

# EFECTO DEL ENCALADO EN LA MATERIA ORGÁNICA DEL SUELO EN UN SISTEMA AGROFORESTAL

## EFFECT OF WHITEWASHING ON THE SOIL ORGANIC MATTER IN AN AGROFORESTRY SYSTEM

Ramos-Álvarez, C.<sup>1</sup>; Obrador-Olán, J.J.<sup>2\*</sup>; García-López, E.<sup>2</sup>; Pérez-Flores, J.<sup>2</sup>; Carrillo-Ávila, E.<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Programa de Maestría del Campus Tabasco-Colegio de Postgraduados. <sup>2</sup>Campus Tabasco, Km. 3.5 Carr. Cárdenas-Huimanguillo, H. Cárdenas, Tabasco. C.P. 86500. <sup>3</sup>Campus Campeche, Carretera Federal Haltunchén-Edzná Km 17.5, C.P. 24450, Sihochac, Champotón, Campeche, Mexico.

\*Autor de correspondencia: obradoro@colpos.mx

### RESUMEN

Hasta hace poco el mayor volumen de caoba (*Swietenia macrophylla* King), provenía de selvas de América tropical, producto de explotación irracional que ocasionó la disminución de la especie en su hábitat natural. En la actualidad los sistemas agroforestales (SAFs) se perfilan como alternativa en la obtención productos maderables, atenuando la presión antropogénica ya que se establecen en suelos con baja aptitud agrícola, tales como suelos ácidos de Tabasco, México, a los cuales se ha buscado mejorar sus propiedades mediante enmiendas de cal dolomítica. Se estimó el efecto del encalado sobre la materia orgánica (MO) del suelo, y determinó el desarrollo de la caoba durante su primer año sobre un Acrisol húmico en un SAF caoba-cítricos de sabana. La caoba se plantó en marco real (6x6 m) entre limón persa (*Citrus latifolia* L.), aplicando un kilogramo de cal y fertilización (NPK). Se caracterizó la fertilidad del suelo a 0-30 cm de profundidad. El efecto del encalado sobre la MO se evaluó analizando muestras de cuatro perfiles (120 cm) a las que se determinó MO, Nitrógeno (N), Nitrógeno Inorgánico (Nin) y Carbono orgánico soluble (Cos). Los resultados mostraron efectos positivos del encalado sobre Cos y Nin en los primeros 40 cm. En el desarrollo de la caoba, se encontraron diferencias estadísticas en altura y diámetro.

**Palabras clave:** Carbono orgánico soluble, cal dolomítica, Acrisol húmico

### ABSTRACT

Until recently, the highest volume of mahogany (*Swietenia macrophylla* King) came from rain forests in tropical America, product of the irrational exploitation that caused the decrease of the species in its natural habitat. Currently, agroforestry systems (AFSs) are shaping up to be an alternative for obtaining timber-yielding products, alleviating anthropogenic pressure, since they are established in soils of low agricultural aptitude, such as acid soils in Tabasco, México; there have been measures taken to improve their properties through improvement with dolomite lime. The effect of whitewashing on the organic matter (OM) of the soil was estimated, and the development of mahogany trees on a humic Acrisol during their first year was determined, in a mahogany-citrus AFS on savannah. The mahogany was planted in royal frame (6x6 m) between Persian lime (*Citrus latifolia* L.), applying a kilogram of lime and fertilizer (NPK). The fertility of the soil was characterized at 0-30 cm of depth. The effect of whitewashing on the OM was evaluated by analyzing samples from four profiles (120 cm) regarding which the OM, nitrogen (N), inorganic nitrogen (Nin) and soluble organic carbon (Cos) were determined. The results showed positive effects of whitewashing on Cos and Nin in the first 40 cm. In the development of mahogany trees, statistical differences were found in height and diameter.

