



COLEGIO DE POSTGRADUADOS
INSTITUCIÓN DE ENSEÑANZA E INVESTIGACIÓN EN CIENCIAS AGRÍCOLAS

CAMPUS TABASCO

PROGRAMA PRODUCCIÓN AGROALIMENTARIA EN EL TRÓPICO

ENCALADO EN UN SISTEMA AGROFORESTAL (SAF) CAOBA (*Swietenia macrophylla* King.)–LIMÓN PERSA (*Citrus latifolia* T.) EN UN ACRISOL DE LA SABANA DE HUIMANGUILLO, TABASCO

CARLOS RAMOS ALVAREZ

T E S I S

PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL
PARA OBTENER EL GRADO DE:

MAESTRO EN CIENCIAS

H. CARDENAS, TABASCO

2013

La presente tesis, titulada: **Encalado en un sistema agroforestal (SAF) caoba (*Swietenia macrophylla* King)–limón persa (*Citrus latifolia* T.) en un Acrisol de la sabana de Huimanguillo**, realizada por el alumno: Carlos Ramos Alvarez, bajo la dirección del Consejo Particular indicado, ha sido aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

MAESTRO EN CIENCIAS
PRODUCCIÓN AGROALIMENTARIA EN EL TRÓPICO

CONSEJO PARTICULAR

CONSEJERO:




DR. JOSÉ JESÚS OBRADOR OLÁN

ASESOR:




DR. JULIÁN PÉREZ FLORES

ASESORA:



DRA. EUSTOLIA GARCÍA LÓPEZ

ASESOR:



DR. EUGENIO CARRILLO ÁVILA

H. Cárdenas, Tabasco, 31 Julio de 2013.

ENCALADO EN UN SISTEMA AGROFORESTAL (SAF) CAOBA (*Swietenia macrophylla* King.)–LIMÓN PERSA (*Citrus latifolia* T.) EN UN ACRISOL DE LA SABANA DE HUIMANGUILLO, TABASCO

Carlos Ramos Alvarez, M.C.

Colegio de Postgraduados, 2013

DEDICATORIA

A **Dios Padre** por guiarme y enseñarme un camino de luz y de esperanza.

A mis padres **José del Carmen** y **María del Carmen** que con su amor, sus consejos y su ejemplo de vida, siempre me apoyaron y me orientaron a seguir por el camino del bien.

A mi hermana **Marcela** y a toda su familia que con su amistad, compañía y apoyo moral fortalecieron mi vida.

A mi esposa **Rafaela** que con su amor, paciencia y comprensión, ha estado conmigo en los momentos más difíciles y más felices de mi vida.

A mis hijos **Citlaly**, **Carlos Elián** y **Jhania Lizzet** por su amor, cariño y comprensión por el tiempo que no he pasado con ellos.

A mis compañeros de la generación PROPAT 2011 que de alguna manera me brindaron su amistad y estuvieron conmigo en las buenas y en las malas durante mi estancia en el colegio.

AGRADECIMIENTOS

A Dios por darme la oportunidad de vivir, por ser el todo que me mueve, me impulsa, me ayuda a crecer día a día, y quien me da la inteligencia y constancia para seguir adelante.

Al CONACYT por darme el apoyo económico durante la realización de mis estudios de postgrado.

Al Colegio de Postgraduados, Campus Tabasco por haberme permitido realizar mis estudios de Maestría en Ciencias en producción Agroalimentaria en el Trópico.

Al Dr. José Jesús Obrador Olán, por su amistad, apoyo, sugerencias y confianza durante la realización de mi investigación.

Al Dr. Julián Pérez Flores, por ser partícipe de esta investigación, por sus comentarios y sugerencias sobre mi trabajo de tesis.

A la Dra. Eustolia García López, por haberme brindado un espacio de trabajo para terminar mi trabajo de tesis, por ser parte de esta investigación y a la valiosa colaboración en la corrección de estilo del documento.

Al Dr. Eugenio Carrillo Ávila, por sus sugerencias en el análisis de los datos de esta investigación.

A mis compañeros de Laboratorio de Suelos Planta y Agua (LASPA); Tec. Esteban Osorio G. Tec. Martha Patricia Hernández. Y Tec. Bernardo Gómez y en especial al Dr. Armando Guerrero Peña por haberme brindado un espacio y su confianza para realizar mi trabajo de tesis. Muchas gracias.

Al Tec. Mario Domínguez de la Cruz. Por su amistad y apoyo brindado en esta investigación.

A mis compañeros de generación (PROPAT 2011), por haber compartido y vivido juntos esta etapa de superación en nuestras vidas.

A los profesores de la Maestría PROPAT por ser parte de mi formación profesional.

Agradecimiento a la LPI-2 Agroecosistemas Sustentables del Colegio de Postgraduados por el apoyo técnico recibido.

CONTENIDO

DEDICATORIA.....	iii
AGRADECIMIENTOS	iv
LISTA DE CUADROS Y FIGURAS	vii
I. INTRODUCCIÓN GENERAL	1
1.1. REVISIÓN DE LITERATURA.....	1
1.1.1. Recursos Forestales	1
1.1.2. Los Sistemas Agroforestales (SAFs)	3
1.1.3. La caoba (<i>Swietenia macrophylla</i> King)	5
1.1.4. Limón persa (<i>Citrus latifolia</i> L.)	8
1.1.5. Suelos ácidos y su encalado.....	10
1.1.6. Los suelos ácidos de la sabana de Huimanguillo	13
1.2. OBJETIVOS E HIPÒTESIS.....	16
1.2.1. OBJETIVO GENERAL	16
1.2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	16
1.2.3. HIPÓTESIS.....	17
1.3. LITERATURA CITADA.....	18
CAPÍTULO I. ENCALADO EN EL SISTEMA AGROFORESTAL CAOBA (<i>Swietenia macrophylla</i> King)-LIMON PERSA (<i>Citrus latifolia</i> L.) EN FASE TEMPRANA DE CRECIMIENTO EN LA SABANA DE HUIMANGUILLO, TABASCO	25
RESUMEN	26
ABSTRACT	27
INTRODUCCIÓN	27
MATERIALES Y MÉTODOS.....	33
RESULTADOS.....	37
DISCUSIÓN	39
LITERATURA CITADA	45

LISTA DE CUADROS Y FIGURAS

Cuadro 1. Descripción del perfil edáfico en el SAFs caoba-limon. (Localización: N 17°38'18", W 093°29'55'. Relieve: convexo. Pendiente: -2%. Drenaje normal. Material parental: terciario. Flora: mulato, cocohite, privilegio, maleza, etc. Manto freático: 160cm. Drenaje del perfil: drenado).....	58
Figura 1. Disposición topológica del limón persa (<i>Citrus latifolia</i> T.) y caoba (<i>Swietenia macrophylla</i> King.) en la parcela de estudio.	59
Figura 2. Perfil edáfico en el sistema agroforestal caoba-limón persa en la Sabana de Huimanguillo, Tabasco.	59
Figura 3. El efecto del encalado en el contenido de materia orgánica (MO), carbono orgánico soluble (COs), y nitrógeno inorgánico (Nin), a seis diferentes profundidades en un suelo Acrisol. S/C. Sin cal, C/C. Con cal, para MO,COs y Nin.....	61
Figura 4. El efecto del encalado en el contenido de Calcio (Ca), Magnesio (Mg) y Potasio (K), a seis diferentes profundidades en un suelo Acrisol. S/C. Sin cal, C/C. Con cal, para Ca,Mg y K.....	62
Figura 5. El efecto del encalado en el contenido de pH, fosforo (P), zinc (Zn) y manganeso (Mn), a seis diferentes profundidades en un suelo Acrisol. S/C. Sin cal, C/C. Con cal, para pH, P, Zn y Mn.....	64
Figura 6. Efecto del encalado en el crecimiento y desarrollo de la Caoba (<i>Swietenia macrophylla</i> King.) después de un año de la aplicación. a) Altura, b) Diámetro y c) Números de hojas.....	66
Figura 7. Efecto del encalado en la densidad de longitud de raíces finas (<3mm), en los tratamientos S/C. Sin cal, C/C. Con cal después de un año.....	67

I. INTRODUCCIÓN GENERAL

1.1. REVISIÓN DE LITERATURA

1.1.1. Recursos Forestales

En México se encuentran prácticamente todos los tipos de vegetación terrestre conocidos. Estos ocupan 140 millones de ha, extensión equivalente al 73% del territorio nacional. De ésta superficie son los matorrales xerófilos 41%, los bosques templados 24% y los bosques tropicales (selvas) 23%. Los bosques poseen una de las más ricas y amplias variedades de flora del mundo (CONAFOR, 2009), pero son los ecosistemas que más se degradan año con año.

La degradación de los recursos forestales se ha agudizado en las últimas décadas. En 1993, México contaba con 68, 720,000 ha de bosques. Para el 2002, se reportaron 163000 ha en pérdidas lo que representa una tasa simple de deforestación de 351,445 ha año⁻¹, pero si se considera la pérdida de tierras boscosas, la tasa total de deforestación es de 401000 ha año⁻¹(SEMARNAT-UNAM, 2001; SEMARNAT, 2003). A pesar de que en los últimos 40 años científicos y ambientalistas han alertado sobre la pérdida de la masa forestal en México, las pérdidas anuales aumentaron de 202,000 ha en 1990 a 510,000 ha en 2003 (SEMARNAT, 2003; SEMARNAT, 2005).

El incremento en la deforestación no es exclusivo de México, ocurre en todos los países, principalmente en los que se encuentran en vías de desarrollo o son muy pobres.

El aceleramiento de deforestación fue notorio a partir de la década de los 30', y está relacionado con el rápido crecimiento demográfico y las políticas agrarias (Mas y Fernández, 2003).

Los factores que inciden en la deforestación son los desmontes con fines agropecuarios (94%), el cambio de uso de suelo (1.3%), los incendios forestales (2.1%), las plagas y enfermedades (0.5%) y la tala ilegal (1%) (Cedeño, 1999). Otras actividades que demandan terrenos forestales son la construcción de caminos, líneas de transmisión de energía eléctrica, conducción de agua potable, desarrollo turístico y crecimiento industrial y urbano (Nolasco, 1999).

En la mayoría de los casos el área deforestada origina sistemas de producción no sustentables en términos socio-ambientales y económicos. Sus efectos son muy negativos e incluyen elevados niveles de erosión, emisión de gases que contribuyen al efecto invernadero, pérdida de biodiversidad y erosión cultural, entre otros. La búsqueda de sistemas de producción agropecuaria más apropiados en términos socio-ambientales es uno de los grandes desafíos de las ciencias agrarias.

Tabasco cuenta con un clima propicio para el desarrollo de plantaciones forestales y tierras aptas para alcanzar una superficie de alrededor de un millón de hectáreas. El desarrollo de especies forestales de rápido crecimiento se ve favorecido por los altos niveles de precipitación pluvial que se distribuyen durante casi todo el año, temperatura media anual de 26°C y una buena infraestructura carretera que permite el acceso rápido y fácil a las plantaciones (JPC, 2004).

Sin embargo, las plantaciones forestales tienen un periodo de retorno de al menos ocho años (Rodríguez, 2012), lo que no representa una buena opción para productores que cuentan con superficies pequeñas. Contrariamente, los sistemas agroforestales (SAFs) con cultivos anuales son una excelente opción, ya que permiten ingresos varias veces al año (Nair y Graetz, 2004), conservando e incluso mejorando las bondades de los sistemas forestales (Sotomayor *et al.*, 2008).

1.1.2. Los Sistemas Agroforestales (SAFs)

Existen muchas definiciones de Sistema Agroforestal (SAF) pero ninguna recoge la riqueza o diversidad de componentes y conceptos que éstos engloban. Leakey (1996) define SAFs como “sistemas dinámicos y ecológicos de gestión de los recursos naturales que, a través de la integración de árboles en el sistema agrario, diversifican y sostienen la producción de los agricultores, aumentando los beneficios sociales, económicos y ambientales”. Incluyen diversas prácticas que varían desde las formas simples de la agricultura migratoria, hasta los sistemas complejos de intercultivos de setos vivos y otros. En estos sistemas se consideran densidades de árboles que varían dependiendo de las especies de cultivo, entre las que destacan: *Faidherbia albida*, que está ampliamente distribuida en los campos Sahelianos de la sabana sudanesa (áfrica), el encino (*Quercus ilex* L.) de las dehesas españolas o montados portugueses con pastos o cultivos anuales (trigo o cebada), hasta los huertos caseros muy densos y multiestratificados de los trópicos húmedos (Nair, 1993; Moreno *et al.*, 2007).

Los SAFs son sistemas de producción que consideran la integración de especies anuales y perennes o pastos, y maderables además de animales, que se suceden a través del tiempo y de donde se obtienen productos a corto, mediano y largo plazo. Han sido clasificados de varias formas tomando en consideración factores como:

- Su estructura en el espacio y el tiempo
- Su importancia
- Su diseño a través del tiempo
- Su importancia relativa
- La función de sus componentes
- Los objetivos de la producción
- Las características sociales y económicas

Otras variables que se consideran son los productos que pueden obtenerse, así como la combinación de los elementos que los integran (Combe y Budowski, 1979).

Algunas otras clasificaciones dan prioridad a la escala y objetivos de la producción. En el manejo de un SAF se buscan alternativas como disminuir el uso de insumos, mejorar la fertilidad de los suelos e ingresos de los productores, y asociaciones entre especies que permitan interrelaciones positivas.

Los SAFs son sistemas ambientalmente eficientes (Duprazet *al.*, 1999), tanto a nivel local (e.g. reducen la lixiviación de nutrientes, disminuyen los riesgos de erosión), como global (son sumideros de CO₂, incrementan la biodiversidad...). Su eficiencia se debe a su mayor complejidad, tanto aérea como subterránea (doble, triple o múltiple sistema radicular), que hace que el uso de los recursos disponibles sea más eficiente que en

monocultivos o plantaciones puras, lo que los hace, además de ambientalmente recomendables, económicamente rentables (Gordon y Newman, 1997).

Las ventajas de los SAF son múltiples y están encaminadas al incremento de la sustentabilidad de los sistemas agrícolas. Mejoran el ambiente y son nichos importantes para diferentes especies de animales entre los que destacan las aves (Córdova, 2007; Callebaut, 2008) pero, sobre todo, funcionan como sumideros de Carbono, ya que incorporan materiales orgánicos al suelo a través de sus raíces, hojas, frutos, flores y tallos. Para el caso de las especies maderables, el uso de SAF permite la estabilidad del carbono por periodos de tiempo más prolongados. En lo posible, un SAF debe favorecer la conservación de especies locales. Las principales ventajas que presentan las especies nativas son los altos precios de sus maderas en los mercados nacionales e internacionales. En el trópico mexicano se localizan varias de las maderas más preciadas a nivel mundial: caracolillo, cedro, barí y caoba, las cuales a pesar de su importancia, han sido poco estudiadas (Gómez *et al.*, 2006).

