

DENSIDAD DE LONGITUD DE RAÍCES DE *Acacia mangium* Willd EN UN SUELO DE SABANA

ROOT LENGTH DENSITY OF *Acacia mangium* Willd IN SAVANNAH SOIL

Sánchez-López V.¹; Obrador Olán J.J.^{2*}; García López E.²; Carrillo-Ávila, E.³

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

*Autor de correspondencia: obradoro@colpos.mx

RESUMEN

Para conocer la fertilidad química de un suelo de sabana en una plantación de *Acacia mangium* (Fabaceae), especie maderable de rápido crecimiento fijadora de nitrógeno y restauradora de propiedades naturales del suelo, se analizó el pH, MO, CIC, P y bases de intercambio, en tres épocas del año (seca, lluvia y nortes) a dos profundidades (0-30 y 30-60 cm); estimándose además el comportamiento vertical y horizontal de la densidad de longitud de raíces finas de los árboles. Los resultados mostraron que la acidez del suelo aumenta con la profundidad y en época de lluvias. El mayor contenido de MO se observó en la etapa de sequía, y disminuye con la profundidad. El contenido de P fue en general bajo, al igual que la CIC para ambos parámetros, los menores valores se registraron en la época lluviosa y a mayor profundidad. Todas las bases de intercambio mostraron contenidos muy bajos tendiendo a disminuir con la profundidad y en las épocas húmedas, excepto el K. La DLR vertical mostró un mayor desarrollo (51.5%) en los primeros 20 cm, la horizontal fue similar en todas las distancias al árbol.

Palabras clave: Recuperación de suelo, sistema radical, suelo ácido.

ABSTRACT

To understand the chemical fertility of a Savannah soil in an *Acacia mangium* (Fabaceae) plantation, which is a timber-yielding species of rapid growth that fixes nitrogen and restores the natural properties of the soil, the pH, MO, CIC, P and exchange bases were analyzed during three seasons of the year (dry, rainy and north wind) at two depths (0-30 and 30-60 cm); in addition, the vertical and horizontal behavior of the fine root length density of the trees was estimated. Results showed that soil acidity increases with depth and during the rainy season. The highest MO content was observed during drought season, and it decreases with depth. The P content was low in general, as was the CIC for both parameters; the lowest values were found during the rainy season and at greater depth. All the exchange bases showed very low contents that tended to increase with depth and during the moist seasons, except for K. The vertical DR showed a greater development (51.5 %) in the first 20 cm, while the horizontal one was similar at all distances from the tree.

Keywords: Soil recuperation, root system, acid soil.

INTRODUCCIÓN

Buena parte del crecimiento de las plantas y la alimentación de los seres vivos que habitan la superficie terrestre depende de las características del suelo, sin embargo, algunos como los suelos de sabana tienen bajos niveles de fertilidad natural que los hace poco aptos para el desarrollo de cultivos, dando lugar a incremento en la ganadería extensiva e intensiva en detrimento de las plantas leñosas (Bustamante *et al.*, 2006). La existencia de árboles en suelos de baja fertilidad es muy importante debido a que favorecen durante su crecimiento y desarrollo algunos procesos relacionados con el incremento de la fertilidad edáfica, acumulación de MO y nutrientes, que permite una actividad biológica importante. El uso de especies pioneras es una alternativa transcendental para mejorar la calidad de los suelos, dado que son esencialmente auto-sostenibles, no requieren insumos externos y pueden proporcionar soluciones a largo plazo para casi todos los problemas de suelos degradados (Bradshaw, 1997). Por la calidad de su madera y rápido crecimiento, la *Acacia mangium* Willd (Fabaceae), es una especie forestal con mayor índice de plantación, (Torres *et al.*, 2013), y una de sus valiosas características es la función regeneradora de suelos con alto grado de desgaste o erosión, actuando como fijadora de nitrógeno (N) y fósforo (P), que favorece la recuperación de las propiedades del suelo y ser aprovechados en diferentes actividades agrícolas (Rozo, 2014). Los requerimientos nutrimentales de las plantas puede ser muy complejos, y los nutrimentos en el suelo pueden existir en formas orgánicas, inorgánicas, en solución, superficies minerales, o bien, retenidos en intrapartículas en el marco estructural de los suelos (USDA-NRCS, 2011). En los sistemas cultivados, la comprensión de las transformaciones es esencial para mantener el balance de nutrimentos y abastecer adecuadamente las necesidades de una planta con un efecto mínimo sobre el medio ambiente. Las condiciones ambientales afectan a las transformaciones y al movimiento de nutrimentos en el suelo, lo que determina su disponibilidad para las plantas que lo toman, por diferentes mecanismos, a través de las raíces, cuya proliferación está relacionada con los sitios de acumulación de nutrimentos (Bassirirad, 2000). El estudio de raíces en especies leñosas es muy importante para predecir o modelar el crecimiento vegetal bajo diferentes esquemas de manejo y condiciones ambientales. Las raíces son fundamentales para la existencia de las plantas terrestres, el conocimiento sobre su biomasa, fenología, dinámica de crecimiento, costo energético de mantenimiento y renovación, es muy pobre en comparación con lo que se conoce acerca de las estructuras aéreas (Fernández *et al.*, 1988), además las raíces son de mu 788 uhy importantes en el anclaje del individuo, la fijación de carbono, absorción de agua, nutrimentos (Molist *et al.*, 2011) y su reciclamiento; extraen además nutrimentos de horizontes inferiores para ponerlos a disposición en horizontes superiores a través del aporte por descomposición de la hojarasca (Fresnillo *et al.*, 1992; Moreno *et al.*, 2005). La arquitectura de las raíces favorece cambios en la estructura del suelo, sobre todo en la conectividad de los poros, que se reordenan mejorando el drenaje e incrementando el potencial mátrico de la rizósfera, aunque cada especie vegetal afecta de manera diferente la agregación del suelo (Morales, 1997; Flores, 1999; Walley *et al.*, 2005), sin embargo, la forma y desarrollo de las raíces depende de una serie de factores relacionados con la magnitud del árbol, especie, estructura, textura, fertili-