**Keywords:** soluble organic carbon, dolomite lime, humic Acrisol.

**Agroproductividad:** Vol. 9, Núm. 12, diciembre. 2016. pp: 28-33.

**Recibido:** julio, 2016. **Aceptado:** noviembre, 2016.

## INTRODUCCIÓN

**La caoba** (*Swietenia macrophylla* King) es una especie nativa de América tropical y una de las maderas preciosas más valiosas a nivel mundial, desafortunadamente su mayor volumen comercializado en los mercados mundiales, provienen de selvas tropicales, en donde se realiza una extracción irracional (Cerdán, 2007), lo que ha reducido las densidades en muchas áreas de distribución natural, promoviendo la desaparición de bosques completos (Kometter *et al.*, 2004). Los árboles de caoba en bosques tropicales se encuentran en densidades de alrededor de un árbol por cada 10 hectáreas (Marmillod *et al.*, 2007; Del Rio, 2012). Se considera que al menos 21% del área de distribución natural de la caoba se ha perdido a causa de la deforestación (Grogan *et al.*, 2010). El abastecimiento de la industria forestal de México se ha basado en la extracción selectiva de especies valiosas de los bosques tropicales, de manera que en la actualidad 0.87% del total de maderas son preciosas y la producción de caoba es cada vez menor (INEGI, 2007), estimándose una superficie de 1,470,000 ha de bosques tropicales que contienen caoba, ante la eliminación, entre 1960 y 1985, de 8,000,000 ha más (Argüelles, 1999). Para contrarrestar esta tendencia es necesario fomentar cultivos silvícolas que disminuyan la presión antropogénica sobre los bosques (Fredericksen y Putz, 2003). El nivel tecnológico que actualmente tiene la silvicultura le permite fijar, regenerar, gestionar, proteger los bosques, y cosechar sus productos de una manera racional y durable (2001; Montagnini, 2002; FAO, 2005). A nivel mundial se han establecido, plantaciones de caoba en 151,214 ha (Brown, 2000) las cuales requieren de un manejo silvícola, siendo las principales prácticas el control del barrenador de la meliáceas y la fertilización con elementos mayores (Pérez, 2009). La agroforestería es una alternativa importante, cuya práctica ancestral es socialmente aceptada (Moreno y Obrador, 2007) y tiene la ventaja de presentar transferencia continua de fertilidad, dado que los árboles aprovechan los recursos implicados en el manejo del cultivo y extraen nutrientes de estratos inferiores, los cuales se ponen a disposición a través de la hojarasca (Wilson, 2008). En Tabasco, México, la mayoría de las plantaciones forestales se encuentran en suelos ácidos (Acrisoles y Cambisoles), con bajos niveles de fertilidad natural; presentan altos contenidos de arcilla, buen drenaje interno, son deficientes en bases, propensos a la deficiencia de micronutrientes (Palma-López *et al.*, 2007) y a presentar toxicidad por aluminio (Al) el cual, en los suelos minerales bajo condiciones ácidas, es liberado como  $Al(OH)^{2+}$ ,  $Al(OH)^{2+}$  y  $Al(H_2O)^{3+}$ . Cuando la acidez ocurre en la superficie del suelo, el encalado por lo general corrige el problema, las cantidades y periodicidad de las aplicaciones dependerán de diversos factores entre los que destacan: la reactividad del suelo, la precipitación y la tolerancia del cultivo o plantación en cuestión (Duque-Vargas *et al.*, 1994). El Ca y Mg agregados con el encalado igualmente sirven de nutrimentos para las plántulas. Si, además de encalar se fertiliza con NPK el efecto es aún mejor, dado que a un pH más equilibrado todos los nutrimentos son más fácilmente disponibles. (Calvo-Alvarado *et al.*, 2008). En Tabasco no existe experiencia documentada en la determinación de dosis de aplicación de cal dolomítica para plantaciones forestales ni para nutrimentos mayores NPK. Sin embargo, se sabe que los suelos agrícolas tropicales son principalmente deficitarios de N y P y aquellos con pH menor de 5 presentan además deficiencias importantes de mi-

cronutrientes (Palma-López *et al.*, 2007). La fertilización que emplean los silvicultores en Tabasco consiste en suministrar básicamente N, P y K al momento de la siembra, mediante la colocación de una pastilla de lenta liberación al pie de cada árbol (CONAFOR, 2006). Esta pastilla tiene un peso de 10 g y su fórmula es 20-10-5 (NPK). Tomando en cuenta lo anterior, se estimó el efecto del encalado de un suelo Acrisol en el sistema agroforestal caoba-cítricos (*Citrus* sp.) determinando el efecto del encalado en la MO del suelo y variables del crecimiento.

## MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se realizó en el Ejido Villa Chontalpa, de Huimanguillo, Tabasco, México, (17° 39' 36" y 17° 55' 0" N; 93° 29' 45", 93° 51' 00" O). El principal uso del suelo corresponde a plantaciones de limón persa (*Citrus latifolia* T.), hule (*Hevea brasiliensis* Muell. Arg.), eucalipto (*Eucalyptus grandis* Hill) y piña (*Ananas comosus* L.) y al cultivo de los pastos húmedicola (*Brachiaria humidicola* (Rendle) S.) y chontalpo (*B. decumbens* Stapf), especies tolerantes a suelos ácidos (Murillo, 2009). El sitio constituye una antigua planicie fluvial erosionada, donde las corrientes erosivas han formado desniveles del paisaje que constituyen una serie de lomeríos de baja altitud (20 y 50 m). El clima del área de estudio se clasifica como (Am) con abundantes lluvias en verano. La temperatura media anual es de 26.2 °C, con media mensual máxima de 30.6 °C en mayo; la máxima y mínima absolutas alcanzan los 45 °C y 14 °C, respectivamente. El régimen de precipitación pluvial del clima Am se caracteriza por un total de caída de agua de 2290.3 mm anuales (INEGI, 2007). La Unidad de estudio y manejo de la plantación se realizó

en una parcela experimental con suelos Acrisol húmico (AChu), seleccionándose con base en estudios previos (INEGI, 2007; Palma-López *et al.*, 2007), observaciones de campo (barrenaciones de suelo) y entrevistas a productores interesados. La caoba se plantó el 21 de julio de 2011 entre los árboles de limón persa a 6×6 m, dejando una distancia de 3 m entre el limón y la caoba (Figura 1).

Las plantas de caoba fueron obtenidas del vivero de la CONAFOR de Villahermosa, Tabasco y las de limón fueron proporcionadas por el productor participante. Una vez plantada la caoba, se aplicó un kg de cal dolomítica compuesta por calcio 23.8%, magnesio 10.3%, con un valor neutralizante en relación al  $\text{CaCO}_3$  102.4% (alrededor de la planta en un radio aproximado de 70 cm), que es la cantidad que aplican los silvicultores de la zona a plantaciones forestales, y una dosis de fertilización (NPK) de 50 g de 17-34-30, que es la recomendada para esta planta y para los suelos ácidos de la región (Pérez, 2009).

**Caracterización del suelo en estudio:** inmediatamente después de la preparación mecánica del terreno (arado y dos pasos de rastra) se tomaron muestras a la profundidad 0-30 cm. Cada muestra estuvo compuesta por 15 submuestras. Se determinó: pH en agua relación 1:2, materia orgánica (MOS), textura, capacidad de intercambio catiónico (CIC), carbono orgánico soluble (COS), nitrógeno (N), fósforo Olsen (P), potasio (K), calcio (Ca) y magnesio (Mg), según metodología de la Norma Oficial Mexicana NOM-021-RECNAT-2000.

Las muestras de cada horizonte fueron llevadas al Laboratorio de Análisis de Suelos, Plantas y Aguas (LASPA) del Colegio de Postgraduados, para realizarles los análisis químicos que permitieron caracterizar el suelo en estudio (NOM-021-RECNAT-2000).

**Efecto del encalado en la MO del suelo, y en el crecimiento y desarrollo de la plantación:** para conocer el efecto del encalado en las propiedades químicas del suelo, en la fecha de la plantación Julio de 2012 y antes de encalar se abrieron cuatro perfiles a 120 cm de

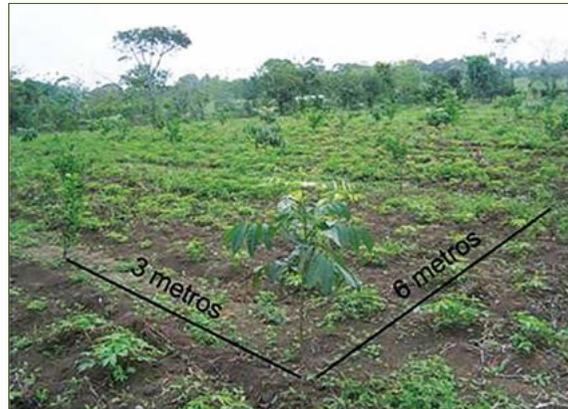
profundidad, en los cuales se muestreó considerando el método del monolito (Schlegel *et al.*, 2000; Gayoso *et al.*, 2002) con cubos metálicos de 10×10 cm de lado y 20 cm de fondo, abiertos en la parte superior e inferior. A partir de la superficie se tomó una muestra cada 20 cm obteniendo un total de 24 muestras (6 profundidades×4 perfiles), a cada una se le determinó MO, N total, N inorgánico ( $\text{NO}_3$ ,  $\text{NH}_4$ ,  $\text{NO}_2$ ) (NOM-021-RECNAT-2000) y carbono orgánico soluble (COS) (Calderón, 2008). En febrero de 2012, se abrieron otros cuatro perfiles en sitios