1.1.3. La caoba (*Swietenia macrophylla* King.)

La caoba (*Swietenia macrophylla* King. Meliaceae) produce una de las maderas más conocidas y apreciadas del mundo. Se comercializa desde hace más de 400 años (Vos 1988, Gillies *et al.*, 1999). Su crecimiento, para ser tropical, es lento, pero tiene características favorables para plantaciones, entre las que destacan la capacidad de producir madera de aserrío en turnos de rotación de 30 a 40 años, alcanzar una altura de hasta 40 m y diámetro a la altura de pecho (Dap) de hasta 1.75 m, el tronco es recto,

las ramas ascendentes y gruesas, su copa redondeada y densa con hojas compuestas, dispuestas en espiral (Pennington y Sarukan, 1998).

La Caoba es originaria de América, donde su distribución natural es amplia y va desde la región Atlántica del sureste de México hasta Colombia, Venezuela, Ecuador, Perú y el sur de la cuenca del Amazonas en Bolivia y Brasil. En México se desarrolla favorablemente en bosques: tropicales perennifolios, tropicales caducifolios, subcaducifolios, de galerías y de encinos (*Quercu* sp); en forma natural se le encuentra en los estados de Campeche, Chiapas, Guerrero, Jalisco, Oaxaca, Puebla, Quintana Roo, Sinaloa, Tabasco, Veracruz y Yucatán (CONAFOR, 2004; Pennington y Sarukhán, 2005).

En Tabasco abarcaba amplias zonas de selva tropical pero a partir de 1900, se redujo su disponibilidad al grado que en la actualidad es difícil encontrar ejemplares adultos en los vestigios de selva que subsisten (West *et al.*, 1985; Barrosa *et al.*, 1992). La destrucción de este valioso recurso y la demanda de maderas preciosas, han propiciado el interés gubernamental y privado por el establecimiento de plantaciones de caoba y otras especies forestales en el Estado.

En sistemas de asociación con otras especies forestales, la caoba se muestra poco competitiva (es una especie halófila), además, los daños inferidos por el barrenador de las meliáceas (*Hypsipyla grandella*) en sus primeros cuatro años de vida afectan de manera importante su crecimiento y desarrollo (Menalled *et al.* 1998). Bellow y Nair (2003) indican que la caoba presenta variaciones estacional es como bajos índices de área foliar (LAI), asociados a periodos de pérdida de hojas durante la estación seca,

por lo que es decisivo el control oportuno de dicha plaga durante las primeras etapas de desarrollo, así como evitar el exceso de sombra.

El incremento en altura y diámetro para plantas de caoba es variable, ha sido reportado desde 0.80 hasta 1.80 m, y de 2 a 4 cm por año, respectivamente (Romero, 1983; Evans, 1984; Navarro y Hernández, 1998; Gutiérrez 1998). Mayhew y Newton (1998) mencionan que en países como Costa Rica, Honduras, Ecuador y Perú se han registrado incrementos en diámetro de alrededor de 2 cm por año y, en ocasiones, crecimientos sostenidos de hasta 3 cm, en altura varía típicamente entre 1 y 2 m por año.

Uno de los insumos más costosos es el fertilizante. La fertilización depende de la relación entre la demanda nutrimental de la especie cultivada, el suministro de nutrientes del suelo y la eficiencia de los fertilizantes, estos parámetros son dependientes de características intrínsecas de cada sitio (clima, suelo, etc.), razón por la que es común encontrar diferentes recomendaciones para la misma especie en el mismo estadio de crecimiento (Pérez, 2009).

Para caoba, Fierros *et al.* (1999) recomiendan fertilizar 15 a 30 días después de la plantación; las dosis varían de 100 a 150 g por árbol y las fórmulas más utilizadas son: 17-17-17, 10-34-6, 10-28-6, 5-30-10, 10-30-10, y 5-30-6. La fertilización que aplican los silvicultores de Tabasco a la caoba consiste en el suministro básico de N, P y K al momento de la siembra o 15 días después, mediante una pastilla de lenta liberación proporcionada por la Secretaría de Desarrollo Agropecuario, Forestal y Pesca. La pastilla tiene un peso de 10 g y su fórmula es 20-10-5, sin embargo, no se han hecho

estudios para conocer los efectos de esta práctica sobre el crecimiento y desarrollo de las especies forestales (Pérez, 2009).

La caoba, por ser nativa está bien adaptada a las condiciones ambientales de Tabasco, donde tienen un buen crecimiento y desarrollo. No obstante, la mayoría de los suelos del estado se utilizan en actividades agropecuarias (SIAP-SAGARPA, 2012). Por otra parte, el alto porte de las plantaciones, la densidad alta y el manejo dificultan la asociación de la caoba con otros cultivos pero existen áreas que presentan una buena alternativa, tal es el caso de la zona citrícola. Esta zona ocupa alrededor de 19,000 ha, 95% de las cuales está ocupada con limón persa.

1.1.4. Limón persa (*Citrus latifolia* L.)

En México se producen dos variedades de limón: persa (sin semilla) y mexicano (con semilla), las cuales están bien diferenciadas por zonas productoras, modalidad de cultivo (riego, temporal) y esquema de comercialización. Estas variedades no son, estrictamente, limones sino más bien limas ácidas o amargas. El limón persa o sin semilla, se distingue del limón mexicano por ser un árbol de porte bajo, copa abierta, producción media y ausencia de semillas, su sabor es menos ácido y posee un contenido ligeramente mayor de vitamina C. También se conoce como lima de Persia o lima de Tahití aunque ni en Irak (antigua Persia), ni en la isla Tahití del pacífico se cultiva actualmente. Se supone que llegó de Persia a la región del Mediterráneo y de ahí a Brasil, Australia y Tahití (SIAP – SAGARPA, 2013).

Dentro de la categoría de limas y limones se incluyen las siguientes especies:

- *Citrus limón* (limón) producido en las regiones de clima subtropical que incluye la categoría “eureka” que es la más cultivada.
- *Citrus aurantifolia* (lima amarga) conocida también como key lime o limón mexicano.
- *Citrus limetta* (lima dulce).
- *Citrus latifolia* (lima ácida) conocida como limón Tahití o Bears, o limón persa

En el caso del limón persa, su cultivo se da fundamentalmente en la costa del Golfo de México (Veracruz, Tabasco y Yucatán), mientras que la principal zona productora de limón mexicano se ubica en la costa del Pacífico (Colima, Michoacán, Jalisco, Guerrero y Oaxaca). La superficie establecida con cítricos supera las 511,000 ha, las cuales producen un promedio anual de 6.5 millones de toneladas de fruta con un valor estimado de 7,100 millones de pesos, el destino del limón persa es fundamentalmente la exportación, destacándose en su producción, las zonas de Martínez de la Torre, Veracruz y Huimanguillo, Tabasco, lo que permite la generación de divisas para el país. Su importancia radica en una complementariedad natural; ya que en épocas de baja producción de limón mexicano la variedad persa tiende a satisfacer el mercado nacional (Schwentenius y Gómez, 2005; Alia *et al.*, 2011).

En el estado de Tabasco existen más de 26,000 ha sembradas con cítricos. De ellas en la Sabana de Huimanguillo existen más de 19,000 ha con naranja y limón persa. Ambos productos se comercializan en el mercado nacional y extranjero. La superficie de limón persa en la zona de la Sabana en Huimanguillo, Tab. Ha crecido sustancialmente por ser un producto altamente demandado y con un buen precio en el mercado de Estados Unidos.

1.1.5. Suelos ácidos y su encalado

Los suelos ácidos tropicales son propios de regiones con alta precipitación pluvial, en los que los cationes básicos: calcio (Ca), magnesio (Mg), potasio (K) y sodio (Na) se han lixiviado. Se caracterizan por tener un alto contenido de aluminio Al^{+3} el cual, además de ser causante de la fijación de fósforo (P) y molibdeno (Mo), es tóxico para las plantas e interfiere en la movilización del Ca en el tejido vegetal.

La acidificación progresiva en estos suelos ha ocurrido por el remplazo paulatino de las bases cambiabiles K^+ , Ca^+ y Mg^{2+} por H^+ y Al^{+3} . Este remplazó favorece la pérdida de cationes por percolación profunda de agua y su deficiencia se acentúa por la extracción de cationes básicos por las plantas y el uso de fertilizantes de carácter ácido (Núñez, 1994).

La superficie total ocupada por los suelos ácidos en México es de 13, 128,300 ha, lo que representa 6.69 % del territorio nacional. Estos suelos se ubican principalmente en la zona intertropical, con abundante precipitación pluvial. Los Acrisoles y Nitosoles (que corresponden a los Ultisoles de la clasificación americana) se localizan en su mayoría en la zona del trópico húmedo de México: Tabasco, Chiapas, Oaxaca, Yucatán, Quintana Roo, Campeche, Sur de Veracruz y, en la vertiente del Pacífico en: Puebla, Hidalgo, Jalisco, Colima, San Luis Potosí, Nayarit, Michoacán, Durango, Guerrero, Sonora, Tamaulipas, Chihuahua, Distrito Federal y México (Nuñez, 1994).

La actividad del hombre puede incidir en la acidificación del suelo, especialmente a través de la exportación de bases por productos agropecuarios, así como por el empleo de fertilizantes ácidos. Algunos suelos de regiones templadas subhúmedas como los de la pampa argentina, ajenos a la problemática por causas naturales, están padeciendo

fenómenos de esta índole debido a la historia productiva de los mismos que, en muchos casos, supera la centuria. En estas circunstancias, además de una acidificación en términos generales, se produce un desbalance de bases, igualmente, perjudicial para el crecimiento de las plantas (Vázquez *et al.*, 2000; Vázquez *et al.*, 2009).

Para que los cultivos aprovechen eficientemente los nutrientes, estos deben estar disponibles en el suelo en cantidades suficientes y en relaciones equilibradas. Para conseguir esas condiciones de equilibrio se requieren prácticas agronómicas racionales. El encalado (Figura 1) es una práctica agrícola que se recomienda cuando el suelo presenta un pH inferior a 5.0 y el cultivo que se desea establecer no es tolerante a suelos ácidos, su uso adecuado conlleva a la corrección de acidez y, simultáneamente, de las concentraciones de Al^{3+} y Ca^{2+} en la solución del suelo (Sumner *et al.*, 1991). Un suelo ácido es aquel que presenta un valor de pH menor a 6.5 (NOM), no obstante, a valores menores de 5 se presentan características que restringen el buen crecimiento y desarrollo de los cultivos (Porta *et al.*, 1999): la concentración de elementos intercambiables como Al, Fe y Mn puede llegar a niveles tóxicos; los organismos responsables de descomponer la materia orgánica y de mineralizar al N, P y S (sobre todo bacterias) pueden ser menores en número y en actividad; el Ca puede ser deficiente cuando la CIC del suelo es extremadamente baja, también puede presentarse una deficiencia de Mg; los herbicidas aplicados al suelo pueden ser poco efectivos; la fijación simbiótica de N por parte de las leguminosas se reduce notablemente; los suelos arcillosos muy ácidos son menos estructurados, esto promueve una baja permeabilidad y aireación; se reduce la disponibilidad de los micronutrientes B, Zn y Mo, y se incrementa el potencial de lixiviación del K.

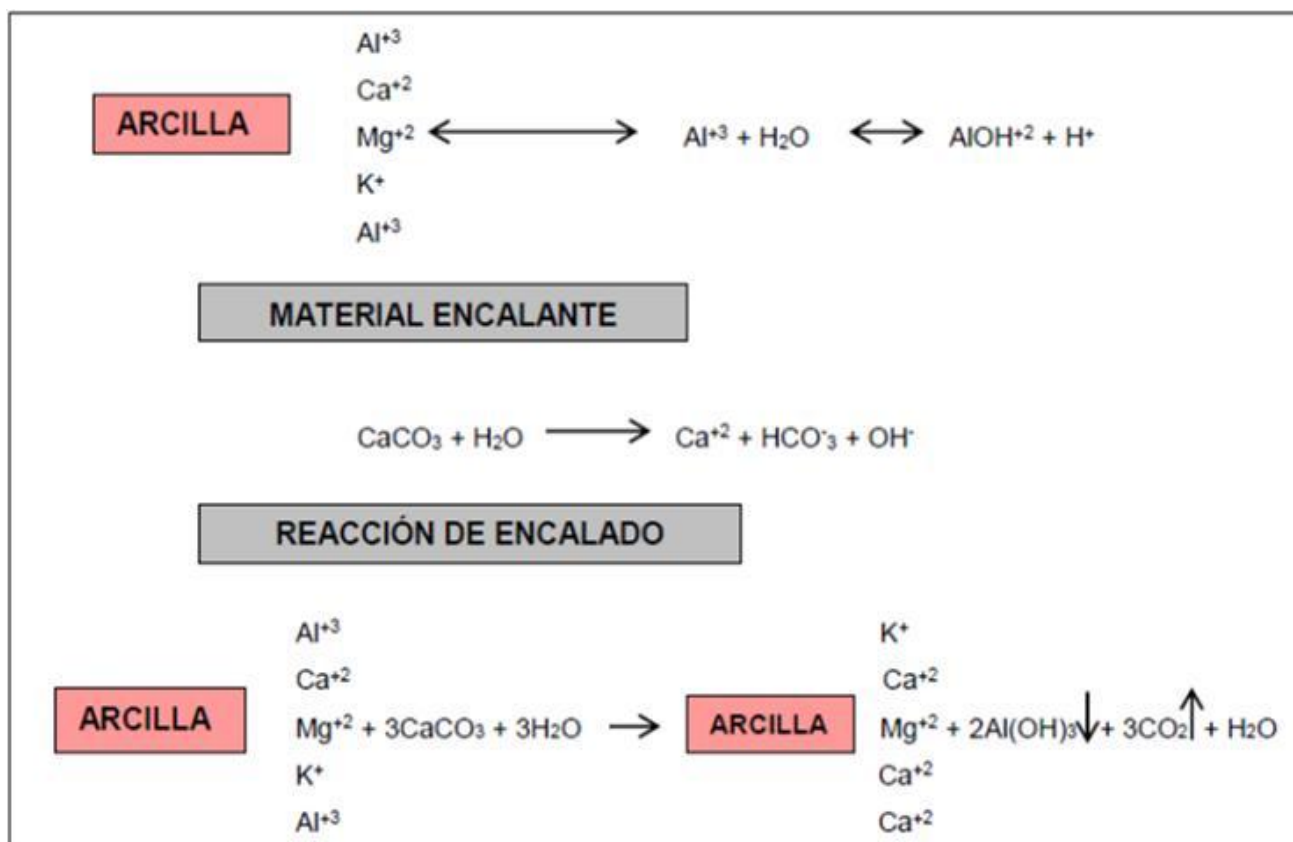


Figura 1. Reacción del encalado en un suelo ácido

El encalado, aplicado correctamente, proporciona resultados satisfactorios a corto y largo plazo, consiste en la aplicación masiva de sales cálcicas con el objetivo de neutralizar la acidez del suelo.

Los criterios que ayudan a decidir si se realiza o no el encalado son: a) acidez intercambiable mayor a $0.5 \text{ cmol}_{(+)}\text{L}^{-1}$, que es inadecuada para los cultivos; b) suma de bases (Ca+Mg+K) menor de $5 \text{ cmol}_{(+)}\text{Kg}^{-1}$, que produce bajo rendimiento en los cultivos y se relaciona con suelos de baja fertilidad; c) porcentaje de saturación de aluminio (Al^{3+}) o acidez intercambiable mayor de 60%, que es tolerado por pocos cultivos; el valor deseable es de 10 a 25% (Molina, 1998).