dad del suelo, etcétera, aunque generalmente la superficie horizontal exploratoria es equivalente a la de la proyección de la copa sobre el suelo (Fresnillo *et al.*, 1992). Las raíces constituyen 33% de la productividad terrestre primaria neta de flujos de carbono (Jackson *et al.*, 1997) y de otros nutrimentos, muchas veces igualan o superan flujos provenientes de desechos de la superficie (Roderstein *et al.*, 2005), y dependiendo del tipo de vegetación, las raíces presentan diferentes impactos en el suelo que modifican parámetros físicos y químicos tales como, la densidad aparente, humedad relativa, porosidad total, porosidad interna de macroagregados y pH, entre los más importantes (Walley *et al.*, 2005). Aunque el estudio de raíces presenta dificultades técnicas debido a que los procesos ocurren en un ambiente sumamente complejo y debajo del suelo (Fernández *et al.*, 1988), ocasionando que las determinaciones sean tediosas, largas, baja exactitud, precisión, y los resultados generalmente reflejan condiciones ambientales particulares (Köpke, 1981), existe una gran diversidad de métodos para evaluar los sistemas radicales y, dependiendo del propósito de la investigación, pueden adaptarse a distintas condiciones agroecológicas (Böhm, 1979; Morales, 1997; Coutts *et al.*, 1999; Gill y Jackson, 2000). Con base en lo anterior, se estimó la fertilidad química del suelo (pH, MO, CIC, P y bases de intercambio) en tres épocas del año y dos profundidades; con base en el comportamiento vertical y horizontal de la densidad de longitud de raíces finas de *A. mangium*.

MATERIALES Y MÉTODOS

La investigación se realizó en el Rancho las Acacias (17° 45' 57 N y 93° 44' 40 O), del Ejido las Flores,

en Huimanguillo, Tabasco, México (Figura 1), con altitud de entre 20-50 m, temperatura y precipitación media anual de 26.2 °C y 2290 mm, respectivamente; clima Cálido húmedo con abundantes lluvias en verano (García, 2004). Las variables se evaluaron en una plantación de *Acacia mangium* de nueve años con densidad de siembra de 400 árboles ha⁻¹, la parcela consistió en un área de 50×50 m. El promedio general de la altura total (AT), altura comercial (AC) y diámetro a la altura del pecho (DAP) de los árboles fue de 27.2 m, 18.1 m y 34.7 cm respectivamente.

Para determinar la unidad de suelo, con base en la Referencial Mundial (IUSS-WRB, 2007) se describió un perfil (Cuanalo, 1990); de cuatro horizontes tomando una muestra de 1 kg⁻¹ de suelo para llevarla al laboratorio de Análisis de suelo Plantas y Aguas (LASPA) del Campus Tabasco para realizar las determinaciones físicas y químicas: Materia Orgánica (MO) por el método de Walkley y Black, pH mediante potenciómetro

en agua (relación 1-2); textura por método del hidrómetro de Bouyocous; conductividad eléctrica (CE) del extracto de saturación por medición electrolítica de Ca²⁺, Mg²⁺, K⁺ y Na⁺ empleando acetato de amonio 1N pH 7.0 como extractante; y fósforo (P) extractable por el método Ólsen, según la metodología de la Norma Oficial Mexicana (NOM-021-REC-NAT-2000).

