (Pachaco sin fertilización + 3 t/ha biocarbón)	3,4	5,9	4,6
T4 (Pachaco con fertilización + 3 t/ha biocarbón)	7,2	13,0	11,3
T5 (Pachaco sin fertilización + 6 t/ha biocarbón)	4,4	8,5	6,6
T6 (Pachaco con fertilización + 6 t/ha biocarbón)	6,7	12,4	10,7
T7 (Melina sin fertilización + 0 t/ha biocarbón)	4,4	10,9	6,9
T8 (Melina con fertilización + 0 t/ha biocarbón)	6,4	16,4	11,6
T9 (Melina sin fertilización + 3 t/ha biocarbón)	4,3	11,2	7,0
T10 (Melina con fertilización + 3 t/ha biocarbón)	6,0	15,7	10,7
T11 (Melina sin fertilización + 6 t/ha biocarbón)	4,0	10,6	6,2
T12 (Melina con fertilización + 6 t/ha biocarbón)	6,6	15,8	11,0

Altura de planta

Los valores promedio de la altura de planta a los dos años desde la plantación en el experimento La Victoria – Zamora, se encuentran en el rango de 3,2 y 6,94 m para los tratamientos T1 (pachaco, sin fertilización + 0 t ha⁻¹ de biocarbón) y T2 (pachaco con fertilización + 0 t ha⁻¹ de biocarbón), respectivamente (Cuadro 2).

Los resultados del análisis de varianza se presentan en el Cuadro 3, en conjunto para todas las fechas de registro. Se incluyen los valores de cuadrados medios, como una expresión de la varianza de los efectos de los tratamientos aplicados y sus interacciones;

y, los valores del nivel de probabilidad estadística.

La mayoría de factores en estudio y sus interacciones en casi todas las fechas de registro no presentaron efectos significativos sobre la variable altura de planta, con excepción del factor fertilización, cuyos efectos fueron altamente significativos, (P <1%), en todas las fechas de registro. La respuesta diferenciada de crecimiento de las especies arbóreas, a los efectos de la fertilización se corrobora mediante la prueba de DMS, realizada para los promedios de altura de planta, y cuyos resultados son claramente dos rangos: con fertilización (a) y sin fertilización (b), (ver Cuadro 4).

Por otro lado, en esta misma localidad (La Victoria - Zamora), se encontraron evidencias de efectos significativos ($P < 5\%$), para la interacción Fertilizaciones x Especies arbóreas x Biocarbón, a los 250

días y diferencias significativas ($P < 10\%$), para los efectos de esta misma interacción, a los 190, 400 y 540 días desde la plantación, respectivamente (ver Cuadro 3 y Figura 3).

Cuadro 3. Análisis de varianza para la variable Altura de planta, en seis fechas de muestreo, en días después de la plantación, para el Sitio La Victoria -Zamora.

Fuente de variación	Cuadrados medios						Nivel de probabilidad (P)					
	190	250	300	400	540	720	190	250	300	400	540	720
Bloques	0,18	0,23	0,17	0,23	0,59	2,23	0,5872	0,7196	0,8043	0,7276	0,6079	0,4171
Especie arbórea	0,4	0,07	0,12	0,02	0,02	0,01	0,2789	0,7284	0,6584	0,9579	0,8754	0,9990
Error experimental (a)	0,23	0,49	0,51	0,50	0,83	1,72						
Fertilización	12,7	20,87	34,73	44,12	62,24	85,92	0,0001	0,0001	0,0001	0,0002	0,0005	0,0013
Fertilización. x E. arbórea	0,01	0,01	0,07	0,28	2,60	4,47	0,9811	0,8615	0,6320	0,5286	0,2101	0,2447
Error experimental (b)	0,17	0,22	0,29	0,63	1,32	2,69						
Biocarbón	0,01	0,03	0,02	0,07	0,03	0,21	0,9019	0,8071	0,9923	0,7713	0,9432	0,7331
Fertilización x Biocarbón	0,07	0,21	0,19	0,49	1,03	0,21	0,4197	0,2064	0,4055	0,1816	0,1764	0,7268
E. arbórea x Biocarbón	0,06	0,11	0,05	0,20	0,30	0,45	0,4328	0,4196	0,7857	0,4828	0,5831	0,5143
E. arbórea x Fert. x Biocarbón	0,22	0,44	0,40	0,82	1,43	1,52	0,0669	0,0453	0,1559	0,0651	0,0983	0,1206
Error experimental (c)	0,07	0,13	0,20	0,27	0,54	0,66						
Coficiente de variación (%)	15,13	14,14	14,67	14,64	16,18	15,26						

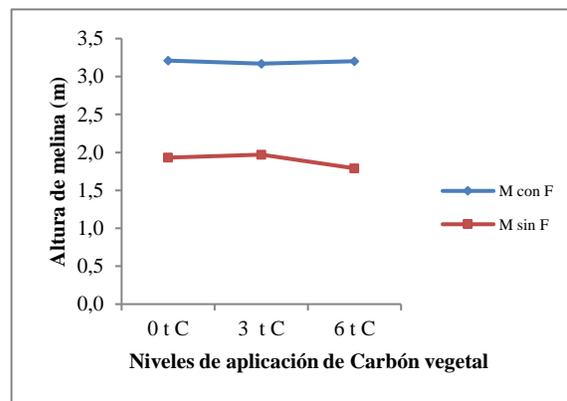
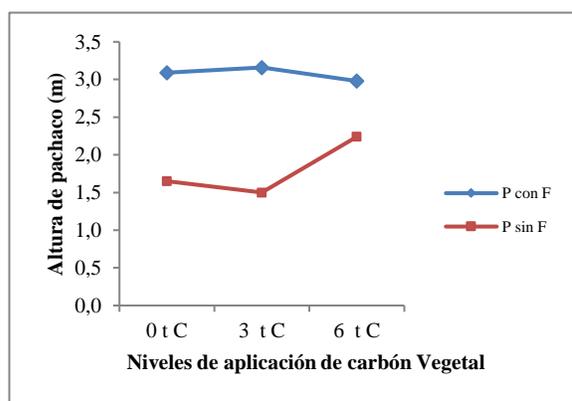


Figura 3. Representación de la Interacción doble: Especie arbórea x Fertilización x Biocarbón, para la variable Altura de planta, a los 250 días de la plantación, para el Sitio La Victoria. (P = pachaco *Schizolobium parahybum*; M = melina *Gmelina arborea*; F = fertilización).

Los modelos de crecimiento de las especies arbóreas, en función del tiempo y por efecto de los tratamientos, para los incrementos de

crecimiento en altura de planta, para las seis fechas de muestreo se ilustran en la Figura 4.

Cuadro 4. Promedios de Altura de planta por especie arbórea y nivel de fertilización, para seis fechas de muestreo desde la plantación, para el Sitio La Victoria - Zamora.

Días desde la plantación	Pachaco		Melina		Promedio	
	Con fertilización	Sin fertilización	Con fertilización	Sin fertilización	Con fertilización	Sin fertilización
190	2,40	1,25	2,53	1,32	2,30 (a)	1,27 (b)
250	3,10	1,80	3,38	2,00	3,17 (a)	1,85 (b)
300	3,75	2,27	4,03	2,41	3,89 (a)	2,19 (b)
400	4,25	2,65	4,54	2,97	4,50 (a)	2,58 (b)
540	5,51	3,43	5,78	3,92	5,68 (a)	3,40 (b)
730	6,49	3,91	7,02	4,58	6,65 (a)	3,97 (b)

Letras iguales significan diferencias no significativas. Prueba de DMS ($P < 0,05$)

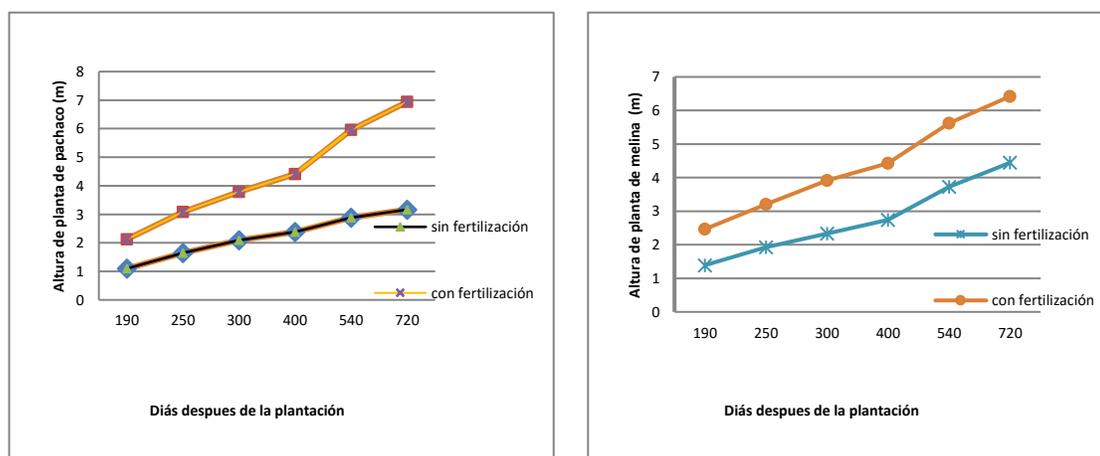


Figura 4. Crecimiento de las dos especies forestales, en función del tiempo, desde la plantación y diferenciadas por el efecto de la fertilización, para el Sitio La Victoria – Zamora.

Como se puede apreciar en la Figura 4, y en el Cuadro 4, a los dos años después de la plantación, el pachaco con y sin fertilización alcanzó una altura promedio de 6,49 y 3,91 m, respectivamente, con una diferencia de

2,58 m, equivalente a 66%. Por su parte, la melina con y sin fertilización alcanzó una altura promedio de 7,02 y 4,58 m, respectivamente, con una diferencia de 2,44 m, lo que equivale a 53%.

Cuadro 5. Resultados de los análisis de regresión para la variable crecimiento de árboles versus días desde la plantación, para el Sitio La Victoria – Zammora.

Variable y factores en estudio aplicados a la Regresión	Ecuación de regresión resultante	Estadísticos asociados al cálculo de la regresión
Crecimiento de Pachaco con fertilización versus días desde la plantación	Alt. planta = 0,82 + 0,01días	N = 24; R ² = 0,81; P = <0,0001
Crecimiento de Pachaco sin fertilización versus días desde la plantación	Alt. planta = 0,74 + 0,0037días	N = 24; R ² = 0,59; P = <0,0001
Crecimiento de Melina con fertilización versus días desde la plantación	Alt. planta = 1,42 + 0,01días	N = 24; R ² = 0,80; P = <0,0001
Crecimiento de Melina sin fertilización versus días desde la plantación	Alt. planta = 0,49 + 0,01días	N = 24; R ² = 0,87; P = <0,0001

En el Cuadro 5, se presentan los resultados de los análisis de regresión para pachaco con y sin fertilización y para melina con y sin fertilización, cuyas regresiones fueron significativas. En este mismo cuadro se muestran las ecuaciones de regresión lineal respectivas y los estadísticos asociados al cálculo. Además, a manera de ejemplo, la Figura 5 contiene la representación gráfica de la regresión lineal del pachaco con fertilización en función del tiempo desde la plantación.

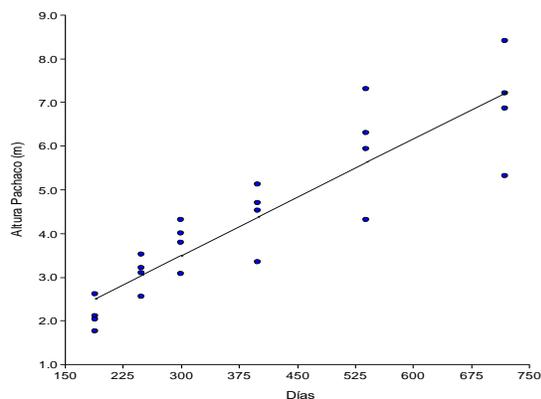


Figura 5. Curva de Regresión de Altura de planta de Pachaco con fertilización vs

Días después de la plantación, para el Sitio La Victoria – Zamora

Diámetro basal

Los valores promedio del diámetro basal (DB) a los dos años desde la plantación en el experimento de La Victoria – Zamora, se encuentran en el rango de 5,9 y 16,4 cm, para los tratamientos T3 (pachaco sin fertilización + 3 t ha⁻¹ de biocarbón) y T8 (melina con fertilización + 3 t ha⁻¹ de biocarbón), respectivamente (Cuadro 2). Es destacable la alta significancia (p < 1%) encontrada para los efectos del factor fertilización, en todas las fechas de registro. En el Cuadro 7, se presentan los promedios de DB de las especies arbóreas para los efectos de la fertilización, luego de haber aplicado la prueba de DMS: con fertilización (a) y sin fertilización (b).

En el caso del DB se observaron diferencias significativas (P < 5%), para los efectos del factor Especies forestales, en por lo menos tres fechas de muestreo: 300, 400 y 540 días después de la plantación, ver Cuadro 6.

Cuadro 6. Resultados del Análisis de varianza para la variable Diámetro basal, en seis fechas de muestreo, en días después de la plantación, para el Sitio La Victoria - Zamora.

F. de variación	Cuadrados medios						Nivel de probabilidad (P)					
	190	250	300	400	540	720	190	250	300	400	540	720
Bloques	1,47	2,19	2,59	2,53	6,31	10,23	0,307	0,271	0,308	0,424	0,355	0,298
Especies arbóreas	1,58	2,61	17,67	105,1	114,6	7,30	1	5	1	5	1	5
Error experimental (a)	0,78	1,01	1,37	1,99	3,95	5,24	0,249	0,206	0,037	0,005	0,012	0,323
Fertilización	69,9	115,9	163,6	287,0	307,3	307,3	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001
Fertilización x E. arbórea	4	4	1	225,2	9	4	1	3	2	4	6	0
Error experimental (b)	0,08	0,12	0,08	0,03	1,06	4,97	0,780	0,817	0,869	0,939	0,705	0,480
Biocarbón	0,07	0,004	0,02	0,59	0,18	0,23	7	5	5	2	4	5
Fertilización X Biocarbón	0,12	0,54	0,51	1,45	3,88	1,09	0,806	0,993	0,982	0,650	0,935	0,890
E. arbórea x Biocarbón	0,25	0,62	0,40	1,58	0,88	2,55	5	3	0,705	1	6	4
E. arbórea x Fert x Biocarbón	0,94	1,63	1,45	3,82	5,62	3,42	0,705	0,450	0,605	0,355	0,253	0,579
Error experimental (c)	0,34	0,65	1,00	1,35	2,67	1,95	1	4	9	8	6	8
Coefficiente de variación (%)	14,5	9	13,62	13,90	12,77	15,43	0,484	0,398	0,674	0,326	0,723	0,288
	9	13,62	13,90	12,77	15,43	14,31	3	0,102	9	7	7	7
							0,083	0,102	0,078	0,143		
							7	8	0,257	5	7	0,194

Como se puede apreciar en el Cuadro 7, a los dos años después de la plantación, el pachaco con y sin fertilización alcanzó un DB promedio de 12,70 y 6,87 cm, respectivamente, con una diferencia de 5,63

cm, equivalente a 82%. Por su parte, la melina con y sin fertilización alcanzó un DB de 15,97 y 10,90 cm, respectivamente, con una diferencia de 5,07 cm, lo que equivale a 47%.

Cuadro 7. Análisis de promedios de Diámetro basal, por especie arbórea y nivel de fertilización, para seis épocas de muestreo, desde la plantación, para el Sitio La Victoria - Zamora.

Días desde la plantación	Pachaco		Melina		Promedio	
	Con fertilización	Sin fertilización	Con fertilización	Sin fertilización	Con fertilización	Sin fertilización
190	4,98	2,65	5,43	2,93	5,20 (a)	2,70 (b)
250	7,18	4,18	7,75	4,54	7,47 (a)	4,36 (b)
300	8,41	4,8	9,71	5,93	9,06 (a)	5,37 (b)
400	9,75	5,47	12,76	8,38	11,25 (a)	6,92 (b)
540	11,64	6,45	14,43	9,84	13,03 (a)	8,14 (b)
720	12,70	6,87	15,97	10,90	14,34 (a)	8,88 (b)

Letras iguales significan diferencias no significativas. Prueba de DMS (P < 0,05)

Adicionalmente, se destaca la significación ($P < 10\%$), observada para la interacción Fertilización x Especies forestales x biocarbón, en por lo menos dos fechas de muestreo: 190 y 400 días después de la plantación.

Diámetro a la altura del pecho (DAP)

Los valores promedio del DAP a los dos años desde la plantación en el experimento La Victoria - Zamora, se encuentran en el rango de 4,6 y 11,6 cm, para los tratamientos T1 (pachaco sin fertilización + 0 t ha⁻¹ de biocarbón) y T8 (melina con fertilización + 3 t ha⁻¹ de biocarbón), respectivamente (Cuadro 2). Únicamente existe diferencia altamente significativa para el factor de fertilización, no así para los factores especies arbóreas y dosis de biocarbón, ni para las interacciones fertilización x árbol, árbol x biocarbón, fertilización x biocarbón; y, árbol x fertilización x carbón. El CV es de 16,4 %.

Los valores del DAP del pachaco sin y con fertilización son de 5,28 y 10,9 cm, respectivamente, con un incremento de 5,62 cm, equivalente a 106%; en tanto que, para la melina los valores son de 6,71 y 11,12 cm, respectivamente, con un incremento de 4,41 cm, equivalente a 66%. El DAP promedio de planta (pachaco y melina) sin fertilización es de 6,0 cm y con fertilización 11,1 cm, con un incremento de 5,1 cm, equivalente a 84,3% (ver cuadro 8).

Cuadro 8. *Promedios de DAP por especie arbórea y nivel de fertilización a los dos años desde la plantación, para el Sitio La Victoria – Zamora.*

Especie	Nivel de Fertilización	DAP (cm)
Pachaco	Con fertilización	10,9
	Sin fertilización	5,28
Melina	Con fertilización	11,12
	Sin fertilización	6,71
Promedio de melina y pachaco	Con fertilización	11,1 (a)
	Sin fertilización	6,0 (b)

Letras iguales significan diferencias no significativas. Prueba de DMS ($P < 0,05$)

Crecimiento de las especies arbóreas en Los Zapotes - Panguintza

En el cuadro 9 se presentan los valores promedio de altura de planta, diámetro basal y diámetro a la altura del pecho de los doce tratamientos del experimento del sitio Los Zapotes – Panguintza, a los dos años desde la plantación.

Cuadro 9. *Valores promedio de altura de planta, diámetro basal y diámetro a la altura del pecho del experimento Los Zapotes – Panguintza a los dos años desde la plantación*

Tratamientos	Altura (m)	D.	
		Basal (cm)	DAP (cm)
T1(Pachaco sin fertilización + 0 t/ha biocarbón)	6,60	11,14	8,2
T2 (Pachaco con fertilización + 0 t/ha biocarbón)	9,27	14,04	11,5
T3 (Pachaco sin fertilización + 3 t/ha biocarbón)	5,22	9,80	6,3
T4 (Pachaco con fertilización + 0 t/ha biocarbón)	7,64	13,84	11,2

Continúa...

T5 (Pachaco sin fertilización + 6 t/ha biocarbón)	5,17	9,41	6,6
T6 (Pachaco con fertilización + 6 t/ha biocarbón)	8,28	13,89	9,1
T7 (Melina sin fertilización + 0 t/ha biocarbón)	6,91	13,06	7,3
T8 (Melina + 0 t/Carbón+con fertilización)	7,74	15,84	8,3
T9 (Melina sin fertilización + 3 t/ha biocarbón)	5,49	11,84	5,5
T10 (Melina con fertilización + 3 t/ha biocarbón)	8,63	16,98	7,4
T11 (Melina sin fertilización + 6 t/ha biocarbón)	6,80	13,68	6,0
T12 (Melina con fertilización + 6 t/ha biocarbón)	7,54	16,20	8,3

Altura de planta

Los valores promedio de altura de planta a los dos años desde la plantación en el experimento Los Zapotes – Panguinza, se ubican en el rango de 5,22 y 9,27 m, para los tratamientos T3 (pachaco sin fertilización + 3 t ha⁻¹ de biocarbón) y T2 (pachaco con fertilización + 0 t ha⁻¹ de biocarbón), respectivamente (Cuadro 9).

Se encontró alta significación ($P < 1\%$), para los efectos de la fertilización sobre el crecimiento de las especies arbóreas la altura de planta, para las fechas de registro: 190, 254, 300, 430 y 547 días; mientras que, a los 721 días después de la plantación los efectos de la fertilización fueron significativos ($P < 5\%$), (ver Cuadro 10).

Cuadro 10. Análisis de varianza para la variable Altura de planta, en seis fechas de muestreo, en días después de la plantación, para el Sitio Los Zapotes - Panguinza.

F. de variación	Cuadrados medios						Nivel de probabilidad (P)					
	192	254	300	430	547	730	192	254	300	430	547	730
Bloques	0,17	0,41	0,51	0,85	0,92	2,14	0,832 1	0,802 3	0,631 2	0,730 8	0,706 9	0,819 3
Especies arbóreas	0,83	1,44	3,28	4,33	3,99	0,63	0,321 8	0,355 8	0,131 9	0,224 7	0,235 7	0,781 5
Error experimental (a)	0,59	1,21	0,77	1,86	1,82	6,91						
Fertilización	8,67	20,2 5	25,3 2	34,4 3	32,37	54,9 6	0,002 3	0,001 4	0,002 8	0,002 0	0,002 1	0,013 4
Fertilización x E. arbórea	0,31	0,89	1,18	0,86	1,20	3,90	0,376	0,285 3	0,335 3	0,443 7	0,356 9	0,391 8
Error experimental (b)	0,34	0,64	1,07	1,28	1,21	4,58						
Biocarbón	0,15	0,19	0,22	0,76	0,78	2,91	0,199 9	0,398 6	0,458 9	0,162 3	0,146 6	0,106 1
Fertilización x Biocarbón	0,02	0,15	0,07	0,01	0,06	0,26	0,663 5	0,375 0	0,592 8	0,850 4	0,700 9	0,656 8
E. arbórea x Biocarbón	0,02	0,11	0,06	0,19	0,25	2,96	0,904 7	0,616 4	0,848	0,714	0,604 0	0,101 7
E. arbórea x Fert x Biocarbón	0,03	0,02	0,05	0,01	0,02	0,42	0,549 4	0,929 4	0,889 8	0,897 8	0,827 0	0,572 8
Error experimental (c)	0,09	0,19	0,24	0,41	0,40	1,28						
Coefficiente de variación	19,7	17,6	15,9	15,3	14,72	16,0						

(%)	1	5	1	8
-----	---	---	---	---

La prueba de medias (DMS) para las medias con fertilización (a) y sin fertilización (b), para todas las épocas de muestreo se presenta en el Cuadro 11.

Cuadro 11. Análisis de promedios de Altura de planta, por especie arbórea y nivel de fertilización, para seis fechas de muestreo desde la plantación, para el Sitio Los Zapotes - Panguintza.

Días desde la plantación	Pachaco		Melina		Promedio	
	Con fertilización	Sin fertilización	Con fertilización	Sin fertilización	Con fertilización	Sin fertilización
192	2,14	1,12	1,58	1,04	3,42(a)	1,85 (b)
254	3,60	2,03	2,76	1,73	4,24(a)	2,47 (b)
300	4,37	2,61	3,42	2,34	4,80(a)	2,96 (a)
430	5,60	3,85	4,46	3,27	5,44(a)	3,48 (b)
547	5,77	4,00	4,56	3,42	5,56(a)	3,60 (b)
721	9,08	6,60	7,74	6,91	8,31(a)	5,60 (b)

Letras iguales significan diferencias no significativas. Prueba de DMS ($P < 0,05$)

Una primera aproximación a los modelos de crecimiento de las especies arbóreas en función del tiempo y por efecto de los tratamientos se ilustra en la Figura 6, para los incrementos de crecimiento en altura de planta, para las seis fechas de registro. A los dos años el pachaco con y sin fertilización alcanzó una altura promedio de 9,08 m y

6,60 m, respectivamente, con una diferencia de 2,48 m, equivalente a 37,6%. Por su parte, la melina con y sin fertilización alcanzó una altura promedio de 7,74 y 6,91m, respectivamente, con una diferencia de 0,83 m, lo que equivale a 12,0% (Cuadro 11).

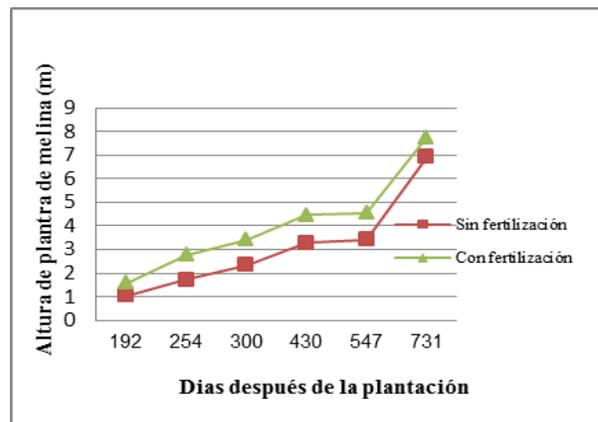
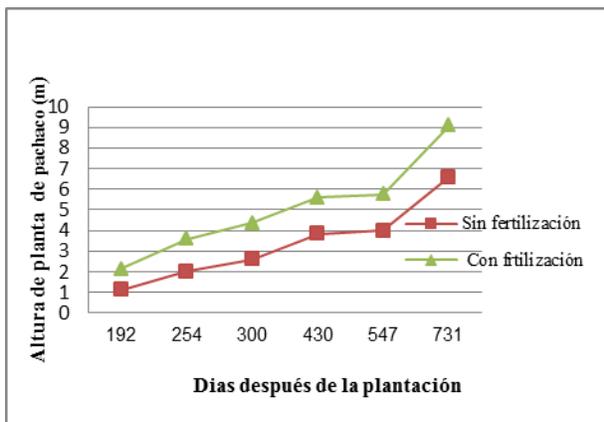


Figura 6. Crecimiento de las dos especies forestales, en función del tiempo, desde la plantación y diferenciadas por el efecto de la fertilización, para el Sitio Los Zapotes - Panguintza

En el Cuadro 12, se presentan los resultados de los análisis de regresión para pachaco y la melina con y sin fertilización, cuyas regresiones fueron significativas. También se muestran las respectivas ecuaciones de regresión lineal y los estadísticos asociados

al cálculo. Además, en la Figura 7 se muestra la representación gráfica de la regresión lineal de pachaco con fertilización, en función del tiempo desde de la plantación.

Cuadro 12. Resultados de los análisis de regresión para la altura de planta versus días desde la plantación, para el Sitio Los Zapotes – Panguintza.

Variable y factores en estudio aplicados a la Regresión	Ecuación de regresión resultante	Estadísticos asociados al cálculo de la regresión
Crecimiento de Pachaco con fertilización versus días desde la plantación	Altura. planta = 0,49 + 0,01días	N = 28; R ² = 0,77; P = <0,0001
Crecimiento de Pachaco sin fertilización versus días desde la plantación	Altura. planta = 0,42 + 0,01días	N = 28; R ² = 0,87; P = <0,0001
Crecimiento de Melina con fertilización versus días desde la plantación	Altura. planta = 0,02 + 0,01días	N = 28; R ² = 0,90; P = <0,0001
Crecimiento de Melina sin fertilización versus días desde la plantación	Altura de planta = 0,91 + 0,01	N = 28; R ² = 0,86; P = <0,0001

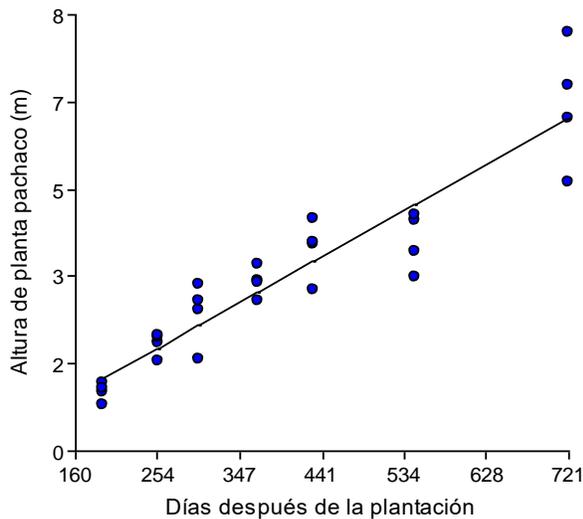


Figura 7. Curva de Regresión de Altura de planta de Pachaco con fertilización vs días después de la plantación, para el Sitio Los Zapotes - Panguintza.

Diámetro basal (DB)

Los valores promedio del DB a los dos años desde la plantación en el experimento Los Zapotes – Panguintza, se encuentran en el rango de 9,41 y 16,48 cm, para los tratamientos T5 (pachaco, sin fertilización + 6 t ha⁻¹ biocarbón) y T10 (melina, con fertilización + 3 t ha⁻¹ de biocarbón), respectivamente (Cuadro 9).

El análisis de varianza para esta variable (Cuadro 13) corroboró el efecto altamente significativo (p < 1%), del factor fertilización para todas las fechas de registro.

Cuadro 13. Resultados del Análisis de varianza para la variable, Diámetro basal, en seis fechas de registro, en días después de la plantación, para el Sitio Los Zapotes-Panguintza.

F. de variación	Cuadrados medios						Nivel de probabilidad (P)						730
	192	254	300	430	547	730	192	254	300	430	547		
Bloques	0,7	2,02	3,19	3,66	9,88	0,65	0,7983	0,6179	0,4773	0,1379	0,0623	0,9176	
Especies arbóreas	7,8	16,78	7,44	2,09	6,43	79,95	0,1458	0,0967	0,2115	0,2230	0,1090	0,0213	
Error experimental (a)	2,04	2,94	2,97	0,89	1,26	4,07							
Fertilización	33,95	75,95	67,26	82,9	120,40	159,3	0,001	0,001	0,0017	0,0021	0,0055	0,0043	
Fertilización x E. arbórea	1,3	1,05	0,64	2,71	1,24	0,33	0,2414	0,3451	0,6178	0,3852	0,6826	0,847	
Error experimental (b)	0,77	2,48	2,33	3,09	6,75	8,01							
Biocarbón	0,34	1,05	1,43	1,51	2,76	2,24	0,4835	0,3873	0,4268	0,4193	0,2168	0,3923	
Fertiliz. x Biocarbón	0,1	0,01	0,16	0,05	0,40	0,84	0,6233	0,9471	0,7457	0,8647	0,6369	0,5369	
E. arbór. x Biocarbón	0,14	0,83	0,67	1,75	1,40	2,38	0,7936	0,491	0,7184	0,3555	0,5016	0,3661	
E. arbórea x Fert. x Biocarbón	0,09	0,22	0,06	0,14	1,61	1,73	0,6350	0,6460	0,8407	0,7622	0,3445	0,3790	
Error experimental (c)	0,4	0,71	1,48	1,54	1,73	2,15							
Coefficiente de variación (%)	22,67	16,83	21,01	13,35	11,72								

Las pruebas (DMS) para las medias con fertilización y sin fertilización se presentan en el Cuadro 14, del cual se desprende que el pachaco con y sin fertilización alcanzó un DB promedio de 14,04 y 11,14 cm, respectivamente, con una diferencia de 2,90

cm, equivalente a 26%. Por su parte, la melina con y sin fertilización alcanzó un DB de 15,84 y 13,060 cm, respectivamente, con una diferencia de 2,78 cm, lo que equivale a 21%.

Cuadro 14. Análisis de promedios de Diámetro Basal, por especie arbórea y nivel de fertilización, para seis fechas de muestreo, desde la plantación, para el Sitio Los Zapotes - Panguintza.

Días desde la plantación	Pachaco		Melina		Promedio	
	Con fertilización	Sin fertilización	Con fertilización	Sin fertilización	Con fertilización	Sin fertilización
192	4,04	2,18	2,70	1,72	3,65 (a)	1,96 (b)
254	6,98	4,26	5,31	3,43	6,27 (a)	3,75 (b)

Continúa...

300	7,81	5,33	6,29	4,49	6,98 (a)	4,61 (b)
430	10,82	8,22	9,95	8,29	10,62 (a)	7,99 (b)
547	13,00	10,14	13,04	10,04	12,81 (a)	9,64 (b)
721	14,04	11,14	15,84	13,06	15,13 (a)	11,49 (b)

Letras iguales significan diferencias no significativas. Prueba de DMS (P < 0,05)

Diámetro a la altura del pecho (DAP)

Los valores promedio del DAP se encuentran en el rango de 5,5 y 11,5 cm, para los tratamientos T9 (melina sin fertilización + 3 t ha⁻¹ de biocarbón) y T2 (pachaco con fertilización + 0 t ha⁻¹ de carbón), respectivamente (Cuadro 9). El ADEVA evidenció diferencia altamente significativa únicamente para el factor fertilización. El CV es de 20,1%. Según la prueba de Tukey, el DAP promedio del pachaco y la melina es de 6,6 y 9,5 cm para los tratamientos sin y con fertilización, respectivamente, equivalente a un incremento de 44%. Los valores de DAP del pachaco sin y con fertilización son de 7,05 y 10,66 cm, respectivamente, con un incremento de 3,61 cm, equivalente a 51%. Para la melina los valores son 6,26 y 8,26 cm, respectivamente, con un incremento de 2,0 cm (Cuadro 15).

Cuadro 15. Promedios de DAP por especie arbórea y nivel de fertilización a los dos años desde la plantación, para el Sitio Los Zapotes - Panguintza.