Al encalar correctamente un suelo se reduce la saturación de Al intercambiable del suelo por abajo de los niveles tóxicos; se suministra Ca y Mg como nutrientes; además, se estimula el movimiento descendente del Ca y Mg en el subsuelo, lo cual favorece el desarrollo de las raíces e indirectamente mejora el suministro de agua en la época de sequía.

Los productos que se utilizan como correctivos de la acidez del suelo son, principalmente, cal hidratada $\text{Ca}(\text{OH})_2$, la calcita CaCO_3 y la Cal dolomita $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$. La cal hidratada es un material extremadamente reactivo pero de efecto residual corto, por lo que las fuentes carbonatadas son las más recomendables por un efecto residual más prolongado y mejor control de la toxicidad por aluminio. La reducción deseable del nivel del Al^{3+} varía en cualquier caso con la especie cultivada, el nivel de Al^{3+} puede ser predicho sobre la base de un asumido equilibrio con los minerales de la fase sólida, tales como la gibsita o la caolinita, esto indica que el nivel de Al^{3+} extraíble con KCl dependerá de la fase sólida más soluble presente y del pH, y no necesariamente de la magnitud de la CIC o su supuesto grado de saturación con Al^{3+} (Sumner *et al.*, 1991).

El encalado en el campo puede ser incompleto, debido a un mezclado deficiente del material encalante con el suelo. Además, la velocidad de reacción varía inversamente al pH, tamaño de la partícula del encalante y su solubilidad.

1.1.6. Los suelos ácidos de la sabana de Huimanguillo

Los suelos ácidos de la sabana de Huimanguillo se ubican en la unidad de suelos muy intemperizados, lixiviados, y ácidos, sus características son los colores oscuros amarillentos o rojizos y fuerte acidez, sobre todo en el horizonte B. Por su fisiografía

ocupan lomeríos con pendientes convexas pronunciadas entre 5-20%. Su material parental corresponde a sedimentos aluviales antiguos del Pleistoceno, así como materiales residuales de calizas del Terciario, su permeabilidad interna varía de rápida en la capa superficial hasta moderada en la capa subyacente, lo que provoca que estos suelos sean propensos a la erosión hídrica. El horizonte A, de textura media, no presenta la acumulación de materia orgánica propia de los horizontes úmbricos o mólicos, el horizonte B árgico presenta una buena cantidad de arcilla iluvial con una CIC menor a $24 \text{ Cmol (+) kg}^{-1}$ de arcilla y una saturación de bases menor a 50% dentro de los primeros 125 cm. El pH varía de fuerte a muy fuertemente ácido con la profundidad (Palma-López *et al.*, 2007).

Localmente se les conoce como “terrenos de sabana”, y “tierra negra de montaña” en los lugares donde el horizonte A es más profundo. Se localizan principalmente en los lomeríos. El uso actual de estos suelos es el cultivo de pastos con especies nativas e introducidas, cítricos, yuca, piña y, en algunas partes, maíz. En general, son suelos con muy bajos contenidos de bases intercambiables y con alta fijación de P, Fe y Al.

Por su capacidad de uso se clasifican como III/T1E1S8, por lo que el uso agrícola requiere de especial cuidado en los rubros de fertilización mineral, cultivos tolerantes a la acidez, control de los procesos erosivos y encalado, el cual se realiza principalmente para disminuir los contenidos de $\text{Al}^{(+)}$ y para proveer Ca y Mg a los cultivos.

El pobre crecimiento de los cítricos en los suelos ácidos (pH 4.0 a 5.5.) de la sabana de Huimanguillo se debe a la presencia de altos contenidos de Al intercambiable. En estos suelos los porcentajes de saturación de aluminio varían en el rango de 30 a 80, con valores intermedios de 50 a 60%, los cuales están por arriba del límite crítico de

tolerancia, que es de 40% (Sánchez, 1976). Además, el aluminio interfiere en la disponibilidad del fósforo en el suelo y la absorción de Ca por las plantas; por otro lado, las deficiencias de Ca y Mg son otro problema que limita su desarrollo y producción.

Por ello, en esta investigación se planteó analizar de manera general, la respuesta de la caoba a una dosis de cal dolomítica en plantas de un año, información que es básica en la realización de estudios sobre la determinación de turnos de aprovechamiento, rentabilidad y otros aspectos necesarios para el establecimiento de la actividad forestal con productores rurales.

1.2. OBJETIVOS E HIPÓTESIS

1.2.1. OBJETIVO GENERAL

- Estimar el efecto del encalado de un suelo Acrisol en el sistema agroforestal caoba-cítricos de la Sabana de Huimanguillo, Tabasco.

1.2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Determinar el efecto del encalado en las principales propiedades químicas de un suelo Acrisol de la sabana de Huimanguillo, Tabasco.
- Determinar, en el primer año de crecimiento, la altura y diámetro y número de hojas de la caoba (*Swietenia macrophylla* King.), en un suelo Acrisol de la sabana de Huimanguillo, Tabasco.
- Estimar el efecto del encalado en la distribución vertical de densidad de longitud de raíces finas (DLR) de la caoba en el sistema agroforestal en estudio.

1.2.3. HIPÓTESIS

- El encalado modifica favorablemente las propiedades químicas y mejora la fertilidad del suelo ácido en estudio.
- El crecimiento de la caoba es mayor en el suelo Acrisol encalado.
- El encalado favorece la distribución vertical del sistema radical de la caoba.

1.3. LITERATURA CITADA

- Alia I.T., Arios L.C., Lugo A.A. y Ariza F.R. 2011. Índice de cosecha en limón 'Persa' y naranja 'Valencia' en Morelos: Fenología e índice de cosecha en limón 'Persa'. INIFAP. Morelos.45 p.
- Barrosa C.J., Hernández P.L. y De la Cruz, P.E. 1992. Producción de planta y establecimiento de plantaciones de caoba en el Estado de Tabasco. Folleto Técnico No. 13: Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos-INIFAP. Tabasco, México.
- Bellow J.G. and Nair P.K.R. 2003. Comparing common methods for assessing understory light availability in shaded-perennial agroforestry systems. *Agric. For. Meteorol.* 114:197-211p.
- Callebaut B. 2008.Organic cocoa farming. Expanding opportunities for cocoa farmers. International Federation of Organic Agriculture Movements www.ifoam.org.mx Consultado 25 marzo. 2013. 31p.
- Combe J. y Budowski G. 1979. Sistemas agroforestales en América Latina. Turrialba, Costa, Rica. 17-48p.
- CONAFOR (Comisión Nacional Forestal) (2004). Evaluación del programa para el desarrollo de plantaciones forestales comerciales (PRODEPLAN–2003). CONAFOR–UANL. Facultad de Ciencias Forestales. México. 35p.
- CONAFOR (Comisión Nacional Forestal). 2009. Restauración de ecosistemas forestales. Guía básica para comunicadores. Unidad de Comunicación Social y Coordinación

de Conservación y Restauración de la Comisión Nacional Forestal. Jalisco, México. 63p.

Córdova A. A. 2007. Desarrollo de un índice de integridad biológica avifaúnica para los Humedales de la Reserva de la Biosfera Pantanos de Centla. Tesis Doctoral. Instituto de Recursos Genéticos y Productividad. Programa de Ganadería. Colegio de Postgraduados. Montecillo. 142p.

Dupraz C., Fournier, C., Balvay, Y., Dauzat, M., Pesteur, S. and Simorte V. 1999. Influence de quatre années de culture intercalaire de blé et de colza sur la croissance de noyershy brides en agroforesterie. En: « Bois et Forêts des Agriculteurs », Actes du colloque de Clermont-Ferrand des 20 et 21 Octobre 1999, Cemagref Editions, Antony, 95-114p.

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

Fierros A., A. Noguéz y E. Velasco. 1999. Paquetes tecnológicos para el establecimiento de plantaciones forestales comerciales en ecosistemas de climas templados-fríos y tropicales de México. Vol. I. SEMANARP. Consultado 12 abril. 2013. 43p.

Gillies A.C.M., Navarro C., Lowe A.J., Newton A.C., Hernandez M., Wilson J. y Cornelius J.P. 1999. Genetic diversity in Mesoamerican populations of mahogany (*Swietenia macrophylla* King.), assessed using RAPDS. Heredity 83: p 722-732.

Gómez C.H., Toral J.N., Tewolde A., Pinto, R.R. y Martínez J.L. 2006. Áreas con potencial para el establecimiento de árboles forrajeros en el centro de Chiapas. Técnica Pecuaria en México 44(2): p 219-230.

- Gordon, A.M. and Newman, S.M. (1997). Temperate Agroforestry Systems. CAB international. 269p.
- Gutiérrez, R. 1998. Plan de manejo de las plantaciones de Lancetilla: propuesta de zonificación. ESNACIFOR. Siguatepeque, Honduras. p 24-26.
- JPC (JAAKKO PÖYRY CONSULTING). 2004. Estudio de Pre factibilidad de la cuenca industrial forestal del Golfo de México, Fase I y II. Informe Final. CONAFOR, México, 126p.
- Leakey R. 1996. Definition of Agroforestry revisited. Agroforestry Today 8 (1): p5-7.
- Mas, J.F. y Fernández T. 2003. Una evaluación cuantitativa de los errores en el monitoreo de los cambios de cobertura por comparación de mapas. Investigadores Geográficos 51: p 73-87.
- Mayhew J.E. and Newton A.C. 1998. Silviculture of Mahogany. CABI Publishing series. CABI, Wallingford, Reino Unido. p226.
- Menalled F.D, Keltly M.J. and Ewel J.J. 1998. Canopy development in tropical tree plantations: a comparison of species mixtures and monocultures. Forest Ecology and Management 104: p 249–263.
- Molina, R E. 1998. Encalado para la corrección de la acidez del suelo. Asociación, Costarricense de la Ciencia del Suelo. Costa Rica. 45p.
- Moreno G., Obrador O. J.J. and García A. 2007. Impact of evergreen oaks on soil fertility and crop production in intercropped dehesas. Agriculture, Ecosystems and Environment, 119: p 270-280.

- Nair, V.D. and Graetz, D.A. 2004. Agroforestry as an approach to minimizing nutrient loss from heavily fertilized soils: The Florida experience. *Agroforestry systems* 60-61: p 269-280.
- Navarro, C. y M. Hernández. 1998. Evaluación de la diversidad genética de especies tropicales de importancia económica y ecológica en Centro América y el Caribe, implicaciones para la conservación, la utilización sostenible y el manejo. In *Memoria I Congreso Latinoamericano de IUFRO*. Valdivia, Chile. Noviembre 1998. 87p.
- Nolasco, M.A. 1999. La protección contra incendios forestales en las zonas tropicales de México. II Foro Internacional. Los aprovechamientos forestales en selvas y su relación con el ambiente. Yucatán, México. 78p.
- 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. URL: www.siap.sagarpa.gob.mx. Consultado marzo 2013.
- Núñez E. R. Etchevers B. J. D., Alvarado L. J. 1994. Acidez del Suelo. Montecillo, México. Tesis. 35p.
- Palma-López D.J., Cisneros D. J., Moreno C E. y Rincón-Ramírez J. A. 2007. Suelos de Tabasco: su uso y manejo sustentable. Colegio de Postgraduados-ISPROTAB-FUPROTAB. Villahermosa, Tabasco, México. 45p.

- Pennington D. T. y Sarukan J. 1998. Árboles tropicales de México. Edit. Redacta. (2da. Edición) UNAM/FCE. D.F. México. p. 294-295.
- Pennigton D. T. y Sarukan J. 2005 (Tercera Edición). Arboles Tropicales de México: Manual para la Identificación de las Principales Especies UNAM/FCE ISBN 970-32-1643-9 e ISBN 968-16-7855-9. p 523.
- Pérez C. P. 2009. Fertilización NPK y demanda nutrimental de cuatro especies forestales en fase temprana de crecimiento. Tesis de maestría en ciencias. Colegio de Postgraduados, Campus Tabasco. Cárdenas, Tabasco, México. p. 34-87.
- Porta C.J., López A.M. y Roquero C. 1999. Edafología para la agricultura y el medio ambiente. 2da. Edición. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid.34p.
- Rodríguez, M. 2012. Caracterización del crecimiento, calidad y estudio de variables fisiológicas, en plantaciones jóvenes y ensayo de procedencias de *Eucalyptus pellita* en el estado de Tabasco, México. Tesis de Licenciatura. Instituto Tecnológico de Costa Rica, Cartago, CR. 98p.
- Romero, J.O. 1983. Crecimiento de dos plantaciones de caoba (*Swietenia macrophylla* King) y su regeneración natural vista en Lancetilla. Tesis Ing. Forestal. CURLA-UNAH. La Ceiba, Atlántida.45p.
- Sánchez, P.A. 1976. Properties and management of soils in the tropics. John Wileyang Sons. 618p.

- Secretaría de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca (SEMARNAP). 2003. Anuarios estadísticos de la producción forestal. Dirección General Forestal. México. [www.semarnat.gob.mx/ssrn/DGF 1 \(1\)](http://www.semarnat.gob.mx/ssrn/DGF_1_1): 7-44p.
- SEMARNAT-UNAM. 2001. Inventario nacional forestal de la República Mexicana. Secretaría de Medio ambiente y Recursos Naturales, Universidad Nacional Autónoma de México. 9p.
- Secretaría de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca (SEMARNAP). 2005. Anuarios estadísticos de la producción forestal. México. [www.semarnat.gob.mx/ssrn/DGF 1 \(1\)](http://www.semarnat.gob.mx/ssrn/DGF_1_1): p 4-21.
- SIAP (Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera)-SAGARPA. 2012. Cierre de la producción agrícola por cultivo. Anuario Estadístico de la Producción Agrícola. Consultado: julio. 2012.
- SIAP (Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera)-SAGARPA. 2013. Cierre de la producción agrícola por cultivo. Anuario Estadístico de la Producción Agrícola. Consultado: febrero 2013.
- Sotomayor, A., García E., González M. y Lucero A. 2008. Modelos agroforestales. Sistema productivo integrado para una agricultura sustentable. Instituto Forestal de Chile (INFOR), Castilla 109 – C.23p.
- Sumner M.E., M.V. Fey and A.D. Noble. 1991. Nutrient status and toxicity problems in acid soils. In B. Ulrich and M.E. Sumner (ed.) Soil acidity. Springer-Verlag, Berlinp.149–182.

- Schwentesius, R. R., M. A. Gómez C. 2005. Limón persa. Tendencias en el Mercado Mexicano. Universidad Autónoma Chapingo-CIESTAAM. México. 152p.
- Vázquez M., Terminiello A., Duhour A., García M. y Guillino F. 2009. Efecto del encalado sobre propiedades físicas de un suelo de la Pradera Pampeana. Asociación con propiedades químicas. *Ciencia del Suelo* 27(1): p 67-76.
- Viana, V. M., Tabanez, A.A.J. and Batista, J.I.F. 1997. Dynamics and restoration of forest fragments in Brazil's Atlantic Moist Forest. In: Bierregard, R. and Laurance, W. (Eds) *Tropical forest remnants: Ecology, Management and Conservation of Fragment Communities*. Chicago University. Press, Chicago. p. 1-15.
- Vos J. de. 1988. Oro verde, la conquista de la Selva Lacandona por los madereros tabasqueños. Fondo de Cultura Económica. Villahermosa. 330p.
- West R.C, Psuty N.P, Tom BG 1985. Las tierras bajas de Tabasco en el sureste de México. Gobierno del Estado de Tabasco. Villahermosa. 409p.