próximos a las plantas encaladas, realizándose el mismo tipo de muestreo, de tal manera que se tomó el mismo número de muestras y se realizaron los mismos análisis que a las obtenidas en el primer muestreo. Para evaluar el efecto del encalado en el crecimiento y desarrollo de la caoba se consideraron 30 plantas (por tratamiento; encalado y no encalado) cada una correspondió a una unidad

experimental a la que se midió, mensualmente y durante un año (Agosto 2011- Julio 2012) el diámetro a 20 cm de altura con un vernier electrónico ( $\pm 0.1$  mm), la altura con cinta métrica ( $\pm 0.1$  cm), registrándose también durante el mismo periodo el número de hojas (Schlegel y Gayoso 2001).

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los valores de N y MO fueron de 0.38% y 10.67%, Cos 1.4 (abs), los de CIC, K, Ca y Mg 5.93, 0.06, 0.82, 0.36 ( $\text{Cmol}_{(C)} \text{kg}^{-1}$ ), respectivamente y P-Olsen  $2.2 \text{ mg kg}^{-1}$  y pH 4.7. Los valores bajos de pH y los contenidos deficitarios de nutrimentos registrados en el suelo estudiado coinciden con diversos estudios realizados para suelos ácidos tropicales (Abat *et al.*, 2012), la interrelación que estos elementos tienen con la química del aluminio ( $\text{Al}^{3+}$ ) origina la formación de compuestos insolubles, en reacciones casi irreversibles (Vázquez *et al.*, 2009). Su disponibilidad, por efecto del encalado se explica porque, al elevarse el pH, se favorece el ambiente para la proliferación de la biota edáfica (fertilidad biológica), la cual, a contenidos altos de MO (caso del suelo en estudio) libera nutrimentos (fertilidad química) a través de la mineralización, además, la descomposición de la materia orgánica del suelo mejora la agregación y



**Figura 1.** Distribución en el pano de siembra de la caoba (*Swietenia macrophylla* King).

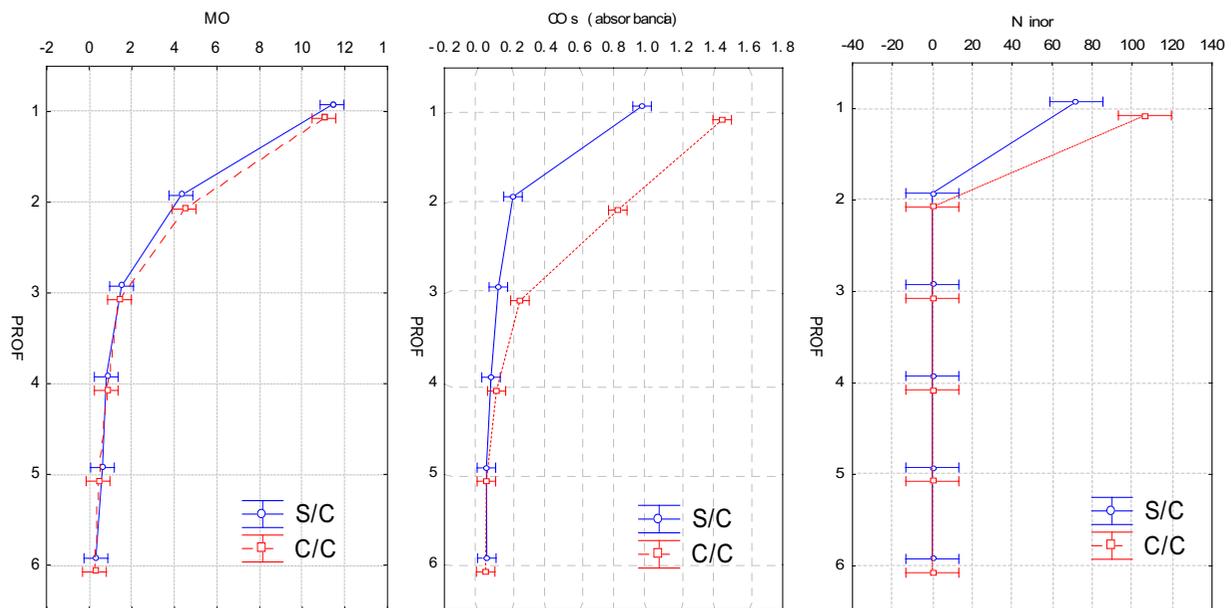
estabilidad de los agregados (fertilidad física) (Manna *et al.*, 2006).