Especie	Nivel de Fertilización	DAP (cm)
Pachaco	Con fertilización	10,66
	Sin fertilización	7,05
Melina	Con fertilización	8,26
	Sin fertilización	6,26
Promedio (pachaco y melina)	Con fertilización	9,46(a)
	Sin fertilización	6,65(b)

Letras iguales significan diferencias no significativas. Prueba de DMS (P < 0,05)

Comparación del crecimiento del pachaco y la melina en los dos sitios

Los valores de los cuadrados medios y del nivel de probabilidad resultantes del análisis de varianza para las variables *Altura de Planta*, *Diámetro Basal (DB)* y *Diámetro a la Altura del Pecho (DAP)*, para el pachaco y la melina en los sitios experimentales (La Victoria - Zamora y Los Zapotes - Panguintza) a los dos años después de la plantación se presentan en el Cuadro 16.

Cuadro 16. Análisis de varianza para altura de planta, diámetro basal y DAP por especie arbórea y sitio de experimentación, dos años después de la plantación.

Fuente de variación	Pachaco					Melina						
	Altura de planta (cm)		Diámetro basal (cm)		DAP (cm)	Altura de planta (cm)		Diámetro basal (cm)		DAP (cm)		
	CM	P	CM	P		CM	P	CM	P	CM	P	
Bloques	2,46	0,5433	2,79	0,5165	3,61	0,4234	3,96	0,4829	7,52	0,5093	8,46	0,4560

Continúa...

Sitios	32,7 2	0,0422	59,99	0,020	63,6 0	0,01 78	42,47	0,043	16,28	0,24 29	1,45	0,6877
Error experimental (a)	2,82		2,94		2,83		3,75		7,74		7,36	0,0145
Fertilización	107, 8	0,001	278,89	0,001	248, 2	0,00 1	39,66	0,001	219,52	0,00 1	166, 17	0,0028
Fertilización*Siti o	0,99	0,4428	12,18	0,078	16,0 4	0,19 87	0,74	0,3308	7,64	0,00 26	5,82	0,3969
Error experimental (b)	6,24		9,01		7,69		2,25		12,45		6,99	0,0058
Biocarbón	1,42	0,4310	0,82	0,8012	0,74	0,75 63	0,27	0,6974	0,1	0,94 37	1,74	0,3774
Fert*Biocarbón	0,11	0,9361	2,01	0,5848	1,93	0,48 84	1,13	0,2402	0,94	0,57 84	1,22	0,5006
Sitio*Biocarbón	3,86	0,1143	4,16	0,3353	4,31	0,21 33	0,001 4	0,9981	1,04	0,54 56	0,55	0,7282
Sitio*Fert*Bioca rbón	1,79	0,350	5,08	0,2663	3,19	0,31 25	2,93	0,032	3,74	0,12 81	1,99	0,3292
Error experimental (c)	1,64		3,65		2,61		0,75		1,86		1,71	
Coef. de variación (%)	20,8 8		17,53		17,4		13,88		9,73		14,3 9	

CM = Cuadrado medio; P = Nivel de probabilidad

Cuadro 17. Análisis de promedios de altura de planta, diámetro basal y DAP, por especie arbórea y sitio de experimentación, a los dos años después de la plantación.

Sitio	Pachaco			Melina		
	Altura planta	Diámetr o basal	DAP	Altura planta	Diámetro basal	DAP
Efectos Independientes (Prueba DMS, P<5%)						
Los Zapotes	6,96 (A)	12,02 (A)	10,44(A)	7,19 (A)		
La Victoria	5,31 (B)	9,78 (B)	8,14 (B)	5,31 (B)		
Con fertilización	7,63 (A)	13,31 (A)	11,56 (A)	7,2 (A)	16,16 (A)	10,95(A)
Sin fertilización	4,63 (B)	8,49 (B)	7,01 (B)	5,34 (B)	11,88 (B)	7,23 (B)
Interacción doble: Sitio * Fertilización (Prueba Tukey P<5%)						
Los Zapotes con fertilización					16,34 (A)	
La Victoria con fertilización					15,97(A)	
Los Zapotes sin fertilización					12,86 (AB)	
La Victoria sin fertilización					10,90 (B)	
Interacción triple: Sitio * Fertilización *Biocarbón (Prueba Tukey P<5%)						
Los Zapotes con fertilización con Biocarbón 1						7,75 (A)

Continúa...

Los Zapotes con fertilización con Biocarbón 2	8,64(AB)
Los Zapotes con fertilización con Biocarbón 3	7,54 (ABC)
Los Zapotes sin fertilización con Carbón 1	6,91(ABC)
Los Zapotes sin fertilización con Biocarbón 2	5,49(CDEF)
Los Zapotes sin fertilización con Biocarbón 3	6,43(BCDE)
La Victoria con fertilización con Biocarbón 1	4,44(DEF)
La Victoria con fertilización con Biocarbón 2	6,02(BCDE F)
La Victoria con fertilización con Biocarbón 3	6,57 ABCD
La Victoria sin fertilización con Biocarbón 1	4,44 DEF
La Victoria sin fertilización con Biocarbón 2	4,33 EF
La Victoria sin fertilización con Biocarbón 3	4,05 F

Letras iguales significan diferencias no significativas.

Altura de planta

En el pachaco, existe diferencia significativa para el factor sitios y altamente significativa para el factor fertilización. El CV es de 20,9%. La media de altura del pachaco es de 7,0 m en Los Zapotes, frente a 5,3 m en La Victoria, con un incremento de altura 31,1%.

En la melina, existe diferencia significativa para el factor sitios y altamente significativa para el factor fertilización. El CV es de 13,9%. La media de altura es de 7,2 m en Los Zapotes y de 5,3 en La Victoria, con un incremento equivalente al 35,4%. (Ver Figura 8)

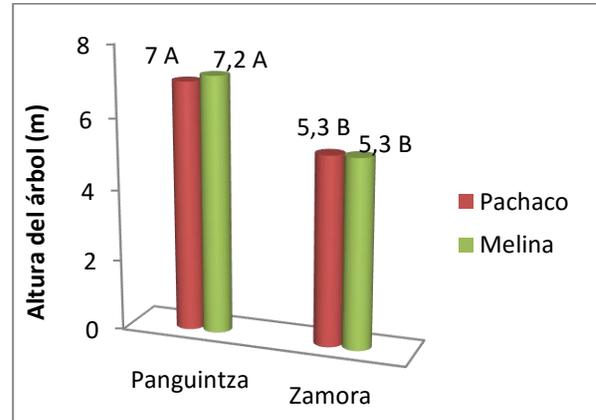


Figura 8. Altura del pachaco y la melina en los sitios La Victoria – Zamora y Los Zapotes – Panguintza, a los dos años después de la plantación

Cuadro 18. Análisis de promedios de Altura, Diámetro Basal y DAP, por sitio y por especie arbórea, a los dos años después de la plantación-

Variable	La Victoria (Zamora)		Los Zapotes (Panguintza)		Promedio		
	Pachaco	Melina	Pachaco	Melina	Pachaco	Melina	
Altura (m)	5,3	5,3	7,0		7,2	6,1	6,3
D Basal (cm)	9,8	13,4	12,0		14,6	10,9	14,0
DAP (cm)	8,1	8,9	8,9		7,3	8,5	8,1

Letras iguales significan diferencias no significativas. Prueba de DMS (P < 0,05)

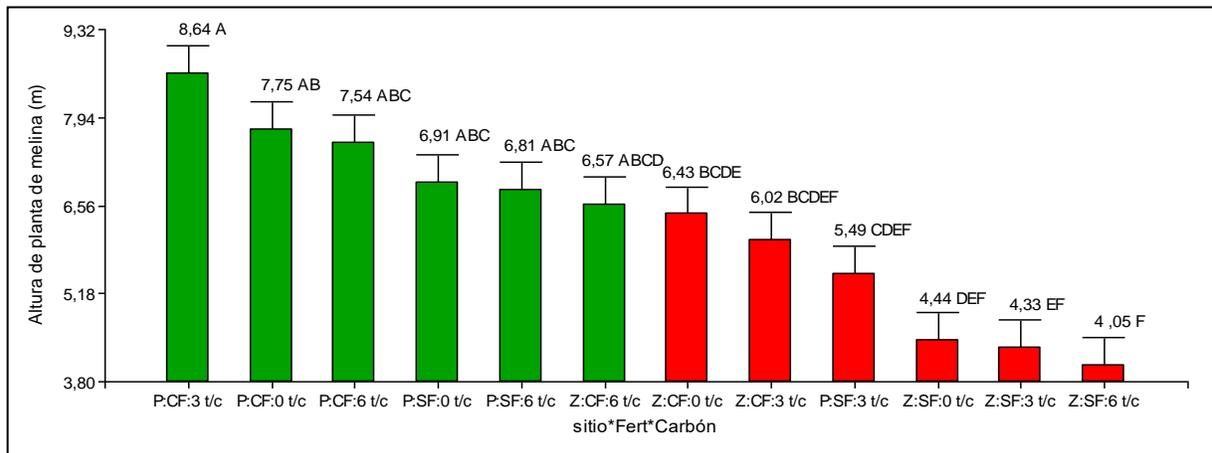


Figura 9. Representación de la interacción sitio*fertilización*niveles de biocarbón sobre la altura de planta de melina a los dos años después de la plantación (P:CF = Panguintza con fertilización; P:SF = Panguintza sin fertilización; Z:CF = Zamora con fertilización; Z:SF: Zamora sin fertilización).

La Figura 9 permite deducir que el mejor tratamiento corresponde al sitio Los Zapotes – Panguintza, con fertilización + 3 t ha⁻¹ de biocarbón (8,64 m); en tanto que, el de menor altura corresponde al sitio La Victoria – Zamora, sin fertilización + 6 t ha⁻¹ de biocarbón (4,05 m), con un incremento que equivale a 113%.

Diámetro Basal (DB)

Se evidencia diferencia significativa en cuanto al DB del pachaco a los dos años después de la plantación, para el factor sitios y altamente significativa para el factor fertilización. El CV es de 17,5%. La media

del DB del pachaco es de 12,0 cm en Los Zapotes - Panguintza y de 9,8 cm en La Victoria - Zamora, con un incremento de 22,9%. No se encontró diferencia significativa en la melina para el factor sitios; en cambio, existe diferencia altamente significativa para el factor fertilización. El CV es de 9,7%.

Diámetro a la Altura del Pecho (DAP)

En el pachaco, a los dos años después de la plantación para el DAP se tiene diferencia altamente significativa únicamente para el factor fertilización. El CV es de 17,4%. En cambio, en la melina se tiene diferencia

altamente significativa para el factor fertilización y para la interacción fertilización*sitio. El CV es de 13,9%. Según la Figura 10, el DAP de la melina con fertilización para La Victoria – Zamora es de 11,1 cm frente a 8,3 cm en Panguintza, con

una diferencia equivalente al 33,7%. En cambio, el DAP en los tratamientos sin fertilización son estadísticamente iguales (6,7 y 6,3 cm en Los Zapotes – Panguintza y La Victoria – Zamora, respectivamente).

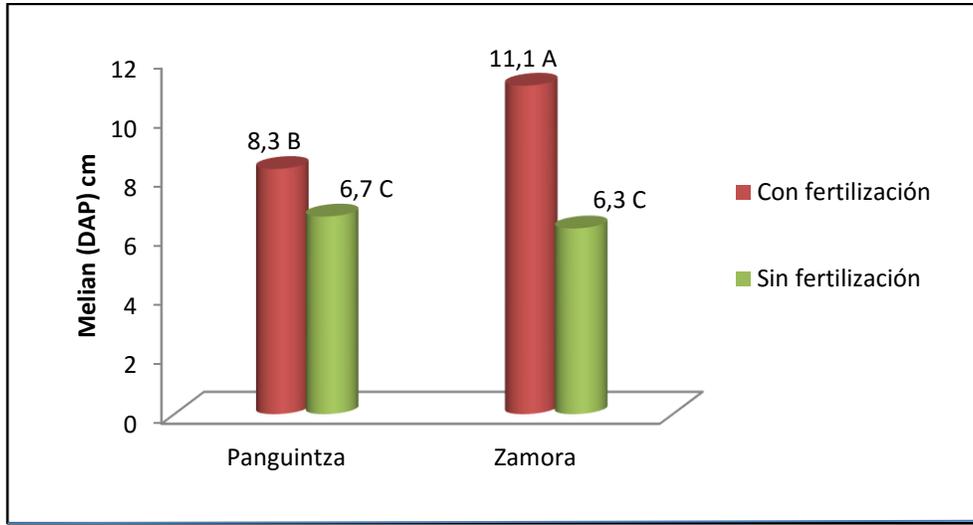


Figura 10. Diámetro a la altura del pecho (DAP) de la melina en La Victoria – Zamora y Los Zapotes – Panguintza, sin y con fertilización, a los dos años después de la plantación.

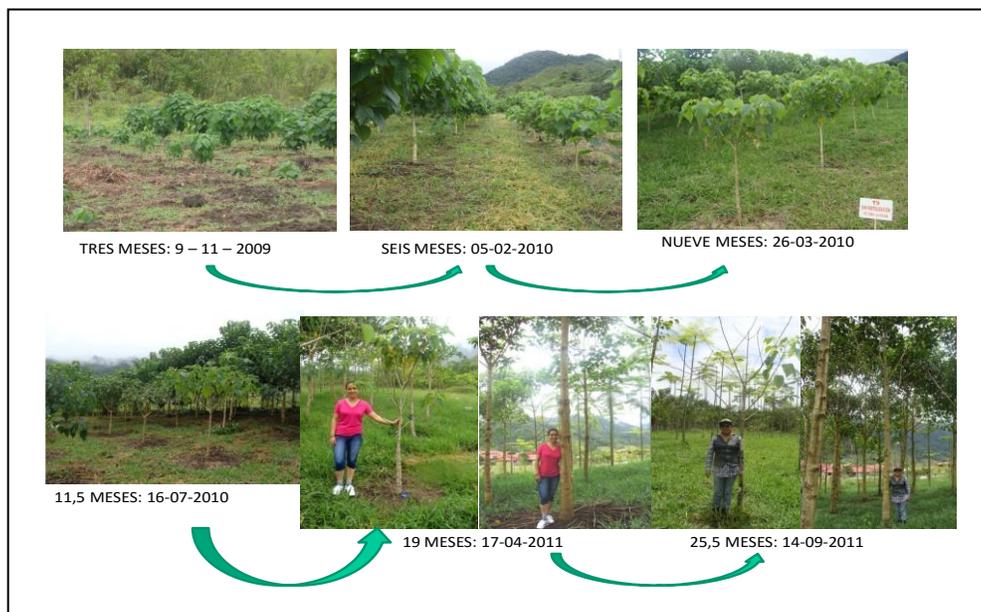


Figura 11. Evolución del crecimiento de la melina en La Victoria – Zamora, sin y con fertilización.

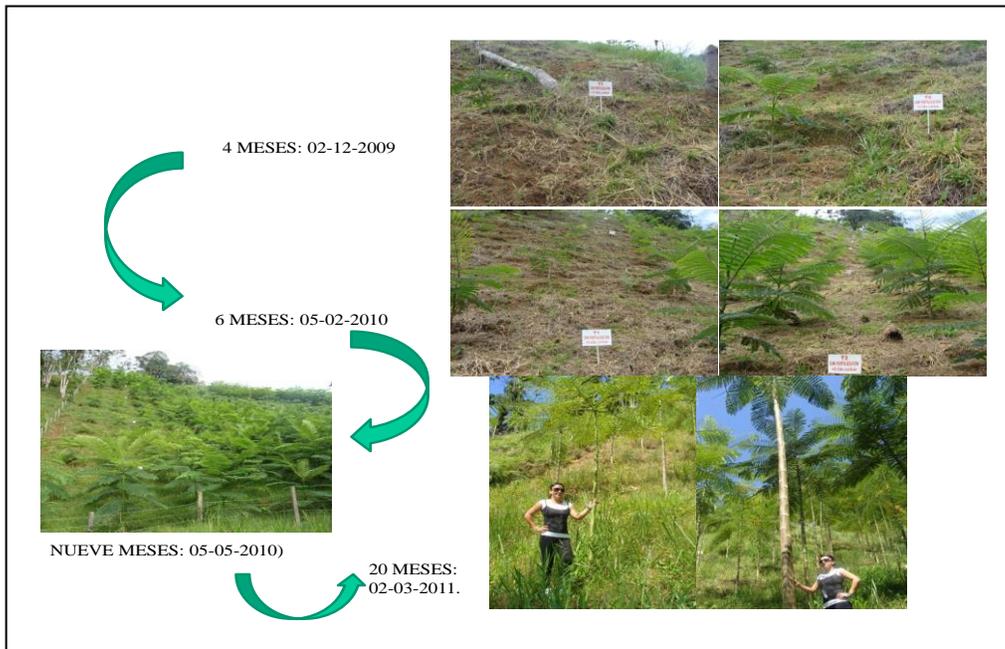


Figura 12. Evolución del crecimiento del pachaco Los Zapotes – Panguintza, sin y con fertilización.

DISCUSIÓN

Variables de crecimiento

En los dos sitios los efectos de la fertilización han sido altamente significativos para las variables altura de planta, diámetro basal y DAP; pero no se ha detectado ninguna significación de los efectos de los otros factores en estudio ni sus interacciones, incluyendo la aplicación de biocarbón.

La significación de los efectos del factor fertilización se confirma con las pruebas de medias (DMS), ubicándose las medias en dos rangos, con fertilización (a) y sin fertilización (b), en forma reiterativa, para todas las fechas de registro.

Las diferencias de las variables de crecimiento observadas independientemente en los dos sitios en estudio para todas las fechas de registro durante los dos años por

efecto de la fertilización se podrían atribuir a la acción combinada de los nutrientes aplicados (N, P, K, Ca, Mg, S, Zn) y del carbonato de calcio que neutraliza el aluminio soluble y, de esta forma, facilita la absorción de los nutrientes, especialmente el fósforo, que como es sabido es precipitado por la acción del aluminio.

Los mismos fenómenos mencionados podrían explicar la no significancia de las diferencias de crecimiento entre especies arbóreas. Ambas especies tienen suficientes nutrientes disponibles en el suelo por la aplicación del nivel de fertilización F2 y no tienen disponibilidad por la aplicación del nivel de fertilización F1, que es el testigo; y, por lo tanto, su crecimiento es similar, en cada condición de fertilización.

Con respecto a los incrementos de crecimiento en altura de planta para las diferentes fechas de registro (ver Figuras 2 y 4), se observa que los modelos de

crecimiento determinados hasta ahora son muy similares para las dos especies, pero, se reitera, que el efecto de la fertilización fue muy significativo durante todas las fechas de registro. Claramente, el crecimiento observado hasta ahora para las dos especies sugiere un modelo de respuesta de tipo lineal, lo cual aparentemente es muy lógico, ya que las mediciones se han hecho en las etapas que podrían considerarse como juveniles de ambas especies y que precisamente son etapas de crecimiento o de acumulación de biomasa en forma lineal creciente con el tiempo. Ello lo confirman también las regresiones significativas de la relación de la variable Altura de planta en función del tiempo, en días desde la plantación para pachaco con y sin fertilización y para melina con y sin fertilización y la regresión lineal de pachaco con fertilización que se representa en la Figura 5 para el experimento de Los Zapotes - Panguintza.

Un aspecto que merece mencionarse es la tasa de crecimiento diario de las especies arbóreas en los dos experimentos en su fase inicial. Así, en La Victoria – Zamora la tasa de crecimiento del pachaco en el periodo febrero – abril de 2010 en los tratamientos con fertilización fue de 1,52 a 1,70 cm día⁻¹, frente a 0,97 cm día⁻¹ de aquellos sin fertilización. Para la melina los valores fueron de 1,39 a 1,51 cm día⁻¹, frente a 0,94 cm día⁻¹, en los tratamientos con y sin fertilización, respectivamente. En el mismo periodo, en Los Zapotes - Panguintza el crecimiento del pachaco en los tratamientos fertilizados fue de 1,9 a 2,2 cm día⁻¹ frente a 1,5 cm día⁻¹, de los no fertilizados; en cambio, para la melina los valores fueron 1,55 y 1,2 cm día⁻¹, para los tratamientos con y sin fertilización, en su orden.

Las alturas promedio del pachaco con fertilización a los dos años después de la plantación en La Victoria- Zamora (6,49 m) y en Los Zapotes Panguintza (9,08 m), que equivalen a tasas de crecimiento anual de 3,2 y 4,5 m, respectivamente, son superiores a aquellas de 2 a 3 m que para esta especie reportan Orwa (2009) y Leopold (2001). Ello no sucede en los árboles de los tratamientos sin fertilización, algunos de los cuales incluso murieron en el experimento de La Victoria Zamora.

Según Hossain (1999) la melina tiene una tasa de crecimiento de alrededor de 3 a 4 m por año. En este rango se ubican las tasas de crecimiento anual registradas a los dos años de la plantación en La Victoria-Zamora (3,5 m a⁻¹) y en Los Zapotes Panguintza (3,8 m a⁻¹) en los tratamientos con fertilización; no así, en los tratamientos sin fertilización.

En cambio, los valores de altura promedio de la melina a los dos años después de la plantación en los tratamientos con fertilización en la Victoria-Zamora y en Los Zapotes- Panguintza (7,0 y 7,7 m, respectivamente) son notoriamente mayores a 5,3 m que reportan Otsamo *et al* (1995) para esta especie a los 36 meses para el tratamiento con laboreo y aplicación de NPK. Por su parte, Onyekwelu *et al* (2003) encontraron una altura promedio para la melina de 14,1 m a los cinco años (2,82 m a⁻¹).

Cabe mencionar que los valores de DAP promedio de la melina a los dos años después de la plantación en los tratamientos con fertilización en la Victoria-Zamora y en Los Zapotes- Panguintza (11,6 y 8,3 cm, respectivamente) son mayores a 7,2 cm que reportan Otsamo *et al* (1995) para esta especie a los 36 meses para el tratamiento

con laboreo y aplicación de NPK. Por su parte, Onyekwelu *et al* (2003) encontraron una DAP promedio para la melina de 15,1 cm a los cinco años.

La Victoria (Zamora) vs Los Zapotes (Panguintza)

La diferencia significativa para el factor sitios de la variable altura de planta a los dos años después de la plantación, tanto para el pachaco como para la melina, refleja mejores condiciones de fertilidad del suelo (física y química) en Los Zapotes – Panguintza (andesita y brechas tobáceas) que en La Victoria – Zamora (granodiorita con alto contenido de cuarzo). Ello lo corrobora también la media de altura de pachaco a los dos años desde la plantación que es de 7,0 m en Los Zapotes-Panguintza, frente a 5,3 m en La Victoria-Zamora, con un incremento de altura 31,1%; y, la media de altura de la melina que es de 7,2 m en Panguintza y de 5,3 en Zamora, con un incremento altura equivalente al 35,4%. También, es de hacer notar que la diferencia altamente significativa de la interacción fertilización*sitio para los valores del DAP de la melina, indica que esta especie respondió mejor a la fertilización en el sitio Los Zapotes – Panguintza.

Al respecto, si se parte del hecho de que el clima en ambos sitios es similar, que la pendiente del terreno en La Victoria – Zamora es de 12% y en Los Zapotes – Panguintza de 60%; y que, en este último sitio la capa orgánica y el horizonte Ap se han perdido por erosión, las mejores condiciones de fertilidad del suelo se atribuirían al efecto del material parental. En primer lugar, por una mayor reserva de nutrientes provenientes de la andesita, particularmente del boro, el mismo que es

más abundante en las rocas volcánicas que en las plutónicas, y que en los suelos de textura gruesa de las áreas lluviosas (La Victoria – Zamora) se lixivia del perfil (Dinauer 1977). En segundo lugar, por una mayor retención del agua aprovechable en Los Zapotes – Panguintza (por ser de textura más fina), dado que a lo largo de los dos años en los experimentos se han registrado importantes períodos de falta de lluvia, principalmente en la temporada de septiembre – diciembre cuando el efecto Föhn inhibe la precipitación en la zona (Rollentbeck and Bendix 2010), por lo que se asume que en la Victoria – Zamora se retuvo menos agua que en Los Zapotes – Panguintza, particularmente en la capa de 00 – 25 cm en la cual se encuentra la mayor proporción de las raíces, debido al patrón de enraizamiento de las especies arbóreas en los bosques húmedos del sur del Ecuador (Soethe *et al* ., 2006).

En cuanto a la variable diámetro basal, únicamente para el pachaco se registra diferencia significativa para el factor sitios; mientras que, para la variable DAP, las dos especies no manifiestan todavía diferencias significativas para el factor sitios a los dos años después de la plantación, lo cual conduciría a señalar que las dos especies arbóreas crecieron más en altura antes que en el diámetro del tronco, lo cual es normal, dado que se encuentran en su etapa juvenil de crecimiento.

En las dos especies y en los dos sitios se mantiene la diferencia altamente significativa para las variables altura de planta, diámetro basal y DAP, en las dos especies para el factor fertilización, lo cual denota que los suelos de los dos sitios han requerido el aporte tanto de la cal para neutralizar el aluminio soluble, como del

grupo de nutrientes (N, P, K, Ca, Mg, S y Zn) para suplementar las deficiencias. Ello ha determinado un crecimiento de las dos especies en los dos años en grado tal que, de haber sido destinadas para pulpa de papel estarían en edad de corte, frente a 5 o 6 años que es la edad normal (Mario Añazco, comunicación personal). En tanque que, en Las reservas forestales de Oluwa y Omo de Nigeria, las plantaciones de melina en suelos tropicales degradados se han establecido para un turno de pulpa de madera de 8 a 10 años (Onyekwelu *et al.*, 2006).

Efecto del biocarbón

En los dos sitios hasta los dos años después de la plantación no se observan diferencias del efecto de la aplicación de 3,0 o 6,0 t ha⁻¹ del biocarbón. Al respecto, la respuesta de los cultivos a las enmiendas con biocarbón dependen de las propiedades físicas y químicas de éste, las condiciones climáticas, las condiciones del suelo y el tipo de cultivo (Yamato *et al.* 2006, Zwiten *et al.* 2010, Gaskin *et al.* 2010, Haefele *et al.* 2011). Varios autores han reportado efectos agronómicos tanto positivos como negativos de las aplicaciones de enmiendas de biocarbón en los suelos (Lehmann *et al.* 2003; Novak *et al.* 2009; Atkinson *et al.* 2010; Major *et al.* 2010; Lehmann *et al.* 2011; Spokas *et al.* 2011). Ello sugiere que la aplicación de biocarbón al suelo no es una enmienda de talla única (Spokas *et al.* 2011), sino más bien requiere de consideraciones cuidadosas de sus propiedades relacionadas con cada material particular y cómo esas propiedades pueden remediar una deficiencia específica (Novak y Bussher 2011).

Consecuentemente, se debe reconocer que la naturaleza química y la composición del

biocarbón varía ampliamente, debido a que consiste en una colección heterogénea de estructuras carbonizadas, elementos inorgánicos entrampados, así como estructuras químicas heredadas del material de origen (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 (Spokas 2011). Incluso biocarbones obtenidos del mismo material, bajo condiciones similares de pirolisis, pero en unidades diferentes, pueden variar en sus características químicas. Además, diferencias en las propiedades físicas y químicas pueden resultar del tamaño de la partícula en el mismo tipo de biocarbón (Nocentini *et al.* 2010; Francioso *et al.* 2011).

La composición de los grupos superficiales es una característica importante para la exitosa utilización del biocarbón como enmendador de suelos, y podría ayudar en la comprensión de la respuesta tardía de las enmiendas de carbón que ocasionalmente se han observado (Cheng *et al.* 2008; Major *et al.* 2010; Ascough *et al.* 2011). Esto podría explicar la aún no evidente respuesta de pachaco y melina a las dosis de biocarbón en los dos experimentos. En este contexto, es pertinente hacer referencia a los resultados reportados por Kimetu *et al.* (2008) en un Ultisol degradado de Kenia, que indican que la producción acumulativa de maíz se duplicó después de tres aplicaciones repetidas de 7 t ha⁻¹ de biocarbón a lo largo de dos años. Sin embargo, Major *et al.* (2010) no encontraron cambio en la producción de maíz en el primer año, pero si un aumento significativo en el subsecuente tercer año después de la aplicación de una dosis única de 20 t ha⁻¹ de biocarbón de madera en un Oxisol en la Sabana Colombiana.

Las dosis de 3 y 6 t ha⁻¹ de biocarbón utilizada en los tratamientos podrían considerarse adecuadas si se toma en cuenta que Solaiman *et al.* (2010) reportan que la aplicación de 6 t ha⁻¹ de biocarbón en combinación fertilizantes solubles, en un suelo franco arcillo arenoso, evidenció incrementos significativos en la producción de trigo, habiéndose también observado incrementos significativos del rendimiento cuando las dosis de biocarbón (1,5, 3,0 y 6,0 t ha⁻¹) fueron aplicadas con fertilizantes minerales inoculados.

Coincidiendo con Jones *et al* (2011) estas diferencias de comportamiento del biocarbón enfatizan la necesidad de realizar experimentos de campo de largo plazo en el compromiso de generar información pertinente para la utilización de este material.

CONCLUSIONES

En los dos sitios los efectos de fertilización (N, P, K, Mg, S y Zn más la cal), han sido altamente significativos para las tres variables de las especies arbóreas indicadoras (pachaco y melina): altura de planta y diámetro basal y DAP, durante todas las fechas de registro a lo largo de los dos años desde la plantación. En los dos sitios experimentales los valores de altura de planta y de DAP de las dos especies arbóreas indicadoras son notoriamente mayores a aquellas que reportan otros investigadores para éstas en otras partes del mundo.

A los dos años después de la plantación existe diferencia significativa para el factor sitios siendo las medias de altura de planta y diámetro basal mayores en Los Zapotes - Panguintza que en La Victoria – Zamora, lo

cual se atribuye a la calidad del material parental del suelo. Los crecimientos y acumulación de biomasa de melina (por la constante ramificación), superan a los de pachaco (no ramifica y produce foliolos que se autodefolian) en los dos sitios en estudio. Los efectos del biocarbón todavía no son contundentes ni consistentes para el crecimiento de las especies arbóreas indicadoras.

Un aspecto a considerarse con mucho augurio es que en los dos experimentos el turno para pulpa de las especies arbóreas indicadoras con la aplicación de nutrientes y cal es de 2 años, frente a 5 o 6 años y hasta más, que se reporta para otras localidades; entonces, se habría encontrado una alternativa de uso productivo de los suelos en una actividad compatible con su aptitud natural.

AGRADECIMIENTOS

Se agradece a la Secretaría Nacional de Educación Superior, Ciencia y Tecnología (SENESCYT) por el co-financiamiento del proyecto; al Batallón de Selva BS 62 y al señor Héctor Ochoa por haber concedido los terrenos para la instalación de los experimentos; y, a la Ing. Jackeline Castillo por los análisis de laboratorio.

REFERENCIAS

- Ascough PL, Bird MI, Francis SM, Thornton B, Midwood AJ, Scott AC, Apperley D (2011). *Variability in oxidative degradation of charcoal: influence of production conditions and environmental exposure*, Geochim Cosmochim Acta 75(9)2361-2378.
- Aspden J, Litherland M. (1990) *Cordillera Real*. IV Informe, citado en INSTITUTO

- ECUATORIANO DE MINERIA (DGGM) 1996. *Mapa geológico del Ecuador*. Hojas de Paquisha y Zamora. Instituto Geográfico Militar. Quito, Ecuador.
- Atkinson C, Fitzgerald J, Hipps. (2010) *Potential mechanisms for achieving agricultural benefits from biochar applications to temperate soils: a review*. *Plant Soil* 337(1):1-18
- Brewer CE, Schmidt-Rohr K, Satrio JA, Brwon RC. (2009) *Characterization of biochar from fast pyrolysis and gasification systems*. *Environ Progr Sust Energy* 28(3):386-396
- Cheng CH, Lehmann J, Thies JE, Burton SD. (2008) *Stability of black carbon in soils across a climatic gradient*. *J. Geophys Res* 113
- Cochrane T, Sanchez 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.
- CORMADERA. 2002. *Guías técnicas para Plantaciones Forestales en el Ecuador*. CORMADERA, Quito Ecuador, Gmelina arborea, pp. 85-111.
- Dinauer R. ed 1977 *Micronutrients in Agriculture*. Soil Science Society of America. 666 p.
- Di Rienzo J, Casanoves F, Balzarini M, Gonzalez L, Tablada M y Robledo C. (2008). *InfoStat, versión 2008*, Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina
- Duke J.A. (1983). *Gmelina arborea Roxb. Handbook of Energy Crops*. Unpublished. Accessible at: http://www.hort.purdue.edu/newcrop/duke_energy/Gmelina_arborea.html.
- Evans J, Turnbull JW (2004). *Plantation forestry in the tropics*, 3rd edn. Oxford University Press, Oxford
- Francioso O, Sanchez.Cortez S, Bonora S, Roldan ML, Certini G (2011). *Structural characterization of charcoal size fractions from a burnt Pinus pinea forest by FT-IR, Raman and surface-enhanced Raman spectroscopies*. *J. Mol. Struct* 994(1-3):155-162
- Gaskin JW, Speir RA, Harris K, Das KC, Lee RD, Morris LA (2010). *Effect of peanut hull and pine chip biochar on soil nutrients, corn nutrient status, and yield-Agron. J* 102:623-633
- Glaser B, Lehmann J, Zech W (2002 a). *Ameliorating physical and chemical properties of highly weathered soils in the tropics with charcoal – a review*. *Biology and Fertility of Soils*: 35:219-230
- Glaser B, Guiggenberger G, Zech W (2002 b). *Past anthropogenic influence on the present soil properties of anthropogenic dark earths (Terra Preta) in Amazonia (Brazil)*. *Geoarcheology*.
- Haefele MS, Konboon Y, Wongboon W, Amarante S, Maaiafat AA, Pfeifer ME, Knoblauch C (2011). *Effects and fate of biochar from rice residues in rice-based systems*. *Field crops Res*. 121:430-440
- Hossain M. K (1999). *Gmelina arborea: a popular plantation species in the tropics*. Forest, Farm, and Community Tree Network. Fact sheet. September 1999. Accessible at: http://www.winrock.org/fnrm/factnet/factpub/FACTSH/Gmelina_arborea1.pdf.
- INSTITUTO ECUATORIANO DE MINERIA (DGGM) (1996). *Mapa geológico del Ecuador*. Hojas de Paquisha y Zamora. Instituto Geográfico Militar. Quito, Ecuador.

- INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGÍA E HIDROLOGÍA DEL ECUADOR (INAMHI). *Series de datos de la Estación Meteorológica de Zamora 1970 – 1993*.
- Jensen, M. (1995). *Trees commonly cultivated in Southeast Asia*. Illustrated field guide. RAP Publication: 1995/38. FAO. Bangkok, Thailand. p. 93.
- Jones DL, Rousk J, Edwards-Jones G, Deluca TH, Murphy D. (2011). *Biochar-mediated changes in soil quality and plant growth in a three year trial*. Soil Biology and Biochemistry 45: 113 - 124
- Keiluweit M, Nico PS, Johnson MG, 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 SO, Mugendi DN, Kinyangi JM, Riha S, Verchot L, Recha JW, Pell AN. (2008). *Reversibility of soil productivity decline with organic matter of differing quality along a degradation gradient*. Ecosystems 11:726-739
- Konke T, Calvas B, Aguirre N, Román R, Günter S, Stimm B, Weber M, Mosandl R. (2009). *Can tropical farmers reconcile subsistence needs with forest conservation?*. Front Ecol Environ.
- Lehmann J, Silva J, Rondon M, Silva C, Greenwood J, Nehls T, Steiner C, Glaser 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.
- Lehmann J, Silva J, Steiner C, Nehls T, Zech W, 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.
- Lehman J. (2007). *Bio-energy in the black*. Front. Ecol. Environ. 5:381-387.
- Lehmann J, Rillig M, Thies J, Masiello CA, Hockaday WC, Crowley D. (2011). *Biochar effects on soil biota – A review*. Soil Biol Biochem.
- Leopold, A.C. (2001). *Attempting restoration of wet tropical forests in Costa Rica*. Forest Ecology and Management. 142: 1–3, 243-249.
- Lotter D. (2002). *Tropical soil fertility, Terra Preta soils of the Amazon*. News and research. The new farm.
- Major J, Rondon M, Molina D, Riha SJ, Lehman J (2010). *Maize yield and nutrition during 4 years after biochar application to a Colombian savanna oxisol*. Plant Soil 333 (1-2):117-128
- Major J, Lehman J, Rondon M, Goodale C (2010). *Fate of soil applied black carbon: downward migration, leaching and soil respiration*. Global Change Biol 16:1366-1379
- Mgagwu J, Piccolo A (1997). *Effects of humic substances from oxidized coal on soil chemical properties and maize yield*. In: Drozd J, Gonet SS, Senesi N, Weber J (eds) The role of humic substances in the ecosystems and in environmental protection. IHSS, Polish Society of Humic Substances, Wroclaw, Poland, pp 921-925.
- Nocentini C, Certini G, Knicker H, Francioso O, Rumpel C (2010). *Nature and reactivity of charcoal produced and added to soil during wildfire are particle-size dependent*. Org Geochem 41(7):682-689
- Novak JM, Busscher WJ, Laird DL, Ahmenda M, Watts DW, Niandou MAS (2009). *Impact of biochar amendment*

- on fertility of a Southeastern coastal plain soil.* Soil Sci 174(2):105-112
- Novak JM, Bussher WJ (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.
- Nwoboshi LC (2000). *The nutrient factor in sustainable forestry.* Ibadan University Press, Ibadan, Nigeria
- Onyekwelu JC, Biber P, Stimm B (2003) *Thinning scenarios for Gmelina arborea plantations in south-western Nigeria using density management diagrams.* Food Agric Environ 1:320–325
- Onyekwelu JC, Mosandl R, Stimm B (2006) *Productivity, site evaluation and state of nutrition of Gmelina arborea plantations in Oluwa and Omo forest reserves, Nigeria.* Forest Ecol. Manage. 229:214-227.
- Onyekwelu J, Stimm B, Evans J. (2011). *Plantation Forestry Review.* In: Günter, S., Weber, M., Stimm, B., Mosandl, R. (Eds.). *Silviculture in the tropics.* Springer: 399- 454.
- Orwa *et al.* (2009). *Schizolobium parahybum.* Agroforestry Database 4.0. Accessed July 2012. Accessible at: http://www.worldagroforestry.org/treedb/2/AFTPDFS/Schizolobium_parahybum.pdf
- Otsamo A, Adjers G, Hadi TS, Kuusipalo J, Tuomela K, Vuokko R (1995). *Effect of site preparation and initial fertilization on the establishment and growth of four plantation tree species used in reforestation of Imperata cylindrical (L.) Beauv dominated grass land.* Forest Ecol Manag 73:271–277.
- Rollenbeck R, Bendix J. (2011). *Rainfall distribution in the Andes of southern Ecuador derived from blending weather radar data and meteorological field observations.* Atmospheric Research 99: 277-289.
- Solaiman ZM, Blackwell P, About LK (2010). *Direct and residual effect of biochar application on mycorrhizal root colonization, growth and nutrition of wheat.* Australian Journal of Soil Sciences 48:546-554.
- Soethe N, Lehmann J, Engels C. 2006. *The vertical pattern of rooting and nutrient uptake at different altitudes of a south Ecuadorian montane forest.* Plant Soil. DOI 10.1007/s11104-006-9044-0
- Spokas KA, CCantrll KB, Novak JM, Archer DW, Ippolito JA, Collins HP, Boateng AA, Lima IM, Lamb MC, McAloon AJ, Lentz RD, Nichols KA (2011). *Biochar: A synthesis of its agronomic impact beyond carbon sequestration.* Journal of Environmental Quality: 973 - 989.
- Siddique I, Engel V, Parrota J, Lamb D, Nardoto G, Ometto J, Martinelli L, Schmidt S. (2008). *Dominance of legume trees alters nutrient relations in mixed species forest restoration plantings within seven years.* Biogeochemistry 88:89 - 101. DOI 10.1007/s10533-008-9196-5
- Sys C. (1979). *Regional Pedology- Tropical Soils.* Part II. International Training Centre for Post-graduate Soil Scientists. Lecture notes. State University of Ghent.
- UNITED STATES DEPARTAMENT OF AGRICULTURE. (2010) *Keys to Soil Taxonomy.* Eleventh Edition. Natural Resource Conservation Service 338 p.
- Tropical Biology (2006). *Schizolobium parahybum.* Accessed July 2012. [http://www.tropical-biology.org/research/dip/species/Schizolobium parahybum.htm](http://www.tropical-biology.org/research/dip/species/Schizolobium_parahybum.htm).
- Valarezo C, Iñiguez M, Valarezo L, 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. 227 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.
- Valarezo C. (2008). *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 – SENACYT, Loja, Ecuador. 20 p.
- Valarezo C, Maza H, Chamba C, Valarezo L, Merino B, Villamagua M, Mora M, 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 Amazonía Ecuatoriana"* CEDAMAZ – UNL 1(1):65 - 80
- World Agroforestry Centre (2000). *Gmelina arborea.* Agroforestry Tree Database: Accessed July 2012. Accessible at: <http://www.worldagroforestrycentre.org/sea/products/afdbases/af/asp/SpeciesInfo.asp?SpID=914>.
- Yamato M, Okimori Y, Wibowo IF, Anshori S, Ogawa M (2006). *Effects of the application of charred bark of Acacia mangium on the yield of maize, cowpea and peanut, and soil chemical properties in South Sumatra, Indonesia.* Soil Sci Plan Nutr 52:489-495
- Zwieten VL, Kimber S, Morris S, Chan YK, Downie A, Rust J, (2010). *Effects of biochar from slow pyrolysis of paper mill waste on agronomic performance and soil fertility.* Plant Soil 327:235-246.

**ECUACIONES GENERALES DIÁMETRO-ALTURA PARA *Ochroma pyramidale*,
REGIÓN COSTA-ECUADOR.****GENERAL HIGH-DIAMETER EQUATIONS FOR *Ochroma pyramidale*, COAST
REGION-ECUADOR.**

Cañadas López Alvaro^{1*}, Rade Loor Diana², Fernández Cevallos Galo¹, Domínguez Andrade Juan Manuel³, Murillo Hernández Isabel⁴, Molina Hidrovo Carlos⁵, Quimiz Castro Henry¹

¹ Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias (INIAP), Director Estación Experimental Portoviejo (INIAP/EEP), Km 12 vía Santa Ana.

² Escuela Superior Politécnica de Manabí (ESPAM-MFL), Centro de Investigación de las Carreras de la ESPAM-MFL (CICEM). Campus Politécnico Calceta, Sitio El Limón, Calceta, Ecuador.

³ Escuela Superior Politécnica del Litoral, ESPOL, ESPAE Graduate School of Management, Campus Las Peñas Malecón No. 100 y Loja, Guayaquil, Ecuador.

⁴ Subdirectora General del INIAP. Av. Francisco Orellana y Justino Cornejo Edif. Gobierno Zonal de Guayaquil, Piso 6, Ofic. 610.

⁵ Estación Experimental Tropical Pichilingue, (INIAP/EETP), km 5 vía Quevedo - El Empalme, cantón Mocache, Provincia Los Ríos.

*Autor para correspondencia, correo electrónico: alvaro.canadas@iniap.gob.ec

Carrera de Ingeniería Forestal,
Universidad Nacional de Loja, Ecuador

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

Recepción: 02 de marzo del 2016

Aceptación: 27 de julio del 2016

Cañadas, A, *et al.* 2016. Ecuaciones generales diámetro-altura para *ochroma pyramidale*, región costa-ecuador. Universidad Nacional de Loja.

RESUMEN

Las exportaciones de Balsa del Ecuador se incrementaron en un 560% entre 2007-2012, no obstante, a nivel de campo existe una escasa información sobre plantaciones de Balsa. El objetivo de la presente investigación fue comparar y desarrollar varias ecuaciones generalizadas de diámetro-altura para rodales puros de Balsa (*Ochroma pyramidale* (Cav.) Urb). Los datos usados para ajustar las ecuaciones provinieron de 926 observaciones de diámetro-altura obtenidas en 120 parcelas implantadas en plantaciones puras, con varias densidades, las cuales cubrieron un amplio y diverso rango de sitios forestales. Como primer paso, fueron empleadas regresiones no lineales para probar la bondad de ajuste de las ecuaciones diámetro altura. La función derivada de Richard y la otra ecuación de Schumacher, en los dos casos el análisis de residuos, no mostraron violaciones severas de los fundamentos estadísticos. Como segundo paso, se modificó la ecuación de Schumacher dando como resultado una nueva ecuación, la cual mostró un mejoramiento marginal. Finalmente las ecuaciones fueron validadas utilizando datos independientes, encontrado en la ecuación de Richard, Schumacher y su modificación una fuerte correlación entre valores observados y predichos. Así las ecuaciones Richard mostraron una eficiencia del 96%, Schumacher reveló una eficiencia del 94% y su modificación expresó una eficiencia del 91%, pudiendo ser empleadas para predecir fiablemente la altura individual de árboles de Balsa en la región Costa.

Palabras Clave: *Balsa, Altura Dominante, Función Richard, Función Schumacher, Regresión no lineal.*

ABSTRACT

The Balsa exports of the Ecuador have registered an increment of 560% among the 2007-2012. Nevertheless, at field level there exist very little information on Balsa plantations. The object of the present investigation was to develop and compare generalized diameter-height equations for pure stand of Balsa (*Ochroma pyramidale* (Cav.) Urb). The data used to fit the equations consisted of 926 diameter-height observations samples from 120 plots installed in pure, uniformly stoked stands covering a wide range of forest stand and site conditions. In a first step, nonlinear least square regression was used to test the performance of two published equations; one derived from Richards and the other one from Schumacher function with an efficiency of 94%. In both cases, the residuals indicated no severe violation of the fundamental statistical assumptions. In a second step, Schumacher equation was modified resulting a new equation which showed only a marginal improvement. Finally, the efficiency was evaluated for all equation using an independent data set. The strongest correlation between observed and predicted values was obtained with Richard equation. Richard showed a 96% of efficiency, Schumacher showed a 94% of efficiency and their modifications showed a 91% of efficiency could be used predict the individual Balsa tree in the Coast Region.

Keywords: *Balsa, Dominant Height, Nonlinear regression, Richards function, Schumacher function.*

INTRODUCCIÓN

Entre la altura de un árbol y el diámetro a la altura del pecho existe una relación estocástica, no lineal y esta relación es empleada para la estimación del volumen de los árboles y la evaluación de la altura dominante (Vargas-Larreta *et al.*, 2010). Las actividades de operaciones forestales que más tiempo ocupan y por ende mayor recursos demanda está la medición de altura total de los árboles en pie (Cruz-Leyva *et al.*, 2010).

La estimación precisa de esta analogía diámetro-altura es fundamental, debido a que la altura es normalmente predicha mediante la determinación de esta relación (diámetro-altura) antes de ser medida (Gadow *et al.*, 2004). Como consecuencia de esto, los volúmenes individuales de los árboles son estimados a menudo de la medición del diámetro de todos los árboles. Mientras que, para la altura se instala subparcelas para la determinación de la altura (Cañadas *et al.*, 2016; Cañadas, 2005).

Los datos obtenidos de altura de los árboles muestreados son utilizados para establecer una regresión diámetro-altura, la cual a su vez se usa para estimar la altura de los árboles a los que únicamente se les ha medido los diámetros (López Sánchez *et al.*, 2003). Tal regresión para estimar la altura podría ser obtenida separadamente para cada rodal. No obstante, esta aproximación ocupa considerable cantidad de tiempo y dinero. Una alternativa práctica sería el desarrollo de una ecuación generalizada que describa la dependencia entre diámetro-altura basándose en una función que implique la altura dominante de un rodal o el diámetro medio cuadrático (Jayaraman y Lappi, 2001).

Las ecuaciones generalizadas de diámetro-altura no sólo son herramientas útiles para el propósito de inventario forestal. Normalmente, ellas también se usan con el tiempo como un elemento importante de muchos modelos de clase de tamaño para la simulación del desarrollo de alternativas de manejo silviculturales (Trincado y Leal, 2006). Adicionalmente, a veces estas se emplean con la finalidad de generar datos sobre el crecimiento de la altura de árboles individuales. En el modelaje de la relación altura-diámetro se están incorporando variables obtenidas de los rodales con la finalidad de mejorar su capacidad de estimación (López Sánchez *et al.*, 2003).

Esta incorporación de variables de los rodales hacen que la aplicación de las ecuaciones generales sean mayormente aplicadas en correspondencia a los modelos de tipo local (Soares y Tomé, 2002). De acuerdo a Trincado y Leal (2006) en su estudio sobre ecuaciones locales y generalizadas de altura-diámetro para pino (*Pinus radiata*) concluyen que, las ecuaciones locales con 2-parámetros son más precisas y estables en términos de convergencia en comparación a ecuaciones con 3-parámetros. En todas las evaluaciones realizadas las ecuaciones generalizadas presentan mejores valores de precisión y sesgo que las ecuaciones locales.

Por otro lado, el Ministerio del Ambiente del Ecuador MAE (2005) enfatiza que la superficie de bosques nativos en el Ecuador abarca aproximadamente 8,8 millones de hectáreas. De estas los manglares ocupan 227.300,00 ha y actualmente por su difícil accesibilidad únicamente 600 mil ha de bosques nativos presentan condiciones económicas para ser manejados silviculturalmente. Mientras que las tierras con potencial para ser forestadas alcanzan una extensión de más de 2 millones de

hectáreas y las plantaciones forestales tan sólo representan un total de 160.000,00 ha (MAGAP, 2008). MAGAP (2016) menciona que, los esfuerzos del Estado hasta el 2012 para incrementar las plantaciones forestales en el Ecuador fueron débiles. A partir del 2013 con la puesta en marcha del Programa de Incentivos para la Reforestación con Fines Comerciales se tiene avances significativos registrándose un total de 48.532,95 ha y las especies más reforestadas detrás de la Teca y la Melina fue la Balsa con un total de 8.518,02 ha de Balsa (*Ochroma pyramidale*).

Concomitantemente con esto, en los países tropicales se cree que, el recurso bosque es abundante y que está esperando ser explotado. De tal manera que la atención en el Ecuador se ha centralizado más sobre la explotación y utilización antes que sobre su plantación y crecimiento. Desde este último punto de vista, la tendencia en nuestro país se considera a la plantación de árboles como un arte.

Sin prestar atención a los costos involucrados y sin preocuparse menos aún de cuál va a ser el futuro preciso de su utilización (Cañadas, 2007; Cañadas y Vera, 2011; Cañadas y Rade, 2013). La reflexión sobre este argumento radica en que los productos forestales a diferencia de otras materias primas. Nunca se planifican para satisfacer las necesidades de una industria cada vez más creciente. Sino simplemente se establecen plantaciones amparadas en el supuesto de que de algún modo estas van a ser explotadas, aprovechadas y utilizadas (Cañadas *et al.*, 2012; Cañadas *et al.*, 2013).

De acuerdo a Cañadas (1983) señalaba las ventajas económicas del manejo de tierras de barbecho empleando la regeneración natural de especies secundarias como la Balsa o Laurel. Esto es o podría ser una alternativa saludable para el Ecuador, desde

el punto de vista del rápido crecimiento, amplia versatilidad y utilización de las características físicas de estas especies.

Los valores FOB en miles de dólares de las exportaciones de la madera de Balsa del Ecuador aumentan en un 560% para el período comprendido entre el 2007 al 2012 (BCE, 2012). Debido al incremento de las áreas ocupadas por las plantaciones de Balsa y la necesidad de generación información sobre los volúmenes de producción de la Balsa.

Las ecuaciones generalizadas entre altura y diámetro son de gran utilidad e importancia para determinación de volúmenes, biomasa así como la caracterización de las estructuras de los rodales de Balsa en la práctica en el campo forestal. Estas ecuaciones generales de diámetro-altura para la Balsa son inexistentes en el Ecuador. No obstante, la relación altura y diámetro han sido aplicadas para rodales coetáneos de diferentes especies y pueden ser ajustadas a varias funciones de segundo grado o ecuaciones polinómicas para la Balsa, demostrando ser mejores que las ecuaciones locales. Son estas funciones generales apropiadas para describir esta relación y presentan los mejores valores de precisión, sesgo y pueden ser validadas para los rodales de Balsa en las tierras bajas en la costa del Ecuador.

De ahí que, la presente investigación se ha planteado los siguientes objetivos: evaluar el ajuste de dos modelos generales diámetro y altura, generar dos nuevas funciones para describir esta relación y validar los modelos desarrollados para ser aplicados en la práctica para los rodales puros de Balsa (*Ochroma pyramidale*) en las tierras bajas en la costa del Ecuador.

MATERIALES Y MÉTODOS

Descripción botánica de la Balsa

La Balsa pertenece a uno de los aproximadamente 25 géneros de la familia Bombacaceae y se ha clasificado dentro de la especie *Ochroma*. Sin embargo, para los propósitos prácticos existe una sólo especie *O. pyramidale* (Cav.) Urb y *O. lagopus* Sw. El área de distribución natural abarca desde los 19° N hasta los 20° S en regiones de Centro y Suramérica tropical desde el sur de México hasta Bolivia (Lamprecht, 1986). La Balsa es comúnmente conocida como Balsa, Boya, Corkwood, Down Tree, Bois o Korkholz (Fletcher, 1951). Este árbol de rápido crecimiento se reconoce fácilmente por una copa abierta de unas pocas ramas gruesas y extendidas, corteza lisa color gris rosado, hojas grandes casi redondas, acorazonadas de 20-40 cm de largo y de ancho (Figura 1). Posee 7-9 nervios principales saliendo de la base (venación palmada) y con peciolo largos, flores grandes en forma de campanas, blancuzcas y Little y Dixon, 1969.

La Balsa es la madera comercial más liviana del mundo (peso específico 0,09) pesa menos que el corcho y el Ecuador ha sido el principal productor mundial. La madera es blancuzca grisácea, pálida con lustre sedoso, la albura y el corazón no bien definidos, sin olor ni sabor distintivo, la médula gruesa de 1,5-2 cm de diámetro. La madera es muy blanda, débil y tiene el grano muy grueso, recto, uniforme, se deforma por compresión pero es fuerte considerando su peso. A menos que no sea tratada es absorbente, se seca al aire con rapidez moderada y los

verdosas, solitarias de 14-15 cm o más de largo (Little y Dixon, 1969). Con 5 pétalos y 5 cápsulas color café oscuro de forma particular, cilíndricas de 18-25 cm de largo y 2,5-4 cm de diámetro, cubiertas con una materia lanosa color café claro después de abrirse (Little y Dixon, 1969).

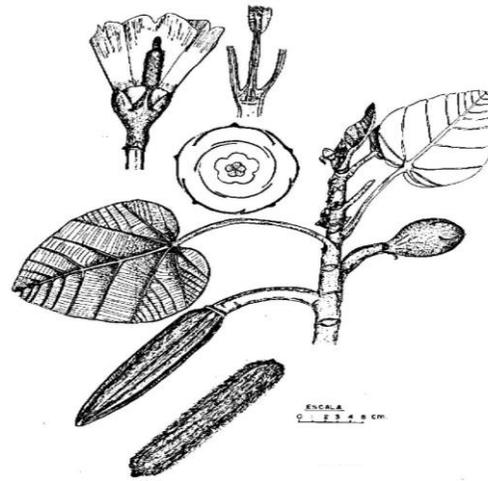


Figura 1. Representación gráfica de *Ochroma pyramidale*, Fuente:

defectos debido al secado son atenuados, de fácil cepillado, resistente a rajaduras, moldeado deficiente, lijado regular, el torneado, taladrado y escopleado son muy defectuosos (Little y Dixon, 1969).

Ubicación del área de estudio

La presente investigación se realizó en las provincias de Esmeraldas, Sto. Domingo de los Tsáchilas, Los Ríos, Manabí, Santa Elena y Guayas los rodales son estudiados son representados mediante puntos en la Figura 2.

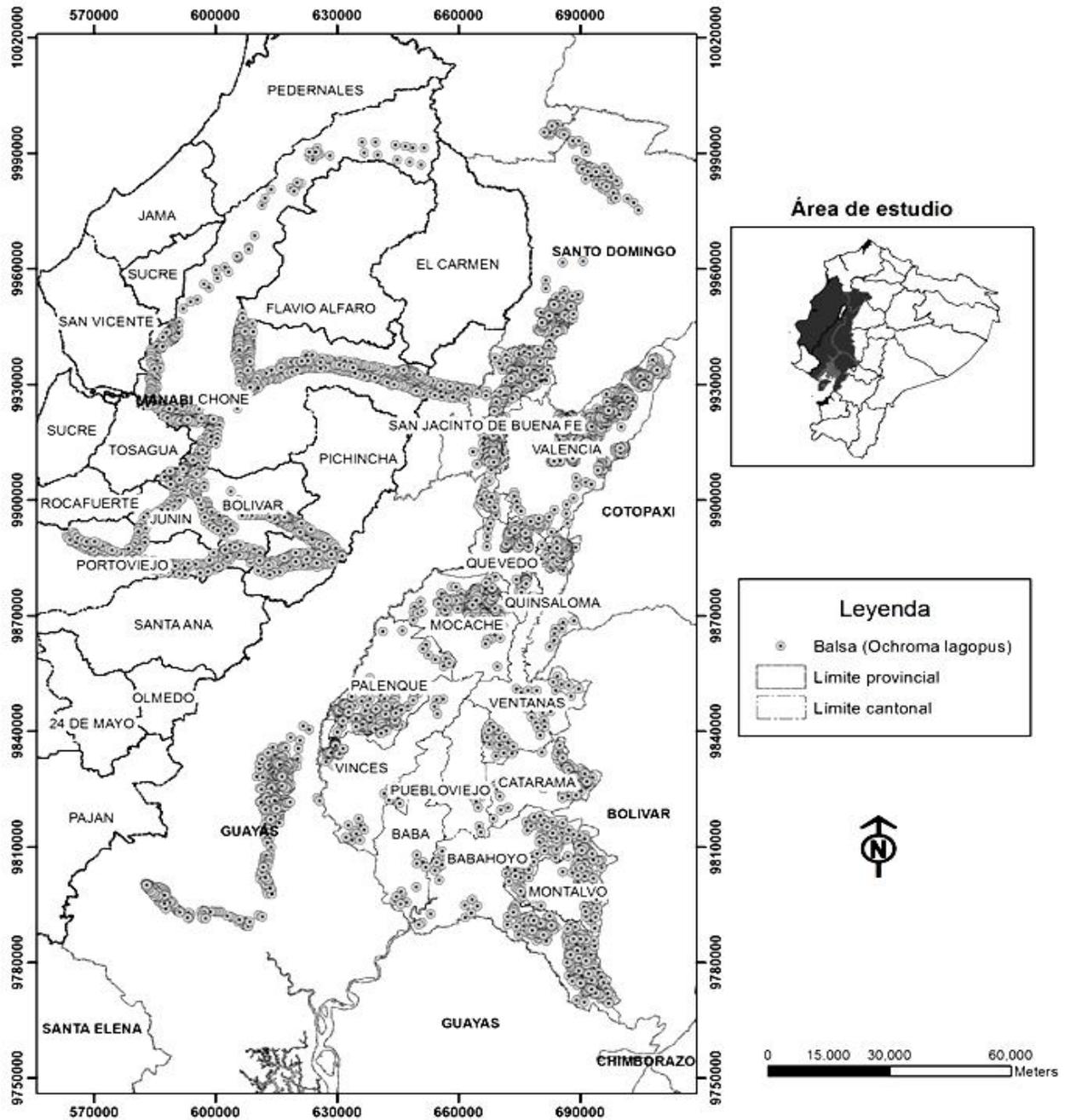


Figura 2. Distribución espacial de las plantaciones de Balsa para la obtención del primer set de datos, zona de investigación, Fuente: Cañadas *et al.* 2016.

Datos

Dos diferentes juegos de datos fueron empleados en esta investigación. Uno para el ajuste de los modelos y el otro para la

validación de los mismos. El primer juego fue medido en el 2009-2011 dentro del proyecto de investigación de la ITTO-INIAP. Estos rodales cubrieron un amplio rango de rodales forestales y diversas condiciones de sitios a lo largo de la zona de

estudio (Figura 2). El segundo juego para la validación de los modelos provino de 200 inventarios (2.293) en parcelas circulares temporales y permanentes instaladas en rodales coetáneos localizados en las provincias señaladas. El primer rango de

datos es menor debido a que abarcaron una amplia gama de condiciones ambientales de la mencionada provincia. La Tabla 1 resume las características de los árboles para el primer y segundo grupo de datos.

Tabla 1. Resumen de las características de los rodales para el primer grupo de datos (n= 926) y el segundo grupo (n= 2.293).

Variables	1 ^{er} Grupo de Datos			2 ^{do} Grupo de Datos		
	Mínimo	Promedio	Máximo	Mínimo	Promedio	Máximo
Altura dominante de un rodal (m)	1,40	12,19	28,07	4,87	40,62	22,51
Diámetro medio cuadrático (cm)	3,06	22,68	49,41	5,00	24,08	92,59
Número de árboles (ha)	100,00	361,40	1.506,00	200,00	332,55	1.500,00
Área Basal (m ² /ha)	1,90	12,19	28,07	1,17	13,52	26,89

En la presente investigación, el algoritmo DUD fue empleado, el cual puede ser encontrado en el procedimiento NLIN del programa SAS (SAS Institute, 1999). El supuesto de normalidad de residuos de los datos observados con los datos predichos fue

evaluada gráficamente utilizando gráficos Q-Q plots. En la Tabla 2 se resumen las formulas empleadas con la finalidad de la validación de los modelos. Esta metodología fue propuesta por Cañadas *et al.* (2014).

Tabla 2. Criterios de evaluación de los modelos (x_i = Valores Predichos; X_i = Valores Observados; n = Número de observaciones).

Criterio	Fórmula		Valor Ideal	
	Absoluto	Relativo	Absoluto	Relativo
<i>Distorsión</i> (\bar{e} , \bar{e} %)	$\frac{\sum_{i=1}^n e_i}{n} = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - X_i)}{n}$	$(\bar{e} \cdot 100) / \bar{X}$	0	0%
<i>Precisión</i> (s_e , s_e %)	$\sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{e} - X_i)^2}{n-1}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (e_i - \bar{e})^2}{n-1}}$	$(s_e \cdot 100) / \bar{X}$	0	0%
<i>Exactitud</i> (m_x , m_x %)	$\sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - X_i)^2}{n-1}} = \sqrt{s_x^2 + \bar{e}^2}$	$(s_e \cdot 100) / \bar{X}$	0	0%
<i>Eficiencia</i> (E , E %)	$1 - \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - X_i)^2}{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{X}_i)^2}$	$E \cdot 100$	1	100%

Ubicación del área de estudio

En la presente investigación se emplearon las ecuaciones resumidas en la Tabla 3, la misma que expresa la función matemática y autor (ecuaciones 1 y 2). Estas fueron utilizadas como base para desarrollar los modelos de diámetro-altura para la Balsa.

Dos variaciones del modelo 2 fueron probadas para obtener las ecuaciones 3 y 4 por los autores de la presente investigación. Con esta información se obtuvieron los parámetros de mejor ajuste para las características de diámetro-altura de la Balsa en la zona de estudio (Tabla 3).

Tabla 3. Funciones empleadas para el desarrollo de los modelos generales de diámetro-altura para la Balsa, en la región de estudio.

Función	Autor	Numeración
$h_j = \alpha_1 Ho \left(1 - \alpha_2 e^{\frac{-\beta d_j}{D_g}} \right)^{\alpha_3}$	Pienaar (1991)	[1]
$h_j = 1,30 + \left(\alpha_1 + \alpha_2 Ho - \alpha_3 D_g \right) e^{\frac{-\beta}{d_j}}$	Mirkovich (1958)	[2]
$h_j = 1,30 + \left(\alpha_1 + \alpha_2 Ho - \alpha_3 D_g \right) e^{\frac{-\beta}{\sqrt{d_j}}}$	Modificaciones hechas por los Autores	[3]
$h_j = 1,30 + \left(\alpha_1 + \alpha_2 Ho - \alpha_3 D_g + \alpha_4 G \right) e^{\frac{-\beta}{\sqrt{d_j}}}$	Modificaciones hechas por los Autores	[4]

RESULTADOS

Parametrización modelos diámetro-altura

En la Figura 3 se presenta los residuos de las ecuaciones [1-4] en relación con los datos predichos por los modelos generales de

diámetro y altura. Es necesario resaltar que, en esta evaluación se utilizaron el primer grupo de datos descritos en la metodología. En la Figura 3 no existe una tendencia en la distribución de los residuos para las cuatro funciones empleadas.

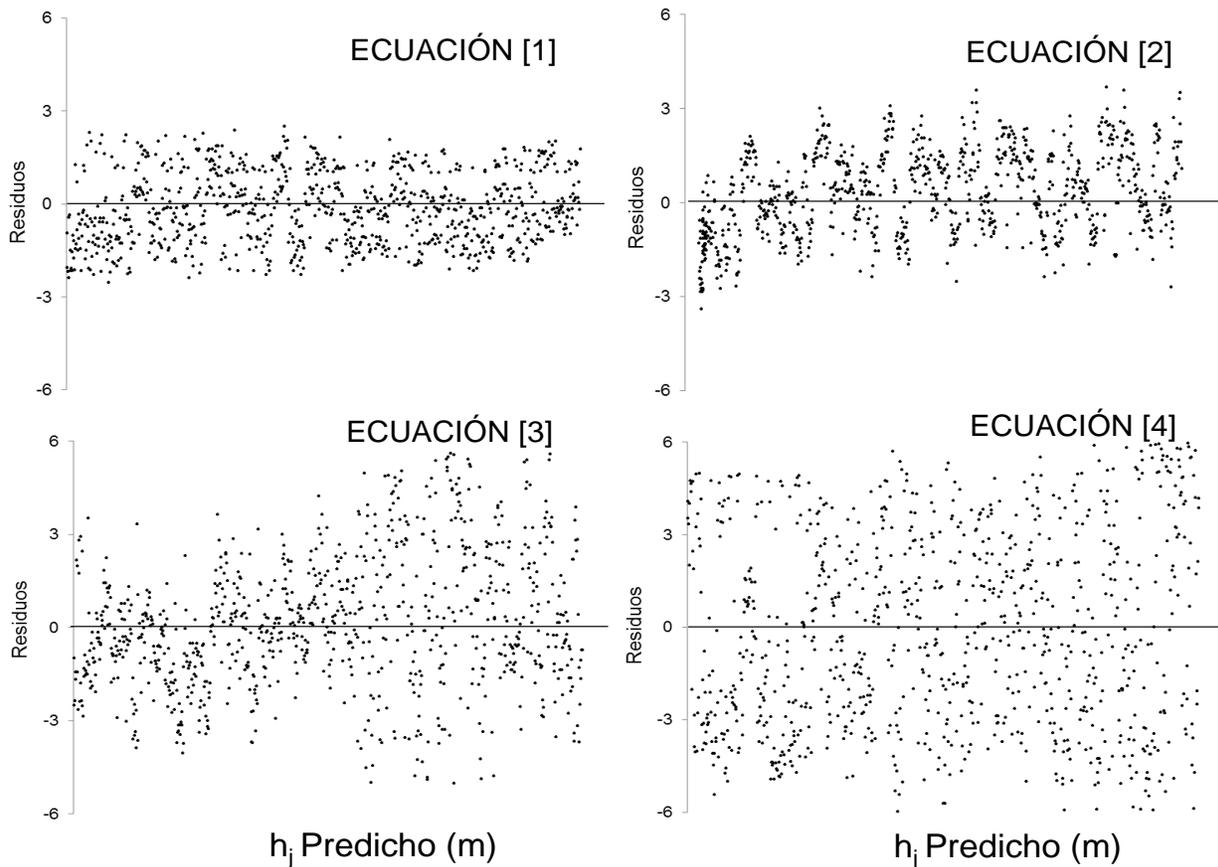


Figura 3. Residuos de las ecuaciones [1-4] ploteados sobre los valores predichos, Provincia de Los Ríos, Fuente: Elaborado por los Autores, Fuente: Elaborado por autores.