CAPÍTULO I. ENCALADO EN EL SISTEMA AGROFORESTAL CAOBA (*Swietenia macrophylla* King.)-LIMON PERSA (*Citrus latifolia* L.) EN FASE TEMPRANA DE CRECIMIENTO EN LA SABANA DE HUIMANGUILLO, TABASCO

**ENCALADO EN EL SISTEMA AGROFORESTAL CAOBA (*Swietenia macrophylla* King.)-
LIMON PERSA (*Citrus latifolia* L.) EN FASE TEMPRANA DE CRECIMIENTO EN LA
SABANA DE HUIMANGUILLO, TABASCO**

Carlos Ramos Alvarez, José Jesús Obrador Olán ✉ Eustolia García López, Julián Pérez-Flores, Eugenio Carrillo Ávila.(CRA), (JJOO), (EGL), (JPF) Colegio de Postgraduados, Campus Tabasco. Periférico Carlos A. Molina s/n. Km 3.5 Carr. Cárdenas-Huimanguillo, H. Cárdenas, Tabasco, México. obradoro@colpos.mx(ECA) Colegio de Postgraduados, Campus Campeche.

Resumen

Hasta hace poco el mayor volumen de caoba, una de las maderas preciosas de mayor valor comercial, provenía de selvas nativas de América tropical. Esto resultó en una baja densidad o su desaparición causada por deforestación y explotación irracional. Los sistemas agroforestales (SAFs) se perfilan como alternativa en la obtención de productos de ésta y otras especies, minimizando la presión antropogénica debido a que se establecen en suelos con baja aptitud agrícola, caso de los suelos ácidos de Tabasco. En estos suelos se busca mejorar sus propiedades mediante aplicaciones de cal. Los objetivos de esta investigación fueron estimar el efecto del encalado en las principales propiedades químicas del suelo y la distribución vertical de la densidad de longitud de raíces finas (DLR), y determinar el desarrollo de la caoba durante su primer año sobre un Acrisol húmico en un SAF caoba-cítricos de la sabana de Huimanguillo, Ejido Villa Chontalpa, Tabasco. La caoba se plantó en marco real (6x6 m) entre limón persa, aplicando un kilogramo de cal y fertilización (NPK). Se caracterizó y diagnosticó la fertilidad del suelo a seis profundidades (0-20 cm, 20-40, 40-60, 60-80, 80-100 y 100-120 cm). El efecto del encalado en la fertilidad (química y biológica) del suelo y en el crecimiento y desarrollo de la caoba se evaluó analizando muestras de cuatro perfiles (120 cm). En estas muestras se determinó materia orgánica (MO), nitrógeno (N), nitrógeno inorgánico (Nin) y carbono orgánico soluble (COS). La DLR se estimó a los 12 meses. Los resultados mostraron efectos positivos del encalado sobre la mayoría de los parámetros químicos estudiados y sobre el desarrollo de la caoba. El efecto fue mayor en COS y Nin en los primeros 40 cm. Se encontraron diferencias estadísticas en crecimiento y número de hojas. La mayor DLR se encontró en los primeros 60 cm del tratamiento encalado.

Palabras clave: *Sistema agroforestal, cal dolomítica, Acrisol húmico.*

LIMING IN EARLY GROWTH PHASE OF MAHOGANY (*Swietenia macrophylla* King.) - PERSIAN LIME (*Citrus latifolia* L.) AGROFORESTRY SYSTEM IN THE SAVANNAH OF HUIMANGUILLO, TABASCO

Carlos Ramos Alvarez, José Jesús Obrador Olán ✉ Eustolia García López, Julián Pérez Flores, Eugenio Carrillo Ávila (CRA), (JJOO), (EGL), (JPF) Colegio de Postgraduados, Campus Tabasco. Periférico Carlos A. Molina s/n. Km 3.5 Carr. Cárdenas-Huimanguillo, H. Cárdenas, Tabasco, México. obradoro@colpos.mx (ECA) Colegio de Postgraduados, Campus Campeche.

Abstract

Until recently the largest volume of mahogany, one of the most valuable commercial woods came from native forests in tropical America. It resulted in a low density or disappearance caused by deforestation and overexploitation. Agroforestry systems (AFS) are emerging as an alternative in obtaining products of this and other species, reducing anthropogenic pressure due to AFS are established in soils with low agricultural suitability, like acid soils of Tabasco. In order to improve the properties of acid soils, lime application is a common practice. The aims of this study were to estimate the effect to liming on the main soil chemical properties and vertical distribution of the density of fine root length (DLR), and determine the development of mahogany during their first year on humic Acrisol in a mahogany-citrus AFS. The study site was located in Ejido Villa Chontalpa in the Huimanguillo savannah, Tabasco. The mahogany was planted in an actual frame (6x6 m) between Persian lime, applying one kilogram of lime and fertilizer (NPK). Soil fertility at different depths (0-20 cm, 20-40, 40-60, 60-80, 80-100 y 100-120 cm) was characterized and diagnostic acted. The liming effect was evaluated on soil fertility (chemical and biological) and growth and development of mahogany trees by analyzing samples of four profiles (120 cm). In these samples organic matter (MO), nitrogen (N), inorganic nitrogen (Nin) and soluble organic charcoal (COS) were determined. The DLR was estimated at 12 months. Liming had positive effects on most chemical parameters studied and also in the development of mahogany. The effects were mostly in COS and Nin in the first 40cm. In growth and number of leaves there were statistical differences. Most DLR was found in the first 60cm on liming treatment.

Keywords: *agroforestry system, dolomitic lime, humic Acrisol*

Introducción

La caoba es una especie nativa de América tropical y una de las maderas preciosas más valiosas a nivel mundial. Los mayores volúmenes comercializados de esta especie, provienen de las selvas tropicales nativas, en donde se realiza una extracción selectiva e irracional (Cerdán 2007). Esto ha provocado densidades extremadamente bajas en muchas de sus áreas de distribución natural e incluso que se hayan agotado bosques completos (Kometter *et al.*, 2004). Los árboles de caoba en los bosques tropicales se encuentran diseminados en densidades de alrededor de un árbol por cada 10 hectáreas (Barton y Merino 2004; Marmillod 2007; Del Rio 2012). Tienden a crecer en grupos formados por algunas centenas de árboles maduros, intercalados en extensas áreas de bosques.

Los primeros colonizadores europeos en América Central asociaron a la caoba con los cursos de agua de los ríos (medio de transporte) lo que facilitó la explotación y la exportación de esta especie hasta llegar al agotamiento de las reservas naturales (Bodero *et al.* 2007; Guariguata *et al.*, 2009). Se considera que al menos 21% del área de distribución natural de la caoba se ha perdido a causa de la deforestación y explotación (Grogan *et al.*, 2010). El abastecimiento de la industria forestal de México se ha basado en la extracción selectiva de las especies más valiosas de los bosques tropicales, de tal manera que en la actualidad, sólo 0.87% del total de maderas son preciosas y cada vez la producción de madera de caoba es menor (INEGI, 2007).

La superficie ocupada por bosques tropicales que contienen caoba en México es de 1,470,000 ha; estimándose la eliminación de 8,000,000 ha entre 1960 y 1985 (Argüelles, 1999).

Una larga historia de explotación selectiva ha provocado que esta especie viniera a menos en muchas de sus áreas de distribución natural, aunque también ha contribuido sustancialmente a su disminución la pérdida del hábitat por la deforestación masiva que se realiza con el fin de incrementar áreas para actividades agropecuarias (Meli, 2003; CITES, 2009; Marmillod, 2007).

Para contrarrestar esta tendencia se requiere fomentar los cultivos silvícolas, que pueden disminuir la presión antropogénica sobre los bosques tropicales (Fredericksen y Putz, 2003). Actualmente la silvicultura cuenta con un nivel tecnológico que le permite fijar, regenerar, gestionar proteger los bosques y cosechar sus productos de una manera más racional y durable (Putz *et al.*, 2001; Montagnini, 2002; FAO 2005). A nivel mundial se han establecido, plantaciones de caoba que abarcan, alrededor de 151,214 ha (Brown, 2000), las cuales requieren de un manejo silvícola importante, siendo las principales prácticas el control del barrenador de la meliáceas y la fertilización con elementos mayores (Pérez, 2009). Una alternativa importante, que ha sido de uso ancestral y que socialmente es muy aceptada es la agroforestería (Nair y Graetz., 2004; Moreno y Obrador, 2007).

La agroforestería presenta una transferencia continua de fertilidad dado que los árboles aprovechan los recursos implicados en el manejo del cultivo y extraen nutrientes de estratos inferiores, que se hacen disponibles mediante la hojarasca (Piusi, 1994, Menezes *et al*, 2002; Wilson, 2008). A nivel mundial existen aproximadamente 400 millones de hectáreas con sistemas agroforestales (Watson *et al.*, 2000). Los sistemas agroforestales (SAF) se definen como un conjunto de técnicas de manejo de tierras donde se combinan árboles forestales con cultivos, ganadería, o ambos; los sistemas

pueden ser establecidos en forma simultánea o escalonada a través del tiempo y el espacio (Combe y Budowski, 1979). Estos sistemas poseen una diversa gama de asociaciones de plantas, con alto potencial para producir madera, leña, frutas, medicinas, forrajes, aceites y ornamentales (Ospina, 2002; Sotomayor *et al.*, 2008; Ramírez, 2009). El manejo sustentado de estos sistemas se basa, en muchas ocasiones, en la estricta conexión entre la agricultura, animales y el sistema forestal (Montard *et al.*, 1999). No obstante, los SAF han sido gradualmente relegados a áreas de agricultura marginal, es decir, zonas edafoclimáticas no muy aptas para la ecología de la especie y en los suelos más productivos, han sido remplazados por monocultivos, de tal manera que no es extraño que bajo estas condiciones los árboles pueden ser afectados negativamente en su crecimiento y desarrollo (García *et al.*, 2000).

En México y América Central, la caoba es común en los suelos bien drenados y fértiles, pero se han efectuado pocos estudios sobre su comportamiento en diferentes ambientes y de manera general se realizan aun, poco estudios para conocer el efecto de los sistemas forestales en la conservación de los suelos (Webb *et al.*, 2000, Blanco y Lal, 2008). En el estado de Tabasco, la mayoría de las plantaciones forestales se encuentran en suelos ácidos (Acrisoles y Cambisoles), con bajos niveles de fertilidad natural lo que no favorece el desarrollo de los cultivos; presentan altos contenidos de arcilla, buen drenaje interno, son deficientes en bases y propensos a deficiencia de micronutrientes (Palma-López *et al.*, 2007). Un importante número de factores contribuye a la toxicidad de las plantaciones en los suelos ácidos, el más importante está relacionado con la toxicidad por aluminio (Al) el cual, en los suelos minerales bajo condiciones ácidas, es liberado como $Al(OH)^{2+}$ y $Al(H_2O)^{3+}$.

Este último comúnmente es enunciado en la literatura como aluminio intercambiable (Al^{3+}). En la gran mayoría de las plantas cultivadas los iones Al inhiben el crecimiento radical, su bajo desarrollo disminuye la capacidad que tienen las plantas de absorber nutrimentos, siendo, de manera general, los micronutrimentos Zn y B y los macronutrimentos P, Ca y Mg los principales elementos deficitarios en suelos con concentraciones altas de Al (Sumner *et al.*, 1991; Obrador, 2002; Samac y Tesfaye, 2003). Cuando la acidez ocurre en la superficie del suelo, el encalado por lo general corrige el problema, las cantidades y periodicidad de las aplicaciones son dependientes 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 encalado es recomendable cuando las dosis necesarias para disminuir el efecto tóxico a las plantas no es muy alta ($<2000 \text{ kg ha}^{-1}$). Para incrementar el crecimiento y desarrollo de cultivos o plantaciones existen otras alternativas que se pueden llevar a la par (del encalado), tales como la rotación con leguminosas, aplicación de abonos orgánicos y la selección genética de especies tolerantes a la acidez del suelo.

Los criterios que ayudan a decidir si se realiza o no el encalado son: a) acidez intercambiable mayor a $0.5 \text{ cmol}_{(+)L^{-1}}$, que es inadecuada para las plantaciones; b) suma de bases (Ca+Mg+K) menor de $5 \text{ cmol}_{(+)Kg^{-1}}$, que produce bajo desarrollo y crecimiento y se relaciona con suelos de baja fertilidad; c) porcentaje de saturación de aluminio (Al^{3+}) o acidez intercambiable mayor de 60%, que es tolerado por pocos cultivos; el valor deseable es de 10 a 25% (Molina, 1998). Las aplicaciones de cal dolomítica en plantas de caoba en suelos ácidos (Ultisoles) de baja fertilidad, favorecen su crecimiento, pudiendo ser similares a otras que se desarrollan en suelos de mayor

fertilidad química, física y biológica, como los Andisoles o Inceptisoles. 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, incluso para los 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 micronutrimentos (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), sin embargo no se han determinado las ventajas que tiene para el crecimiento y desarrollo de las plantaciones forestales.

Los suelos de la sabana de Huimanguillo Tabasco son ácidos pero, tomando en cuenta el potencial que tiene la silvicultura para la región y la necesidad que existe de establecer dosis de fertilización para las plantaciones forestales, esta investigación tuvo como objetivo general Estimar el efecto del encalado de un suelo Acrisol en el sistema agroforestal caoba-cítricos de la sabana de Huimanguillo, Tabasco; siendo los específicos: a) determinar el efecto del encalado en las principales propiedades químicas del suelo, b) determinar, en el primer año de crecimiento, la altura y diámetro y número de hojas de la caoba y c) estimar el efecto del encalado en la distribución

vertical de densidad de longitud de raíces finas (DLR) de la caoba en el sistema agroforestal en estudio.

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio: el estudio se realizó en el Ejido Villa Chontalpa, municipio de Huimanguillo, Tabasco, situado entre las coordenadas 17°39'36" y 17°55'0" LN y 93°29'45", 93°51'00" LO. Limita al noroeste con el Plan Chontalpa, al sur con la sierra de Huimanguillo, al este con la cabecera municipal del mismo, y al oeste con las localidades de Francisco Rueda y Laguna del Rosario (INEGI, 2007). El principal uso del suelo en la zona donde se realizó el presente trabajo corresponde a plantaciones de limón persa (*Citrus latifolia* T.), hule (*Hevea brasiliensis* Muell. Arg.) Y eucalipto (*Eucalyptus grandis* Hill) y al cultivo de los pastos humidícola (*Brachiaria humidicola* (Rendle) S.) y chontalpo (*B. decumbens* Stapf), y piña (*Ananas comosus* L.), todos ellos tolerantes a suelos ácidos, que son característicos en la región (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 (entre 20 y 50 msnm). La edad de esta zona data del Pleistoceno en la era Cuaternaria (Palma-López *et al.*, 2007). 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 una media mensual máxima de 30.6°C en mayo; la máxima y mínima absolutas alcanzan los 45° y 14°C, respectivamente. La precipitación pluvial del clima Am es de 2290.3 mm anuales (INEGI, 2007).

Unidad de estudio y manejo de la plantación: la parcela experimental se estableció en la sabana de Huimanguillo en 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; las coordenadas geográficas del área se registraron con la ayuda de un GPS (Garmin etrex 10).