En la Figura 2 (a, b y c), se muestra el comportamiento de la materia orgánica (MO), el carbono orgánico soluble (COs) y el nitrógeno inorgánico (Nin), respectivamente, del suelo en estudio; los dos primeros, presentaron los valores más altos en las dos primeras profundidades (independientemente del tratamiento), así como también diferencias estadísticas entre sí ( $p < 0.05$ ) y con las otras cuatro profundidades, las cuales son estadísticamente similares ( $p > 0.05$ ). El Nin presentó diferencias estadísticas sólo entre la primera y las demás profundidades.

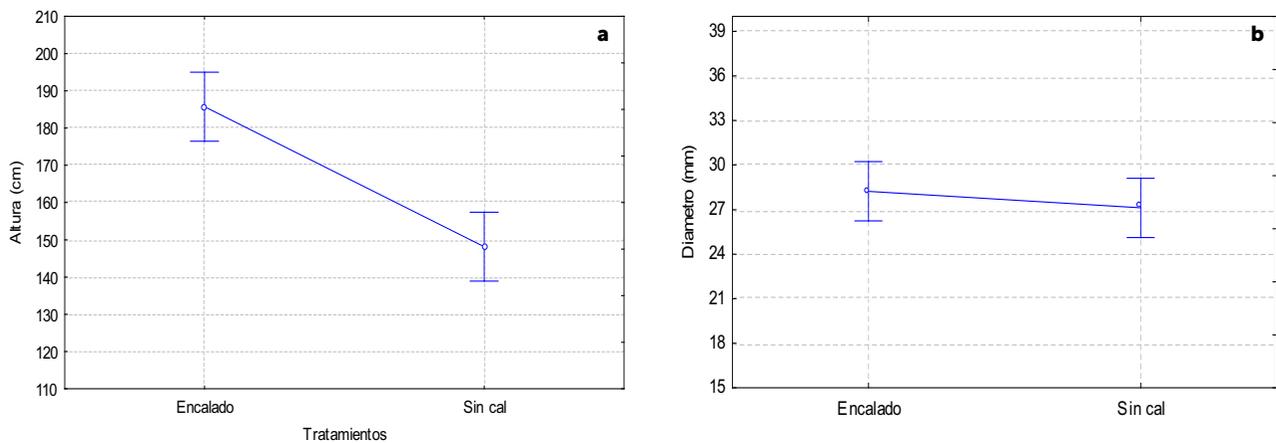
El tratamiento con cal mostró valores más altos y diferencias estadísticas ( $p < 0.05$ ) sólo para COs en las tres primeras profundidades y para la primera en el caso del Nin. En diversos estudios relacionados con la fertilidad vertical se ha encontrado que los valores más altos de los parámetros MO, COs y Nin, que están más correlacionados con los aportes orgánicos, se ubican en la parte superficial del suelo (Abera *et al.*, 2012), como es el caso de los altos contenidos que dichos parámetros presentaron en las dos primeras profundidades; lo anterior se atribuye a una continua contribución de hojarasca y la actividad que realizan la macro y microfauna edáfica (Attwil y Adams, 1993, Lummer *et al.*, 2012). Los contenidos altos de COs en las tres primeras profundidades y de Nin en la primera, detectados en la parcela tratada con cal,