Las estimaciones de los diferentes parámetros calculados y los criterios de evaluación de las modelos empleados para describir la relación general de diámetro-altura son presentados en la Tabla 4.

Tabla 4. Criterios para la evaluación de las ecuaciones generales de diámetro y altura para Balsa.

Ecuación	Parámetro	Estimación	Distorsión Valor Ideal 0	Precisión Valor Ideal 0	Exactitud Valor Ideal 0	Eficiencia Valor Ideal 1
[1]	α_1	1,0382	-0,31	0,97	1,02	0,96
	α_2	0,3450				
	α_3	0,2821				
	β	1,9812				
[2]	α_1	1,0501	-0,04	1,38	1,38	0,94
	α_2	1,0011				
	α_3	0,1834				
	β	10,0139				

Continua...

[3]	α_1	1,0521	-0,05	1,82	1,79	0,91
	α_2	1,4999				
	α_3	0,6791				
	β	5,0129				
[4]	α_1	10,9000	-0,74	4,23	4,29	0,64
	α_2	1,5981				
	α_3	1,3333				
	α_4	0,3782				
	β	12,9988				

Validación de las ecuaciones diámetro-altura

Una vez que se ha obtenidos los parámetros de las cuatro ecuaciones generales de diámetro altura. El siguiente paso fue validar la información con el segundo set de datos independientes a la información para la

parametrización de las ecuaciones descritos en la metodología Tabla 1. En la Figura 4 se observan los datos predichos en confrontación con los observados se encuentran altamente correlacionados para las ecuaciones de la 1 a la 4.

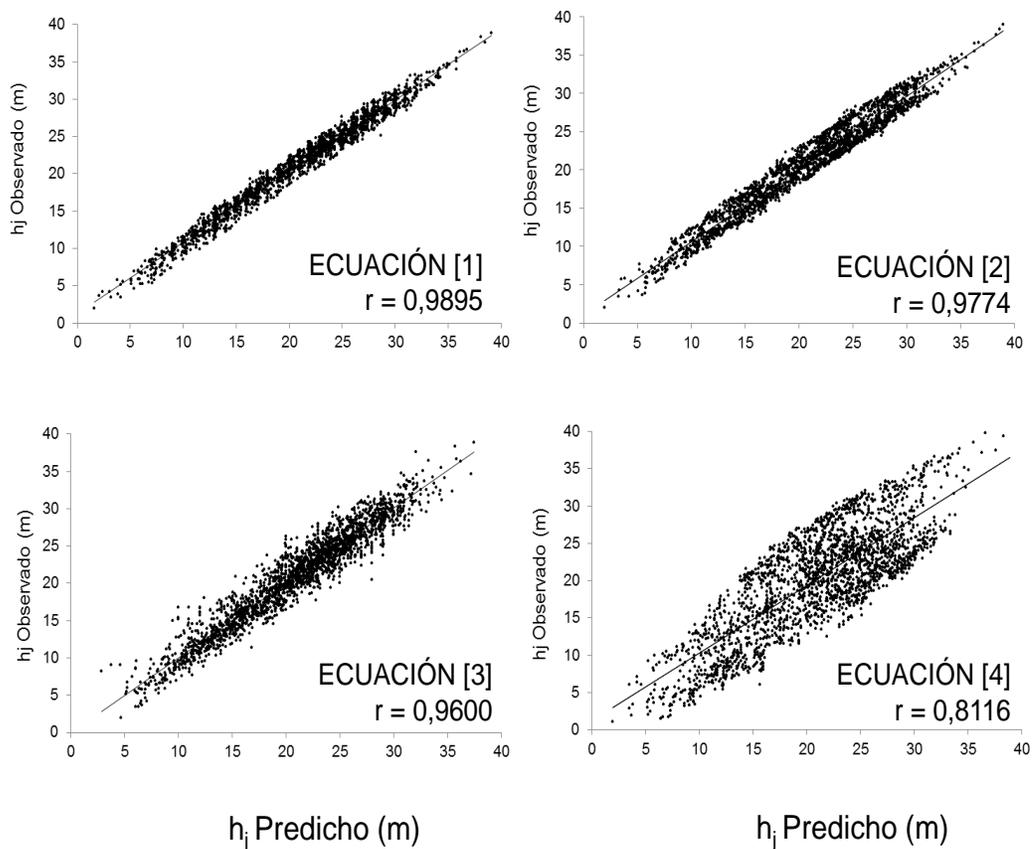


Figura 4. Validación de ecuaciones [1-4] utilizando datos independientes (segundo grupo de datos), r = Coeficiente de correlación. Fuente: Elaborado por los Autores.

DISCUSION

Como primer paso se probó el desempeño de dos ecuaciones generalizadas conocidas diámetro-altura, inicialmente la ecuación [1]

$$h_j = \alpha_1 Ho \left(1 - \alpha_2 e^{-\frac{\beta d_j}{D_g}} \right)^{\alpha_3} \quad [1]$$

Esta ecuación fue derivada por Pienaar (1991) de la función de Richards para rodales de pino (*Pinus eliottii*) en el sureste de Estados Unidos (cp. Richards, 1959) y fueron adaptadas a los rodales de Balsa.

$$h_j = 1,30 + (\alpha_1 + \alpha_2 Ho^2 - \alpha_3 D_g) e^{\alpha_4}$$

En segundo paso, la ecuación [2], fue derivada por Mirkovich (1958) de la función de Schumacher para rodales de roble en Europa central (Michailoff, 1943; Schumacher, 1939). Igualmente, estas ecuaciones fueron aplicadas para las plantaciones de Balsa en la provincial de Los Ríos. La siguiente simbología fue empleada en las dos ecuaciones: h_j = altura del árbol j (m), d_j = árbol j 's diámetro a la altura del pecho (cm), Ho = Altura dominante (m) del rodal, el cual presentó el árbol j , D_g = diámetro medio cuadrático de un rodal (cm), $\alpha_1 \dots \alpha, \beta$ = parámetros a ser estimado y 1,3 = una constante comúnmente empleada, con la finalidad de evitar la predicción de alturas menores a 1,3 m, cuando d_j es muy pequeño. Debido a que las dos ecuaciones son intrínsecamente no lineales, la bondad de ajuste no-lineal fue requerida para la estimación de los parámetros de las ecuaciones propuestas (Draper y Smith, 1981). Los valores iniciales fiables para el inicio del procedimiento de estimación fueron

tomados de Hui y Gadow (1993), los cuales en un estudio previo probaron la bondad de ajuste de las ecuaciones [1] y [2] para *Cunninghamia lanceolata* en China. Un paso importante en la evaluación del ajuste de las ecuaciones es el análisis gráfico de los residuos con la finalidad de buscar dependencias o modelos que evidencien diferencias sistemáticas (Cañadas *et al.*, 2003).

Una técnica simple y eficaz es determinar la tendencia de los residuos (bias), basado en la determinación de regresión lineal de los residuos entre los valores observados y valores predichos (Soares *et al.*, 1995), como queda ilustrado en la Figura 3 (a) y (b) ambas ecuaciones mostraron únicamente una pequeña tendencia sistemática. Como siguiente paso se trató de mejorar la ecuación [2] una transformación de la raíz cuadrado de d_j se probó con la finalidad de obtener un nuevo modelo:

$$h_j = 1,30 + (\alpha_1 + \alpha_2 Ho^3 - \alpha_3 D_g) e^{\frac{\alpha_4}{\sqrt{d_j}}}$$

La dispersión de los residuos mostró la normalidad de los residuos Figura 3 (c). Tomando en cuenta que, un rodal con igual D_g puede tener diferente densidad es interesante preguntarse si el modelo propuesto por Schumacher puede ser mejorado con la incorporación de una variable adicional, la cual considere (a) la densidad de un rodal. Como el número de árboles por hectárea mostró una alta correlación con el diámetro medio cuadrático (D_g) el área basal de un rodal G (m^2/ha) fue incorporada con la finalidad de ver la bondad de ajuste, quedando la ecuación de la siguiente manera:

$$h_j = 1,30 + (\alpha_1 + \alpha_2 Ho^4 - \alpha_3 D_g + \alpha_4 G)$$

La dispersión de los residuos no mostró ninguna tendencia Figura 3 (d)

Validación

De acuerdo a los valores estimados de Distorsión, Precisión Exactitud y Eficiencia mostrados para las ecuaciones [1] fueron cercanas a los valores ideales. De tal manera que la Eficiencia del modelo fue del 96% y fue la que menor valor de Exactitud mostró de 1,02. Seguida por la ecuación [2] Eficiencia de 94% y Exactitud de 1,38 y en tercer lugar la ecuación [3] Eficiencia de 91% y Exactitud de 1,79.

La validación de las cuatro ecuaciones fue evaluada prediciendo la altura individual de los árboles de la segunda secuencia de datos (no utilizados para el ajuste de las ecuaciones). En la Figura 4_{a,b,c,d} se puede observar los valores predichos en confrontación con los valores observados. El coeficiente de correlación asociado entre los valores observados y predichos puede ser tomado como otro criterio de evaluación de las ecuaciones ajustadas. Una fuerte correlación ($r = 0,9895$) fue observada para la ecuación [1] mientras que, para la ecuación [4] fue menor ($r = 0,8116$). La diferencia entre los coeficientes de regresión de las ecuaciones fueron pequeñas [1, 2, 3] en tanto la ecuación [4] fue grande la diferencia.

CONCLUSIONES

Los residuos obtenidos para las cuatro ecuaciones generalizadas de la relación diámetro-altura desarrolladas son probados en esta investigación, las cuales no muestran severas violaciones de los fundamentos estadísticos. De acuerdo a la validación metodológica, la ecuación [1] es la de mejor ajuste para predecir fiablemente la altura individual de la Balsa en la provincia de Los

Ríos (eficiencia de 96%), seguida por la ecuación [2] con una eficiencia del 94% y por la ecuación [3] que presenta el 91%. De estas, la ecuación [1] muestra una aceptable bondad de ajuste, debido a que los parámetros de Distorsión, Precisión y Exactitud son cercanos a los valores ideales (Cero) y puede ser empleada para describir la relación general de diámetro-altura (*Ochroma pyramidale*) en las tierras bajas en la Costa del Ecuador. Mientras que, la ecuación [4] no debe ser aplicada, ya que requiere de la determinación de tres variables independientes, demandando mayor tiempo de levantamiento de una variable adicional y muestra una eficiencia del 64% y un coeficiente de correlación de $r = 0,8116$.

AGRADECIMIENTOS

Los autores de esta contribución agradecen a la Organización Internacional de las Maderas Tropicales (ITTO), Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias (INIAP), Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA) por la disposición de fondos para el levantamiento de información de campo, base para los resultados de esta investigación.

BIBLIOGRAFÍA

- Banco Central del Ecuador. (2012) Comercio Exterior, 2012. Quito: Ecuador. Recuperado en: http://www.portal.bce.fin.ec/vto_bueno/seguridad/ComercioExteriorEst.jsp
- Cañadas, A., Rade, D., Domínguez, J. M., Murillo, I. & Molina, C. (2016). *Modelación forestal como Innovación tecnológica para el manejo silvicultural y aprovechamiento económico de la Balsa, Región Costa-Ecuador*. Ed. Abya-Yala, Quito (Ecuador).

- Cañadas, Á., Vilčko, F., Rade, D., Zambrano, C., & Molina, C. (2014). *Hacia una descripción de fuste para el Laurel Cordia alliodora en sistemas agroforestales en el Bosque Protector Sumaco, Ecuador*. *Avances en Ciencias e Ingenierías*, 6(1), 24-31.
- Cañadas, A., Rade, D., Zambrano, C., Molina, C., & Arce, L. (2013). *Evaluación y manejo de fuentes semilleras de Teca en la Estación Experimental Tropical Pichilingue-Ecuador*. *Avances en Ciencia e Ingeniería*, 5 (1), 64-75.
- Cañadas, A., & Rade, D. (2013). *Bases económicas y desarrollo sostenible como plataforma para la elaboración de proyectos sostenibles*. Ed. UTN, Ibarra, (Ecuador).
- Cañadas, A., Korol, M., Zambrano, C., & Camacho, B. (2012). *Modelos descriptivos de corona para Laurel (Cordia alliodora) bajo sistemas agroforestales en el Bosque Protector Sumaco, Ecuador*. *Avances en Ciencia e Ingeniería*, 4(2), 39-46.
- Cañadas, A., & Vera, L. (2011). *Forestería tropical al final del camino? Revisión del manejo sostenible de bosques nativos Tropicales*. *Revista ESPAMCIENCIA*, 2, 27-36.
- Cañadas, A. (2007). *Volumen y perfil de fuste para Cordia alliodora en sistemas agroforestales del bosque protector Sumaco*. *Bosque Latitud Cero*, 3, 15-20.
- Cañadas, Á. (2005). *Providing information about natural resources as a base to support the decentralization of the forest sector in Canton Loreto-Ecuador* (Doctoral dissertation, Forschungszentrum Waldökosysteme).
- Cañadas, A., Vilčko, F., & Gadow, K. v., (2003). *Management of Laurel (Cordia alliodora) within agroforestry system in the Canton Loreto, Ecuador*. p. 288. In: A. Wollny et al., (ed.) *Technological and Institutional Innovations for Sustainable Rural Development*. Deutscher Tropentag, Göttingen, (Germany).
- Cañadas, L. (1983). *El mapa bioclimático y ecológico del Ecuador*. Editores Asociados, Quito (Ecuador).
- Cruz-Leyva, I. A., Valdez-Lazalde, J. R., Ángeles-Pérez, G., & Santos-Posadas, H. M. D. L. (2010). *Modelación espacial de área basal y volumen de madera en bosques manejados de Pinus patula y P. teocote en el ejido Atopixco, Hidalgo*. *Madera y Bosques*, 16(3), 75-97.
- Draper, N. R., Smith, H., & Pownell, E. (1981). *Applied regression analysis* (Vol. 3). New York: Wiley.
- Fletcher, M. I. (1951). *Balsa-production and utilization*. *Economic Botany*, 5(2), 107-125.
- Gadow v, K., & Hui, G. (1990). *Modelling forest development* (Vol. 57). Springer Science & Business Media.
- Gadow v, K., Sánchez Orois, S., & Aguirre Calderón, O. A. (2004). *Manejo forestal con bases científicas*. *Madera y Bosques*, 10(2), 3-16.
- Hui, G. Y., & Gadow, K. v. (1993). *Zur Entwicklung von Einheitshöhenkurven am Beispiel der Baumart Cunninghamia lanceolata*. *Allgemeine Forst und Jagdzeitung*, 164(12), 218-220.
- Jayaraman, K., & Lappi, J. (2001). *Estimation of height-diameter curves through multilevel models with special reference to even-aged teak stands*. *Forest Ecology and Management*, 142(1), 155-162.
- Lamprecht, H. (1989). *Silviculture in the tropics: tropical forest ecosystems and their tree species: possibilities and methods for their long-term utilization*. Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit.
- Little, E. L., & Dixon, R. (1969). *Árboles comunes de la Provincia de Esmeraldas*:

- estudio de preinversión para el desarrollo forestal noroccidente*. Informe Final. Roma, Italia, FAO, 4, 53.
- López Sánchez, C., Gorgoso Varela, J., Castedo Dorado, F., Rojo Alboreca, A., Rodríguez Soalleiro, R., Álvarez González, J., & Sánchez Rodríguez, F. (2003). *A height-diameter model for Pinus radiata D. Don in Galicia (Northwest Spain)*. Annals of Forest Science, 60, 237-245.
- Michailoff, I. (1943). *Zahlenmäßiges verfahren für die Ausführung der bestandeshöhenkurven*. Forstwissenschaftliches Centralblatt und Tharandter Forstliches Jahrbuch, 6, 273-279.
- Mirkovich, D. 1958. *Normale visinske krive za chrast kinak i bukvu v NR Srbiji*. Zagreb. Glasnik Sumarskog Fakulteta.
- Ministerio del Ambiente del Ecuador. (2005). *Evaluación y actualización de las estrategias de desarrollo forestal sustentable del ecuador, estrategia para el desarrollo forestal sustentable del Ecuador*. Recuperado de: <http://web.ambiente.gob.ec/sites/default/files/archivos/PUBLICACIONES/FORESTAL/edfsi.pdf>
- Ministerio de Agricultura, Ganadería, Acuicultura y Pesca. (2008). *Plan de reactivación agropecuario 2007-2011*. Recuperado de: <http://es.scribd.com/doc/72871785/Plan-Nacional-de-Reactivacion-Agropecuaria-2008-2011>
- Ministerio de Agricultura, Ganadería, Acuicultura y Pesca. (2016). *La política agropecuaria ecuatoriana. Hacia el desarrollo territorial rural sustentable 2015-2025 Parte I*. MAGAP, Quito, (Ecuador).
- Michailoff, J. L. (1943). *Zahlenmässiges Verfahren für die Ausführung der Bestandeshöhenkurven*. Sonderdr. Fw. Cbl. u. Tharandter Forstl. Jb., 6, 273-279.
- Mirkovich, J. L. (1958). *Normale visinske krive za chrast kitnak i bukvu v NR Srbiji*. Zagreb. Glasnik Sumarskog Fakulteta, 13, 43-56.
- Pienaar, L. V., Harrison, W. M., & Rheney, J. W. (1991). *PMRC yield prediction system for slash pine plantations in the Atlantic coast flatwoods*. PMRC Techn. Rep., Athens.
- Richards, F. J. (1959). *A flexible growth function for empirical use*. Journal of Experimental Botany, 10(2), 290-301.
- Soares, P., Tomé, M., Skovsgaard, J. P., & Vanclay, J. K. (1995). *Evaluating a growth model for forest management using continuous forest inventory data*. Forest Ecology and Management, 71, 251-265.
- Soares, P., & Tomé, M. (2002). *Height-diameter equation for first rotation eucalypt plantations in Portugal*. Forest Ecology and Management, 166, 99-109.
- Sas Institute. (1990). *SAS/STAT user's guide, version 8 (Vol. 2)*. Cary, NC: SAS institute.
- Schumacher, F. X. (1939). *A new growth curve and its application to timber yield studies*. Journal Forestry, 37, 819-820.
- Trincado, G., & Leal, C. (2006). *Ecuaciones locales y generalizadas de altura-diámetro para pino radiata (Pinus radiata)*. Bosque, 27(1), 23-34.
- Vargas-Larreta, B., Corrales-Rivas, J., Aguirre-Calderón, O., & Nagel, J. (2010). *Modelos de crecimiento de árbol individual: Aplicación del Simulador BWINPro 7 Simulator*. Madera y Bosques, 16(4), 81-104.

DETERMINANTES DE LA EFICIENCIA TÉCNICA DE LA PRODUCCIÓN GANADERA EN LA RESERVA DE LA BIOSFERA "PODOCARPUS-EL CÓNDOR", ECUADOR.

DETERMINANTS OF TECHNICAL EFFICIENCY OF LIVESTOCK PRODUCTION IN THE BIOSPHERE RESERVE "PODOCARPUS-EL CONDOR", ECUADOR

Maza Rojas Byron¹, Barkmann Jan², Marggraf Rainer², Ogundari Kola²

¹ *Universidad Regional Amazónica, IKIAM, Sector Atacapi, IKIAM, Tena - Ecuador*
Phone: + 593 (0) 988755798
byronvmr@yahoo.es

² *Georg-August-Universität Göttingen, Agricultural Economics and Rural Development*
Platz der Göttinger Sieben 5, 37073 Göttingen, Alemania
Teléfono: + 49 (0) 5513914492, Fax: + 49 (0) 551394812
(jbarkma@gwdg.de), (rmarggr@uni-goettingen.de)

Carrera de Ingeniería Forestal,
Universidad Nacional de Loja, Ecuador



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

Recepción: 05 de abril del 2016
Aceptación: 27 de julio del 2016

Maza, B, *et al.* 2016. Determinantes de la Eficiencia Técnica de la Producción Ganadera en la Reserva de la Biosfera "Podocarpus-El Cóndor", Ecuador. Universidad Nacional de Loja

RESUMEN

El análisis de la eficiencia técnica ayuda a identificar opciones de política para mejorar los medios de vida de los productores agrícolas rurales, y puede ayudar aliviar los conflictos entre producción y conservación. Este artículo investiga las determinantes de la eficiencia técnica en la Reserva de la Biosfera "Podocarpus-El Cónдор", del sur del Ecuador. El estudio utiliza datos de 130 hogares agrícolas obtenidos mediante encuestas llevadas a cabo en ciclo de producción del 2008. El estudio emplea un modelo estocástico de frontera de posibilidades de producción del sistema ganadero extensivo. Nuestros resultados revelan un incremento en la producción proporcionalmente al tamaño de las pasturas ($p = 0,0179$), la mano de obra ($p = 0,0001$), y los costos de insumos ($p = 0,0153$). Una eficiencia técnica promedio de alrededor del 70% fue alcanzada por los agricultores locales. La eficiencia técnica fue mayor para las fincas de las tierras bajas en comparación a las tierras altas. Frecuentemente las fincas de las tierras bajas están bajo la propiedad de los miembros del grupo étnico "Mestizos". Las tierras altas tienen una elevada presencia de fincas pertenecientes al grupo étnico "Saraguros". La implicación política de los resultados sugiere que el rendimiento de la producción de ganadería se podría aumentar en un 30% mediante la provisión de asistencia técnica a los agricultores.

Palabras claves: ganadería, leche, pasturas, finca, eficiencia, productividad

ABSTRACT

Technical efficiency analysis helps to identify policy options for improving rural agricultural livelihoods and, them, may helps to alleviate production conservations conflicts. This paper investigates determinants of the technical efficiency in the Biosphere Reserve "Podocarpus-El Cónдор", South Ecuadorian. The study employs data from 130 farming households obtained by survey carried out in the 2008 farming season. The study employs stochastic frontier production model of pasture-based cattle and dairy production. Our findings reveal that output increased monotonically with size of pasture ($p=0.0179$), labor ($p=0.0001$), and costs of input ($p=0.0153$). An average technical efficiency of about 70% was achieved by local farmers. Technical efficiency was higher for lowland than for upland farms. Lowland farms are more frequently owned by members of the "Mestizo" ethnic group. Upland has high presence of "Saraguro" farms. The policy implication from the findings suggests that the output of cattle production could be increased by 30% provision of technical assistance to the farmers.

Keywords: livestock, milk, pasture, farm, efficiency, productivity

INTRODUCCIÓN

La producción ganadera es un sector importante de la economía agrícola ecuatoriana. Según las estadísticas del Censo Nacional Agropecuario (2000), hay 427.514 unidades de producción en el país con un total de 4.486.020 animales. El sector de producción ganadera del Ecuador se caracteriza por un amplio sistema de ganadería de doble propósito, de carne (engorde de ganado) y de leche (Censo Nacional Agropecuario 2000).

El nivel tecnológico de la producción de ganado en Ecuador aún no se ha incrementado. En una muestra representativa de cuatro provincias del país citado por Paredes (2009), se tiene que el 86,5% de las unidades de producción operan bajo un sistema de tecnología tradicional, el 10,1% con la tecnología intermedia y el 3,4% con la tecnología moderna.

El aumento de la producción ganadera en Ecuador se ha llegado a asociar con el incremento en conjunto de los insumos tales como áreas de pasturas, animales y el uso de mano de obra. La productividad de la producción ganadera en el área de estudio seleccionada está muy por debajo del valor medio nacional (Paredes 2009). Por ejemplo, el nivel de producción medio nacional de leche es de 4,5 litros por vaca-día (Paredes 2009).

Zamora (2009) identificó varios problemas relacionados con las pasturas y el ganado de unidades de producción en Ecuador. Según el autor, los problemas prioritarios en el manejo de las pasturas son los siguientes: i) el material genético del pasto produce una baja disponibilidad de proteínas, ii) un pobre manejo agronómico de los pastos, iii) una lenta adopción y difusión de las mejoras tecnológicas. Asimismo, el autor identifica los

principales problemas en la producción ganadera: i) el uso inadecuado de las razas bovinas, ii) elevados precios en la oferta veterinaria, iii) inadecuado manejo ganadero; y, iv) la falta del valor agregado al producto final.

En este artículo, investigamos los factores determinantes de la eficiencia técnica en la producción ganadera en el sur del Ecuador. El análisis de la eficiencia de la frontera de posibilidad de producción representa la mejor práctica tecnológica en la cual la eficiencia de las unidades de producción puede ser medida produciendo un modelo de producción. (Battese, 1992). En el mejor de nuestro conocimiento existe un sólo estudio (Bailey *et al.* 1989), que ha investigado la eficiencia técnica en fincas lecheras ecuatorianas. Sin embargo, Bailey *et al.* (1989) no determinaron los factores en la producción ganadera. Ante el papel estratégico del sector ganadero ecuatoriano, así como sus implicaciones para la conservación, claramente se requieren más estudios empíricos.

A nivel latinoamericano, los estudios se centran en la determinación de la eficiencia técnica en fincas con alto nivel tecnológico (maquinaria). Moreira y Bravo (2009) en su meta-análisis de 5 estudios, con un enfoque en la eficiencia técnica de las explotaciones de lácteos en la región de América Latina, determinan en un 73,2% la media de la eficiencia técnica de las fincas. Moreira (2006) en su estudio sobre la eficiencia técnica de las explotaciones de lácteos encontró una eficiencia técnica de 87,0%, 84,9% y 81,1% para Argentina, Chile y Uruguay, respectivamente. También, Bravo *et al.* (2007) en un meta-análisis determinaron que el promedio de la eficiencia técnica del sector agrícola en América Latina es de 77,9%.

La parte restante del artículo procede de la siguiente manera, la sección 2 revisa las medidas técnicas de la eficiencia. La

sección 3 describe la metodología que incluye una descripción del área de estudio, la técnica de muestreo, así como las especificaciones de las variables. Los resultados se presentan y discuten en la sección 4, mientras que la sección 5 ofrece observaciones finales y las implicaciones políticas de los hallazgos.

Revisión de las técnicas de medición de la eficiencia

Desde Farrell (1957) con su artículo influyente en la medición de la eficiencia, ha existido un creciente interés en la metodología y sus aplicaciones a situaciones de la vida real (Thiam *et al.* 2001). Farrell introdujo un método para descomponer la eficiencia global (económica) de una unidad de producción en componentes técnicos y de asignación.

El autor define la eficiencia técnica (TE) como la capacidad de la empresa para producir un rendimiento máximo dado un conjunto de insumos y tecnología. La eficiencia en la asignación (AE) se define como una medida del éxito de la empresa en la elección de las proporciones óptimas de los insumos. Por último, se define la eficiencia económica como el producto de las eficiencias: técnica y asignativa que describe la capacidad de los productores para alcanzar tanto la eficiencia técnica y asignativa.

Empíricamente, dos enfoques han sido desarrollados para medir la eficiencia de las unidades de producción. El enfoque paramétrico utiliza modelos econométricos, como el análisis de frontera estocástica (SFA). El enfoque no paramétrico es más restringido en la forma de Análisis Envolvente de Datos (DEA), basado en modelos de programación matemáticos. La crítica del DEA de los econométricos está basada en el hecho de que el DEA no puede diferenciar entre la variación aleatoria y otras fuentes de

“ruido estadístico” de la eficiencia, esto a diferencia de SFA. Las ventajas y limitaciones de ambos enfoques se discuten ampliamente en Kumbhakar y Lovell (2000) y Coelli *et al.* (2005). El presente estudio emplea SFA debido a su uso frecuentemente en el análisis de la eficiencia y la productividad en los estudios de productividad agrícola. Por lo tanto, la discusión posterior se centra en esta metodología.

Los modelos de análisis de frontera estocástica se desarrollaron de forma independiente por Aigner *et al.* (1977) y Meeusen y Van den Broeck (1977). El modelo básico de la función SFA se basa en un conjunto de datos transversales (cross-sectional data) y que se puede especificar como:

$$\ln y_i = \ln f(X_i; \beta) + e_i \quad 1)$$

donde, y_i denota el valor de la producción de la i -th finca ($i = 1, \dots, N$); X_i es un ($1 \times k$, k :columnas) vector de los insumos asociados; β es un ($j \times 1$, j =filas) vector de parámetros desconocidos a estimar, y f representa la forma funcional. El término de error $e_i = v_i - u_i$ se compone de dos componentes. v_i representa el error aleatorio (ruido estadístico / error de medición) distribuidos simétricamente. u_i es el término de error asimétrico, asumido para ser independiente e idénticamente distribuido (iid) ($u_i > 0$). u_i captura la ineficiencia técnica, y es independiente de v_i .

La eficiencia técnica de las empresas podría estimarse utilizando el Jondrow *et al.* (1982) aproximado como:

$$E[u_i|e_i] = \frac{\sigma\lambda}{(1+\lambda^2)} \left[\frac{\phi\left(\frac{e_i\lambda}{\sigma}\right)}{\Phi\left(-\frac{e_i\lambda}{\sigma}\right)} - \frac{e\lambda}{\sigma} \right] \quad (2)$$

donde $\phi\left(\frac{e_i\lambda}{\sigma}\right)$ es la densidad de la distribución normal estándar, $\Phi\left(-\frac{e_i\lambda}{\sigma}\right)$ es la función de distribución acumulada de la distribución normal estándar, $e = v_i - u_i$ está definido anteriormente y $\sigma = (\sigma_u^2 + \sigma_v^2)^{\frac{1}{2}}$ es la raíz cuadrada de la suma de la varianza de v y u .

Una vez que las estimaciones condicionales de u_i se han obtenido, Jondrow *et al.* (1982) calcula la eficiencia técnica de cada productor como:

$$TE_i = 1 - E[u_i|e_i] \quad (3)$$

El objetivo del análisis de la frontera de posibilidades de producción no es sólo para servir como punto de referencia contra el cual se calcula la eficiencia de las unidades de producción, sino también para identificar las causas subyacentes de la desviación de la tecnología de vanguardia o determinantes de la eficiencia entre las unidades de producción (Kumbhakar y Lovell, 2000).

Los primeros enfoques en incorporar las determinantes de los niveles de eficiencia técnica en el análisis de la frontera de posibilidades de producción adoptaron un enfoque de dos etapas (Pitt y Lee 1981; Kalirajan 1981). Este enfoque ha sido criticado por el supuesto de que u_i es violada en el enfoque de dos etapas, en el cual las eficiencias predichas son asumidas

para tener una relación funcional con las variables exógenas (Kumbhakar y Lovell 2000. y Coelli *et al* 2005).

El problema en el enfoque de dos etapas llevó al desarrollo de un enfoque de un único paso desarrollado por Kumbhakar *et al.* (1991). Los autores proponen el modelo de enfoque de una sola etapa, donde las determinantes de los niveles de eficiencia, las variables en una frontera de producción estocástica y los índices de eficiencia técnica se estiman simultáneamente. El enfoque de una sola etapa fue parametrizado de tal forma que la media de la distribución pre-truncada de la ineficiencia del error (μ_i) sea una función de variables exógenas. Este modelo puede ser especificado de manera implícita como:

$$\mu_i = \delta_0 + \delta_j Z_{ij} \quad (4)$$

donde μ_i es la ineficiencia técnica media específica de una empresa, z_{ij} es la matriz de las variables exógenas que determina la ineficiencia técnica, y δ_j es un vector de los parámetros a estimar. En esta fórmula, un signo negativo de un elemento del δ_j - vector indica una variable con una influencia positiva en la eficiencia técnica.

Estudios recientes muestran que permitir la varianza de u_i puede ser una función de variables exógenas que posiblemente podrían ser exploradas para investigar los efectos de ineficiencia técnica mientras se corrige la posible heterocedasticidad en el término de ineficiencia u_i (Caudill y Ford 1993; Caudill *et al* 1995; Kumbhakar y Lovell 2000). La investigación de la heterocedasticidad de los efectos de ineficiencia técnica de acuerdo con estos autores puede implícitamente especificada como:

$$\sigma_{ui}^2 = g(Z_{ki}; \delta_k) \quad (5)$$

donde, σ_{ui}^2 denota la varianza de u_i , z_k es la matriz de variables exógenas que determina la ineficiencia técnica y δ_k es un vector de parámetros a estimar. También en el Eqn.5, un signo negativo de un elemento de la δ_k -vector indica que la variable tiene una influencia positiva en la eficiencia técnica.

METODOLOGÍA.

Área de estudio y procedimiento del muestreo

El área de investigación se encuentra en el sur de Ecuador en la Reserva de la Biosfera de la UNESCO "Podocarpus-El Cóndor", ubicado en las provincias de Loja y Zamora-Chinchipec (ver Figura 1). El área de investigación es parte de los sitios de alta biodiversidad global "hot spot", en las montañas de los Andes (CIPRB 2005, Brummitt y Lughadha 2003). La mayoría de los hogares rurales son pequeños agricultores pobres que practican la ganadería extensiva (Beck 2008). El área protegida "Corazón de Oro" (Área de Bosque y Vegetación Protectora Corazón de Oro; ABVPC) se estableció al norte del Parque Nacional Podocarpus, y esta forma parte de la zona de amortiguamiento del parque nacional, que es la zona núcleo de la Reserva de Biosfera.