La caoba (*Swietenia macrophylla* King.) se plantó el 21 de julio de 2011 entre el limón persa, en marco real de 6x6 m, como éste último tenía la misma disposición topológica, entre el limón y la caoba quedó una distancia de 3 m (Figura 1). Las plantas de caoba fueron obtenidas del vivero de la Comisión Nacional Forestal (CONAFOR) localizado en Cárdenas Tabasco y las de limón persa fueron proporcionadas por el productor participante quien las injertó utilizando patrones de naranja agria (*Citrus aurantium* L.). Una vez plantada la caoba, se aplicó un kg de cal (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 (CONAFOR, 2004; Pérez, 2009).

Diagnóstico de la fertilidad a diferentes profundidades y caracterización del suelo en estudio: para el diagnóstico nutrimental del suelo, inmediatamente después de la preparación mecánica del terreno (arado y dos pasos de rastra), se tomaron muestras en dos profundidades: de 0 a 30 y de 30 a 60 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. Para tener la certeza de que la unidad de suelos seleccionada era la correcta, se abrió un perfil de 1.80 m de profundidad de acuerdo al manual y la metodología de Cuánalo (1990). Para clasificar la unidad de suelos se recurrió a la Base Referencial Mundial del Recurso Suelo (IUSS-WRB, 2007).

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).

La unidad de suelos corresponde a un Acrisol que tienen un horizonte fuertemente húmico; no tienen plintita dentro de los 125 cm de profundidad y no tiene propiedades gléyicas dentro de los 100 cm de profundidad. Por lo que el manto freático se encuentra cerca del horizonte A durante la época de lluvias. Desde el punto de vista de su capacidad de uso, los suelos de esta unidad se clasifican como III/S8E1D4, donde el uso agrícola se ve restringido a cultivos tolerantes a la acidez, por lo que las prácticas culturales que se recomiendan están ligadas a los encalados, fertilizaciones minerales y control de la erosión. En los Acrisoles de la sabana de Huimanguillo (Cuadro 1, Figura 2), el uso más común es el de pastizales con pastos nativos e introducidos, cítricos, mango, yuca, piña y maíz (Palma, 2007). El comportamiento, en profundidad, de los componentes de la textura muestra que, de los 3 componentes, la arcilla (R) es el único que tiene un patrón estable; incrementa su participación porcentual conforme lo hace la profundidad, la Arena tiene una disminución no uniforme más marcada que la del limo.

De los valores relacionados con los componentes de los residuos orgánicos; la materia orgánica (MO), y el nitrógeno total (Nt) no presentan un nivel de significancia, en tanto que el carbono orgánico soluble (COS) presentó mayor significancia conforme a la profundidad. El mencionado resultado puede estar relacionado con la alta dinámica de los otros componentes (Sanderman *et al.*, 2008).

Efecto del encalado en la fertilidad (química y biológica) vertical 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 (MacDicken, 1997; Schlegel *et al.*, 2000; Gayoso *et al.*, 2002) con cubos metálicos de 10x10 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 x 4 perfiles), a cada una se le determinó MO, N total, N inorgánico (NO_3 , NH_4 , NO_2) (NOM-021-RECNAT-2000) y carbono orgánico soluble (COS) (Calderón, 2008).

En febrero de 2012, se aperturaron 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 (± 0.1 mm), la altura con cinta métrica (± 0.1 cm), registrándose también durante el mismo periodo el número de hojas (Schlegel y Gayoso 2001; Pérez, 2009).

Estimación de la Densidad de Longitud de Raíces: para conocer la densidad de longitud de raíces se aperturaron, después de 12 meses de establecida la plantación, tres perfiles (en cada tratamiento) de 1.2 m de profundidad. En cada perfil se tomaron muestras cada 20 cm con el método del cubo anteriormente descrito (de volumen 2000 cm³). Las raíces fueron cuidadosamente separadas del suelo por el método de lavado a mano de Böhm (1979) y fueron medidas cuidadosamente con cinta métrica (± 0.1 cm). Se consideraron raíces finas a las de diámetro menor de 5 mm (Cuanalo, 1990; Moreno *et al.*, 2005), los datos obtenidos se analizaron estadísticamente mediante un diseño de bloques completamente al azar en el paquete estadístico SAS 9.1.

RESULTADOS

Efecto del encalado en las propiedades químicas de un Acrisol de la sabana de Huimanguillo, Tabasco. En la Figura 3. Se muestra el comportamiento de la materia orgánica (MO) $F_{(5, 36)}=0.217$, $p=0.9526$; el carbono orgánico soluble (COS) $F_{(5, 36)}=50.942$, $p=0.0000$; y el nitrógeno inorgánico (Nin) $F_{(5, 36)}=2.290$, $p=0.0661$, (**a**, **b** y **c** 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 la Figura 4. Respecto a los contenidos de bases intercambiables: Ca ($F_{(5, 36)} = 5.072$, $p = 0.0012$); Mg ($F_{(5, 36)} = 6.050$, $p = 0.0003$) y K ($F_{(5, 36)} = 11.564$, $p = 0.0000$) del suelo en estudio (**a**, **b** y **c** respectivamente), muestra el comportamiento de las mismas en la parcela sin tratamiento de encalado, en todas las profundidades los contenidos fueron bajos y estadísticamente iguales.

La Figura 5. Muestra el comportamiento del pH ($F_{(5, 36)} = 8.115$, $p = 0.0000$), los contenidos de P ($F_{(5, 36)} = 0.286$, $p = 0.9175$) y de los micronutrientes Zn ($F_{(5, 36)} = 17.709$, $p = 0.0000$) y Mn ($F_{(5, 36)} = 5.019$, $p = 0.0013$), **a**, **b**, **c** y **d** respectivamente, los valores de pH son bajos y los contenidos de nutrientes deficitarios.

Crecimiento y desarrollo de la caoba en un Acrisol de la sabana de Huimanguillo,

Tabasco. En cuanto al crecimiento y desarrollo de la caoba, medido como altura ($F_{(1, 58)} = 32.970$, $p = 0.0000$), diámetro ($F_{(1, 58)} = 0.6301$, $p = 0.4305$) y número de hojas ($F_{(1, 58)} = 20.17$, $p = 0.0000$), sólo el diámetro no mostró diferencia estadística significativa (Figura 6.), su valor medio general fue de 2.8 cm. El número de hojas promedio de la caoba encalada fue 36.8 y sin encalar 30.1 (Figura 6b).

En la Figura 6a se muestra el crecimiento, en altura, de la caoba con los dos tratamientos, se observa diferencia estadística ($p=0.00001$) a favor del tratamiento encalado, que tuvo un valor medio de crecimiento de 185.7 cm, contra 148.2 en el tratamiento no encalado.

Distribución vertical de raíces finas (DLR) de la caoba. En la Figura 7. Se muestra el comportamiento de la biomasa radical ($F_{(2, 18)} 649.87$, $p=0.000$), fina hasta una profundidad de 60 cm, aunque el muestreo se realizó hasta 120 cm, en las profundidades mayores a 60 no se encontraron raíces (finas), los valores medios de raíces por profundidad de 0-20, 20-40, y 40-60 cm fueron 3.315, 0.549, 0.259 Km m^{-3} y 1.297, 0.347 y 0.045 Km m^{-3} para el tratamiento encalado y no encalado, respectivamente. El tratamiento encalado presentó diferencias entre sí en todas las profundidades y también con las del tratamiento no encalado ($p>0.0001$).

DISCUSIÓN

Efecto del encalado en las propiedades químicas de un Acrisol de la sabana de Huimanguillo, Tabasco. 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 (Mullen y Howard, 1992; Vergara *et al.*, 2005, 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 (Swift *et al.*, 1979; Attiwil 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 (Adams y Martín, 1984, Curtin *et al.* 1997; Fuentes *et al.*, 2006) o por aplicación de fertilizantes (Campbell *et al.*, 1994) o laboreo (Doran *et al.*, 1998; Fageria, 2002). 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 la MO, COs y Nin conforme incrementaba la profundidad del suelo; sin embargo, con aplicaciones de cal dichos parámetros se ven favorecidos (Borlaug y Dowsell, 1997; Soon y Arshad, 2004; Zimmermann *et al.*, 2007).

Los bajos contenidos de Ca, Mg y K del suelo en estudio corroboran la deficiencia de bases intercambiables K^+ , Ca^+ y Mg^{2+} en los suelos ácidos debidos, por una parte, a su lixiviación en el suelo, consecuencia de las altas precipitaciones y/o la inherente exportación de estos elementos por la plantación u otros manejos inadecuados (Vázquez *et al.*, 2000), los mencionados procesos favorecen la acidificación progresiva de los suelos y la presencia de Al^{3+} , el cual es muy reactivo y fija los cationes mencionados (Pastrana, 1994).

El manejo adecuado de un suelo ácido con enmienda de cal dolomítica es importante porque la acidez del suelo tiene efectos perjudiciales sobre las plantas no tolerantes y los organismos del suelo (Bloom, 2000, Brown y Koenig, 2008; Clivot *et al.*, 2012); a valores de pH inferiores a 4.5 el funcionamiento de los organismos del suelo disminuye, lo que trae como consecuencia una baja tasa de descomposición de residuos (mineralización) (Gregorich y Janzen, 2000, Bolan *et al.*, 2008). En suelos ácidos, las altas concentraciones de Al^{3+} , Fe y Mn, principalmente, resultan tóxicos para la mayoría de cultivos y plantaciones agrícolas (Núñez, 1985). El incremento observado en los contenidos de las bases Ca, Mg y K debido a la aplicación de cal dolomítica en el suelo en estudio no es extraño, al menos para las dos primeras ya que al respecto, Fageria y Stone (2004) mencionan que la cal neutraliza la acidez del suelo, con lo que el Ca y el Mg (aplicados) reaccionan con el H del complejo de intercambio (arcilla o materia orgánica) remplazándolo por Ca^{2+} y Mg^{2+} , para formar HCO_3^- que reacciona con H^+ originando CO_2 y H_2O , lo que aumenta el pH (Fageria y Baligar, 2008). La neutralización de la acidez del suelo favorece el desarrollo y actividad de la macro y micro fauna, proceso en el cual se liberan diversos nutrientes mayores, como el N, K y P (Bot y Benites, 2005; Fageria y Baligar, 2008; Soon y Arshad, 2005; Lavelle *et al.*, 2001; Leifeld, 2008).

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 (Sierra *et al.*, 2006; Abat *et al.*, 2012), la interrelación que estos elementos tienen con la química del aluminio (Al^{3+}) origina la formación de compuestos insolubles, en reacciones casi irreversibles (Sierra *et al.*, 2003; 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 nutrientes (fertilidad química) a través de la mineralización, además, la descomposición de la materia orgánica del suelo mejora la agregación y estabilidad de los agregados (fertilidad física) (Roth, 1992, Manna *et al.*, 2006).

Crecimiento y desarrollo de la caoba en un Acrisol de la sabana de Huimanguillo, Tabasco. El efecto positivo del encalado para crecimiento y desarrollo de plantaciones forestales generalmente es reportado en diámetro y altura (Alvarado y Fallas, 2004; Oliveira, 2003). El valor medio general del diámetro (2.8 cm) coincide con los reportados por otros autores, que indican que el intervalo de crecimiento en grosor está en el orden de 20 a 40 mm planta año⁻¹ (Navarro y Hernández, 2004). Para suelos de la región y con aplicaciones de cal, Pérez (2009) encontró un crecimiento diamétrico de alrededor de 3.1 cm año⁻¹. El crecimiento en altura de la caoba encalada fue mayor, (185.7 cm) y sin encalar(148.2 cm)se ubica en el intervalo de crecimiento reportado por otros autores (80 a 180 cm año⁻¹),respectivamente (Romero, 1983; Evans, 1984; Mayhew y Newton 1998; Navarro y Hernández, 1998 y Gutiérrez 1998). La literatura es escasa en cuanto a trabajos realizados para conocer la respuesta al encalado y fertilización (en suelos ácidos) de plantaciones de caoba en fase temprana, en diámetro y altura de la planta. En el presente trabajo se observo un efecto positivo del encalado en el número de hojas (36.8 a 30.1).

Distribución vertical de raíces finas (DLR) de la caoba. La mayor distribución proporcional de la biomasa radical fina en los primeros 60 cm de profundidad ha sido señalada en sistemas forestales (Córdova 2009; Moreno *et al.*, 2005; Wilson 2009). En esta investigación la biomasa radical fina se encontró en los estratos superiores; lo cual puede atribuirse a la edad de la plantación que fue de un año. Se ha reportado la presencia de raíces finas en cantidades importantes y a mayor profundidad (Ehleringer *et al.*, 1991; Sala *et al.*, 1989; Smith *et al.*, 1997; Pascual, 2013).

En estudios posteriores habrá que considerar la distribución de la biomasa radical fina tanto en la caoba como en el limón para conocer las posibles interacciones (positivas, negativas o neutras) entre ellos y evaluar la competencia por luz, nutrimentos y/o agua que pueda existir. Para reducir la competencia entre ellos por los recursos edáficos, el árbol ideal para los sistemas agroforestales (con limón persa) debería tener un sistema radical profundo y pocas raíces proliferando cerca del primer horizonte del suelo, lo cual posibilitaría que el cítrico utilice, casi en exclusiva, los recursos que se encuentran más cerca de la superficie.

Además, el profundo sistema radical de los árboles les permite tomar nutrientes de los horizontes inferiores, reduciendo la pérdida de éstos por lixiviación.

Estos nutrientes son reciclados a través de la descomposición de la hojarasca, retornando a las raíces e incrementando la eficiencia del uso de los recursos del sistema (José *et al.*, 2004). La hojarasca puede, por si misma, actuar como un amortiguador de la erosión hídrica (Grove y Rackham, 2001) que, en suelos como el estudiado empieza a ser importante (Palma *et al.*, 2009).

Conclusiones

El encalado tuvo efectos positivos en la mayoría de los parámetros químicos estudiados. Estos efectos se observaron principalmente en COS y el Nina 0-20 y 20-40 cm de profundidad. El COS y el Nin pueden sugerirse como buenos indicadores para estimar el efecto del encalado. Comparados con la MO, el crecimiento en altura y el número de hojas de las plantas de caoba se vieron favorecidos por el encalado. El encalado favoreció una mayor distribución de raíces en los primeros 60 cm de profundidad del suelo, una más alta exploración radical permite una mayor toma de nutrimentos la cual se refleja en un mejor crecimiento y desarrollo de la plantación.

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: p 51-66.
- Adams F, Martin JB. 1984. Liming effects on nitrogen use and efficiency. En: Hauck RD (ed) *Nitrogen in Crop Production American Society of Agronomy, Madison*.p.417-426.
- Alvarado A. y Fallas J.L. 2004. Efecto de la saturación de acidez sobre el crecimiento de la teca (*Tectona grandis* L.) en Ultisoles de Costa Rica. *Agronomía Costarricense* 28(1): p. 81-87.
- Argüelles A. 1999. Diagnóstico caoba Mesoamérica México. Diagnóstico de la caoba (*Swietenia macrophylla* king), México. CCT-PROARCA/CAPAS. México. 50 p.
- Attiwill P. M, Adams M. A. 1993. Nutrient cycling in forests. *New Phytologist*. 124: p. 561-582.
- Barton BD& Merino PL 2004. La experiencia de las comunidades forestales en México, INE-Semarnat, México.
- Blanco H. Lal R. 2008. Principles of Soil Conservation and Management. Springer Science+Business Media B.V. 256p.
- Bloom, P.R. 2000. Soil pH and pH buffering. In: Sumner, M. (Ed.) *Handbook of Soil Science*. CRC PRESS. Chapter 10: B-333 - B-352.