revelan que estos dos parámetros son buenos indicadores para estimar cambios en la velocidad de mineralización de los materiales orgánicos por efecto del encalado (Curtin *et al.*, 1998; Fuentes *et al.*, 2006), aplicación de fertilizantes (Campbell *et al.*, 1994) o laboreo (Doran *et al.*, 1998). En cualquiera de las tres intervenciones antrópicas señaladas, la actividad microbiana se ve favorecida por la acentuación de las condiciones edáficas (incremento de pH, de la relación C/N y de la aireación). Una alta tasa de mineralización, de manera general, favorece la fertilidad de los suelos agrícolas (Havlin *et al.*, 1999; Fageria y Baligar, 2008). Estudios para conocer la fertilidad vertical realizados por Pascual (2013) para suelos arcillosos con plantaciones de cacao mostraron disminución de MO, COs y Nin conforme incrementaba la profundidad del suelo; sin embargo, con aplicaciones de cal dichos parámetros se vieron favorecidos (Zimmermann *et al.*, 2007).

En cuanto al crecimiento de la caoba, medido como altura (a) y diámetro (b), sólo el diámetro no mostró diferencia estadística significativa ( $p = 0.4305$ ), su valor medio general fue de 2.8 cm. La Figura 3a muestra el crecimiento, en altura, de la caoba con los dos tratamientos, observando alta diferencia estadística significativa a favor del tratamiento de encalado, que tuvo un valor medio de crecimiento de 185.7 cm, contra 148.2 que presentó en altura el tratamiento no encalado. El valor medio general del diámetro (28 mm) coincide con los



**Figura 2.** Comportamiento de: a) MO, b) COs y c) Ni en un Acrisol, con dos tratamientos: sin (S/C) y con (C/C) aplicación de cal dolomítica y seis profundidades (1: 0-20, 2: 20-40, 3: 40-60, 4: 60-80, 5: 80-100, 6: 100-120 cm). 2a).  $F(5, 36) = 0.2177$ ,  $p = 0.9526$ . Las barras horizontales indican 0.95 de intervalo de confianza. 2b)  $F(5, 36) = 50.94$ ,  $p = 0.0000$  barras horizontales indican 0.95 de intervalo de confianza. 2c)  $F(5, 36) = 50.94$ ,  $p = 0.0000$  Las barras horizontales indican 0.95 de intervalo de confianza.



**Figura 3.** Comportamiento del crecimiento y desarrollo de la Caoba durante un periodo de 12 meses. a) Altura, b) Diámetro. 3a)  $F(1, 58)=32.970, p=0.0000$ . Las barras verticales indican 0.95 de intervalo de confianza. 3b)  $F(1, 58) 0.6301, p=0.4305$ . Las barras verticales indican 0.95 de intervalo de confianza.

reportados por otros autores, que indican que el intervalo de crecimiento en grosor está entre 20 mm a 40 mm planta año<sup>-1</sup> (Romero, 1983; Evans, 1984; Gutiérrez 1998). Para suelos de la región y con aplicaciones de cal, Pérez (2009) encontró un crecimiento diamétrico de alrededor de 3.1 cm año<sup>-1</sup>. A pesar de que el crecimiento en altura de la caoba encalada fue mayor, 185.7 contra 148.2 cm, ambos valores se ubicaron en el intervalo de crecimiento reportado por otros autores (0.80 hasta 1.80 m año<sup>-1</sup>), respectivamente (Romero, 1983; Evans, 1984; Mayhew y Newton 1998; Gutiérrez 1998).

## CONCLUSIONES

**El encalado** tuvo efectos positivos en la mayoría de los parámetros químicos estudiados, de manera general en las profundidades 0-20 cm y 20-40 cm fue donde se observó dicho efecto. El CO<sub>2</sub> y el Nin son buenos indicadores para estimar el efecto del encalado, ya que se observó en éstos, mejor respuesta que la registrada por la MO. El crecimiento de las plantas de caoba se vio favorecidas por las aplicaciones de cal dolomítica, registrando diferencias estadísticas en altura y número de hojas, excepto el diámetro.

## LITERATURA CITADA

Abera G., Wolde-Meskel E., LR Bakken. 2012. Carbon and nitrogen mineralization dynamics in different soils of the tropics amended with legume residues and contrasting soil moisture contents. *Biol. Fertil. Soils* 48: 51-66.

Argüelles A. 1999. Diagnóstico caoba Mesoamérica México. Diagnóstico de la caoba (*Swietenia macrophylla* King), México. CCT-PROARCA/CAPAS. México. 50 p.