En el ABVPC y en un estrecho corredor entre ABVPC y el parque nacional, se realizó una encuesta socio-económico de los hogares en la etapa de producción agrícola del 2008 ($n = 130$). Alrededor del 24% del total de hogares locales participaron en la encuesta. Las comunidades para la encuesta fueron seleccionados al azar y proporcional al número de hogares. El número de hogares

por comunidad refleja aproximadamente el tamaño de la comunidad. La selección de los hogares de las comunidades no pudo realizar mediante una selección aleatoria, esto debido a la existencia de información financiera confidencial a ser revelada durante la entrevista. Es por ello, que empleamos un muestreo "snowball" e información de los informantes claves con el fin de acercarse a un muestreo tan representativo como sea posible. El uso del suelo de cada finca fue examinado por medio de entrevistas personales, la ubicación de las parcelas se delimitó de forma independiente en las fotografías aéreas (IGM 2003) y se usó datos de GPS para la validación del uso del suelo.

En nuestra no existe tierra de propiedad comunal porque toda la tierra es de propiedad privada. El 53,7% (2.795 ha) de las fincas encuestadas está bajo el uso del suelo bosque; el 45,5% (2.391 ha) son pastizales. La mayoría de los agricultores producen leche y otros productos derivados (ej. queso). Sólo una pequeña porción produce exclusivamente leche. La producción agrícola es realizada principalmente con fines de subsistencia y cubre sólo el 0,6% de la superficie. Las parcelas de cultivos son muy pequeñas o incluso forman parte de los huertos familiares. La producción basada en pastizales representa el 70,4% de los ingresos totales de los hogares, los ingresos no agrícolas el 25,7% y los cultivos el 3,9% de los ingresos totales de los hogares.

Para algunos de los hogares que tienen acceso a las zonas más remotas del bosque, la madera también puede contribuir a los ingresos familiares. Como la tala de árboles es una actividad ilícita en el ABVPC, el grado en que se dé este caso, no se puede cuantificar. La calidad de los árboles de los bosques de montaña que quedan es baja; indicios de las operaciones de tala comercial a gran escala no se

encontraron durante el trabajo de campo. Esto sugiere que la tala de árboles contribuye principalmente al consumo de subsistencia.

Sin embargo, asumimos que existe extracción maderera en las comunidades de las partes más altas, del noreste de la ABVPC, que no fueron incluidas en la muestra (porque fueron seleccionadas al

azar). La importancia de la extracción de madera para combustible o de otras formas de utilización no-maderables de productos forestales es pequeña. La mayoría de los hogares utilizan gas doméstico que está altamente subsidiado por el Estado. En contraste, la producción ganadera y láctea extensiva cubre una abrumadora parte de los ingresos locales de la producción primaria.

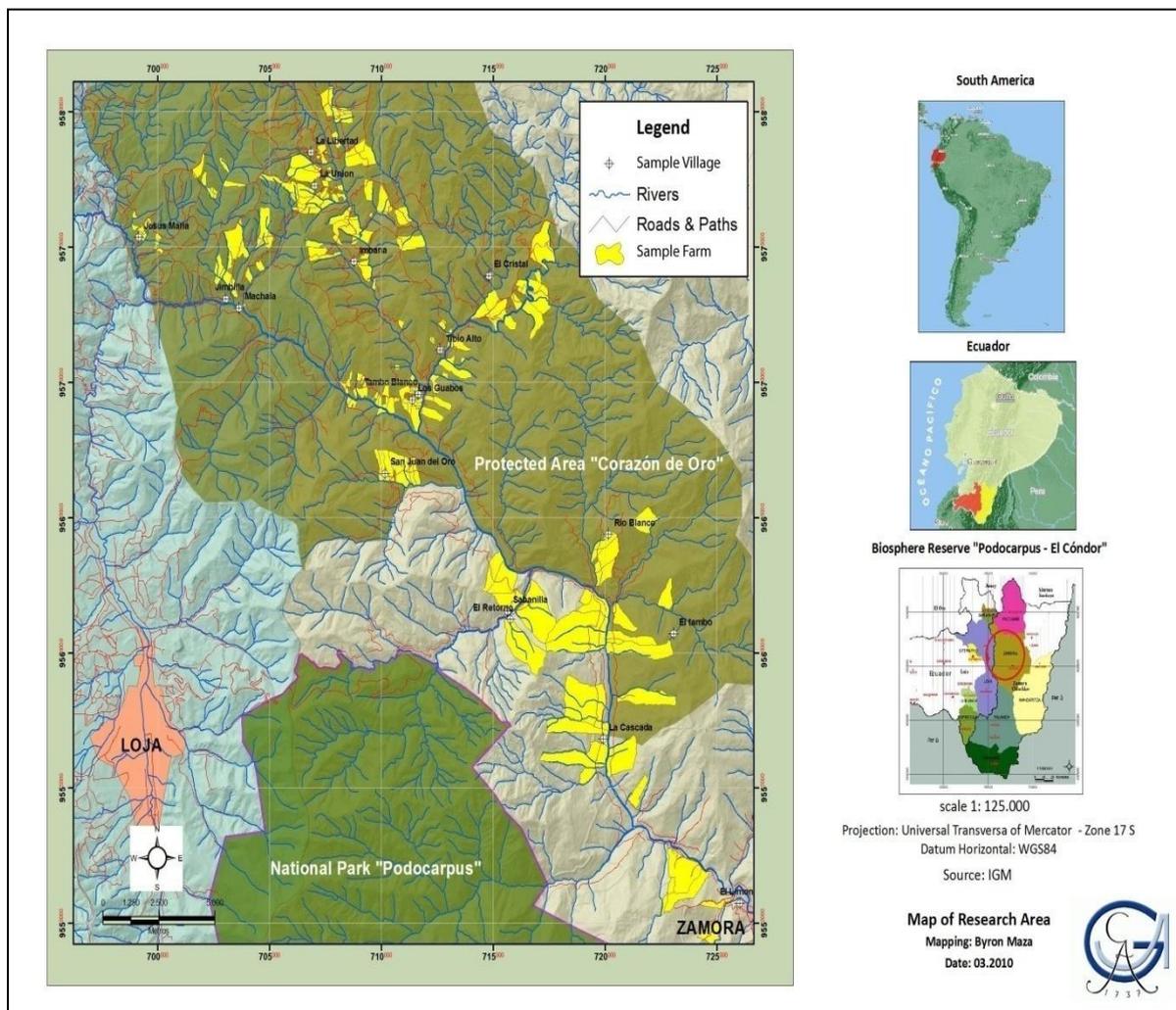


Figura 1. Mapa que muestra el área de estudio

Determinantes de ineficiencia técnica

Las determinantes de la ineficiencia técnica identifican las razones de las diferencias de producción entre las unidades de producción (agricultores /

hogares). SFA cuantifica la influencia de los factores determinantes en las diferencias de producción (Battese y Coelli, 1995).

La evidencia empírica es mostrada por Bravo-Ureta y Pinheiro (1993), quienes determinan los factores socioeconómicos relacionados con la eficiencia técnica en los países en vías de desarrollo en el sector de la agricultura. Ellos indican varios factores: ingresos, educación, edad, alfabetización, experiencia, educación formal y no formal, crédito, tamaño de las fincas, políticas de manejo, extensión (visitas, horas), riego, fertilizantes, ingresos fuera de la explotación, empleo fuera de la finca, región (localidad). Alene *et al.* (2005) en su estudio en un país en vías desarrollo (Indonesia) señalan varios factores determinantes que inciden en la eficiencia: edad, el capital social, la asistencia técnica, la educación, el grupo étnico, el empleo no agrícola, el acceso al crédito. Ortega *et al.* (2007) indican el impacto de las variables socio-económicas y técnicas en la eficiencia técnica del sistema de ganadería de doble propósito en Venezuela.

Los factores reportados son la educación, el sistema de cría, tenencia de la tierra, la carga animal, el crédito, la asistencia técnica, la ubicación, el sistema de producción, experiencia, tamaño de la explotación y la producción, la inversión de capital. Más recientemente, Ogundary (2010) en su meta-análisis de estudios de eficiencia técnica en países en vías desarrollo en la agricultura identificó variables de política en materia de eficiencia técnica. Él encontró efectos positivos y negativos de la edad, la experiencia, el crédito, la extensión, el tamaño del hogar, la educación, el género y la pertenencia a las asociaciones y cooperativas.

En base al comentario anterior y nuestro conocimiento del área de investigación las variables que influyen probablemente en la eficiencia son: el área

de las pasturas, la altitud mínima de tierras de pastoreo, la localidad, la etnia, la asistencia técnica y el acceso al crédito formal.

Definición de Variable

La información recogida en la encuesta incluye: ingresos brutos por la venta y el consumo de productos lácteos, incremento de peso¹ del ganado y venta de ganado (ambos en USD), el área de los pastizales en hectáreas, el uso de mano de obra (la familia y el trabajo asalariado) en días-hombre y costos de producción. El costo de producción incluye los gastos en efectivo sobre la sal, la vacunación de los animales, los gastos de los servicios veterinarios, y la depreciación de los insumos fijos.

Otra información incluye el número de agricultores que reciben asistencia técnica (variable "dummy"; el encuestado tiene acceso a la asistencia técnica de las organizaciones gubernamentales y no gubernamentales), el acceso al crédito formal (variable "dummy"; agricultor tiene acceso al crédito formal), y el grupo étnico (variable "dummy", 1 = grupo étnico "Mestizo"; 0 = grupo étnico "Saraguro"), la ubicación de la finca (Variable "dummy", 1 = "tierras altas"; 0 = "tierras bajas"). La altitud del área de los pastizales (metros sobre el nivel del mar) se obtuvo a partir del modelo digital de elevación. La tabla A del anexo contiene las estadísticas de resumen de variables se utilizan posteriormente en SFA.

Especificación del modelo empírico

La tecnología de producción ganadera en Ecuador está representada en el presente estudio usando una forma funcional Translog para tres insumos como:

¹ El peso vivo se predice con una regresión, donde la variable dependiente es el peso vivo y las variables explicativas son la raza, la edad y el sexo. La mayor parte de las variables (10 variables) son significativas al $\alpha = 0,05$ y el modelo explica ($R^2 = 0,57$) 57% de peso vivo.

$$\ln(y_i) = \left\{ \delta_0 + \sum_{j=1}^3 \beta_j \ln X_{ji} + \frac{1}{2} \sum_{j=1}^3 \sum_{k=1}^3 \beta_j \ln X_{ji} * \ln X_{ki} \right\} + v_i - u_i \quad (7)$$

Donde:

\ln : Logaritmo natural; y_i : Los ingresos brutos procedentes de la producción ganadera para el i th agricultor en USD; X_1 : área de los pastizales en hectáreas; X_2 : ambos, mano de obra contratada y mano de obra familiar en días-hombre y X_3 : costos de producción.

v_{it} se distribuye normalmente con $N(0, \sigma_{vi}^2)$ mientras u_i se asume que se distribuye semi-normal como $N^+(0, \sigma_{ui}^2)$ con $\sigma_{ui}^2 = q(Z_{is}, D_{pi}; \alpha_i)$ siguiendo el supuesto de la literatura tradicional.

La especificación de heterocedasticidad de la varianza del término de ineficiencia (u_i) de Eqn.5 resultó ser robusto (no hay problema de heterocedasticidad en el término de ineficiencia) para modelar los determinantes de la eficiencia técnica de la producción ganadera en el área de estudio¹.

Siguiendo el modelo tradicional de los efectos de la ineficiencia técnica en la literatura, la varianza de la ineficiencia del error se modela como una función de las fincas / variables socio-económicas de los agricultores² como:

$$\sigma_u^2 = \exp(\omega_0 + \alpha_1 X_{land} + \alpha_2 X_{altitude} + \alpha_3 X_{location} + \alpha_4 X_{ethnicity} + \alpha_5 X_{tec. Assistant} + \alpha_6 X_{credit}) \quad (7)$$

donde σ_u^2 representa la varianza del término de error de un solo lado (u_i).

Las estimaciones de máxima verosimilitud de los parámetros de la ecuación. 3, 6 y 7 se estiman conjuntamente usando Ox 4.02 (Doornik, 2006), en concreto, el paquete SFAMB (Brümmer, 2001).

Siempre que la tecnología de producción de las unidades de producción es descrita por funciones de producción flexibles, tales como las formas funcionales translogarítmicas, es importante comprobar si las elasticidades estimadas (coeficientes de los insumos) son teóricamente consistentes (Sauer *et al.* 2006).

Una función de producción es globalmente consistente cuando provee regularmente condiciones para los insumos en el modelo de producción (Chamber 1988). Una condición es monotonicidad (es decir, las elasticidades positivas). Además, la propiedad curvatura de los insumos se necesita ser evaluada. Por consiguiente, se construyó una prueba de concavidad usando la matriz de Hesse (**H**) para cada una de los insumos en la media de la muestra como se presenta en la tercera fila de la tabla 3. Las tres variables de los insumos se incluyeron en la función de la frontera de posibilidades de producción translogarítmica de la Eqn.6.

² Al principio la especificación de ineficiencia de la media de la Eqn. 4 fue empleada para relacionar las características específicas de fincas / finqueros al nivel de eficiencia de los encuestados. Sin embargo, la mayoría de los parámetros fueron encontrados insignificantes en este modelo de especificación.

³ Se incluyeron tanto la altitud y la ubicación porque dejar a un lado, uno en vez de otro, afecta a la solidez de las estimaciones. La ubicación (de las tierras bajas y las tierras altas) captura algo de información de la altitud de la tierra de pastoreo. Sin embargo, la principal diferencia es el excelente acceso a los mercados de las granjas de las tierras bajas, mientras estén situadas entre la carretera principal interprovincial conecta las capitales provinciales de Loja y Zamora.

Esto implica que se esperan tres matrices de Hesse (H) sean construidas con las siguientes condiciones ((H1 ≤ 0), (H2 ≥ 0), and (H3 ≤ 0) antes de que la concavidad sea alcanzada (para detalles ver Sauer *et al.* 2006).

Pruebas de Hipótesis

Una prueba generalizada del radio de probabilidad de las hipótesis de interés se presenta en la tabla 1. La primera hipótesis nula, que especifica que la forma funcional de la frontera de posibilidades de producción Cobb-Douglas es una representación adecuada de los datos, es rechazada. Esto implica que la forma funcional de la frontera de posibilidades de producción translogarítmica (Eqn.6) es adecuada para el conjunto de datos. Resultados similares fueron encontrados por Moreira (2006), la forma funcional

más apropiada para las explotaciones lecheras de Argentina, Chile y Uruguay es la translogarítmica. La segunda hipótesis nula de rendimientos constantes a escala es rechazada. La tercera hipótesis nula que especifica que los efectos de ineficiencia están ausentes en el modelo es fuertemente rechazada, lo que indica que OLS no es una representación adecuada del conjunto de datos. La cuarta hipótesis que especifica que los coeficientes de las variables explicativas en el modelo de ineficiencia son simultáneamente cero también se rechazó. La implicación de esto es que seis variables incluidas en el componente de ineficiencia tienen una contribución conjunta significativa para explicar los efectos de la ineficiencia asociada con el valor de la producción para los agricultores incluidos en la muestra.

Tabla 1: Análisis de la razón de verosimilitud generalizada, n = 130

Hipótesis nulas	LR	Df	$\chi^2 (0,05)$	Decisión
H ₀₁ : $\beta_{jk}=0$	17.88	6	12.6	Rechazar
H ₀₂ : $\sum \beta_{jk}=1$	18.42	4	9.5	Rechazar
H ₀₃ : $\gamma_i=0; \alpha_i=0$	78.36	7	13.4 *	Rechazar
H ₀₄ : $\alpha_1 \dots \alpha_6=0$	52.94	6	12.6	Rechazar

* Este valor se obtiene de la tabla de Kodde y Palm (1986) con un grado de libertad (df) es igual a q, donde q es parámetros de ineficiencia.

La Tabla 2 presenta el resultado de las estimaciones de máxima verosimilitud de los parámetros del modelo de frontera de posibilidad de producción translogarítmica seleccionada de la Eqn.6. Sin embargo, antes de la estimación, las variables del modelo de frontera posibilidad de producción se dividieron por su respectiva media de la muestra. La implicación de esto es que los coeficientes de la primera orden de la elasticidad de la frontera translogarítmica sirven directamente como la medida de la elasticidad de la producción de los insumos (Coelli 2005).

Se encontró que la condición de monotonicidad (es decir, las elasticidades

positivas) es alcanzada en la mayoría de los casos. La monotonicidad en los insumos en los puntos individuales de la muestra es violada en aproximadamente 7%, 18% y 9% de la elasticidad de los pastizales, la mano de obra y los costos de los insumos, respectivamente, como se presenta en la segunda fila de la tabla 3. El porcentaje de casos de monotonicidad violados son más bajos que el resultado empírico reportados por Ogundary (2010), se asume que esa condición de monotonicidad se cumple en gran porcentaje. Además de esto, a continuación se describe la prueba de concavidad de curvatura de las entradas realizadas. Se encontró que el H1= -0.124

ha cumplió la condición de curvatura [debido a la forma en que nuestros parámetros estimados fueron arreglados en la tabla 2, este valor es igual a la primera o, simplemente segundo orden de derivadas para el tamaño de los pastizales], $H_2 = 0.218$ (cumplido), mientras $H_3 = 0,003$ (no pudo ser satisfacer)³. Con base en estos resultados, llegamos a la conclusión de que la propiedad curvatura de los insumos necesarios para la condición suficiente de la función de producción se cumple. La condición fue alcanzada en la media de la muestra con respecto al tamaño de las pasturas y la mano de obra, mientras que la condición no se pudo cumplir en los costos de producción en el estudio. Esto significa que se logró la condición de cuasi-concavidad.

RESULTADOS Y DISCUSIONES

Estimaciones de la frontera de posibilidades de producción: elasticidad de producción de los insumos

Con base en los resultados presentados en el panel superior de la tabla 2, es obvio que las elasticidades de los tres insumos consideradas en la regresión fueron positivas y significativamente distintas de cero, al menos en el nivel de 10% de significancia. Sin embargo, se encontró que el trabajo tiene las más altas elasticidades con un valor de 0,653. Esto es seguido por el tamaño de los pastizales (0.244) y los costos de producción (0.137). La implicación de esto es que la mano de obra es un insumo importante en la producción ganadera ecuatoriana. Nuestros resultados difieren a los de Ortega *et al.* (2007) donde la maquinaria veterinaria es un insumo importante en el sistema de ganadería de doble propósito en Venezuela. Claramente este resultado

refleja el bajo nivel tecnológico de la maquinaria producción ganadera en nuestra muestra, incluso tomando de referencia estándares latinoamericanos.

El retorno a la escala (RTS), que es la suma de la elasticidad de la producción (= 1,034) de los insumos en la regresión se presenta en la primera fila de la tabla 3. La hipótesis nula de rendimientos constantes a escala es rechazada (segunda hipótesis en la Tabla 1). El aumento de rendimiento a escala fue encontrado por Moreira (2006), Argentina 1.176, Chile, Uruguay 1.09. En el sistema de producción ganadero del área de investigación la utilización de la mano de obra (tecnología rudimentaria) es abrumadora. Es imposible con una tecnología más alta o mayor capital de inversión obtener un incremento en las ganancias a escala en la misma proporción. Esto significa que la eficiencia técnica, no está muy relacionada con la tecnología. Esperamos que tal vez las ganancias a escala sean más substanciales, las cuales sugieren que el análisis de la eficiencia técnica es sólo una parte del resultado.

Los resultados de los RTS (= 1,034) muestran que para una finca ganadera promedio en el área de estudio, los rendimientos crecientes a escala (IRTS) caracterizaron su proceso de producción⁴. La implicación de esto es que una media de producción ganadera en la zona de estudio se encuentra en la etapa I de la curva de producción. Por lo tanto, en esta etapa se puede esperar el aumento del uso de insumos en la finca ganadera con el fin de llegar a un punto óptimo de producción, porque la adición de los insumos de producción puede elevar más que la adición proporcional para los productos debido a IRTS observados.

⁴ Técnicamente, el cumplimiento de la condición de concavidad implica un cumplimiento de la condición cuasi concavidad (pero cuasi concavidad no implica concavidad).

⁵ Anteriormente en la prueba de las hipótesis de interés, se observó que un retorno constante a escala es rechazada.

Tabla 2: Estimaciones de la frontera de posibilidades producción

Constante	Parámetros	Coefficientes	t-valor
<i>Estimadores de la Frontera</i>			
Constante	ζ_0	0.5557	3,23 *
ln (tamaño de pastizales)	β_1	0.2441	2,40 **
ln (mano de obra)	β_2	0.6526	5,13 *
ln (costos de los insumos)	β_3	0.1368	2,46 **
0.5 [ln (área de los pastizales)] ²	β_{11}	-0.1242	1.01
0.5 [ln (mano de obra)] ²	β_{22}	-0.7468	2,95 *
0.5 [ln (costos de los insumos)] ²	β_{33}	-0.1028	2,52 **
ln (tamaño de los pastizales) x ln (mano de obra)	β_{12}	0.3536	2,49 **
	β_{13}	-0.0398	0.72
ln (área de los pastizales) x ln (costos de los insumos)	β_{23}	0.1121	1.43
ln (mano de obra) x ln (costos de los insumos)			
<i>Estimadores de la ineficiencia</i>			
Constante	ω_0	-0.5926	0.59
ln (área de pastizales)	α_1	-0.2816	1.25
Altitud (mínima)	α_2	0.2702	0.26
Localidad	α_3	0.6356	1.71 *
Etnicidad	α_4	-0.9443	2.22 **
Asistencia técnica	α_5	-0.4964	1.85 *
Crédito	α_6	-0.3431	0.97
<i>Parámetros de la varianza</i>			
Log probabilidad	LL		-103.133
Gama	γ		0.755
Número de parámetros	-		18
Número de observaciones	-		130

*, **, Y *** indica que las variables son significativas al 10%, 5%, y 1%, respectivamente.

Tabla 3: Retornos a escala y prueba de consistencia teórica

Variabes	Área de los pastizales	Mano de Obra	Costos de los insumos	RTS
Elasticidades	0.244	0.653	0.137	1.034
Violación de monotonidad	9 (7%)	23 (18%)	11 (9%)	
Pruebas concavidad	-0.124 (Cumplido)	0.218 (cumplido)	0.03 fallido)	

Determinantes del nivel de eficiencia técnica

Dado que el objetivo del análisis de frontera de posibilidad de producción implica, entre otras cosas, la identificación de las causas de la eficiencia técnica entre las unidades de producción, el panel inferior de la tabla 2 presenta los

coeficientes estimados de las variables explicativas en el modelo para los efectos técnicos de la ineficiencia. Los resultados muestran que entre las seis variables consideradas en el modelo de la ineficiencia, la "ubicación de la finca" aumentó significativamente la varianza del nivel de la eficiencia técnica de la producción ganadera en el área de estudio.

Además, se observó que "la etnicidad y la asistencia técnica" disminuyen significativamente la varianza del nivel de ineficiencia técnica de la producción de ganadera. Debido a la forma en que se especifican estas variables, la ubicación del área de estudio (Tierras altas = 1; tierras bajas = 0) se interpreta de la siguiente manera. La importancia de esta variable implica que las fincas ubicadas en las tierras altas parecen tener niveles más bajos de eficiencia técnica en comparación con la producción de las fincas situadas en la región de las tierras bajas. Este resultado se ajusta a la observación sobre el terreno en el área de estudio. Por ejemplo, la región de tierras altas se caracteriza por montañas con pendientes fuertes mientras que la región de tierras bajas se caracteriza por tener menor pendiente lo que hace que la cría de animales sea más fácil. La pendiente pronunciada hace que sea difícil para el agricultor pastorear libremente a sus animales, lo que posiblemente podría afectar a su eficiencia y nivel de productividad. Por otra parte, los agricultores de la región de las tierras bajas tienen mejor acceso a los mercados en comparación de los agricultores ubicados en la región de las tierras altas.

El impacto negativo de la etnicidad (Mestizo = 1; Saraguro = 0) en la varianza de la ineficiencia técnica es una indicación de que la eficiencia técnica de los agricultores Mestizos es más alta comparada a los agricultores Saraguros. Esta observación se ajusta a la realidad porque los mestizos se ubican a lo largo de una de las carreteras principales y en varias secundarias, tienen acceso a los servicios de infraestructura. En la correlación entre los "mestizos" y las tierras bajas (mejor acceso a los mercados), también se encontró coincidencias con otras características de "mestizos", las cuales son: las mejores condiciones de tenencia de la tierra y una mejor educación. El coeficiente negativo de la asistencia técnica (sí = 1; no = 0)

implica que los agricultores con la asistencia técnica tienen una mayor eficiencia técnica en comparación con los agricultores sin asistencia técnica. A pesar de que se observó en el estudio que el tamaño de los pastizales y el acceso al crédito redujeron nominalmente la varianza de la ineficiencia técnica de los agricultores, estas variables son significativamente diferentes de cero.

Eficiencias Técnicas

La Tabla 4 presenta el resumen estadístico de las estimaciones de eficiencia técnica, mientras que el histograma de la eficiencia técnica es estimada en las fincas que se presentan en la figura A del anexo con la finalidad de arrojar mayor luz sobre la distribución de las eficiencias estimadas. La primera fila de la tabla 4 muestra que las eficiencias técnicas previstas de la muestra colectiva difieren sustancialmente entre los agricultores, oscilando entre 0.0006 y 0.9287, con la eficiencia media de 0,7003. La implicación de esta diferencia sustancial en las eficiencias técnicas previstas a través de las fincas implica que existe la necesidad de políticas proactivas para abordar el bajo nivel de eficiencia en la producción ganadera.

Para dar una mejor indicación de la distribución de las eficiencias técnicas, un histograma que muestra la distribución de las eficiencias técnicas predichas se presenta en el lado izquierdo de la figura A del anexo. En la figura se observa que la frecuencia de la muestra indica una agrupación de eficiencia técnica en el rango de eficiencia región de 0,65-0,75. La eficiencia técnica promedio del 70% a partir del estudio, esto implica que hay un margen considerable para efectuar mejoras en el nivel de eficiencia técnica de al alrededor del 30%. Comparativamente, se observó que la eficiencia técnica media de este estudio se encuentra por debajo del 73,2% obtenido por Moreira y Bravo (2009) en el meta-análisis de 5 estudios

con un enfoque en la eficiencia técnica de las explotaciones lácteas en la región de América Latina. Por otra parte, Moreira (2006) en su estudio sobre la eficiencia técnica de las explotaciones lácteas, se encontró con la eficiencia técnica de 87,0%, 84,9% y 81,1% para Argentina, Chile y Uruguay, respectivamente. También, Bravo *et al.* (2007) sobre el meta-análisis determinan el 77,9% como promedio de eficiencia técnica del sector agrícola en la América Latina. Además de esto, también se observó que el actual promedio de eficiencia técnica está muy por debajo de la eficiencia técnica promedio del 78.1% reportado por Bailey *et al.* (1989) sobre la eficiencia técnica de las explotaciones lácteas en Ecuador. Este es el único trabajo de eficiencia técnica en

las fincas lecheras reportadas para el Ecuador.

La eficiencia técnica predicha se relaciona a través del área de estudio (es decir, las tierras altas en comparación con los agricultores de las tierras bajas), el origen étnico (es decir, mestizos en comparación de los agricultores de Saraguro), la asistencia técnica de los agricultores (los agricultores que recibieron asistencia técnica en comparación con aquellos que no recibieron), y el crédito (es decir, los agricultores que recibieron el crédito frente a los que no recibieron) (Tabla 4). Esta diferenciación es esencial para arrojar más luz sobre el funcionamiento de las fincas distribuidas por las características de las fincas / finqueros en estudio.

Tabla 4: Resumen estadístico de la eficiencia técnica estimada

Estadístico	Eficiencia técnica estimada y tamaño de muestra	
Media	0.7003	
Desviación Estándar	0.1709	
Máximo	0.9287	
Mínimo	0.0006	
Tamaño de la muestra	130	
Ubicación	Tierra Alta	Tierra Baja
Media	0.6409	0.8614
Desviación Estándar	0.1610	0.0503
Máximo	0.8699	0.9287
Mínimo	0.0006	0.6958
Tamaño de la muestra	95	35
Etnicidad	Mestizo	Saraguro
Media	0.7318	0.5268
Desviación Estándar	0.1475	0.1899
Máximo	0.9287	0.7515
Mínimo	0.3211	0.0006
Tamaño de la muestra	110	20
Asistencia Técnica	Sí	No
Media	0.7818	0.6779
Desviación Estándar	0.1129	0.1776
Máximo	0.9287	0.9213
Mínimo	0.4135	0.0006
Tamaño de la muestra	28	102
Acceso al crédito	Sí	No
Media	0.7204	0.6873
Desviación Estándar	0.1684	0.1722
Máximo	0.9287	0.8971
Mínimo	0.3020	0.0006
Tamaño de la muestra	51	79

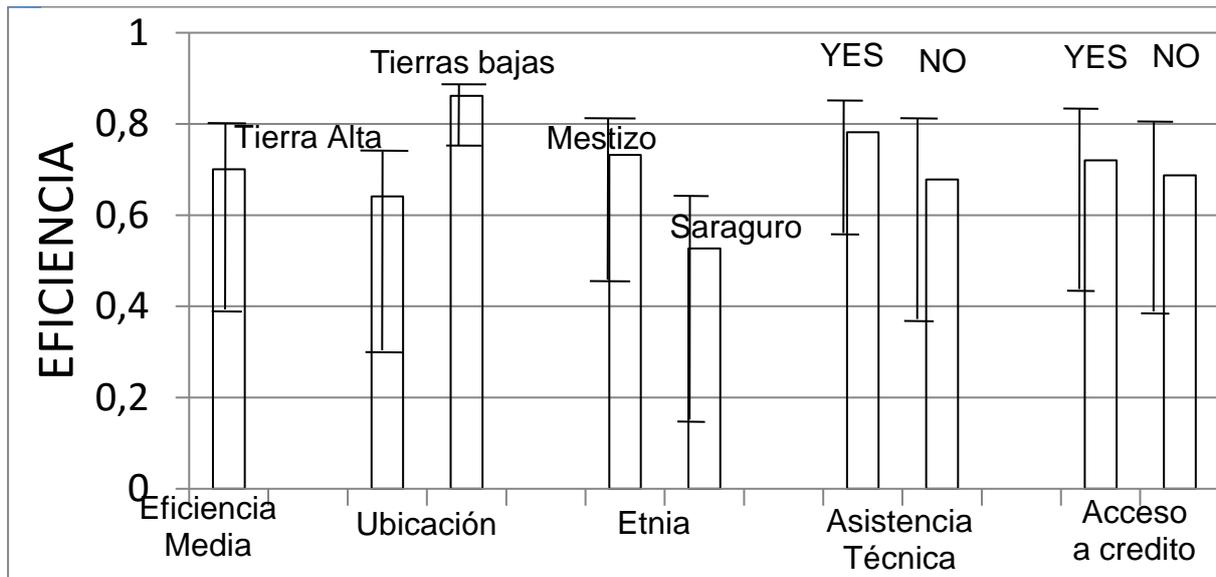


Figura 2. Promedio de las determinantes de la eficiencia técnica

CONCLUSIONES

Este estudio describe el nivel de eficiencia técnica y sus determinantes en la producción ganadera basada en los datos de nivel de finca de una muestra en el 2008. Se consideró un total de 130 hogares de agricultores para el análisis. La función estocástica de la frontera de posibilidades de producción translogarítmica se encontró apropiada para el conjunto de datos utilizados para la investigación.

El método de muestreo "snowball" es mejor que un método de muestreo aleatorio en el área de investigación. Las familias campesinas exageran o minimizan su propiedad como estrategia de "protección personal" (sesgo estratégico). Existe una razón: tienen promesas incumplidas o malas experiencias de los políticos, instituciones gubernamentales, o los investigadores del pasado. En este sentido, el enfoque "snowball" reduce el sesgo estratégico probable que se presenta cuando la información sensitiva o información financiera puede ser revelada.

Los modelos de frontera de posibilidad de producción revelan que el área de los pastizales, la mano de obra y los costos de producción aumentó la producción ganadera en las fincas muestreadas. Además, el modelo de la ineficiencia técnica muestra que la ubicación de las fincas (tierras bajas), etnicidad (etnia Mestizo) y el acceso a la asistencia técnica aumentó la eficiencia técnica de la producción ganadera en el área de estudio.

La localización de productores tiene un impacto positivo en la eficiencia. La gran diferencia no está capturada con las variables actuales, es decir, la variable de acceso a los mercados. Se planea una carretera entre "Sabanilla" y "Tibio" (habitada por la etnia Saraguro). Esto permitirá a los Saraguros un acceso radical al mercado, lo cual está en concordancia a nuestros resultados. En cambio, Eichhorn (2009) sugiere que existe una alta probabilidad del incremento del área de pastizales (deforestación) con la apertura de la nueva carretera.

Para el diseño de las políticas de las instituciones públicas y privadas, nosotros sugerimos que la relevancia política de la provisión de asistencia técnica debería ser seriamente considerada en la producción ganadera. Los agricultores quieren recibir asistencia técnica, principalmente en el manejo de la reproducción de ganado, manejo de pastizales, y trabajar las prácticas de conservación. Aunque estamos conscientes que gracias a nuestra encuesta, el sistema producción ganadera se caracteriza por tener una tecnología rudimentaria; sin embargo, el aumento de la asistencia técnicas por parte de instituciones públicas y privadas en la producción ganadera en Ecuador deben recorrer un largo camino en el reposicionamiento de la industria en el país y en la región de América Latina.