- Bodero A, Revelo N. and Hernández L. 2007. Propuesta Nacional para el manejo sostenible de la *Swietenia macrophylla* King “Caoba” en Ecuador. Quito, Ecuador. 59p.
- Bohm W. 1979. Methods of studying root systems. Ecological studies. Springer Verlag. Berlin. Heidelberg. New York. 33: 183p.
- Bolan N.S., Rowarth J, Mora M. de L, Adriano D. and Curtin D. 2008. Biological transformation and bioavailability of nutrient elements in acid soils as affected by liming. In: Developments in Soil Science, volume 32 Ravendra Naidu (Editor). Elsevier B.V. p. 413-446.
- Borlaug N. E. and Dowsell C. R. 1997. The acid lands: One of agricultures last frontiers. In “Plant Soil Interactions at Low pH: Sustainable Agriculture and Forestry Production” (A. C. Moniz, A. M. C. Furlani, R. E. Schaffert, N. K. Fageria, C. A. Rosolem, and H. Cantarella, Eds.), Brazilian Soil Science Society, Campinas, São Paulo, Brazil.p.5–15
- Bot A. and Benites J. 2005. The importance of soil organic matter “Key to drought-resistant soil and sustained food production”. FAO Soils Bolletin No. 80. Roma Italia. 95p.
- 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 (Organización para la Alimentación y la Agricultura de las Naciones Unidas). Roma Italia. 176p.

- Brown T. T. and Koenig R. T. 2008. Lime Effects on Soil Acidity, Crop Yield, and Aluminum Chemistry in Direct-Seeded Cropping Systems. *Soil. Sci. Soc. Am. J.* 72: p. 634-640.
- Calderón B. V. 2008. Captura de carbono en un sistema agroforestal cedro (*Cedrela odorata* L.) banano (*Musa* sp. AAA) 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, Y. W Jame, O. O. Akinremi And Beckie H. 1994. Evaluating potential nitrogen mineralization for predicting fertilizer nitrogen requirements of long-term field experiments. In *Soil Testing: Prospects for Improving Nutrient Recommendations*, eds. J. L. Havlin and J. S. Jacobson, Soil Science Society of America, Madison. p.81-100.
- Cerdán C. 2007. La tala ilegal de caoba en la amazonia peruana y su comercialización al mercado exterior. AIDSESEP (Asociación Interétnica de Desarrollo de la Selva Peruana), Lima Perú. 53 p.
- CITES 2009. Report of the Plants Working Groups in the International Expert Workshop on Non-detriment Findings. Eighteenth Meeting of the Plants Committee, PC18 Doc. March, Buenos Aires, Argentina. 14.2:p.17–21.
- Clivot H, Pagnout C, Aran D, Devin S, Bauda P, Poupin P, Guérold F. 2012. Changes in soil bacterial communities following liming of acidified forests. *Applied Soil Ecology* 59: p.116– 123.

- Combe J. y Budowski G. 1979. Clasificación de las técnicas agroforestales. Sistemas agroforestales en América Latina. Turrialba, Costa, Rica.p.17-48.
- CONAFOR (Comisión Nacional Forestal) 2004. Evaluación del programa para el desarrollo de plantaciones forestales comerciales (PRODEPLAN–2003). CONAFOR–UANL. Facultad de Ciencias Forestales. México.
- CONAFOR (Comisión Nacional Forestal) 2006. Guía para la elaboración de la propuesta técnica forestal y ambiental. México.
- Córdova S. A. 2009. Fertilización N-P-K en plantaciones de palma de aceite (*Elaeis guineensis* Jacq) en el norte de Chiapas. Tesis de Maestría en Ciencias. Colegio de Postgraduados. H. Cárdenas Tabasco, México. 94p.
- Cuanalo de la C. H. 1990. Manual para la descripción de perfiles de suelo en el campo. 3ª ed. Centro de Edafología, Colegio de Postgraduados. Chapingo. 40p.
- Curtin D, Campbell C. A. and Jalil A. 1998. Effects of acidity on mineralization: pH dependence of organic matter mineralization in weakly acidic soils Soil Biol. Biochem. 30 (1):p.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:p.3–18.
- Duque Vargas, I Pandey, S Granados, G Ceballos, H Knapp. E. 1994. Inheritance of tolerance to soil acidity in tropical maize. Crop. Science. p.33-34.

- Ehleringer J.R, Phillips S.L, Schuste W.F.S. and Sandquist D.R. 1991. Differential utilization of summer rains by desert plants: implications for competition and climate change. *Oecología*, 88: p.430-434.
- Fageria N. K. 2002. Soil quality vs. environmentally based agricultural management practices. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* 33: p.2301–2329.
- Fageria N. K, and Stone L. F. 2004. Yield of common bean in no-tillage system with application of lime and zinc. *Pesq. Agropec. Bras.* 39:p.73–78.
- Fageria N.K, Baligar VC. 2008. Ameliorating soil acidity of tropical Oxisols by liming for sustainable crop production. *Advances in agronomy.* 99:p.345-399.
- FAO 2005. Evaluación de los recursos forestales mundiales. FAO Forestry Paper Rome, Italy. 147: 181 p.
- Fredericksen T. S. and Putz E. F. 2003. Silvicultural intensification for tropical forest conservation. *Biodiversity and Conservation.* 12: p.1445–1453.
- Fuentes J. P, Bezdicek D. F, Flury M, Albrecht S. and Smith J. L. 2006. Microbial activity affected by lime in a long-term no-till soil. *Soil and Tillage Research* 88: p.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. 157p.
- Gregorich E.G. and Janzen H.H. 2000. Decomposition. In M.E. Sumner (ed). *Handbook of Soil Science. Section C, Soil Biology and Biochemistry.* CRC Press, Boca Raton, Florida, USA. C-107-C-128.

- Grogan J, Blundell A. G, Matthew L. R, Youatt A, Gullison R. E, Martinez M, Ko'metter R, Lentini M, y 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: p. 12–20.
- Grove A.T. and O. Rackham. 2001. *The nature of Mediterranean Europe: An ecological history*. New Haven, CT: Yale University Press.
- Guariguata M.R, Fernández C.G,Nasi R, Sheil D, Jáuregui C.H, Cronkleton P, Ndoye O, Ingram V. 2009. *Hacia un manejo múltiple en bosques tropicales: Consideraciones sobre la compatibilidad del manejo de madera y productos forestales no maderables*. CIFOR, Bogor, Indonesia.
- Havlin J.L, J.D Beaton, S.L Tisdale, W.L Nelson. 1999. *Soil Fertility and Fertilizers*, 6th Edition. Upper Saddle River, N.J: Prentice-Hall, Inc. 499 p.
- INEGI (Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática) 2007. *Sistema Nacional de Estadística e Información Geográfica*. México. Consultado 24 enero. 2013.
- IUSS-WRB. 2007. *Base Referencial Mundial del Recurso Suelo. Primera actualización 2007. Informes sobre Recursos Mundiales de suelos No. 103*. FAO, Roma. 130p.
- Jose S, Gillespie A.R. and Pallardy S.G. 2004. Interspecific interactions in temperate agroforestry. *Agroforestry Systems*. 61: p.237-255.
- Kometter R.F, Martinez M, Blundell A.G, Gullison R.E, Steininger M.K, Rice R.E. 2004. Impacts of unsustainable mahogany logging in Bolivia and Peru. *Ecol. and Soc.* 9.
- Lavelle P. and Spain, A. 2001. *Soil ecology*. Dordrecht, the Netherlands, Kluwer Academic Publishers.

- Leifeld J., Zimmermann M. and Fuhrer J. 2008. Simulating decomposition of labile soil organic carbon: Effects of pH. *Soil Biology and Biochemistry* 40: p.2948–2951.
- Lummer D., Scheu S. and Butenschoen O. 2012. Connecting litter quality, microbial community and nitrogen transfer mechanisms in decomposing litter mixtures *Oikos* 121: p.1649–1655.
- MacDicken K. 1997. A guide to monitoring carbon storage in forestry and agroforestry projects. Forest carbon Monitoring Program. Winrock International Institute for Agricultural Development (WRI). Consultado 21 marzo. 2013. Disponible en <http://www.winrock.org/REEP/PUBSS.html>.
- Manna M.C, Swarup A, Wanjari R.H, Mishra B. and Shahi D.K. Long-term fertilization, manure and liming effects on soil organic matter and crop yields. *Soil and Tillage Research* 94 (2007) p.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 JE and AC. Newton. 1998. *Silviculture of Mahogany*. CABI Publishing series. CABI, Wallingford, Reino Unido. 226 p.
- Meli P. 2003. Restauración ecológica de bosques tropicales. Veinte años de investigación académica. *INCI*, 28 (10): p.581-589.
- Menezes R.S.C, Salcedo I.H. and Elliot E.T. 2002. Microclimate and nutrient dynamics in a silvopastoral system of semiarid northeastern Brazil. *Agroforestry Systems* 56: p.27- 38.

- Molina R. E. 1998. Encalado para la corrección de la acidez del suelo. Asociación, Costarricense de la Ciencia del Suelo. Costa Rica. 45p.
- Montagnini F. 2002. Tropical plantations with native trees: their function in ecosystem restoration. In: Reddy, M.V., ed. Management of Tropical Plantation- Forests and Their Soil Litter System. Litter, Biota and Soil-Nutrient Dynamics. Science Publishers, Enfield.
- Montard F.X, Rapey H, Delpy R. and Massey P.1999. Competition for light and nitrogen in an association of hazel (*Coryllus avellana* L.) and cocksfoot (*Dactylis glomerata* L.) Agroforestry Systems, 43: p.135-150.
- Moreno M.G and Obrador O. J.J. 2007. Effects of trees and understo management on soil fertility and nutritional status of holm oaks in Spanish dehesas NutrCycl Agroecosyst 78:p.253–264.
- Moreno G, Obrador J.J, Cubera E. and Dupraz C. 2005. Fine root distribution in Dehesas of Central-Western Spain. Plant and Soil 277:p.153–162.
- Mullen M.B. and D.D. Howard. 1992. Vertical and horizontal distribution of soil C, N, P, K, and pH in continuous no–tillage corn production. In M.D. Mullen and B.N. Duck (ed.) Proc. 1992 Southern Conservation Tillage Conference. Tenn. Agric. Exp. Stn. Spec. Publ. 92–01.p. 6–10.
- Murrillo de la R. A. 2010. La materia orgánica del suelo en seis agro ecosistemas de la Sabana de Huimanguillo, Tabasco. Tesis de maestría del Colegio de Postgraduados. H. Cárdenas, Tabasco. 90p.

- Nair V.D. and Graetz D.A. 2004. Agroforestry as an approach to minimizing nutrient loss from heavily fertilized soils: The Florida experience. *Agroforestry Systems* 60-61: p. 269-280.
- Navarro C. y G. Hernández. 2004. Progeny analysis and population differentiation of Mesoamerican mahogany (*Swietenia macrophylla* King.). *Agronomía Costarricense*, 28: p. 37-51.
- 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/> Consultado el 25 abril 2013.
- Núñez ER. 1985. Efectos de la acidez del suelo sobre la producción de cultivos y su corrección mediante el encalado. Serie Cuadernos de Edafología 2. Centro de Edafología. Colegio de Postgraduados, Chapingo México 56 p.
- Obrador O. J.J. 2002. Evolución de las propiedades Edáficas de un suelo forestal Semi-Natural a las aplicaciones de un material encalante (subproducto de La industria azucarera). Universidad de Salamanca, Facultad de química 75p.
- Oliveira J.R.V de. 2003. Sistema para cálculo de balanço nutricional e recomendacao de calagem de povoamentos de teca NUTRITECA. Tesis de Maestría. Vicosá, Brasil, Universidad Federal de Vicosá. 79p.
- Ospina A. A. 2002. La Agroforestería: un saber popular. Unidad de investigación Fundación Ecovivero 2p. Consultado: <http://www.ecovivero.org/Ecoarticuloabril.pdf>. 12/05/11.

- Palma-López D.J, J Cisneros D, E Moreno C. y J. A. Rincón-Ramírez. 2007. Suelos de Tabasco: su uso y manejo sustentable. Colegio de Postgraduados-ISPROTAB-FUPROTAB. Villahermosa, Tabasco, México.
- Pascual C. G. 2013. Evaluación del agroecosistema cacao (*Theobroma cacao* L.) y caña de azúcar (*Saccharum sp.*), a través de indicadores de calidad del suelo. Tesis de maestría en ciencias del Colegio de postgraduados. H. Cárdenas Tabasco. 115 p.
- Pastrana A. L. 1994. Evaluación de cal dolomita en el desarrollo y producción de naranjo Valencia en suelos ácidos, Informe técnico. Campo Experimental Huimanguillo. Huimanguillo, Tabasco. 23p.
- 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. 70p
- Piussi P. 1994. Selvicoltura Generale UTET, Torino, Italy.
- Putz F.E, Blate G., Redford K.H, Fimbel R. and Robinson J.G. 2001. Tropical forest management and conservation of biodiversity: an overview. Conservation Biology. p.15: 7–20.
- Ramírez M. A. 2009. Diversidad florística y macro fauna edáfica en plantaciones agroforestales de cacao en Cárdenas Tabasco. Tesis maestría en ciencias. Colegio de Postgraduado. 86p.
- Rodríguez Q. A.1993. Efecto del encalado sobre las propiedades químicas de un suelo ácido de la Sabana de Huimanguillo, Tabasco. In Memorias de Avances de Investigación CEICADES 92/93. CEICADES-CP. H. Cárdenas, Tab. p. 64-66.

- Roth C.H. 1992. Soil scaling and crusting in tropical South America. In: Summer, M.E., Stewart, B.A. (Eds.), Soil Crusting—Chemical and Physical Processes. Advances in Soil Science. Lewis Publishers, Boca Raton, FL,p.267–300.
- Sala A. and Tenhunen J.D. 1996. Simulations of canopy net photosynthesis and transpiration in *Quercus ilex* L. under the influence of seasonal drought. *Agr. For. Meteorology*. 78:p.203-222.
- Sanderman J, Baldock J. A. and Amundson R. 2008. Dissolved organic carbon chemistry and dynamics in contrasting forest and grassland soils. *Biogeochemistry*. 89:p.181–198.
- Samac D. A. and Tesfaye M. 2003. Plant improvement for tolerance to aluminum in acid soils—a review. *Plant Cell, Tissue and Organ Culture*. Kluwer Academic Publishers. Printed in the Netherlands.75: p.189–207.
- Schlegel B. and Gayoso J. 2001. Manual de procedimientos para inventarios de carbono en ecosistemas forestales. Valdivia, Chile.
- Schlegel B, Gayoso J. and 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. 24p.
- Schroth G and Sinclair FL. 2003. Impacts of trees on the fertility of agricultural soils. In: trees, crops and soil fertility (concepts and research methods). G.Schroth and F.L. Sinclair.Cabi publishing. Cambridge, USA.p. 1-12.