Brown C. 2000. Perspectivas mundiales del suministro futuro de madera procedente de plantaciones forestales. Documento de

trabajo (GFPOS/WP/03) elaborado en el contexto del Estudio de las Perspectivas Mundiales de los Productos Forestales relativo a 1999. FAO. Roma Italia. 176 p.

Calderón B.V. 2008. Captura de carbono en un sistema agroforestal cedro (*Cedrela odorata* L.) banano (*Musa* sp.) en Tabasco, México. Tesis Maestría en Ciencias, Colegio de Postgraduados Campus, Tabasco. 115 p.

Calvo-Alvarado J., Arias A.D., Jiménez R.C., Solano M.J.C. 2008. Efecto de cinco sustratos en el contenido foliar de nutrientes y crecimiento inicial de tres especies forestales empleadas en Mesoamérica. *Kurú: Revista Forestal (Costa Rica)* 5(14).

Campbell C.A., Jame Y.W., Akinremi O.O., Beckie H. 1994. Evaluating potential nitrogen mineralization for predicting fertilizer nitrogen requirements of long-term field experiments. En: *Soil testing: prospects for improving nutrient recommendations* Havlin JL, Jacobson JS (eds) Soil Science Society of America, Madison. p 81-100p.

Cerdán C. 2007. La Tala ilegal de caoba (*Swietenia macrophylla*) en la amazonía peruana y su comercialización al mercado exterior. AIDSESP (Asociación Interétnica de Desarrollo de la Selva Peruana). Lima, Perú. 53 p.

CONAFOR. 2006. Guía para la elaboración de la propuesta técnica forestal y ambiental. México.

Curtin D., Campbell C.A., Jalil A. 1998. Effects of acidity on mineralization: pH dependence of organic matter mineralization in weakly acidic soils *Soil Biol. Biochem.* 30(1): 57-64.

Del Rio B.M.L. 2012. Extracción no perjudicial de las poblaciones de *Swietenia macrophylla* King. (caoba) para el cupo nacional de exportación 2012. Lima Perú. 22 p.

Doran J.W., Elliot E.T., Paustian K. 1998. Soil microbial activity, nitrogen cycling, and long-term changes in organic carbon pools as related to fallow tillage management. *Soil Till. Res.* 49: 3-18.

Duque-Vargas I., Pandey S., Granados G., Ceballos H., Knapp E. 1994. Inheritance of tolerance to soil acidity in tropical maize. *Crop. Sci.* 34.

Evans J. 1984. *Plantation forestry in the tropics*. Oxford Univ. Press. New York. 472 p.

Fageria NK, Baligar VC (2008) Ameliorating soil acidity of tropical Oxisols by liming for sustainable crop production. *Advances in agronomy* 99: 345-399.