REFERENCIA

- Aigner D., Lovell A., Schmidt P. (1977). *Formation and Estimation of Stochastic frontier production function models*. Journal of Econometrics, 6:21-37.
- Alene A., Zeller M., Schwartze S., Nuryartono N. (2005). *The extent and determinants of production efficiency of farmers in the rainforest margins in Central Sulawesi, Indonesia: implications for land use and support services*. Quarterly Journal of International Agriculture 44(4): 335–353.
- Bailey D., Biswas B., Kumbhakar S., Schulthies B. (1989). *An analysis of technical, allocative, and scale inefficiency: the case of Ecuadorian dairy farms*. Western Journal Agricultural Economics 14:30–37
- Battese G. (1992). *Frontier production functions and technical efficiency: a survey of empirical applications in agricultural economics*. Agricultural economics 7:185-208.
- Battese G., Coelli T. (1995). *A Model for Technical Inefficiency Effects in a Stochastic Frontier Production Function for Panel Data*. Empirical Economics 20(2):325-332.
- Beck E. (2008). Preface. In: Beck, E.; Bendix, J.; Kottke, I.; Makeschin, F. and Mosandl, R. *Gradients in a tropical mountain ecosystem of Ecuador*. Ecological Studies 198: 5-7.
- Bravo B., Pinheiro A (1993). *Efficiency analysis of Developing Country Agriculture: A review of Frontier Function Literature*. Agricultural and resource economics review 22(1): 88-101.
- Bravo B., Solis D., Moreira V., Maripani J., Thiam A., Rivas T. (2007). *Technical efficiency in farming: a meta-regression analysis*. Journal of Productivity Analysis. 27:57–72.
- Binam J., Gockowski J., Nkamleu G. (2008). *Technical Efficiency and Productivity Potential of Cocoa Farmers in West African Countries*. The Developing Economies 56:242-263.
- Brümmer B. (2001). *Stochastic frontier analysis using SFAMB for Ox*. Department of Agricultural Economics and Rural Development, Georg-August University, Göttingen.
- Brummitt N., Lughadha E. (2003). *Biodiversity: Where's Hot and Where's Not*. Conservation. Biology 17(55):1442-1448.
- Caudill S., Ford J. (1993). *Biases in Frontier Estimation Due to Heteroscedasticity*. Economics Letters 41:17-20.
- Caudill S., Ford J., Gropper D. (1995). *Frontier Estimation and Firm-specific inefficiency Measures in the presence of Heteroscedasticity*. Journal of Business and Economic Statistics, 13:105-111.
- Chamber R. (1988). *Applied Production Analysis: A Dual Approach*, Cambridge University Press, New York.
- Coelli T., Rao D., O'Donnell C., Battese G. (2005). *An Introduction to efficiency and Productivity Analysis*. 2nd Edition. New York. Springer.
- Delgado C. (1995). *Africa's Changing Agricultural Development Strategies: Past and Present Paradigms as a Guide to the Future*. Food, Agriculture, and Environmental Discussion Paper no 3. Washington D.C.: International Food Policy Research Institute.
- Dercon S. (2003). *Poverty Traps and Development: The Equity-Efficiency Trade-Off Revisited*. First AFD/EUDN Conference on Poverty, Inequality and Growth: What's at Stake for Development

- Aid? Oxford: University of Oxford, Department of Economics.
- Doornik J. (2006). *Ox: An object-oriented matrix language*. London Timber lake Consultants Press.
- Eichhorn S. (2009). *Effekte eines Straßenbaus im Biosphärenreservat Podocarpus-El Cóndor auf die Landnutzung und Biodiversität. Diplomarbeit*. Georg-August-Universität Göttingen. Germany.
- Farrell M. (1957). *The measurement of productive efficiency*. Journal of the Royal Statistical Society 120:253-281.
- Feder G., Murgai R., Quizon J. (2004). *Sending Farmers Back to School: The Impact of Farmers Field Schools in Indonesia*. Review of Agricultural Economics 26(1):45-62.
- Instituto Geográfico Militar del Ecuador-IGM. (2003). Aerial photographs, scale 1:5000 resolution pixel 1m, pancromaticas, Projection UTM, DATUM WGS84 Zone 17S.
- Jondrow J., Lovell C., Materov I., Schmidt P. (1982). *On the estimation of technical inefficiency in the stochastic frontier production function model*. Journal of Econometrics 23:269-274.
- Kalirajan K.(1981). *An econometric analysis of yield variability in paddy production*. Canadian Journal of Agricultural Economics 29:283-294.
- Kodde D., Palm F. (1986). *Wald Criteria for Jointly Testing Equity and Inequality Restrictions*. Econometrica 54:1243-1248.
- Kumbhakar S., Lovell C. (2000). *Stochastic frontier Analysis*. Cambridge University Press.
- Kumbhakar, S., Ghosh S., McGuckin J. (1991). *A Generalized Production Frontier Approach for Estimating Determinants of Inefficiency in U.S. Dairy Farms*. Journal of Business and Economic Statistics 9:279-86.
- Maza B., J. Barkmann, F. von Walter, R. Marggraf. (2010). *Modelling smallholders production and agricultural income in the area of the Biosphere reserve "Podocarpus – El Cóndor", Ecuador*. Internal Discussion paper. Department of Agricultural Economics, Georg-August Universität Göttingen. No. 1009.
- Meeusen W., van den Broeck J. (1977). *Efficiency Estimation from Cobb- Douglas Production Functions with Composed Error*, International Economic Review 18:435-44.
- Moreira V., Bravo B. (2009). *A study of technical efficiency using meta-regression: An international perspective*. Chilean Journal of Agricultural Research 69 (2): 214-223.
- Moreira V. (2006). *Dairy Farms Efficiency and Milk Total Factor Productivity Growth in Three South American Countries*. PhD Thesis.
- Ogundary K. (2010). *Technical efficiency of smallholder farms in Nigeria*. PhD Thesis. Faculty of Agricultural Sciences. Georg-August Universität Göttingen, Germany.
- Ortega L, Ward R., Andrew C. (2007). *Technical efficiency of the dual-purpose cattle system in Venezuela*. Journal of Agricultural and Applied Economics 39 (3): 719-733.
- Paredes E. (2009). *Estudios generales con serie histórica 2000, 2005, 2006, 2007 y 2008 de la ganadería bovina y raza del Ecuador*. Ministerio de Agricultura y Ganadería del Ecuador 86 p.
- Pitt M., Lee L. (1981). *The measurement and sources of technical inefficiency in the Indonesian weaving industry*. Journal of Development Economics 9:43-64.
- Sauer J., Fruhberg K., Hockmann H. (2006). *Stochastic efficiency measurement: The curse of theoretical consistency*. Journal of Applied Economics 9:139-150.
- SICA-INEC-MAG. (2002). *III Censo Nacional Agropecuario*. Resultados Nacionales y Provinciales.
- Thiam A., Bravo-Ureta B. E., Rivas T. (2001). *Technical Efficiency in Developing Country Agriculture: a meta-analysis*. Agricultural Economics 25:235-243.
- Wunder S. (2007). *The efficiency of payments for environmental services in tropical conservation*. In: Conservation Biology 2:48–58.
- Udry C. (1996). *Efficiency and Market Structure: Testing for Profit Maximization in Africa Agriculture*. Northwestern University. <http://www.econ.yale.edu/~cru2/pdf/separate.pdf>
- Zamora 2009. *Innovación tecnológica: Rubros y problemas prioritarios*. Power point presentation.

Zeller M., Diagne A., Mataya C. (1998). *Market Access by Smallholder Farmers in Malawi: Implication for Technology Adoption, Agriculture Productivity, and Crop Income*. *Agricultural Economics* 19(1-2): 219-229

Zeller M., Schrieder G., von Braun J., Heidhues F. (1997). *Rural finance for Food Security for the Poor: Implications for Research and Policy*. Washington, D.C.: International Food Policy Research Institute.

Anexo

Tabla A: Resumen estadístico de las variables en el modelo de frontera de posibilidades de producción.

Variables	Unidad	Media	Desv. Standar	Mínimo	Máximo
Gross Income from cattle	USD	4,687.87	5,527.07	0.19	29,578.53
Size of pasture	Hectarea	18.34	17.06	0.81	82.81
Labour	Dias/Hombre	159.56	96.84	19.4	647.50
Costos de Insumos	Dólares	341.95	607.94	2.50	4,178.10
Altitud	Metros	1,800.67	252.06	1,080	2,360
Localización (Tierras Altas=1; Tierras Bajas=0)	Dummy	0.731	0.445	0	1
Etnia (Mestizo=1; Saraguro=0)	Dummy	0.846	0.362	0	1
Asistencia Técnica (yes=1; No=0)	Dummy	0.215	0.413	0	1
Crédito (Si= 1; No= 0)	Dummy	0.392	0.490	0	1

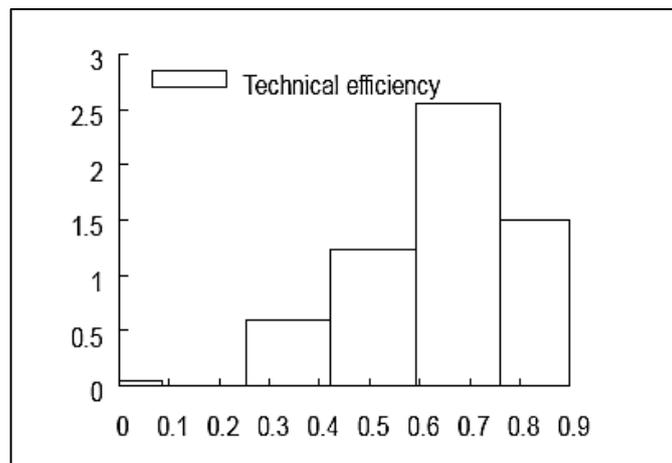


Figura A: Distribución de la eficiencia técnica estimada

RELACIÓN ENTRE DEFORESTACIÓN Y VARIABLES TOPOGRÁFICAS EN UN CONTEXTO AGRÍCOLA GANADERO, CANTÓN CUENCA

RELATION AMONG DEFORESTATION AND TOPOGRAPHIC VARIABLES IN A CATTLE AGRICULTURAL CONTEXT, CUENCA CANTON

Oswaldo Jadán^{1}, Hugo Cedillo¹, Pedro Zea¹, Pablo Quichimbo¹, Ángel Peralta³, Carlos Vaca²*

*¹ Docente Investigador de la Carrera de Ingeniería Agronómica, Dirección de Investigaciones de la Universidad de Cuenca**

² Director del Departamento de Vinculación con la Colectividad en la Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad de Cuenca

³ Investigador de ETAPA. Empresa Pública Municipal de Agua Potable, Cantón Cuenca

** Autor para correspondencia: oswaldo.jadan@ucuenca.edu.ec*

Carrera de Ingeniería Forestal,
Universidad Nacional de Loja, Ecuador

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

Recepción: 13 de abril del 2016
Aceptación: 27 de julio del 2016

Jadán, O, *et al.* 2016. Relación entre deforestación y variables topográficas en un contexto agrícola ganadero, cantón cuenca

RESUMEN

La deforestación históricamente ha tenido una evolución vinculada a muchos factores, entre ellos los topográficos. Sin embargo, estos factores no son considerados para el análisis de deforestación que permita conocer implícitamente los escenarios geográficos ligados al cambio de uso. En el presente estudio, se evaluó la deforestación en dos periodos cronológicos y su relación con la altitud y topografía. Se consideraron dos coberturas vegetales: Bosque y combinación de vegetación nativa: Bosque + Vegetación nativa y herbácea. Se aplicó métodos de análisis espacial para construcción de capas digitales y modelos de elevación digital, utilizando herramientas SIG. La cobertura bosque presentó pérdidas en superficie con mayor intensidad en el segundo periodo de análisis. No así toda la vegetación nativa combinada que únicamente presentó pérdidas en el segundo periodo. Los mayores cambios de uso, tanto en bosque como vegetación combinada son dirigidos para la conversión de tierras agrícolas. Se registró mayor deforestación en los sitios de mayor altitud, a excepción de la nativa combinada, que se incrementó en el primer periodo de estudio en los sitios con mayor altitud. Finalmente se registraron cambios de uso del suelo en sitios con bajas y moderadas pendientes, a excepción de la vegetación nativa combinada que se incrementó en el primer periodo de estudio en las zonas con menor pendiente. El conocimiento de patrones de deforestación permite conocer los escenarios de mayor incidencia para aplicar acciones pertinentes que permitan evitar el cambio de uso del suelo. .

Palabras clave: Andes, Azuay, altitud, pendiente, hidrológica.

ABSTRACT

Deforestation has historically been an evolution linked to many factors, including topographic. However, these factors are not considered for the analysis of deforestation that allows implicitly know the geographical scenarios linked to the change of use. In the present study, deforestation in two time periods and its relationship with altitude and topography was evaluated. Forest and combination of native vegetation: Forest + native vegetation and herbaceous vegetation cover two were considered. Methods of spatial analysis was applied for construction of digital layers and digital elevation models using GIS tools. He presented forest coverage losses in surface with greater intensity in the second period of analysis. Not, all combined native vegetation that presented only lost in the second period. The biggest changes of use, both in forest and vegetation combined are directed to the conversion of agricultural land. Higher deforestation was recorded at higher altitude sites, except for the combined native, which increased in the first period of study in higher altitude sites. Finally, changes in land use were recorded at sites with low and moderate slopes, except for the combined native vegetation increased in the first period of study in areas with lower slope. Knowledge of patterns of deforestation opportunity to experience the greatest impact scenarios to implement relevant actions to avoid changing land use.

Key words: Andes, Azuay, altitude, slope, hydrology.

INTRODUCCIÓN

La deforestación es un problema históricamente documentado en todo el planeta (Etter, McAlpine, Wilson, Phinn, & Possingham, 2006; Faminow, 1998; Skole & Tucker, 1993). Consiste en el cambio del uso del suelo desde la cobertura forestal y vegetación nativa como páramos a otros usos del suelo, siendo las coberturas agrícolas rurales resultantes de este cambio (Barracough & Ghimire, 2013; Faminow, 1998). A nivel global, las zonas que han experimentado una mayor deforestación han sido los trópicos y dentro de ellos resaltan los trópicos sudamericanos que se presentan como una de las regiones más deforestadas del planeta (FAO, 2015). En los bosques tropicales debido a la existencia de muchos actores vinculados con el aprovechamiento de sus recursos naturales, marcan una alta complejidad para explicar las causas de este fenómeno (Geist & Lambin, 2002). Sin embargo, una de las causas mayormente explicadas en la región tropical es el avance de la frontera agrícola para implementar actividades agrícolas y ganaderas (Etter *et al.*, 2006).

En la región tropical andina, actividades productivas ligadas a la alimentación humana y otras actividades antrópicas afectan notablemente a la permanencia de los ecosistemas nativos como páramos y bosques montanos (Keating, 1997; Steininger *et al.*, 2001). En esta región históricamente se practica la agricultura y ganadería de subsistencia o con fines comerciales (Buytaert *et al.*, 2006). En muchas áreas agrícolas la degradación de sus recursos complica el problema ambiental, especialmente los suelos por erosión y lixiviación de nutrientes (Brandt & Townsend, 2006). Esto provoca disminución en la producción y, por ende, en la productividad. También es una limitante para emprender procesos productivos a perpetuidad (Horgan, 2005; Vanacker *et al.*, 2003). Es así que para

mantener la producción con fines de subsistencia o comerciales los agricultores o ganaderos deciden buscar nuevas áreas con aptitudes idóneas para emprender procesos productivos (Pacheco, 2006).

Hace algunas décadas los sistemas de producción agrícola en la región andina se asentaban en las partes bajas en altitud, cercanos a las escasas vías y centros poblados dentro de las unidades de manejo conocidas como fincas (Gray, 2009; Wasserstrom & Southgate, 2013). Sin embargo, debido al avance de la frontera agrícola, se han deforestado zonas a mayor altitud, e incluso en lugares con fuertes pendientes, sin considerar la vulnerabilidad de los recursos para la producción (Armenteras, Rodríguez, Retana, & Morales, 2011). Sumado a esto, como grave problema, está la presión a zonas de importancia ecológica como son las fuentes de producción y regulación hídrica, que día a día disminuyen su extensión (Ataroff & Rada, 2000; Roa-García, Brown, Schreier, & Lavkulich, 2011).

Como consecuencia de este problema está la baja eficiencia de los ecosistemas naturales en la provisión de servicios ecosistémicos, debido a la desaparición o degradación de recursos, especialmente de los componentes estructurales de la vegetación (Peres *et al.*, 2010). Lamentablemente en Ecuador, no se han cuantificado los patrones de deforestación y su relación con atributos topográficos, como por ejemplo la altitud y la pendiente con diferentes niveles de análisis en la región andina.

Muchas instituciones desde hace algunas décadas se han encargado de cuantificar la deforestación a nivel regional y nacional (FAO, 2015; MAE, 2012). Para ello se han utilizado herramientas tecnológicas muy eficientes como los sensores remotos que han permitido cuantificar el cambio de uso del suelo en diferentes periodos de tiempo

y modelar proyecciones en zonas de alta incidencia (Armenteras *et al.*, 2011; Goerner, Gloaguen, & Makeschin, 2007).

En el caso de Ecuador como parte de deforestación, ha generado información histórica sobre la deforestación en el territorio ecuatoriano presentándola como información oficial publicada a partir del año 1990 hasta el año 2014, como una contribución para el proyecto quinquenal global “Global Forest Resources Assessment” (FAO 2015). Dentro este proyecto, el informe de Ecuador (FAO 2014) ha reportado tasas anuales de deforestación para los periodos: 1990-2000, 2000-2008, 2008-2014, con tasas de pérdida en 92 787 ha; 77742 ha y 47497 ha por año, respectivamente.

Sin embargo, aunque estas cifras demuestran una disminución en la tasa de deforestación, poco se conoce de los patrones espaciales de la deforestación en la región Andina y particularmente los relacionados con la topografía. De esta manera, validando la información generada por el estado ecuatoriano y con el fin de conocer patrones de deforestación a escala local en un área de importancia hidrológica dentro del cantón Cuenca, se desarrolló el presente análisis, cuyo objetivo planteado fue el de determinar las tasas de deforestación en dos periodos cronológicos: 1990 - 2000; 2000 – 2014 y su relación con la altitud y topografía, en un paisaje agrícola a nivel local en el Sur del Ecuador, provincia del Azuay.

MATERIALES Y MÉTODOS

Descripción del área de estudio

El área de estudio forma parte de las áreas de cogestión de la Empresa Pública de Agua Potable – ETAPA. Es una matriz de paisaje agrícola con importantes áreas de bosque, considerados de importancia hidrológica ya que dentro de sus cauces hídricos naturales están instaladas cinco captaciones de agua potable que abastecen a cinco parroquias del Cantón Cuenca. Se encuentra ubicada en el sur del Ecuador provincia del Azuay, cantón Cuenca, en un área agrícola de 150 000 ha (Figura 1).

Ecológicamente está dentro de dos ecosistemas naturales: Bosque siempre verde montano bajo y alto, y vegetación herbácea de páramo, distribuidos altitudinalmente sobre los 2000 msnm (Sierra, 1999). Las temperaturas promedio anuales oscilan entre 6 - 12 °C y precipitaciones promedios anuales entre 800 - 1500 mm (INAMHI, 2014). Los suelos son dominados por el grupo de Andosoles en las partes altas e Inceptisoles en las partes bajas (MAGAP, 2015).

Análisis de la información

Se utilizó la información cartográfica digital generada por el MAE (2012) cuya área mínima de muestreo o digitalización fue de 1 ha. Esto es importante ya que el área mínima se relaciona con la definición de bosque, que considera a los ecosistemas de vegetación arbórea regenerados naturalmente con una superficie mínima de 1 ha (Peralvo & Delgado, 2010).

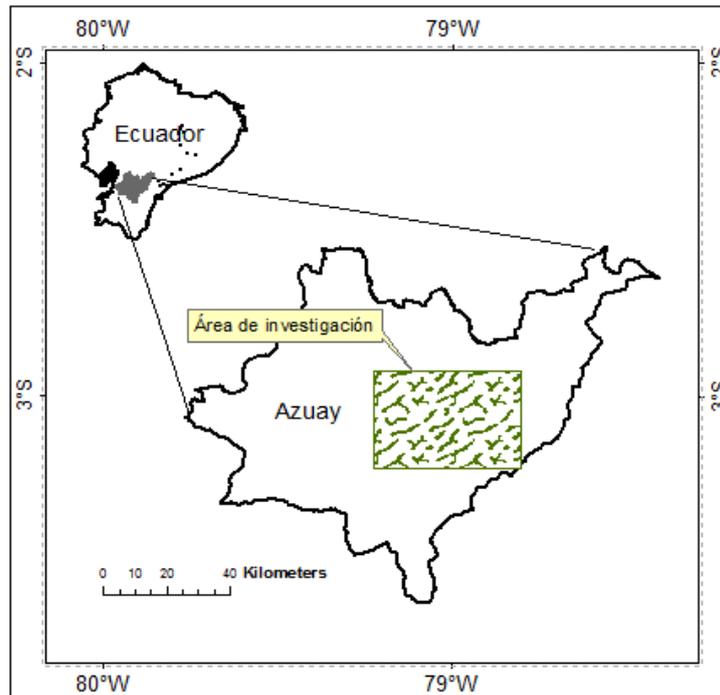


Figura 1. Mapa de ubicación del área de estudio o zona de importancia hidrológica en la Provincia del Azuay.

Para el levantamiento de la cobertura vegetal de los años 1990, 2000 y 2014 el Proyecto Mapa histórico de deforestación del Ministerio del Ambiente aplicó herramientas técnicas y científicas de teledetección para interpretar imágenes satelitales, aplicados anteriormente en algunos estudios similares en contextos tropicales (MAE, 2012; Puyravaud, 2003). Los niveles de análisis de coberturas vegetales fueron levantados con base a la clasificación propuesta por el (IPCC, 2006).

Las capas digitales, como resultado de los procesos de interpretación y análisis fueron descargadas del sitio web <http://patrimonio.ambiente.gob.ec/descargas.php> en el año 2015. Posteriormente, las coberturas vegetales fueron recortadas para el área de estudio. Se diseñaron mapas descriptivos que permitieron conocer visualmente el cambio de la cobertura vegetal y su dinámica en los tres años 1990, 2000 y 2014, correspondientes a dos periodos de estudio: 1990-2000 y 2000-

2014. Se utilizó el programa gvSig, versión 1.11.

Para el análisis de la deforestación se consideraron dos coberturas vegetales naturales: 1) el bosque (nativo) y 2) vegetación nativa combinada de: bosque + vegetación arbustiva y herbácea, representada por bosques secundarios y páramos; los bosques secundarios en etapa de sucesión temprana. Con las superficies de las coberturas en los tres años se calculó la deforestación y sus respectivas tasas para los dos periodos de estudio. También se realizó un análisis general de cambio de cobertura vegetal, de natural a antrópica y viceversa.

Seguidamente se elaboró un modelo de elevación digital MED con una resolución de 100 metros. A partir del MED se elaboraron capas temáticas de altitud y pendientes, que se constituyeron en los escenarios principales de evaluación y análisis. La capa de altitud fue reclasificada en dos categorías: 1) < 2500

msnm y 2) > 2500 msnm. La capa de pendiente en tres categorías: 1) 0 - 50%; 2) 50 – 100% y 3) > 100%. Se recortó para el límite del área de estudio y capas temáticas generadas tanto de altitud y pendiente la cobertura vegetal nacional de los años correspondientes a los periodos de estudio. Posteriormente se comparó y analizó la deforestación entre los dos periodos de estudio. Adicionalmente se comparó y estableció patrones de deforestación entre las categorías de pendiente y altitud. Para los cálculos de deforestación y sus tasas se utilizó las ecuaciones propuestas por Puyravaud (2003). Este análisis nos

permitió analizar la pérdida de cobertura vegetal bajo dos variables topográficas, en un área de importancia hidrológica inmersa dentro de un contexto agrícola ganadero en la provincia del Azuay.

RESULTADOS

La cobertura vegetal bosque fue disminuyendo secuencialmente en los tres años evaluados (Figura 2). La cobertura bosque + vegetación arbustiva y herbácea entre los años 1990 - 2000 se incrementó considerablemente, pero disminuyó muy intensamente en 2000 - 2014 (Tabla 1).

Tabla 1. Superficies de las coberturas vegetales registrados cronológicamente para el área estudio, en zonas de importancia hidrológica en la Provincia del Azuay.

Coberturas	1990	2000	2014
Bosque (ha/año)	31944,2	29676,1	23962,1
Bosque + Vegetación arbustiva y herbácea (ha/año)	85234,9	92061,6	62909,0

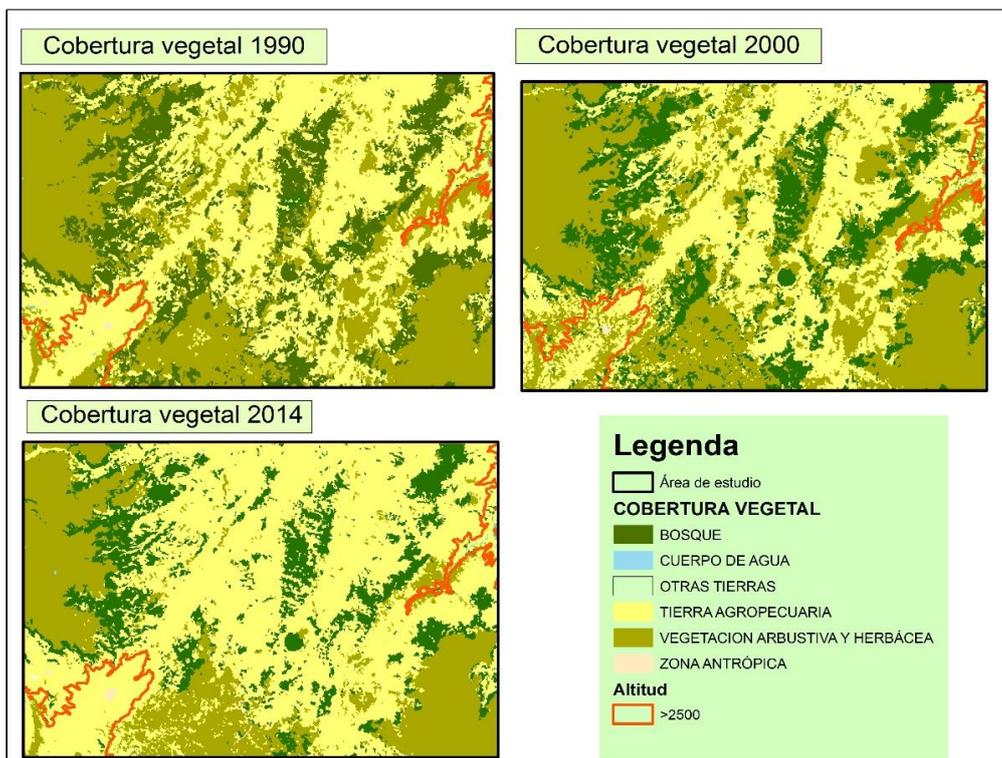


Figura 2. Mapas de coberturas vegetales en tres años cronológicos para el área de importancia hidrológica, Provincia del Azuay.

Deforestación en el área de estudio

En la cobertura bosque la deforestación fue negativamente inferior en el segundo

periodo de análisis frente al primer periodo (Tabla 2). En las coberturas bosque + vegetación arbustiva y herbácea en el

primer periodo se registran incrementos en superficie > 600 ha. No obstante, en el segundo periodo de análisis registran pérdidas importantes, superiores a 2000 ha (Tabla 2).

El cambio de uso de bosque a vegetación arbustiva y herbácea (Bos-VAH) presentó mayores valores de pérdida (> 5000 has) durante el periodo 1990 – 2000 (Figura 3a). En este mismo periodo de análisis, el cambio de uso de tierras agrícolas a

vegetación arbustiva y herbácea (TA-VAH) registró los mayores valores. Durante el periodo 2000 - 2014 los cambios de pérdidas fueron más intensos. Aquí, el cambio de vegetación arbustiva y herbácea a tierras agrícolas (VAH-TA) presentó mayores valores con grandes superficies > 20 000 ha de pérdida (Figura 3b). En este periodo las superficies recuperadas a vegetación natural dentro de las dos coberturas analizadas son bajas < 2000 has.

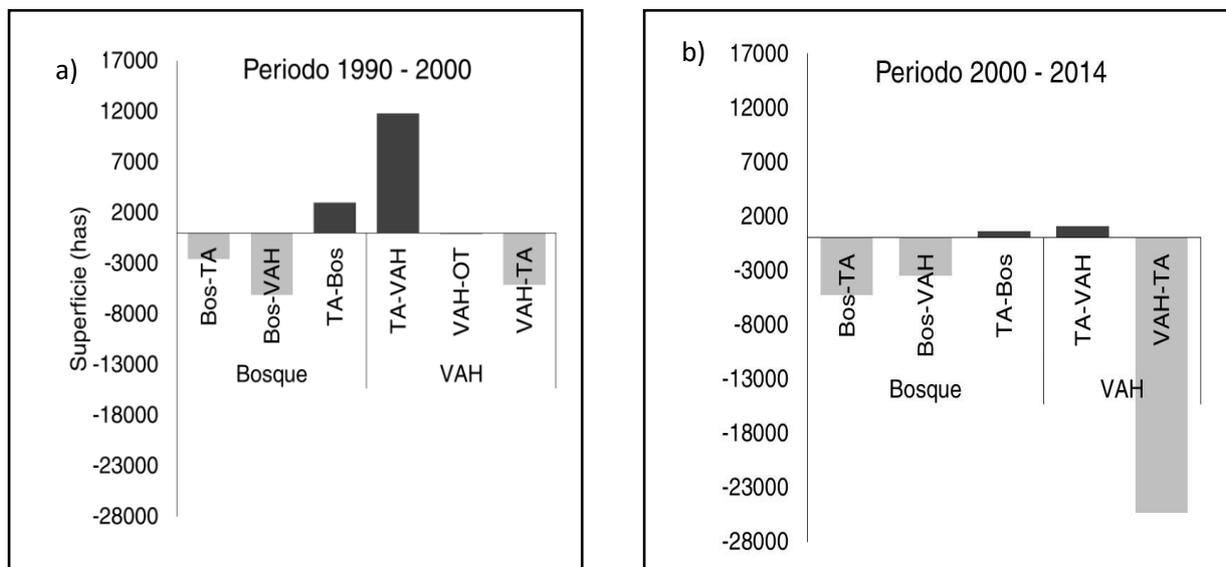


Figura 3. Valores totales de ganancias (valores positivos) y pérdidas (valores negativos) de superficie para las coberturas vegetales con superficies mayores a 100 ha. Bos: Bosque; TA: tierras agrícolas; VAH: vegetación arbustiva y herbácea.

Deforestación y altitud

La superficie total registrada en la primera categoría de altitud (≤ 2500 msnm) fue de 9875 ha y 141142 ha en la segunda categoría (> 2500 msnm). En la primera categoría (parte baja altitudinalmente), la cobertura de bosque se incrementó en pequeñas superficies durante el primer periodo de análisis, contradictoriamente al segundo periodo donde disminuyó, presentando una tasa de deforestación de -0,6% (Tabla 2). Bajo esta misma

cobertura, la deforestación fue superior en el segundo piso altitudinal, durante el segundo periodo de análisis. Considerando las coberturas de bosque + vegetación arbustiva y herbácea en los dos pisos altitudinales se registraron ganancias en el primer periodo de análisis (1990 - 2000) con 0,8 y 0,1%. No así en el segundo periodo (2000-2014) donde disminuyeron notablemente (-0,8% y -0,3%) (Tabla 2).

Tabla 2. Deforestación y tasas para los periodos de análisis 1990-2000 y 2000-2014, en dos tipos de cobertura vegetal y dos categorías de altitud en el cantón Cuenca.

Coberturas – categorías de altitud	Periodos de análisis			
	1990-2000		2000-2014	
	Deforestación (ha/año)	Tasa (%)	Deforestación (ha/año)	Tasa (%)
Bosque	-226,8	-0,1	-571,4	-0,2
Bosque + Vegetación arbustiva y herbácea	682,7	0,1	-2082,3	-0,3
Bosque (≤ 2500 msnm)	13,8	1,0	-15,4	-0,6
Bosque (> 2500 msnm)	-240,7	-0,1	-556,0	-0,2
Bosque + Vegetación arbustiva y herbácea (≤ 2500 msnm)	174,7	0,8	-309,4	-0,8
Bosque + Vegetación arbustiva y herbácea (> 2500 msnm)	506,8	0,1	-1859,0	-0,3

Deforestación y pendiente

La superficie registrada en la primera categoría de pendiente entre 0-50% fue de 122 860 has, en la segunda categoría 50-100% de 26600 ha y en la tercera con > 100% fue de 1460 ha. El bosque, en las categorías de pendientes: 0-50% y 50-100% presentó pérdidas en su cobertura con mayores valores para el segundo periodo de análisis

(Tabla 3). En la tercera categoría de pendiente >100% se registró pérdidas leves en el segundo periodo de análisis. Las coberturas naturales bosque + vegetación arbustiva y herbácea solo registraron pérdidas leves de superficie en el segundo periodo de análisis en las tres categorías de pendiente, registrando tasas de deforestación negativas de -0,3%; -0,3%; -0,2%, respectivamente (Tabla 3).

Tabla 3. Deforestación y tasas para los periodos de análisis 1990-2000 y 2000-2014, en dos tipos de cobertura vegetal y tres categorías de pendiente, en áreas de importancia hidrológica en el cantón Cuenca.