- Sierra J, Ozier-Lafontaine H, Dufour L, Meunier A, Bonhomme R. and Welcker C. 2006. Nutrient and assimilate partitioning in two tropical maize cultivars in relation to their tolerance to soil acidity. *Field Crops Research* 95:p.234–249.
- Sierra J, Noeïl C, Dufour L, Ozier-Lafontaine, HWelcker and C Desfontaines. L. 2003. Mineral nutrition and growth of tropical maize as affected by soil acidity. *Plant Soil* 252:p.215–226.
- Smith D.M, Jackson N.A, Roberts J.M. and Ong C.K. 1999. Root distribution in a *Grevillea robusta*-maize agroforestry system in semi-arid Kenya. *Plant Soil*. 211: p.191-205.
- Soon Y.K. and Arshad M.A. 2005. Tillage and liming effects on crop and labile soil nitrogen in an acid soil. *Soil and Tillage Research* 80: p.23–33.
- Sotomayor A, García E, González M. y Lucero A. 2008. Modelos agroforestales. Sistema productivo integrado para una agricultura sustentable. Instituto Forestal de Chile (INFOR), Castilla 109 – C. 23p.
- Sumner M.E, Fey M.V. and Noble A.D. 1991. Nutrient status and toxicity problems in acid soils. In: Ulrich B and Sumner ME (eds). *Soil Acidity*. Springer-Verlag, Berlin. p.149–182.
- Swift M. J, Heal O. W. and Anderson J. M. 1979. *Decomposition in terrestrial ecosystems*. Blackwell Scientific Publications, Oxford. 18p.
- USDA. (United States Department of Agriculture) 2004. *Soil Quality–Soil Biology Technical Note No. 4*. NRCS Soil Quality. <http://soils.usda.gov/sqi>. Consultado 7 de marzo de 2013. 20p.

- Vázquez M, A Terminiello, A Duhour, M García and F Guilino. 2009. Efecto del encalado sobre propiedades físicas de un suelo de la Pradera Pampeana. Asociación con propiedades químicas. *Ciencia del Suelo* 27(1): p.67-76.
- Vázquez S. y L.A. Morales. 2000. Adsorción de fósforo en relación a las características de suelos ácidos de Misiones, Argentina. *Revista de la Ciencia del Suelo*. 18:p. 89-94.
- Vergara-Sánchez M. A, J. D. Etchevers-Barra y J. Padilla-Cuevas. 2005. La fertilidad de los suelos de ladera de la sierra norte de Oaxaca, México. *Agrociencia* 39: p.259-266.
- Watson R, Noble I, Bolin B, Ravindranath N, Verardo D. and Dokken D. 2000. *Land Use, Land-Use Change, and Forestry*. Intergovernmental Panel on Climate Change and Cambridge University Press, Cambridge, UK. 377p.
- Webb M. J, Reddell P, Hambleton A. And Robson K. 2000. Growth response of four tropical plantation timber species to increasing phosphorus supply and assessment of phosphorus requirements using foliar análisis. *New Forests*. 20: p.193–211.
- Wilson B. Y. V. 2008. Dinámica nutrimental y crecimiento de cedro (*Cedrela odorata* L.) Y teca (*Tectona grandis*L.) en un suelo Fluvisol del estado de Tabasco. Tesis de maestría en ciencias, Colegio de postgraduados. H. Cárdenas Tabasco.99p.
- Zimmermann M, Leifeld J, Schmidt M.W.I, Smith P and Fuhrer J. 2007. Measured soil organic matter fractions can be related to pools in the Roth C model. *European Journal of Soil Science* 58:p.658–667.

Cuadro 1. Descripción del perfil edáfico en el SAFs caoba-limón. (Localización: N 17°38'18", W 093°29'55'. Relieve: convexo. Pendiente: -2%. Drenaje normal. Material parental: terciario. Flora: mulato, cocohite, privilegio, maleza, etc. Manto freático: 160cm. Drenaje del perfil: drenado).

Ho	Descripción
0-22	Marcada ondulada, ligeramente húmedo, color 10YR 2/2 pardo oscuro, textura franco arenoso, sin piedras subangulares, consistencia blando en húmedo, estructura débilmente desarrolla; bloques poliédricas subangular muy finas, con reacción al peróxido de hidrogeno, poros frecuentes, finos, continuos, caóticos y versiculares, permeabilidad muy rápida, raíces extremadamente finas y delgadas abundantes, fauna lombrices, pH 6.
22-35	Marcada ondulada, ligeramente húmedo, color 10YR 3/3 pardo oscuro, textura franco arenoso, sin piedras subangulares, consistencia blando en húmedo, estructura débilmente desarrollada poliédricas subangular muy finos, cutanes de eluviación descontinúas, delgadas y horizontales, nódulos muy pocos, pequeños, subangular, duro de óxido de hierro, muy poca reacción al peróxido de hidrógeno, poros frecuentemente, finos, continuos caóticos y versiculares, permeabilidad muy rápida, raíces abundantes delgadas, fauna lombrices, pH 5.
35-80	Tenue horizontal, ligeramente húmedo, color 5YR 4/6 rojo amarillento, textura areno limoso, muy pocas piedras, consistencia blando en húmedo, estructura moderadamente desarrollada poliédricas subangulares muy finas, cutanes de eluviación descontinúas delgadas verticales, nódulos pocos muy pequeños subangular duro óxido de hierro, no tuvo reacción al peróxido de hidrógeno, poros muy finos, continuos, caóticos y versicular, permeabilidad muy lenta, raíces comunes delgadas, pH 5.
80-115	Tenue horizontal, ligeramente húmedo, color 7.5YR 5/8 pardo fuerte, moteados 2.5 YR 4/8 rojo, 10 YR 6/8 amarillo pardo, textura arcilloso, ligeramente pedregoso, consistencia ligeramente duro en húmedo, estructura moderadamente desarrollada poliédricas subangular finas, cutanes de eluviación descontinúas delgadas verticales, nódulos pocos muy pequeños subangular blandos óxido de hierro, no presento reacción al peróxido de hidrógeno, poros muy finos, continuos, caóticos versicular, permeabilidad muy lenta, raíces muy raras, pH 5.
115-160	Tenue horizontal, ligeramente húmedo, color 10 YR 7/8 amarillo moteados 1YR 8/9 blanco, 2.3 YR 3/6 rojo, textura arcilloso, sin piedras subangulares, consistencia ligeramente duro en húmedo, estructura moderadamente desarrollada poliédricas subangular finas, cutanes de eluviación descontinúas delgadas verticales, nódulos pocos muy pequeños subangular blandos óxido de hierro, no presentó reacción al peróxido de hidrógeno, poros muy finos, continuos, caóticos versicular y micro, permeabilidad muy lenta, raíces muy raras, pH 5.

PROF.	%					Clase Textural	(Cmol ₍₊₎ Kg ⁻¹)					mg kg ⁻¹	CaCl ₂	Abs
	N	MO	R	L	A		CIC	Na	K	Ca	Mg	P Olsen	pH	COS
0-22	0.38	10.67	23.96	22.00	54.04	Arcilla arenoso	5.93	0.15	0.06	0.82	0.36	2.29	4.66	1.454
22-35	0.13	3.87	35.96	16.00	48.04	Arcilla arenoso	15.09	0.17	0.06	0.80	0.51	0.57	4.68	0.735
35-80	0.06	0.33	49.96	10.00	40.04	Arcilla arenoso	12.40	0.17	0.07	0.31	0.58	0.14	4.87	0.204
80-116	0.08	0.27	43.96	14.00	42.04	Arcilla arenoso	16.71	0.16	0.08	1.92	1.07	0.14	4.66	0.046
116-160	0.04	0.13	57.96	18.00	24.04	Arcilla arenoso	17.79	0.16	0.08	0.66	0.64	0.14	4.88	0.017

N. Nitrógeno, **MO.** Materia Orgánica, **R.** Arcilla, **L.** Limo, **A.** Arena, **CIC.** Capacidad de Intercambio Catiónico, **Na.** Sodio, **K.** Potasio, **Ca.** Calcio, **Mg.** Magnesio, **P.** Fosforo, **pH.** Potencial de Hidrogeno, **COS.** Carbono Orgánico Soluble.

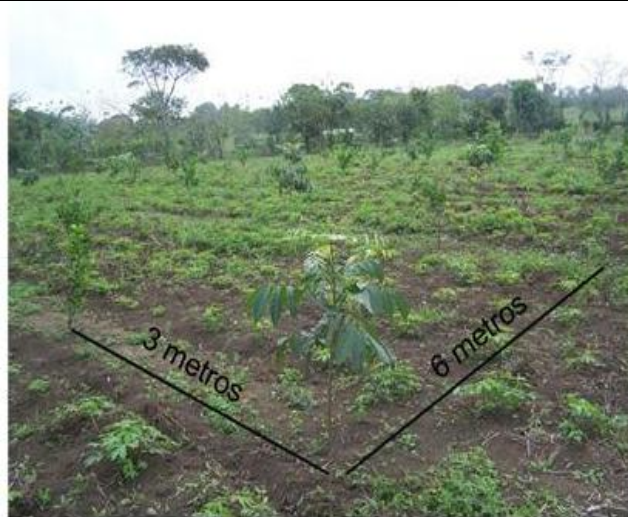
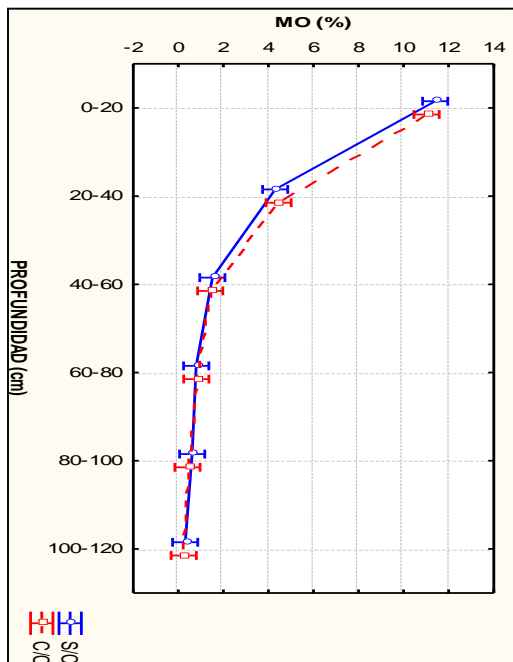


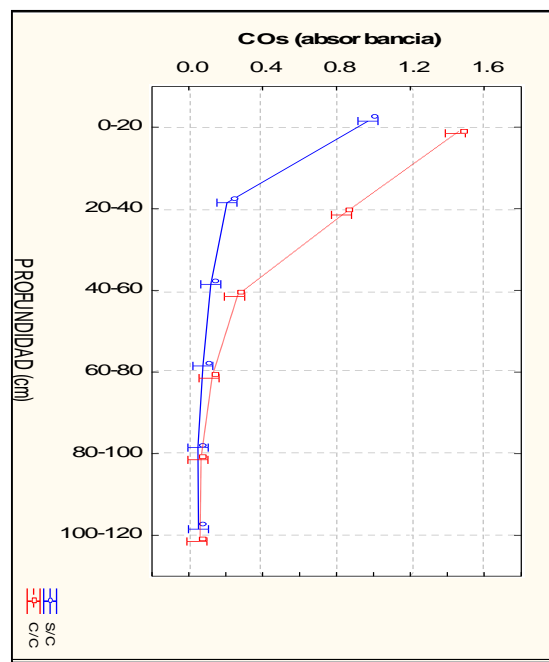
Figura 1. Disposición topológica del limón persa (*Citrus latifolia* T.) y caoba (*Swietenia macrophylla* King.) en la parcela de estudio.



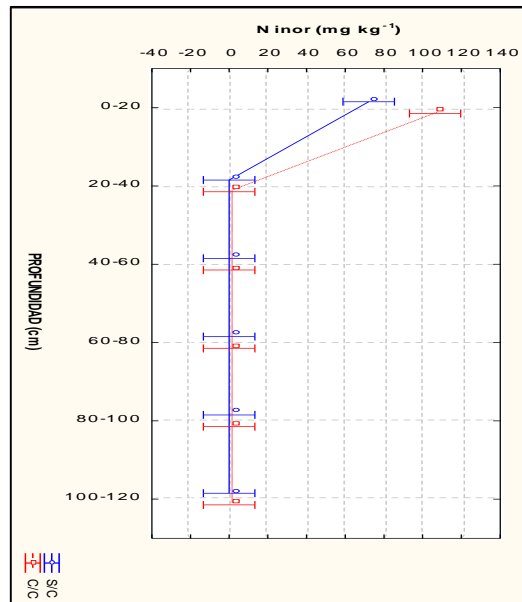
Figura 2. Perfil edáfico y grupo de trabajo en el sistema agroforestal caoba-limón persa en la Sabana de Huimanguillo, Tabasco.



3a) $F=0.217$, $p=0.9526$. Las barras horizontales indican 0.95 de intervalo de confianza

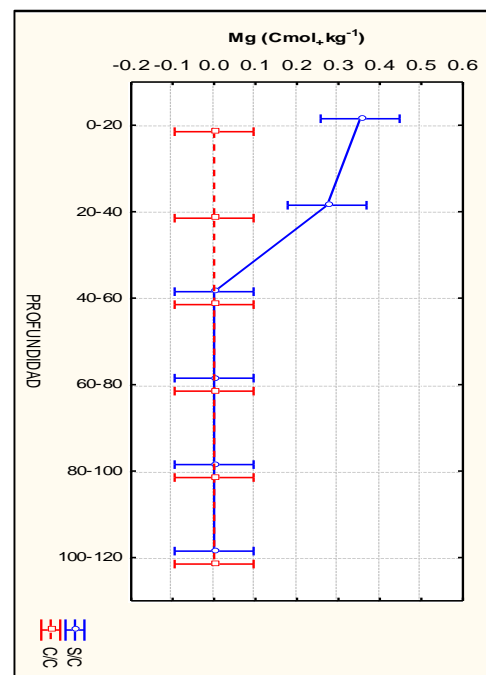
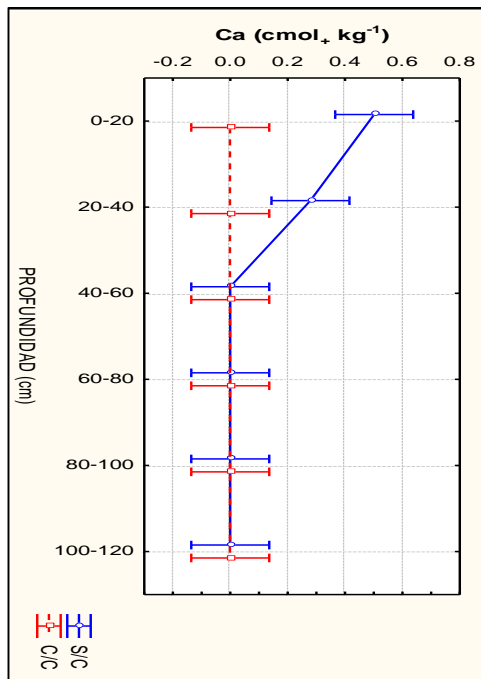


3b) $F=50.942$, $p=0.0000$. Las barras horizontales indican 0.95 de intervalo de confianza



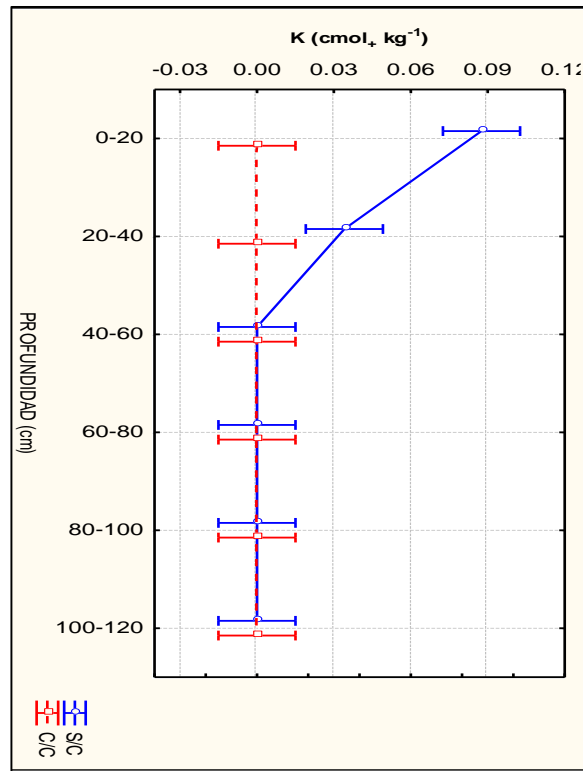
3c) $F=2.290$, $p=0.0661$. Las barras horizontales indican 0.95 de intervalo de confianza

Figura 3. El efecto del encalado en el contenido de materia orgánica (MO), carbono orgánico soluble (COS), y nitrógeno inorgánico (Nin), a seis diferentes profundidades en un suelo Acrisol. S/C. Sin cal, C/C. Con cal, F= 0.217, 50.942, 2.290 y p= 0.9526, 0.0000, 0.0661, para MO, COS y Nin, respectivamente.