- FAO. 2005. Evaluación de los recursos forestales mundiales 2005. FAO Forestry Paper 147. Rome, Italy. (<http://www.fao.org/forestry>). 181 p.
- Fredericksen T.S., Putz E.F. 2003. Silvicultural intensification for tropical forest conservation. Biodiversity and Conservation. Kluwer Academic Publishers. Printed in Netherlands 12: 1445–1453.
- Fuentes J.P., Bezdicsek D.F., Flury M., Albrecht S., Smith J.L. 2006. Microbial activity affected by lime in a long-term no-till soil. *Soil & Tillage Research* 88: 123–131.
- Gayoso J.J., Guerra Y.D., Alarcón D. 2002. Contenido de carbono y funciones de biomasa en especies nativas y exóticas. Proyecto FONDEE Universidad Austral de Chile. Valdivia, Chile. 157 p.
- Grogan J., Blundell A.G., Matthew L.R., Youatt A., Gullison R.E., Martínez M., Kometter R., Lentini M., Rice R.E. 2010. Over-harvesting driven by consumer demand leads to population decline: big-leaf mahogany in South America. *Conservation Letters* Wiley Periodicals, Inc. 3: 12–20p.
- Gutiérrez R. 1998. Plan de manejo de las plantaciones de Lancetilla: propuesta de zonificación. ESNACIFOR. Siguatepeque, Honduras.
- Havlin J.L., Beaton J.D., Tisdale S.L., Nelson W.L. 1999. Soil Fertility and Fertilizers, 6th Edition. Upper Saddle River, N.J: Prentice-Hall, Inc. 499 p.
- INEGI. 2007. Sistema Nacional de Estadística e Información Geográfica. México. Consultado 24 enero. 2013
- Kometter R.F., Martínez M., Blundell A.G., Gullison R.E., Steininger M.K., Rice R.E. 2004. Impacts of unsustainable mahogany logging in Bolivia and Peru. *Ecol & Soc* 9.
- Lummer D., Scheu S., Butenschon O. 2012. Connecting litter quality, microbial community and nitrogen transfer mechanisms in decomposing litter mixtures. *Oikos* 121: 1649–1655.
- Manna M.C., Swarup A., Wanjari R.H., Mishra B., Shahi D.K. 2007. Long-term fertilization, manure and liming effects on soil organic matter and crop yields. *Soil & Tillage Research* 94: 397–409.
- Marmillod D., De la Rosa T., Panduro M.Y., Cornejo A.C., Correa D.V. 2007. Diagnostico para evaluar estrategias de manejo para la caoba. Documento técnico No. 18. Proyecto Diversidad Biológica de la Amazonía Peruana–BIODAMAZ. Perú. 28 p.
- Mayhew J.E., Newton A.C. 1998. *Silviculture of Mahogany*. CABI Publishing series. CABI, Wallingford, Reino Unido. 226 p.
- Montagnini F. 2002. Tropical plantations with native trees: their function in ecosystem restoration. En: Reddy MV (ed) *Management of Tropical Plantation- Forests and Their Soil Litter System*. Litter, Biota and Soil-Nutrient Dynamics Science Publishers. Enfield.
- Moreno M.G., Obrador O.J.J. 2007. Effects of trees and understorey management on soil fertility and nutritional status of holm oaks in Spanish dehesas *Nutr Cycl Agroecosyst* 78:253–264.
- NOM-021. 2000. NORMA Oficial Mexicana NOM-021-RECNAT-2000, que establece las especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos. Estudios, muestreo y análisis. <http://www.semarnat.gob.mx/NOM-021-RECNAT-2000.pdf>
- SIAP. 2010. Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera.
- Palma-López D.J., Cisneros D.J., Moreno C.E., Rincón-Ramírez J.A. 2007. Suelos de Tabasco: su uso y manejo sustentable. Colegio de Postgraduados-ISPOTAB-FUPROTAB. Villahermosa, Tabasco, México.
- Pascual C.G. 2013. Evaluación del agroecosistema cacao (*Theobroma cacao* L.) y caña de azúcar (*Saccharum* spp.) a través de indicadores de calidad del suelo. Tesis de maestría en ciencias del Colegio de Postgraduados. H. Cárdenas Tabasco. 115 p.
- Pérez C.P. 2009. Fertilización NPK y demanda nutrimental de cuatro especies forestales en fases temprana de crecimiento. Tesis de maestría del Colegio de Postgraduados. H. Cárdenas, Tabasco. 70 p.
- Romero J.O., 1983. Crecimiento de dos plantaciones de caoba (*Swietenia macrophylla*) y su regeneración natural vista en Lancetilla. Tesis Ing. Forestal. CURLA-UNAH. La Ceiba, Atlántida.
- Schlegel B., Gayoso J., Guerra J. 2000. Medición de la capacidad de captura de carbono en bosques de Chile y promoción en el mercado mundial: Manual de procedimientos: Muestreos de biomasa forestal. Valdivia, Chile. Universidad Austral de Chile. 24 p.
- Schlegel B., Gayoso J. 2001. Manual de procedimientos para inventarios de carbono en ecosistemas forestales. Valdivia, Chile.
- Vázquez M., Terminiello A., Duhour A., García M., Guilino F. 2009. Efecto del encalado sobre propiedades físicas de un suelo de la Pradera Pampeana. Asociación con propiedades químicas. *Ciencia del Suelo* 27(1): 67-76.
- Wilson B.Y.V. 2008. Dinámica nutrimental y crecimiento de cedro (*Cedrela odorata* L.) y teca (*Tectona grandis* L.f) en un suelo Fluvisol del estado de Tabasco. Tesis de Maestría en Ciencias, Colegio de Postgraduados. H. Cárdenas Tabasco. 99 p.
- Zimmermann M., Leifeld J., Schmidt M.W.I., Smith P., Fuhrer J. 2007. Measured soil organic matter fractions can be related to pools in the Roth C model. *European Journal of Soil Science* 58: 658–667.