Coberturas – categorías de pendientes	Periodos de análisis (años)			
	1990-2000		2000-2014	
	Deforestación (ha/año)	Tasa (%)	Deforestación (ha/año)	Tasa (%)
Bosque - 0-50%	-188,2	-0,1	-286,6	-0,2
Bosque - 50-100%	-39,7	0,0	-89,9	-0,2
Bosque - > 100%	1,2	0,0	-5,5	-0,1
Bosque + Vegetación arbustiva y herbácea - 0-50%	478,6	0,1	-1552,7	-0,3
Bosque + Vegetación arbustiva y herbácea - 50-100%	189,7	0,1	-411,6	-0,3
Bosque + Vegetación arbustiva y herbácea - > 100%	13,9	0,1	-18,1	-0,2

En el bosque (Figura 3a) la deforestación registrada, aunque leve < 500 ha/año, fue mayor en los sitios de mayor altitud en los dos periodos de análisis. Considerando la cobertura bosque + vegetación arbustiva y herbácea (Figura 3b) durante el periodo 1900-2000 se registró mayores incrementos en sitios de mayor altitud. Opuestamente, en esta misma cobertura en el periodo 2000-2014 se registraron altas pérdidas de cobertura vegetal (> 2000 ha) en relación con periodo anterior, en sitios de mayor altitud.

En la cobertura de bosque (Figura 3c) aunque con bajos valores, la deforestación presentó mayor intensidad en los sitios con menor pendiente y similar tendencia en los dos periodos de análisis. Considerando la

cobertura bosque + vegetación arbustiva y herbácea (Figura 3d) en el periodo de análisis 1900-2000 existe mayor recuperación de la cobertura natural en los sitios con menor pendiente. Contrariamente, en el periodo 2000-2014, existe una pérdida de cobertura intensa > 1500 ha, en los sitios con menor pendiente (Figura 3d).

Vegetación arbustiva y herbácea (b, d) comparando categorías de altitud (a, b) y pendientes (c, d) en dos periodos de análisis, en áreas de importancia hidrológica, Provincia del Azuay. Categorías de altitud 1: ≤ 2500 msnm; 2: > 2500 msnm. Categorías de pendientes 1: 0-50%; 2: 50-100%; 3: > 100%

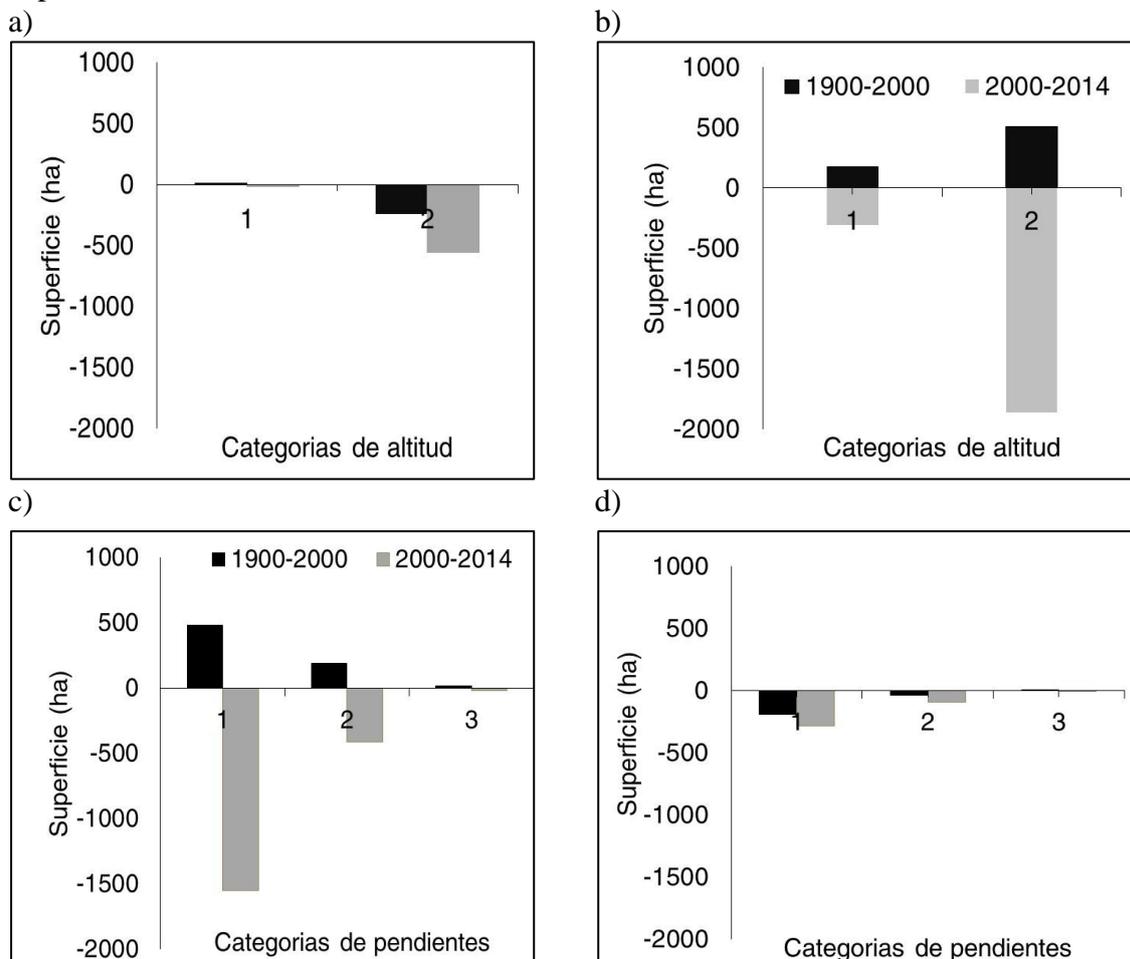


Figura 4. Patrones de deforestación en dos tipos de cobertura natural, Bosque (a, c) y Bosque +

DISCUSIÓN

Las tasas y deforestación obtenidas a nivel local para nuestra área de estudio son bajas en comparación a las tasas nacionales y regionales obtenidas por el Ministerio del Ambiente (MAE, 2012). Ante esta diferencia se torna relevante los análisis locales para tener aproximaciones reales en sitios donde se necesita una eficaz gestión, como son las áreas de importancia hidrológica. Las pérdidas totales de cobertura nativa y su transformación a tierras agrícolas, con mayor intensidad para el segundo periodo de estudio, son los resultados *per se* de la deforestación ligados al avance de la frontera agrícola. Las tierras agrícolas se constituyen espacios destinados a la agricultura y ganadería como lo manifiestan estudios realizados en áreas aledañas en la misma provincia del Azuay (Chacon-Vintimilla, Gagnon, Paré, & Proulx, 2003). También se registran incrementos en la vegetación nativa combinada con mayor intensidad en el primer periodo de análisis, proveniente de tierras agrícolas. Esto posiblemente esté ligado al abandono con mayor o menor intensidad de estas tierras por factores comunes del contexto andino tropical como, la agricultura itinerante, degradación de suelos en áreas de cultivo y también la migración (Gray, 2009; Jokisch, 2002) cuyos factores son bastante comunes en el contexto de estudio.

Históricamente el sector agropecuario en el Ecuador ha estado condicionado a incursionar dentro de la deforestación para emprender actividades agropecuarias, amparado institucionalmente mediante la Ley de Reforma Agraria (De Zaldívar, 2008; Redclift, 1978). Actividades de tala dirigidos a la implementación de cultivos, era la dinámica de cambio de uso del suelo que permitía acceder a la legalidad de los territorios ocupados (Gray, 2009). En ese entonces las áreas taladas dentro de los espacios ocupados denominados terrenos baldíos estaban cercanos a los pueblos, a

las escasas y precarias vías de comunicación terrestre y a fuentes de agua, que por lo general estaban presentes en las partes bajas dentro de las unidades de manejo o fincas. Estos postulados concuerdan con los resultados obtenidos por Cropper, Puri, Griffiths, Barbier, and Burgess (2001) y Freitas, Hawbaker, and Metzger (2010) quienes afirman que la deforestación tiene una asociación positiva con la corta distancia a caminos y la alta densidad vial dentro de las áreas rurales. En Ecuador, en las décadas de los 40 la red vial era muy reducida (Carvajal, 1950) por lo tanto, las partes altas de las fincas con mayor dificultad de acceso no eran deforestadas.

En los periodos evaluados la deforestación presentó mayores resultados en la segunda categoría de altitud, es decir en los sitios más altos. Factores reportados en otros países de la región andina como la apertura de vías (Locklin & Haack, 2003) crecimiento poblacional y demanda de alimentos, posiblemente estaría incidiendo sobre este patrón de deforestación (Etter *et al.*, 2006). En nuestro escenario de estudio están inmersas áreas de páramo que son considerados uno de los ecosistemas más frágiles del mundo, por lo que actividades antropogénicas causarían pérdidas irremediables en la funcionalidad de este ecosistema (Buytaert *et al.*, 2006; Stadel, 2005).

La deforestación registró los mayores valores en los sitios de menor pendiente por lo tanto existe una asociación negativa entre deforestación y pendiente. Este ha sido un patrón histórico ya que las áreas deforestadas con fisiografías bajas y moderadas han permitido al agricultor emprender sus actividades agrícolas legales con mayor facilidad y menor riesgo, especialmente la ganadería como es común en nuestro contexto de estudio (Delgado & Zarate, 2002). Así mismo estos resultados coinciden con los postulados de Gavier and Bucher (2004) y

Leguía Aliaga, Villegas Quino, and Aliaga Lordemann (2011) sobre estudios realizados en otros lugares andinos sudamericanos. Sin embargo, no es común en sitios donde se practican cultivos ilegales, documentándose aquí, las mayores tasas de deforestación en áreas con fuertes pendientes, baja densidad y poco acceso a caminos (Armenteras *et al.*, 2011).

CONCLUSIONES

Los resultados demuestran mayores tasas de deforestación para el segundo periodo de análisis (2000 – 2014) con las coberturas bosque + vegetación arbustiva y herbácea. Esto da a conocer incidencias reales y actuales de deforestación, aunque existe un régimen forestal regulatorio. La deforestación asociada positivamente con la altitud marca la dinámica del desarrollo rural, basado en el crecimiento de infraestructura, especialmente con vías de comunicación terrestre que facilitan el acceso y extracción de recursos. La deforestación asociada negativamente con las clases superiores de pendientes, ratifica la dinámica del uso del suelo en paisaje agrícolas donde se requiere de terrenos con topográficas moderadas para desarrollar eficientemente actividades agrícolas y ganaderas. Finalmente, aunque el tema de regulación e incentivos no fue motivo de este análisis, vale la pena mencionar que actividades ligadas positivamente al manejo y conservación de la vegetación, se deberían enfocar y vincular a los actores locales en las áreas de mayor incidencia. Esto permitirá disminuir las tasas de deforestación, y garantizar la existencia y funcionalidad a perpetuidad de los ecosistemas forestales, especialmente en zonas de importancia hidrológica como lo es nuestra área de estudio.

REFERENCIAS

Armenteras, D., Rodríguez, N., Retana, J., & Morales, M. (2011). *Understanding deforestation in montane and lowland*

forests of the Colombian Andes. Regional Environmental Change, 11(3), 693-705.

Ataroff, M., & Rada, F. (2000). *Deforestation impact on water dynamics in a Venezuelan Andean cloud forest*. *AMBIO: A Journal of the Human Environment*, 29(7), 440-444.

Barraclough, S. L., & Ghimire, K. B. (2013). *Agricultural expansion and tropical deforestation: International trade, poverty and land use: Routledge*.

Brandt, J. S., & Townsend, P. A. (2006). *Land use–land cover conversion, regeneration and degradation in the high elevation Bolivian Andes*. *Landscape Ecology*, 21(4), 607-623.

Buytaert, W., Célleri, R., De Bièvre, B., Cisneros, F., Wyseure, G., Deckers, J., & Hofstede, R. (2006). *Human impact on the hydrology of the Andean páramos*. *Earth-Science Reviews*, 79(1), 53-72.

Carvajal, F. (1950). *Ecuador: la evolución de su economía 1950-2008*. estado del país, 95.

Cropper, M., Puri, J., Griffiths, C., Barbier, E. B., & Burgess, J. C. (2001). *Predicting the location of deforestation: The role of roads and protected areas in North Thailand*. *Land Economics*, 77(2), 172-186.

Chacon-Vintimilla, G., Gagnon, D., Paré, D., & Proulx, D. (2003). *Impacto de la deforestación, pastizales, plantaciones de Eucalipto y Pino en suelos de bosque montano alto, en la Sierra Sur del Ecuador*. *Revista de Investigaciones de la Universidad del Azuay*, 11, 19-34.

De Zaldívar, V. (2008). *From agrarian reform to ethnodevelopment in the highlands of Ecuador*. *Journal of Agrarian Change*, 8(4), 583-617.

Delgado, O., & Zarate, E. (2002). *Los páramos de Azuay y Cañar*. UNIVERSIDAD-VERDAD, 197.

Etter, A., McAlpine, C., Wilson, K., Phinn, S., & Possingham, H. (2006). *Regional patterns of agricultural land use and deforestation in Colombia*.

- Agriculture, Ecosystems & Environment, 114(2), 369-386.
- Faminow, M. D. (1998). Cattle, deforestation and development in the Amazon: an economic, agronomic and environmental perspective: Cab International.
- FAO. (2015). *Evaluación de los recursos forestales mundiales 2015*. Informe Nacional, Ecuador. Retrieved from Roma:
- Freitas, S. R., Hawbaker, T. J., & Metzger, J. P. (2010). *Effects of roads, topography, and land use on forest cover dynamics in the Brazilian Atlantic Forest*. Forest Ecology and Management, 259(3), 410-417.
- Gavier, G. I., & Bucher, E. H. (2004). *Deforestación de las Sierras Chicas de Córdoba (Argentina) en el período 1970-1997* (Vol. 101): Academia nacional de ciencias Córdoba.
- Geist, H. J., & Lambin, E. F. (2002). *Proximate Causes and Underlying Driving Forces of Tropical Deforestation Tropical forests are disappearing as the result of many pressures, both local and regional, acting in various combinations in different geographical locations*. BioScience, 52(2), 143-150.
- Goerner, A., Gloaguen, R., & Makeschin, F. (2007). *Monitoring of the Ecuadorian mountain rainforest with remote sensing*. Journal of Applied Remote Sensing, 1(1), 013527-013527-013512.
- Gray, C. L. (2009). *Environment, land, and rural out-migration in the southern Ecuadorian Andes*. World Development, 37(2), 457-468.
- Horgan, F. G. (2005). *Effects of deforestation on diversity, biomass and function of dung beetles on the eastern slopes of the Peruvian Andes*. Forest Ecology and Management, 216(1), 117-133.
- INAMHI. (2014). *Anuario Meteorológico n° 51-2011: Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología*.
- IPCC. (2006). *IPCC guidelines for national greenhouse gas inventories: Intergovernmental Panel on Climate Change*.
- Jokisch, B. D. (2002). *Migration and agricultural change: The case of smallholder agriculture in highland Ecuador*. Human Ecology, 30(4), 523-550.
- Keating, P. L. (1997). *Mapping vegetation and anthropogenic disturbances in southern Ecuador with remote sensing techniques: implications for park management*. Paper presented at the Yearbook. Conference of Latin Americanist Geographers.
- Leguía Aliaga, J. D., Villegas Quino, H., & Aliaga Lordemann, J. (2011). *Deforestación en Bolivia: una aproximación espacial*. Revista Latinoamericana de Desarrollo Económico (15), 7-44.
- Locklin, C. C., & Haack, B. (2003). *Roadside measurements of deforestation in the Amazon area of Bolivia*. Environmental management, 31(6), 774-783.
- MAE. (2012). *Línea Base de Deforestación del Ecuador Continental*. Retrieved from Quito - Ecuador:
- MAGAP. (2015). *Manual de procedimientos de Geopedología*. Proyecto de levantamiento de cartografía temática a escala 1:25000, Lotes 1 y 2: Ministerio de Agricultura y Ganadería.
- Pacheco, P. (2006). *Agricultural expansion and deforestation in lowland Bolivia: the import substitution versus the structural adjustment model*. Land Use Policy, 23(3), 205-225.
- Peralvo, M., & Delgado, J. (2010). *Metodología para la generación del Mapa de Deforestación Histórica. Quito - Ecuador*, Ministerio del Ambiente y CONDESAN. In MAE (Ed.), Protocolo metodológico para la generación del Mapa de Deforestación Histórica en el Ecuador continental (pp. 28). Quito, Ecuador.

- Peres, C. A., Gardner, T. A., Barlow, J., Zuanon, J., Michalski, F., Lees, A. C., Feeley, K. J. (2010). *Biodiversity conservation in human-modified Amazonian forest landscapes*. *Biological Conservation*, 143(10), 2314-2327.
- Puyravaud, J.-P. (2003). *Standardizing the calculation of the annual rate of deforestation*. *Forest Ecology and Management*, 177(1), 593-596.
- Redclift, M. R. (1978). *Agrarian reform and peasant organization on the Ecuadorian coast: Athlone Press for the Institute of Latin American Studies*.
- Roa-García, M., Brown, S., Schreier, H., & Lavkulich, L. (2011). *The role of land use and soils in regulating water flow in small headwater catchments of the Andes*. *Water resources research*, 47(5).
- Sierra, M. (1999). *Propuesta preliminar de un sistema de clasificación de vegetación para el Ecuador continental: Proyecto Inefan/Gef-Birf y Ecociencia*.
- Skole, D., & Tucker, C. (1993). *Tropical deforestation and habitat fragmentation in the Amazon. Satellite data from 1978 to 1988*. *Science(Washington)*, 260(5116), 1905-1910.
- Stadel, C. (2005). *Agricultural and settlement frontiers in the tropical Andes: The páramo belt of northern Ecuador, 1960-1990*. *Mountain Research and Development*, 25(4), 386-387.
- Steininger, M. K., Tucker, C. J., Townshend, J. R., Killeen, T. J., Desch, A., Bell, V., & Ersts, P. (2001). *Tropical deforestation in the Bolivian Amazon*. *Environmental conservation*, 28(02), 127-134.
- Vanacker, V., Vanderschaeghe, M., Govers, G., Willems, E., Poesen, J., Deckers, J., & De Bievre, B. (2003). *Linking hydrological, infinite slope stability and land-use change models through GIS for assessing the impact of deforestation on slope stability in high Andean watersheds*. *Geomorphology*, 52(3), 299-315.
- Wasserstrom, R., & Southgate, D. (2013). *Deforestación, reforma agraria y desarrollo petrolero en Ecuador, 1964-1994*.

PROCESOS BIOTECNOLÓGICOS PARA LA PROLIFERACIÓN Y ENRAIZAMIENTO *IN VITRO* DE *Bursera graveolens* (KUNTH) TRIANA & PLANCH (PALO SANTO), PROVENIENTES DEL BOSQUE SECO DE LA PROVINCIA DE LOJA.

BIOTECHNOLOGY PROCESSES FOR THE PROLIFERATION AND ROOTING *IN VITRO* OF *Bursera graveolens* (KUNTH) TRIANA & PLANCH (PALO SANTO), FOREST FROM DRY LOJA PROVINCE.

¹*Pinta Diego Manuel*, ²*Eras-Guamán Víctor Hugo**, ²*González-Zaruma Darlin Ulises*,
³*Moreno-Serrano José Antonio*, ⁴*Minchala-Patiño Julia Esther*, ⁴*Yaguana-Arévalo Magaly*,
⁴*Poma-Angamarca Ruth Alexandra*, ⁴*Valarezo-Ortega Cristian Oswaldo*, ⁴*Sinche-Freire
Mauricio Gabriel.*

1 Tesista de la Carrera de Ingeniería Forestal, Universidad Nacional de Loja

2 Docentes Investigadores Carrera Ingeniería Forestal, Universidad Nacional de Loja

3 Docente Investigador Carrera Ingeniería Agronómica, Universidad Nacional de Loja

4 Técnicos del Laboratorio de Micropropagación Vegetal, Universidad Nacional de Loja

**Autor para correspondencia: victor.eras@unl.edu.ec*

Carrera de Ingeniería Forestal,
Universidad Nacional de Loja, Ecuador



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

Recepción: 18 de abril del 2016

Aceptación: 27 de julio del 2016

Pinta, M, *et al.* 2016. Procesos biotecnológicos para la proliferación y enraizamiento *in vitro* de *Bursera graveolens* (kunth) triana & planch (palo santo), provenientes del bosque seco de la provincia de Loja. Universidad Nacional de Loja.

RESUMEN

La investigación tuvo como objetivo el establecimiento de ensayos para la propagación *in vitro* de *Bursera graveolens*. El material vegetal fue semillas y segmentos nodales obtenidos de campo e *in vitro*. Se utilizó el medio de cultivo basal de Murashige y Skoog (1962), suplementado con diversos reguladores de crecimiento. En el ensayo de desinfección de semillas se empleó cloro comercial en concentraciones de 25, 50 y 75%, e inmersión de 5, 10 y 15 minutos; y para la implantación de segmentos nodales de campo se ensayó cloro comercial en concentraciones de 15, 20 y 25% en inmersión de 5 y 10 minutos. Para la germinación *in vitro* de semillas se aplicó tratamientos pre-germinativos y adición de GA_3 en concentraciones de 0,5-1 mg/l. El ensayo de inducción de callos embriogénicos se empleó las auxinas 2,4-D, Dicamba, ANA y AIA en concentraciones de 0,1-0,5-1 mg/l. La utilización de cloro al 75% durante 5 minutos controló la contaminación en semillas; en lo que respecta a los explantes obtenidos de campo los tratamientos aplicados no controlaron la contaminación. La germinación en mayor porcentaje se registró en el tratamiento de escarificación mecánica y 0,5 mg/l de GA_3 . Benzilaminopurina en concentración de 1 mg/l fue el mejor tratamiento para el ensayo de multiplicación. El ensayo de inducción de callos embriogénicos empleando 1 mg/l de 2,4-D logró inducir el mayor porcentaje de formación.

Palabras claves: cultivo *in vitro*, propagación vegetativa, callos embriogénicos, conservación.

ABSTRACT

The research aimed to establish *in vitro* assays for the spread of *Bursera graveolens*. The plant material was obtained seeds and nodal segments field and *in vitro*. The basal culture medium Murashige and Skoog (1962) was used, supplemented with various growth regulators. In the test seed disinfection commercial chloride was used in concentrations of 25, 50 and 75%, and immersion of 5, 10 and 15 minutes; and for implementing field nodal segments commercial chlorine was tested at concentrations of 15, 20 and 25% by dip 5 and 10 minutes. For *in vitro* germination of seeds pre-germinative treatments and addition of GA_3 at concentrations of 0.5-1 mg/l was applied. The induction assay embryogenic callus auxin 2,4-D, Dicamba, ANA and AIA was used in concentrations of 0,1-0,5-1 mg / l. The use of chlorine at 75% for 5 minutes controlled pollution seeds; with respect to the field explants obtained treatments applied not control pollution. The highest percentage germination was recorded in the treatment of mechanical scarification and 0.5 mg / l GA_3 . Benzylaminopurine in concentration of 1 mg / l was the best treatment for assaying multiplication. The induction assay embryogenic calli using 1 mg / l 2,4-D was able to induce the highest percentage of formation.

Keywords: *in vitro* culture, vegetative propagation, embryogenic callus, conservation.

INTRODUCCIÓN

En Ecuador los bosques secos se encuentran en el centro y sur de la región occidental de los Andes, en las provincias de Esmeraldas, Manabí, Santa Elena, Guayas, El Oro y Loja. Originalmente cerca del 35 % (28 000 km²) del Ecuador occidental estaba cubierto por bosque seco, se estima que el 50 % habría desaparecido (Sierra *et al.*, 1999). Los bosques secos son formaciones caducifolias donde más del 75 % de sus individuos pierden estacionalmente sus hojas (Aguirre y Kvist, 2005; Linares y Ponce, 2005; Chamba, 2014). Según Aguirre (2009), los bosques secos de la Región Tumbesina son considerados como EBA (Endemic Birds Area), la misma que tiene una gran importancia por ser un área de endemismo definida por la superposición de uno o más rangos de especies cuya distribución es menor a 50 000 km². La mayoría de estas EBAs también son importantes porque definen áreas de endemismos para otros grupos de fauna y flora. Los bosques secos tumbesinos están restringidos en un área geográfica pequeña, 50 000km², entre Ecuador y Perú (Dinerstein *et al.*, 1995; Chamba, 2014).

Los bosques secos son ecosistemas que están amenazados principalmente por la ampliación de la frontera agrícola, quema de vegetación y pastoreo; además, el desarrollo de zonas urbanas reduce los parches con vegetación en la zona de amortiguamiento, los mismos que tradicionalmente han interactuado directamente con la población local, facilitando la extracción de recursos forestales madereros, incluso se han sobreexplotado especies forestales valiosas como: el guayacán (*Handroanthus crisanthus*); hualtaco (*Loxopterigium huasango*); palo santo (*Bursera graveolens*), las mismas que son especies representativas del bosque seco de la región sur del Ecuador (Aguirre y Kvist, 2005; Herbario Loja *et al.* 2001; Aguirre y

Delgado, 2005). Los bosques secos de Loja son poco conocidos, muy amenazados y tienen gran importancia económica, debido a los múltiples recursos forestales (maderables y no maderables) que la población obtiene de ellos (Aguirre y Kvist, 2005).

La micropropagación vegetal se plantea como una alternativa de propagación vegetal, ya que esta técnica permite tener un mayor conocimiento de los factores fisiológicos y ambientales involucrados en la formación de órganos adventicios, mediante la propagación *in vitro*. Bajo esta perspectiva la presente investigación tuvo como objetivo realizar ensayos para el establecimiento de protocolos de micropropagación de *Bursera graveolens*, a partir de semillas y segmentos nodales de campo e *in vitro*.

MATERIALES Y MÉTODOS

El material vegetal (semillas, estacas y regeneración natural) fue colectado de árboles con características fenotípicas sobresalientes identificados en el cantón Zapotillo (sector Malvas) y fueron trasladados al Laboratorio de Micropropagación Vegetal e Invernadero del Área Agropecuaria de Recursos Naturales Renovables de la Universidad Nacional de Loja, respectivamente. Las semillas colectadas fueron seleccionadas en base a criterios fisiológicos de madurez, tamaño y estado fitosanitario. Para la inducción de callos embrionarios la extracción de los embriones se realizó a partir de las semillas colectadas, en las cuales se extrajo los embriones con la ayuda de un martillo proporcionando un golpe y con la ayuda de un bisturí se procedió a limpiar el embrión y colocarlos en cajas petri. Las estacas recolectadas fueron sumergidas en un recipiente con una solución de 50 mg/l de (ácido giberélico) AG₃ y 100 mg/l de benzilaminopurina (BAP), en el cual permanecieron durante ocho días para promover brotaciones, y pulverizadas con

solución fungicida–bactericida - insecticida (2 ml/l de Kasumin + 2 g/l de Benomyl + 2,5 ml/l de Neem-X) cada dos días. Las plántulas de regeneración natural fueron sembradas en sustrato de tierra del sector y colocadas bajo cobertores en el cuarto de aclimatación y rociadas periódicamente con una solución de 50 mg/l de ácido giberélico (AG₃) y 100 mg/l de benzilaminopurina (BAP), con la finalidad de promover la formación de nuevos brotes. De igual forma las plántulas fueron tratadas con soluciones fungicidas y bactericidas (Kasumin, Benomyl); e, insecticida Neem-X, para controlar el ataque de enfermedades y plagas respectivamente.

Establecimiento

Semillas: Las semillas seleccionadas posteriormente fueron desinfectadas con alcohol etílico al 70%, durante 1 minuto y enjuagadas con agua destilada estéril. La solución desinfectante consistió en hipoclorito de sodio en concentraciones de 25, 50 y 75% e inmersión de 5, 10 y 15 minutos, respectivamente, en seguida fueron realizados tres enjuagues con agua destilada estéril. Las semillas posteriormente fueron inoculadas a razón de una por cada tubo de ensayo, el cual contenía el medio de cultivo MS (Murashige y Skoog, 1962), suplementado con vitaminas 1 mg/l de tiamina y 100 mg/l de mio-inositol, 20 g/l de sacarosa y 6 g/l de bacto agar. El pH se ajustó a $5,8 \pm 0,2$. El delineamiento utilizado fue completo al azar (DCA), con arreglo factorial 3x3, con tres repeticiones y 15 tubos por tratamiento, teniendo una semilla. Las variables que se evaluaron fueron: porcentaje de contaminación y número de días a la contaminación.

Callos embriogénicos: La desinfección de los embriones se emplearon frascos de vidrio, en los cuales se colocan los embriones, a razón de 50 embriones/frasco, envueltos en tul para facilitar su manipulación durante la

desinfección debido a su tamaño pequeño. Se aplicó alcohol etílico 70 % durante 1 minuto, posteriormente se procedió aplicar hipoclorito de sodio al 50 % durante 10 minutos.

Estacas: Las yemas terminales y axilares fueron colectados de las estacas mantenidas en el invernadero y posteriormente desinfectadas con una solución fungicida (2 ml/l Kasumin) durante 20 minutos y enjuague tres veces con agua destilada estéril. A continuación, los explantes obtenidos fueron lavados con solución de detergente comercial y tres enjuagues con agua destilada. Posteriormente fueron colocados en una solución antioxidante (ácido cítrico 150 mg/l + ácido ascórbico 100 mg/l) hasta su desinfección. La solución desinfectante consistió en hipoclorito de sodio en concentraciones de 15, 20 y 25% e inmersión de 5 y 10 minutos, respectivamente, en seguida fueron realizados tres enjuagues con agua destilada estéril. Los explantes fueron cortados de 1 a 1,5 cm de longitud e inoculados a razón de un explante por cada tubo de ensayo, el cual contenía el medio de cultivo similar al medio de cultivo empleado en el ensayo para evaluar la desinfección *in vitro* de semillas, agregándose de forma complementaria como agentes antioxidantes 1,5 g/l de carbón activado, 150 mg/l de ácido cítrico y 100 mg/l de ácido ascórbico. El delineamiento utilizado fue completo al azar (DCA), con arreglo factorial 3x2, con tres repeticiones y 10 tubos por tratamiento, teniendo un explante. Las variables que se evaluaron por 30 días fueron: porcentaje de contaminación y porcentaje de oxidación fenólica.

Regeneración natural: La desinfección se realizó en dos fases: Primera fase (fuera de cámara de flujo laminar): 1) Los explantes fueron colocados en una solución de detergente y agua corriente, luego se eliminó la solución de detergente con enjuagues de agua destilada estéril. 2)

Inmersión de los explantes en solución de fungicida (Kasumín 2 ml/l) durante 10 minutos, enjuagues con agua destilada estéril. 3) Inmersión en povidón (Jabón líquido) al 10 %, por 10 minutos. 4) Posteriormente se procedió a eliminar el agente desinfectante. Segunda fase (cámara de flujo laminar): 1) Inmersión de los explantes en alcohol al 75 % durante 1 minuto. 2) Inmersión en hipoclorito de sodio (cloro comercial) al 5 %, por 15 minutos. 3) Inmersión en hipoclorito de sodio al 50 % y 20 % en periodos de 2 y 3 minutos respectivamente. 4) Enjuagues con agua destilada estéril, hasta eliminar la solución desinfectante. 5) Para la siembra *in vitro* se eliminó las partes afectadas del explante reduciendo a un tamaño de $\pm 1,5$ cm. de longitud. 6) Se realizó una segunda desinfección con peróxido de hidrogeno al 2,5 % y 5 % por 10 y 5 minutos respectivamente. 7) Enjuague de los explantes en una solución antioxidante (150 mg/l de ácido cítrico más 100 ml/l de ácido ascórbico) y agua destilada estéril. 8) Finalmente, se dejó los explantes en agua destilada estéril más la solución antioxidante para la inoculación *in vitro*, al medio de cultivo basal MS se enriqueció

con tres citocininas (BAP, KIN y 2ip) en dos concentraciones (1 y 2 mg/l) respectivamente. El delineamiento utilizado fue completo al azar (DCA), con arreglo factorial 3x2, con tres repeticiones y 10 tubos por tratamiento, teniendo un explante. Las variables que se evaluaron por 30 días fueron: porcentaje de contaminación, porcentaje de oxidación fenólica, número de brotes formados, número de hojas y longitud del brote.

Germinación de Semillas

La germinación *in vitro* de semillas se realizó aplicando diferentes métodos de escarificación con varias concentraciones de AG₃ adicionadas al medio de cultivo. La desinfección de semillas se realizó con 75 % hipoclorito de sodio + 5 min, posteriormente se procedió a inocular una semilla por cada tubo de ensayo, considerando el método de escarificación y la concentración de AG₃, de acuerdo a la Tabla 1; y, posteriormente se colocaron en el cuarto de incubación. Para evaluar las condiciones del ensayo se utilizó el diseño completo al azar (DCA), con arreglo factorial 3x3, con 9 tratamientos y 3 repeticiones.

Tabla 1. Tratamientos aplicados para evaluar la germinación *in vitro* de semillas de *B. graveolens*.