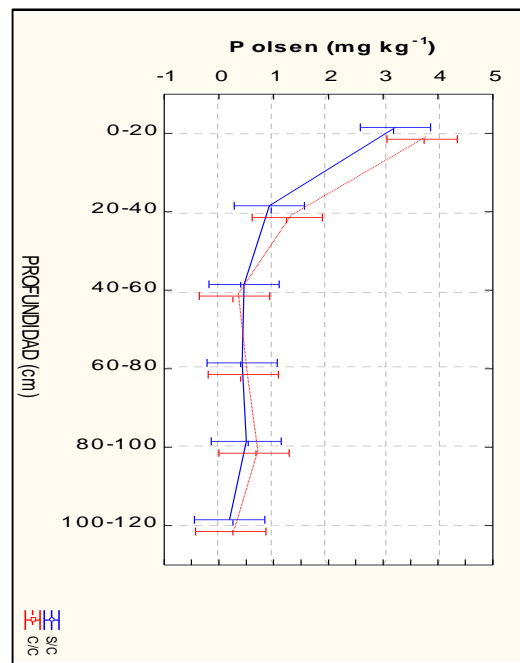
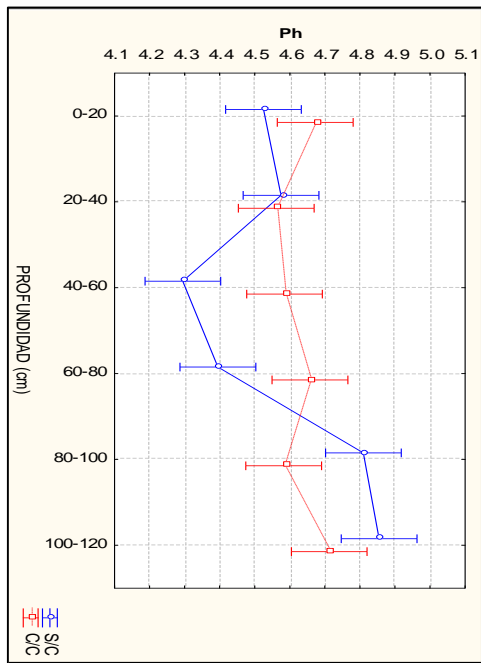
4a) F=5.072, p=0.0012. Las barras horizontales indican 0.95 de intervalo de confianza

4b) F =6.050, p=0.0003. Las barras horizontales indican 0.95 de intervalo de confianza



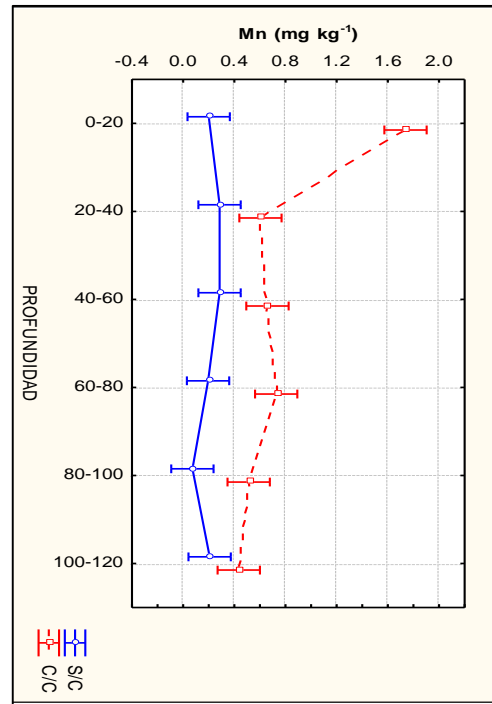
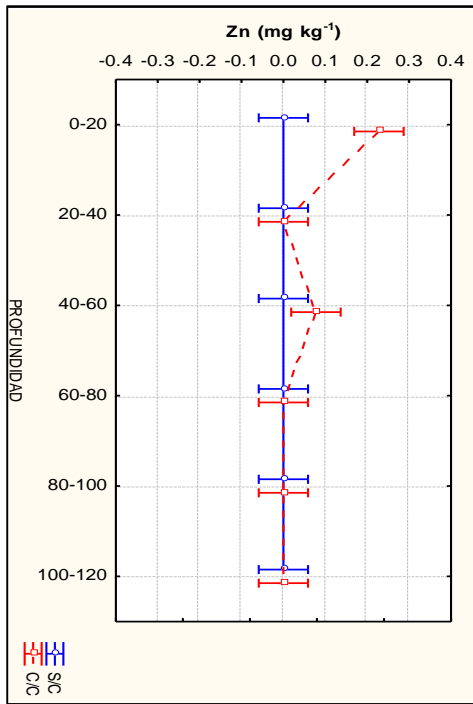
4c) $F = 11.564$, $p = 0.0000$. Las barras horizontales indican 0.95 de intervalo de confianza

Figura 4. El efecto del encalado en el contenido de Calcio (Ca), Magnesio (Mg) y Potasio (K), a seis diferentes profundidades en un suelo Acrisol. S/C. Sin cal, C/C. Con cal, $F = 5.072$, 6.050 , 11.564 y $p = 0.0012$, 0.0003 , 0.0000 , para Ca, Mg y K, respectivamente.



5a) $F = 8.115$, $p = 0.0000$. Las barras horizontales indican 0.95 de intervalo de confianza

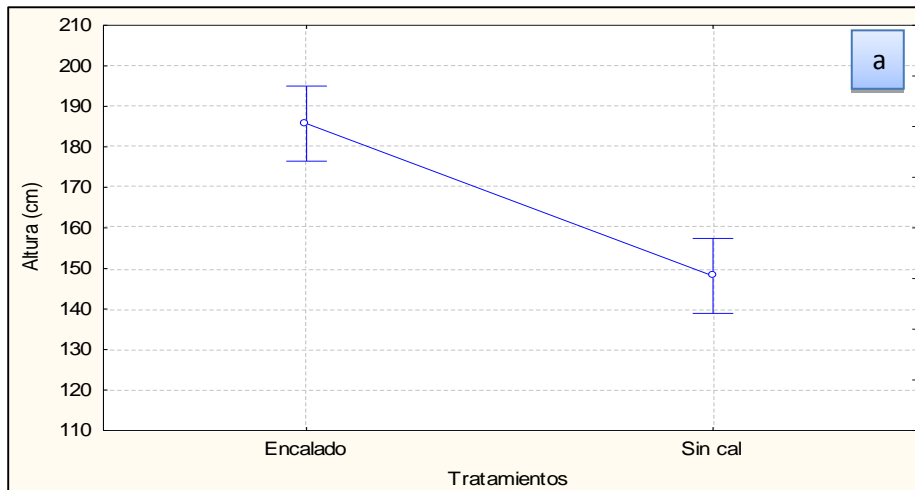
5b) $F = 0.286$, $p = 0.9175$. Las barras horizontales indican 0.95 de intervalo de confianza



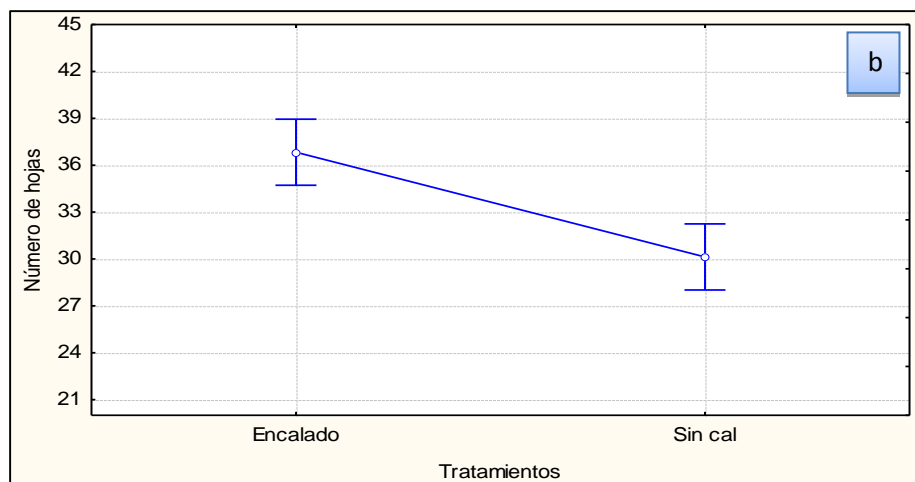
5c) $F = 17.709$, $p = 0.0000$. Las barras horizontales indican 0.95 de intervalo de confianza

5d) $F = 5.019$, $p = 0.0013$. Las barras horizontales indican 0.95 de intervalo de confianza

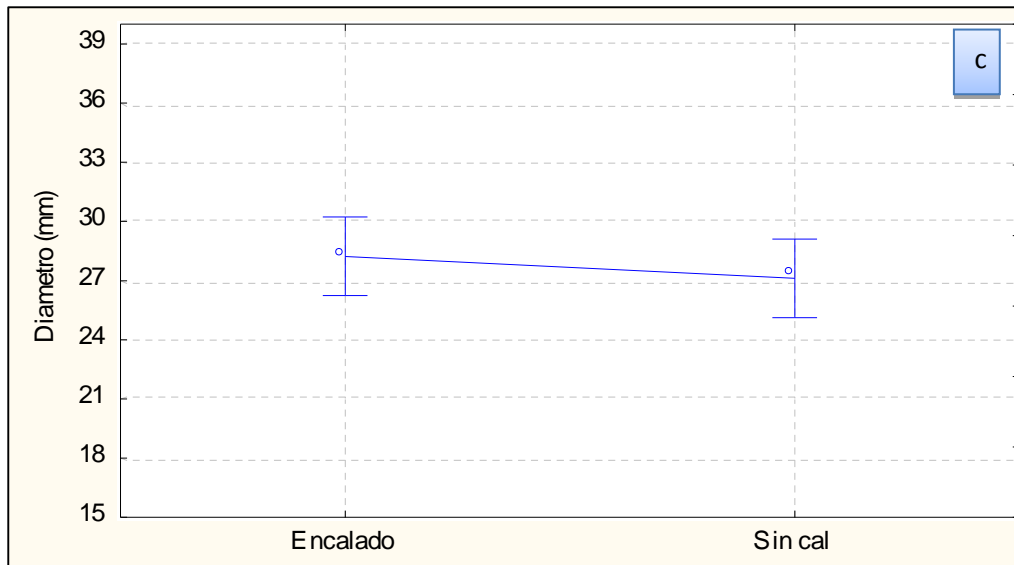
Figura 5. El efecto del encalado en el contenido de pH, fósforo (P), zinc (Zn) y manganeso (Mn), a seis diferentes profundidades en un suelo Acrisol. S/C. Sin cal, C/C. Con cal, $F = 8.115$, 0.286 , 17.709 , 5.019 y $p = 0.0000$, 0.9175 , 0.0013 , 0.0000 , para pH, P, Zn y Mn respectivamente.



6a) $F = 32.970$, $p = 0.0000$. Las barras verticales indican 0.95 de intervalo de confianza

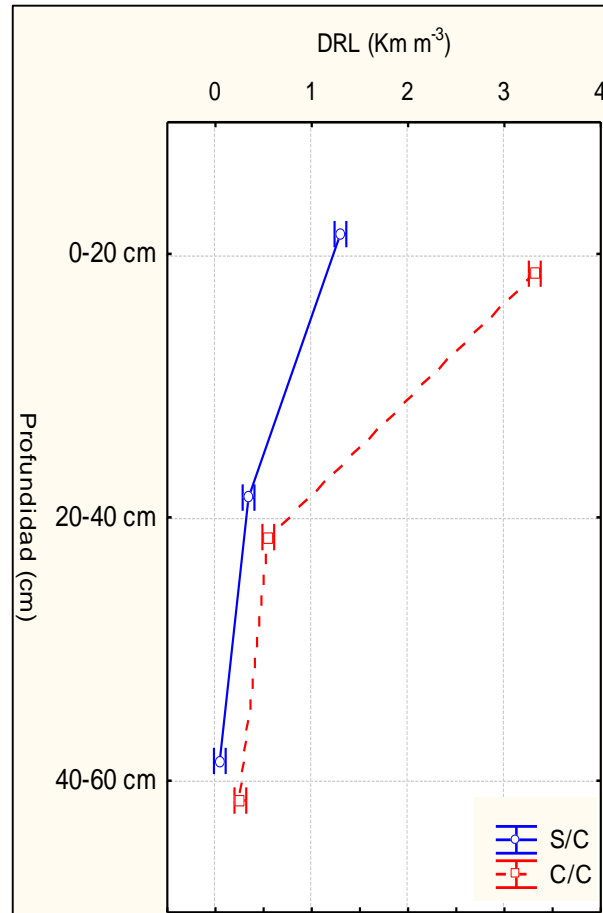


6b) $F = 20.17$, $p = 0.0000$. Las barras verticales indican 0.95 de intervalo de confianza



6c) $F = 0.6301$, $p = 0.4305$. Las barras verticales indican 0.95 de intervalo de confianza

Figura 6. Efecto del encalado en el crecimiento y desarrollo de la Caoba (*Swietenia macrophylla* King.), después de un año de la aplicación. a) Altura, b) Diámetro y c) Números de hojas



7) $F = 649.87$, $p=0.0000$. Las barras verticales indican 0.95 de intervalo de confianza

Figura 7. Efecto del encalado en la densidad de longitud de raíces finas (<3mm), en los tratamientos S/C. Sin cal, C/C. Con cal después de un año.