TRATAMIENTO	DESCRIPCIÓN	CÓDIGO
1	Sin escarificación + 0 mg/l de AG ₃	T1 = E1M1
2	Escarificación física + 0 mg/l de AG ₃	T2 = E2M1
3	Escarificación mecánica + 0 mg/l de AG ₃	T3 = E3M1
4	Escarificación química + 0 mg/l de AG ₃	T4 = E4M1
5	Sin escarificación + 0,5 mg/l de AG ₃	T5 = E1M2
6	Escarificación física + 0,5 mg/l de AG ₃	T6 = E2M2
7	Escarificación mecánica + 0,5 mg/l de AG ₃	T7 = E3M2
8	Escarificación química + 0,5 mg/l de AG ₃	T8 = E4M2
9	Sin escarificación + 1 mg/l de AG ₃	T9 = E1M3
10	Escarificación física + 1 mg/l de AG ₃	T10 = E2M3
11	Escarificación mecánica + 1 mg/l de AG ₃	T11 = E3M3
12	Escarificación química + 1 mg/l de AG ₃	T12 = E4M3

Inducción de callos embriogénicos

Ensayo 1. Embriones maduros fueron utilizados para inducir la formación de

callos. El medio de cultivo utilizado fue el MS (1962) suplementado con 10 mg/l de

tiamina y 100 mg/l de mio-inositol, 1mg/l de piridoxina, 1 mg/l de ácido nicotínico, 2 mg de glicina, 20 g/l de sacarosa, 6 g/l de agar y 2,4-D como auxina en cuatro concentraciones (0,0 , 1,0 , 1,5 y 2,0 mg/l). El pH óptimo fue de $5,8 \pm 0,2$. El delineamiento utilizado fue simple al azar, con 12 tratamientos, 3 repeticiones y 5 frascos tubos por tratamiento, teniendo tres embriones por frasco. Las variables que se evaluaron por 50 días fueron: porcentaje de contaminación, porcentaje de mortalidad, porcentaje de fenolización, porcentaje de formación de callo y, porcentaje de germinación.

Ensayo 2. Embriones maduros fueron utilizados para inducir la formación de callos. El medio de cultivo utilizado fue el MS (1962) suplementado con vitaminas: 10 mg/l de tiamina y 100 mg/l de mio-inositol, 1 mg/l de piridoxina, 1 mg/l de ácido nicotínico, 2 mg de glicina, 20 g/l de sacarosa, 6 g/l de agar; además, se enriqueció con cuatro tipos de auxinas (2,4-D, Dicamba, ANA, AIA), en tres concentraciones (0,1; 0,5 y 1,0 mg/l). El pH óptimo fue de $5,8 \pm 0,2$. El delineamiento utilizado fue completo al azar (DCA), con arreglo factorial 3x4, 3 repeticiones y 5 frascos por tratamiento, teniendo dos embriones por frasco. Las variables que se evaluaron por 50 días

fueron: porcentaje de contaminación, porcentaje de mortalidad, porcentaje de fenolización, porcentaje de formación de callo y, porcentaje de germinación.

Análisis estadísticos

Los datos obtenidos fueron procesados en el software Info Stat (Di Rienzo *et al.* 2009), en cual se realizó un análisis de varianza (ANAVA), estableciendo diferencias significativas con el test de LSD Fisher a un nivel de significancia de 0,05, en cada uno de los ensayos realizados.

RESULTADOS

Desinfección de semillas: según los resultados respecto al porcentaje de contaminación, no se presentaron diferencias significativas ($p=0,3107$) entre tratamientos. El T3 (25 % de hipoclorito de sodio +15 minutos inmersión) y T7 (75 % de hipoclorito de sodio + 5 minutos inmersión) obtuvieron el valor promedio más bajo ($0,00 \pm 2,77$) de contaminación. Respecto a la aparición de la contaminación se evidenció al cuarto día de evaluación, a partir de la siembra en los tratamientos y se estabilizó a los 21 días (Fig.1).

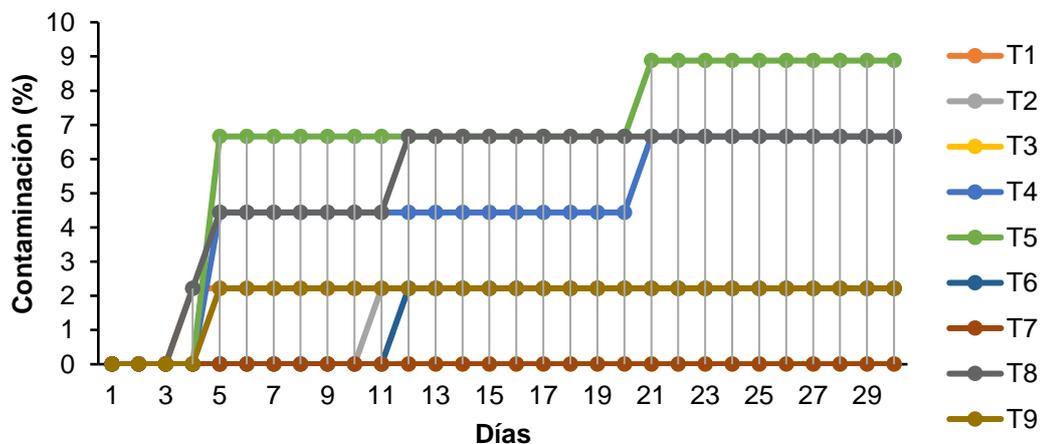


Figura 1. Promedios de contaminación de los diferentes tratamientos aplicados para la desinfección de semillas de *Bursera graveolens* (Kunth) Triana & Planch

Desinfección e implantación *in vitro* de explantes de campo: Los resultados obtenidos referentes al porcentaje de contaminación no mostraron diferencias significativas ($p=0,8082$) entre

tratamientos; para la variable porcentaje de oxidación fenólica si se encontraron diferencias significativas ($p=0,0040$) entre tratamientos (Tabla 2).

Tabla 2. Promedios de las variables evaluadas en el ensayo de desinfección e implantación de explantes proveniente de estacas de *Bursera graveolens* (Kunth) Triana & Planch.

Tratamientos	% Contaminación		% Oxidación fenólica	
	p-valor	CV	p-valor	CV
	$p=0,8082$		$p=0,0040$	
T1	$100 \pm 4,91^a$	8,84	$16,67 \pm 3,85a$	20,34
T2	$96,67 \pm 4,91^a$		$33,33 \pm 3,85bc$	
T3	$93,33 \pm 4,91^a$		$26,67 \pm 3,85ab$	
T4	$93,33 \pm 4,91^a$		$40 \pm 3,85c$	
T5	$100 \pm 4,91^a$		$43,33 \pm 3,85c$	
T6	$93,33 \pm 4,91^a$		$36,67 \pm 3,85bc$	

LSD Fisher $\alpha=0,05$; letras diferentes representan diferencias estadísticamente significativas; \pm error estándar

Desinfección e implantación *in vitro* de explantes provenientes de regeneración natural: Los resultados referentes al porcentaje de contaminación y porcentaje de fenolización, si mostraron diferencias significativas entre tratamientos ($p=0,0078$ y $p<0,0001$ respectivamente). En cuanto a las variables número de brotes/explante

($p=0,069$), tamaño del brote (mm) ($p=0,0701$), no se encontraron diferencias significativas; sin embargo, si se encontraron diferencias significativas entre tratamientos para las variables: número hojas/explante ($p<0,1971$) entre tratamiento (Tabla 3).

Tabla 3. Promedios de las variables evaluadas a los tres meses en el ensayo de multiplicación *in vitro* de explantes provenientes de regeneración natural *Bursera graveolens* (Kunth).

Tratamientos	% Contaminación		Oxidación		N° de Brotes		Tamaño del Brote		Numero de Hojas		
	p-valor	CV	p-valor	C V	p-valor	CV	p-valor	CV	p-valor	CV	
	$0,08$		$22,0$		$0,00$		46		$0,06$		$77,5$
1	$53,33 \pm 8,05a$		$3,33 \pm 3,60a$		$0,37 \pm 0,07b$		$0,12 \pm 0,03b$		$0,40 \pm 0,10b$		
2	$53,33 \pm 8,05a$		$6,67 \pm 3,60a$		$0,17 \pm 0,07ab$		$0,06 \pm 0,03ab$		$0,13 \pm 0,10ab$		
3	$93,33 \pm 8,05b$		$40,00 \pm 3,60c$		$0,07 \pm 0,07^a$		$0,02 \pm 0,03a$		$0,102 \pm 0,10ab$		
4	$46,67 \pm 8,05a$		$6,67 \pm 3,60a$		$0,27 \pm 0,07ab$		$0,08 \pm 0,03ab$		$0,23 \pm 0,10ab$		
5	$53,33 \pm 8,05a$		$20 \pm 3,60b$		$0,07 \pm 0,07^a$		$0,01 \pm 0,03a$		$0,07 \pm 0,10a$		
6	$80 \pm 8,05b$		$3,33 \pm 3,60a$		$0,07 \pm 0,07^a$		$0,01 \pm 0,03a$		$0,07 \pm 0,10a$		

LSD Fisher $\alpha=0,05$; letras diferentes representan diferencias estadísticamente significativas; \pm error estándar.

Germinación *in vitro* de semillas: La velocidad de germinación se inició al cuarto día y se al día 27 de instalado el ensayo (Fig. 3). En cuanto a los porcentajes de germinación si presentaron diferencias significativas ($p=0,0010$) entre tratamientos, en donde el T7 (Escarificación mecánica + 0,5 mg/l de AG_3) presentó el valor promedio más alto ($11,11 \pm 1,57$). Referente al porcentaje de

contaminación, no se presentaron diferencias significativas ($p=0,3198$) entre tratamientos, donde el T2 (Escarificación física + 0 mg/l AG_3) y T5 (Escarificación física + 0,5 mg/l AG_3), obtuvieron el promedio más alto de contaminación de semillas ($20,00 \pm 5,25$) mientras que, el T8 (Escarificación química + 0,5 mg/l de AG_3) presentó contaminación nula.

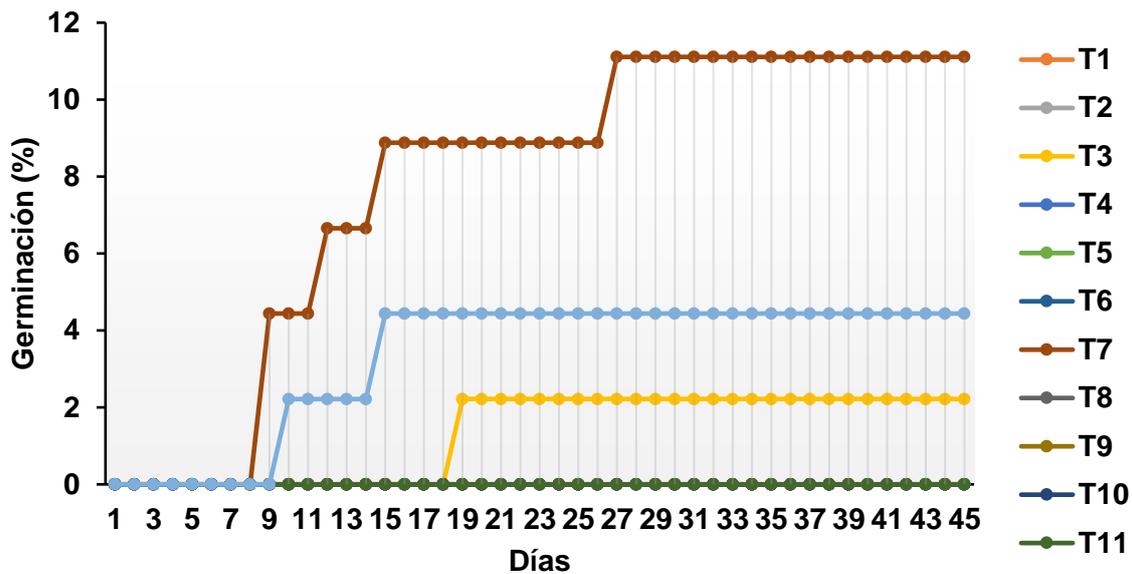


Figura 2. Curva de germinación acumulativa de los distintos tratamientos aplicados para la germinación *in vitro* de semillas de *Bursera graveolens* (Kunth) Triana & Planch

Efecto de la auxina (2,4-D) para la inducción de callos embriogénicos (ensayo 1): Los resultados registrados muestran que el porcentaje de contaminación no presentó diferencias significativas

($p=0,0519$), no se presentó fenolización, sin embargo, para las variables formación de callos embriogénicos y germinación de embriones, si presentaron diferencias significativas ($p=0,0028$ y $p=0,001$ respectivamente) entre tratamiento (Tabla 4).

Tabla 4. Promedios de las variables inducción de callos embriogénicos con la auxina 2,4-D de semillas de *Bursera graveolens*

Tratamiento	Contaminación		Formación de callo		Germinación	
	p-valor	CV	p-valor	CV	p-valor	CV
	0,0519	34,64	0,0028	34,11	0,0001	40
T1	$2,22 \pm 1,11a$		$2,22 \pm 4,16a$		$33,33 \pm 1,92a$	
T2	$6,67 \pm 1,11b$		$20,00 \pm 4,16b$		$0,00 \pm 1,92b$	
T3	$6,67 \pm 1,11b$		$26,67 \pm 4,16bc$		$0,00 \pm 1,92b$	
T4	$6,67 \pm 1,11b$		$35,56 \pm 4,16c$		$0,00 \pm 1,92b$	

LSD Fisher $\alpha=0,05$; letras diferentes representan diferencias estadísticamente significativas; \pm error estándar.

Ensayo del efecto de las auxinas (2,4-D, Dicamba, AIA y ANA) para la inducción de callos embriogénicos (ensayo 2): Los resultados de la evaluación del efecto de diferentes concentraciones de las auxinas (2,4-D, Dicamba, AIA y ANA), en la inducción de callos embriogénicos, se obtuvo que la variable porcentaje de contaminación y porcentaje de

fenolización si presentó diferencias significativas ($p=0,001$ y $p=0,0022$) entre tratamientos, mientras tanto para las variables formación de callos embriogénicos y germinación de embriones, si presentaron diferencias significativas ($p=0,0001$ y $p=0,001$ respectivamente) entre tratamiento (Tabla 5).

Tabla 5. Promedios de las variables inducción de callos embriogénicos con las auxinas (2,4-D, Dicamba, AIA y ANA) de semillas de *Bursera graveolens* (Kunth) Triana & Planch

Tratamiento	Contaminación		Fenolización		Formación de callo		Germinación	
	p-valor	CV	p-valor	CV	p-valor	CV	p-valor	CV
	0,0001	60,61	0,0022	300	0,0001	16,89	0,0001	15,64
T1	0,00 ± 1,36a		0,00 ± 0,96a		46,67 ± 2,36c		6,67 ± 2,36a	
T2	0,00 ± 1,36a		0,00 ± 0,96a		56,67 ± 2,36de		0,00 ± 2,36a	
T3	0,00 ± 1,36a		0,00 ± 0,96a		63,33 ± 2,36e		0,00 ± 2,36a	
T4	0,00 ± 1,36a		0,00 ± 0,96a		0,00 ± 2,36a		60,00 ± 2,36e	
T5	0,00 ± 1,36a		0,00 ± 0,96a		53,33 ± 2,36cd		6,67 ± 2,36a	
T6	10,00 ± 1,36b		0,00 ± 0,96a		53,33 ± 2,36cd		0,00 ± 2,36a	
T7	10,00 ± 1,36b		0,00 ± 0,96a		0,00 ± 2,36a		33,33 ± 2,36c	
T8	0,00 ± 1,36a		0,00 ± 0,96a		6,67 ± 2,36ab		16,67 ± 2,36b	
T9	13,33 ± 1,36b		6,67 ± 0,96b		0,00 ± 2,36a		26,67 ± 2,36c	
T10	13,33 ± 1,36b		0,00 ± 0,96a		0,00 ± 2,36a		50,00 ± 2,36d	
T11	0,00 ± 1,36a		0,00 ± 0,96a		0,00 ± 2,36a		53,33 ± 2,36de	
T12	0,00 ± 1,36a		0,00 ± 0,96a		10,00 ± 2,36b		60,00 ± 2,36ea	

LSD Fisher $\alpha=0,05$; letras en común significan que los valores no son estadísticamente diferentes

Brotamiento y Enraizamiento: La escasa disponibilidad de material vegetal aséptico, no permitió dar cumplimiento a este objetivo, puesto que en el ensayo de germinación in vitro de semillas los resultados no fueron favorables, así como también, los resultados obtenidos en la fase de multiplicación in vitro de explantes provenientes del invernadero, no permitieron inducir la formación de brotes; además, los porcentajes de contaminación de los explantes obtenidos del invernadero fueron superiores al 46 %, por lo cual se procedió a ensayar métodos de embriogénesis a partir de embriones extraídos de las semillas.

DISCUSIÓN

Los tratamientos aplicados para la desinfección de las semillas de *Bursera*

graveolens, demostraron que las distintas concentraciones de hipoclorito de sodio y tiempos de inmersión influyeron en la desinfección de las semillas, pues en el T3 (25 % de hipoclorito de sodio, durante 15 min) y el T7 (75 % de hipoclorito de sodio, durante 5 min) la contaminación fue nula, estos resultados son mejores a los obtenidos por Santamaría *et al.*, (2012), pues en la germinación de semillas de *Cedrela montana*, obtuvo 3,7% de contaminación utilizando 0,50% de hipoclorito de sodio, así como también, a los obtenidos por Minchala *et al.*, 2013, quienes mencionan que la desinfección de semillas de *T. billbergii*, con hipoclorito de sodio al 70 %, no presentaron contaminación.

Álvarez *et al.* (2008) mencionan que, a medida que se incrementa la concentración

de hipoclorito de sodio y tiempo de exposición, existe menor incidencia de contaminación; sin embargo, el hipoclorito de sodio es eficaz en la mayoría de las bacterias patógenas, pero es imprevisible contra hongos y virus, lo cual se corrobora con los resultados obtenidos en la presente investigación, pues al utilizar 75% de hipoclorito de sodio, durante 5 minutos, se logró controlar de forma total la contaminación de semillas de *Bursera graveolens*.

Las semillas de las especies forestales, generalmente no germinan debido a que la testa dura impide la entrada de agua (latencia física) y por lo tanto la semilla no germina a menos que la testa sea escarificada (Poulsen y Stubsgaard, 1995). Con respecto a la germinación de semillas de *Bursera graveolens*, se obtuvo que el T7 (Escarificación mecánica + 0,5 mg/l de AG₃), alcanzó el porcentaje de germinación más alto con 11,11%; estos valores son inferiores a los obtenidos por Díaz, (2012), quien alcanzó el 72 % de germinación en *Cedrela montana*, utilizando 2 mg/l AG₃; y, a los obtenidos por Conde, (2015) que en un estudio realizado en el bosque seco de la provincia de Loja, *Loxopterygium huasango* Spruce ex Engl, obtuvo una germinación de las semillas del 77,78 %, utilizando un método sin escarificación y la aplicación de 1 mg/l AG₃.

Morillo, (2015) menciona que el bajo porcentaje de germinación de las semillas de esta especie es porque no estaban en condiciones de germinar inmediatamente después de ser cosechadas, por lo que las semillas necesitan un período de reposo, que puede ser de carácter transitorio, de aproximadamente seis meses, esto concuerda con lo manifestado por Chávez y Namoc, (1993), quienes mencionan que cuando la semilla no responde con rapidez ante la expansión a condiciones ambientales favorables, están en período

de latencia y que este fenómeno es una característica común en las plantas leñosas.

En la presente investigación la contaminación por hongos y bacterias destruyó completamente el cultivo *in vitro* de explantes provenientes del campo, pues los resultados del porcentaje de contaminación en la presente investigación, respecto a los tratamientos ensayados en la desinfección de explantes de campo, no dieron resultados favorables, los niveles de contaminación fueron superiores al 93 %; estos resultados son similares a los reportados por Rebolledo *et al.*, (2006), quienes empleando 10 % de hipoclorito de sodio durante 10 minutos para la desinfección de explantes de Pino (*Pinus pseudostrobus* Lindl), obtuvieron un porcentaje de contaminación elevado del 83 % , resultados que se contraponen con los obtenidos por Patiño, (2011), quien en un estudio realizado en la especie *Caesalpinia espinosa*, obtuvo 0 % de contaminación, en explantes provenientes del campo, empleando hipoclorito de sodio al 75 % durante 7 minutos.

Tang y Newton, (2004) y George, (1996), señalan que el establecimiento *in vitro* de tejidos vegetales de algunas especies de plantas, especialmente leñosas, está en gran medida limitado por la ocurrencia de oscurecimientos letales en los explantes y en el medio de cultivo. Esto constituye uno de los problemas más serio y frecuente, desde el inicio y durante el mantenimiento de un tejido cultivado *in vitro*.

El establecimiento aséptico de los cultivos representa una de las etapas más delicadas en el proceso de propagación *in vitro*, más aún cuando se trabaja con especies forestales, puesto que éstas presentan una alta incidencia de hongos, bacterias, virus y viroides principalmente (Esquivel *et al.*, 2009).

Con los resultados obtenidos en la presente investigación, en la fase de multiplicación

in vitro de explantes provenientes de invernadero, el T4 (2,0 mg/l de KIN) obtuvo el menor porcentaje de contaminación ($46,67 \pm 8,05$). Respecto a la variable oxidación fenólica el T1 (1,0 mg/l de BAP) y T6 (2,0 mg/l de 2ip), fueron los mejores tratamientos, pues alcanzaron el 3,33 % de oxidación fenólica respectivamente; mientras que el T1 (1,0 mg/l de BAP) fue el tratamiento que registró los mejores resultados en cuanto a las variables de número de brotes, obteniendo un promedio de 0,37 brotes por explante; en la variable relacionada al tamaño del brote, se obtuvo un valor promedio de 0,12 cm de altura, mientras que para la variable número de hojas, el promedio de hojas formadas fue de 0,4 hojas por explante, que son inferiores a los obtenidos por Torres *et al.*, (2013), quienes trabajando en *Acacia mangium*, obtuvieron un número promedio de 4,93 brotes por explante y un promedio de 4,40 hojas formadas por explantes, utilizando BAP en proporciones de 2,22 μM , que fueron superiores a los tratamientos en los cuales no se utilizó esta citoquinina; y, a los obtenidos Patiño *et al.*, (2013), quienes en *Swietenia macrophylla*, al añadir 2 mg/l^{-1} de BAP en combinación con 1 mg/l^{-1} de AIB, obtuvieron el 70 % de explantes con brotes y un promedio de 0.17 cm de longitud.

En la presente investigación, se evidencio que el porcentaje de contaminación de embriones fue bajo con 6,67 % en el T2 (1 mg/L de 2,4-D), T3 (1,5 mg/l de 2,4-D) y T4 (2 mg/l de 2,4-D), respectivamente, resultados que son similares a los obtenidos por Luna, (2002), quien trabajando en *Abies religiosa*, alcanzó una contaminación de 5,4 2%, empleando hipoclorito de sodio comercial (6 % de cloro activo) durante 30 minutos. Los resultados bajos en la contaminación de los embriones, se deben probablemente a que el embrión es una estructura vegetal que está protegido por los tegumentos de la semilla, lo que lo vuelve mucho más

aséptico que los órganos exógenos de la planta.

En la presente investigación se evidenció que la adición de 1 mg/l de 2,4-D al medio de cultivo MS, permitió obtener el 35,56% de formación de callos embriogénicos; estos resultados son inferiores a los alcanzados por Díaz, (2011) en *Cedrela montana*, donde, empleando 2 mg/l de 2,4-D en el medio de cultivo MS, obtuvo el 80 % de callos formados, partiendo de hipocótilos y embriones inmaduros, así como también, a los reportados por ICTA (2003), que alcanzó un 40 % de formación de callos en *Abies guatemalensis*, Redher, usando una combinación hormonal a base de 2,4-D (2.0 mg/l) más BAP (1.0 mg/l).

La desinfección de los embriones obtenidos de las semillas de *Bursera graveolens*, utilizando hipoclorito de sodio al 50 %, por 10 minutos, permitieron evidenciar que el T9 (1 mg/L de ANA) y T10 (0,1 mg/L de AIA) presentaron el 13,33% de contaminación, respectivamente, estos datos son inferiores a los alcanzados por Bonilla (2014), quien trabajando en *Erithrina edulis*, obtuvo una contaminación del 75%, aplicando hipoclorito de sodio, al 5,25%; pero superiores a los alcanzados por Vacca (2014), quien obtuvo en su investigación el 1% de contaminación de los embriones, aplicando hipoclorito de sodio al 10%, en *Pterogyne nitens*.

En la fase de inducción de callos embriogénicos de *Bursera graveolens*, utilizando cuatro tipos de auxinas, en tres concentraciones, los resultados obtenidos demostraron que el T3 (1 mg/L de 2,4-D) alcanzó el valor promedio más alto de formación de callos embriogénicos ($63,33 \pm 2,36$), estos resultados son superiores a los obtenidos por Santamaría (2012), quien obtuvo un 55% de callos embriogénicos en *Cedrela montana*, usando una concentración hormonal de 4mg/L de 2,4-diclorofenoxiacético (2,4-D); así como

también, a los obtenidos por Ortega (2013), en *Caesalpinia spinosa*, que obtuvo un 56,7% de callos embriogénicos, mediante la utilización de 2 mg/L de 2,4-D + 1 mg/L de Kinetina; pero inferiores a los alcanzados por Gómez *et al* (2006), quienes trabajando en *Eucalyptus globulus*, obtuvieron un 80% de formación de callos, utilización una combinación hormonal de 2,0 mg/L de 2,4-D + 0,5 mg/L de BAP, con lo cual queda evidenciado que al existir un equilibrio hormonal auxina-citoquinina, existen mayores posibilidades de inducir la formación de callos embriogénicos.

CONCLUSIONES

Los mejores tratamientos para la desinfección de semillas de *Bursera graveolens* fueron utilizando 25 % de hipoclorito de sodio en un tiempo de inmersión de 15 minutos; y, 75 % de hipoclorito de sodio en un tiempo de inmersión de 5 minutos, los mismos que permitieron controlar la contaminación.

En la fase de desinfección e implantación *in vitro* de explantes de *Bursera graveolens* provenientes de campo, no se logró controlar la contaminación.

En el proceso de germinación de semillas de *Bursera graveolens*, el mayor porcentaje de germinación se obtuvo en el método de escarificación mecánica.

En la fase de multiplicación *in vitro* de los explantes provenientes del invernadero, los resultados no fueron satisfactorios, obteniéndose en el T1 (1,0 mg/l de BAP) el mejor crecimiento de los explantes con un promedio de 0,04 mm. de altura y 0,4 hojas formadas por explante.

En la fase de inducción de callos embriogénicos a partir de embriones obtenidos de semillas de *Bursera graveolens*, con la utilización de 1mg/l de 2,4-D y Dicamba (0,5 y 1 mg/l) en el

medio de cultivo de MS, se obtuvieron los mayores porcentajes de formación de callos embriogénicos con un 35,56% y un 53,33%, respectivamente.

En la fase de inducción de callos embriogénicos, con la aplicación de 0,1 mg/l de Dicamba y 1 mg/l de AIA, se logró los valores más altos (60%) en la germinación de embriones provenientes de semillas de *Bursera graveolens*.

AGRADECIMIENTOS

A las Autoridades de la Universidad Nacional de Loja y al Laboratorio de Micropropagación Vegetal, por el apoyo técnico y financiero brindado para la ejecución de la presente investigación.

BIBLIOGRAFÍA

- Aguirre, Z. y Delgado, T. 2005. *Vegetación de los bosques secos de Cerro Negro-Cazaderos, Occidente de la Provincia de Loja*. 9-24 pp. En: Vázquez M., J. Freire y L. Suárez (Eds.). 2005. *Biodiversidad en los bosques secos de la zona de Cerro Negro-Cazaderos, occidente de la provincia de Loja: un reporte de las evaluaciones ecológicas y socioeconómicas rápidas*. EcoCiencia, MAE y Proyecto Bosque Seco. Quito.
- Aguirre, Z. y Kvist, P. 2005. *Composición florística y estado de conservación de los bosques secos del sur-occidente del Ecuador*. Lyonia. Volumen 8 (2): 41-67pp.
- Aguirre, Z. y Kvist, P. 2005. *Composición florística y estado de conservación de los bosques secos del sur-occidente del Ecuador*. 35p.
- Aguirre, Z. y Kvist, P. 2009. *Composición florística y estructura de bosques estacionalmente secos en el sur-occidental de Ecuador, provincia de Loja, municipios de Macara y Zapotillo*. Arnaldoa 16 (2): 87 - 99, 2009.

- Álvarez, J., Rodríguez, J. y García, J. 2008. *Desinfección y selección de inóculo in vitro de Abies religiosa*. División de Ciencias Forestales, Universidad Autónoma Chapingo. 4pag.
- Bonilla, A. 2014. *Microinjertación in vitro de Erythrina edulis* M. Familia (Fabaceae). Universidad del Tolima. Facultad de Ciencias Programa de Biología. 63p.
- Chamba, P. 2014. *Estudio fenológico y análisis de calidad de semillas de tres especies forestales nativas, Promisorias del Bosque Seco, Provincia de Loja*. 135p.
- Chávez, E. y Namoc, J. 1993. *Informe: inventario forestal de bosques secos de la comunidad campesina de Andanjo – IDEAS Piura*.
- Conde, V. 2015. *Procesos biotecnológicos para la proliferación y enraizamiento in vitro de hualtaco Loxopterygium huasango Spruce ex Engl., proveniente del bosque seco de la provincia de Loja*. 125 p.
- Díaz, G. 2012. *Procesos morfogénicos in vitro de cedro (Cedrela montana moritz ex turcz.) Inducidos, a partir de semillas, para propagación y conservación de germoplasma*. Tesis Ing. Forestal. Carrera de Ingeniería Forestal. Universidad Nacional de Loja. 90p.
- Dinerstein, E., Olson, D., Graham, D., Webster, A., Primm, S., Bookbinder, M., y Ledec, G. 1995. *A Conservation Assessment of the Terrestrial Ecoregions of Latin America and the Caribbean*.
- Esquivel, E., Flores, A., Pérez, J., Jiménez, J. y Aguilar, M. A. 2009. *Mejoramiento genético y conservación de cultivos agrícolas y especies forestales*. CATIE.
- George, E. 1996. *Plant propagation by tissue culture; part 2*. In Practice. 2 ed. Exegetics Limited. England. 1361 p.
- Gómez, C., Uribe, M., Ríos, D. y Sánchez, M. 2006. *Inducción de callo embriogénico en Eucalyptus globulus Labill*. INCI. 31(10): 734-738p.
- Instituto de Ciencia y Tecnología Agrícolas. 2003. *Adaptación de un Método de Embriogénesis Somática Para La Regeneración de Embriones Asexuales de Pinabete (Abies guatemalensis Redher)*. 30p.
- Linares, P; Ponce, Á. 2005. *Tree community patterns in seasonally dry tropical forests in the Cerros de Amotape Cordillera, Tumbes, Perú*. Forest Ecology and Management 209:261-272.
- Luna, V. 2002. *“Inducción de respuesta morfogénica en Abies religiosa (Kunth) Schltdl. & Cham. y A. hickelii Flous & Gausen de la región del Cofre de Perote, Veracruz.”*. 72p.
- Minchala, J., Eras, V., Muñoz, L., Yaguana, M., Poma, R. y Delgado. G. 2013. *Propagación sexual y asexual de cuatro especies forestales nativas y promisorias de la Región Sur del Ecuador*. Revista CEDAMAZ. Vol.3. N°1. 15-17 p.
- Morillo, L. 2015. *Estudio Fenológico y Propagación de Bursera graveolens (Kunth) Triana & Planch En La Comunidad de Malvas, Cantón Zapotillo, Provincia de Loja*.
- Ortega, G., Soria, N., Taipe, M. y Reyes, C. 2013. *Inducción al proceso de callogenesis in vitro a partir de cotiledones y ejes embriogénicos de semillas maduras de Guarango (Caesalpinia spinosa) como coadyuvante para su preservación en el distrito metropolitano de Quito*. Laboratorio de Micropropagación Vegetal EPMMOP-Q. Sangolqui - Ecuador. 12 p.
- Patiño, M. 2011. *Evaluación de métodos de desinfección y medios de cultivos para la multiplicación in vitro de Guarango (Caesalpinia spinosa Mol. O. Kuntz)*. 99p.
- Patiño, M., Reyes, H., Mora, W., Cevallos, O., Escobar, A., Arévalo, M., Nieto, J. y Morante, J. 2013. *Propagación clonal*

- in vitro* de *Swietenia macrophylla* King (CAOBA). Ciencia y Tecnología. UTEQ. Quevedo-Ecuador. 8p.
- Poulsen, K; Stubsgaard, F. 1995. *Tres métodos de escarificación mecánica de semillas de testa dura. Técnicas para la escarificación de semillas forestales.* Serie Técnica. Manual Técnico, (36), 35p.
- Rebolledo, V., Aparicio, A. y Cruz, H. 2006. *Estudio Preliminar Para La Propagación in vitro de Dos Especies de Pinos.* Sistema de Información Científica Red de Revistas Científicas de América Latina, el Caribe, España y Portugal. 7p.
- Santamaría, A., Páez, T., Soria, N. y Reyes, C. 2012. *Establecimiento de un protocolo para la germinación in vitro e inducción a callo embriogénico de cedro (Cedrela montana) a partir de embriones zigóticos.*
- Sierra, R. (ed.). 1999. *Propuesta Preliminar de un Sistema de Clasificación de Vegetación para el Ecuador Continental.* Proyecto INFAN/GEF-BIRF y EcoCiencia, Quito. 194 pp.
- Tang, W. y Newton, R. 2004. *Increase of polyphenol oxidase and decrease of polyamines correlate with tissue browning in Virginia pi ne (Pinus virginiana Mill.).* Plant Science 167: 621-628pp.
- Torres, L., Suarez, I. y Gatti, K. 2013. *Propagación in vitro de Acacia mangium Willd. Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial Vol 11 No. 1 (81 - 87) Enero - Junio 2013.* 7p.
- Vacca, M., Bonomo, M., Avilés, Z. y Díaz, L. 2014. *Inducción de callos embriogénicos y formación de proembriones somáticos en Pterogyne nitens Tull "tipa colorada".*