El muestreo de suelos se realizó en las tres épocas del año reconocidas para el estado de Tabasco como seca, lluvia y norte (Ruiz-Álvarez *et al.*, 2012); en cada época se tomaron cuatro muestras compuestas por 15 submuestras a dos profundidades 0-30 y 30-60 cm, y en el LASPA se determinó el pH en agua relación 1:2, materia orgánica del suelo (MOs), capacidad de intercambio catiónico (CIC), fósforo Olsen (P), potasio (K), calcio (Ca) y magnesio (Mg) (Norma Oficial Mexicana, NOM-021-REC-NAT-2000). Para determinar la densidad de longitud de raíces (DLR) finas y su distribución vertical y horizontal, se aperturaron

cuatro perfiles de 1.2 m de profundidad a tres distancias del tronco del árbol (50 cm, 100 cm y 150 cm) durante la época de lluvias con un cilindro de 2000 cm³ (10×10×20) de volumen se tomaron muestras cada 20 cm (Schroth y Sinclair, 2003; Moreno *et al.*, 2005) obteniendo 72 monolitos que se colocaron en bolsas de plástico debidamente identificadas. En el laboratorio, los suelos se secaron a la sombra y se separaron las raíces finas (secundarias y terciarias) y gruesas; con la ayuda de un vernier electrónico Marca Surtek (resolución 0.01 mm) se separaron en finas (<3 mm de diámetro), medias (3-5 mm) y gruesas (>5 mm). Posteriormente se midió su longitud (Moreno *et al.*, 2005) y se calculó la DLR solo para las raíces finas (en km m⁻³ suelo) mediante la ecuación:

$$DLR = \frac{\text{Longitud de raíces}}{\text{Volumen de suelo}}$$

El análisis estadístico de los parámetros analizados se realizó con apego a un diseño completamente al azar con arreglo factorial en el que se consideraron tres épocas y dos profundidades de muestreo. Para el análisis de datos de la DLR finas se utilizó un arreglo factorial con un diseño completamente al azar, donde los factores fueron profundidad y distancia, con seis y tres niveles respectivamente, y cuatro repeticiones (perfiles). Los resultados se sometieron a un análisis de varianza (ANOVA) y prueba de comparación de medias (Tukey 0.05).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Caracterización del suelo del área de estudio

El suelo evaluado se ubicó en la unidad de los Acrisoles, caracterizados

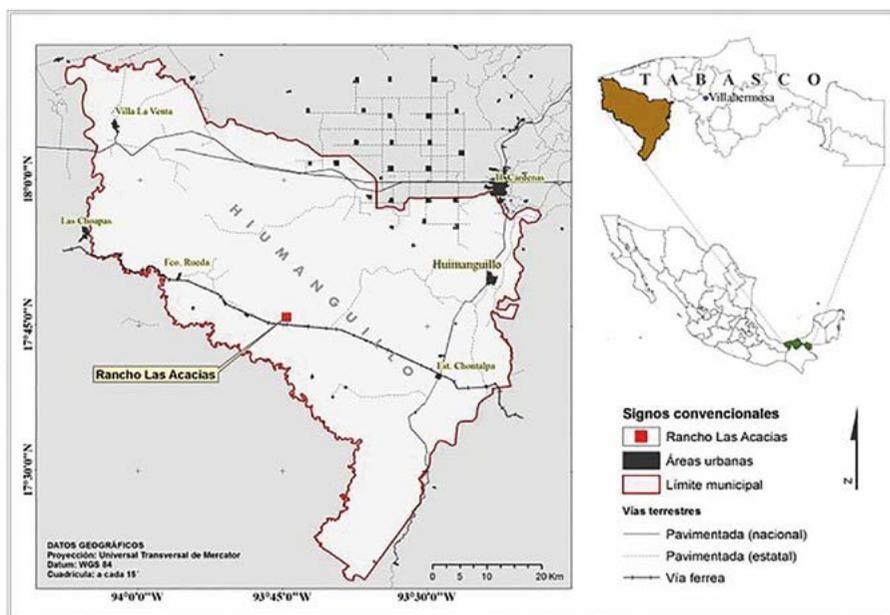


Figura 1. Localización del área de estudio en Huimanguillo, Tabasco, México.

como suelos fuertemente intemperizados, lixiviados y ácidos, con colores oscuros sobre amarillentos a rojizos, fuerte acidez y acumulación aluvial de arcilla en el horizonte B, alta fijación de fósforo y grandes cantidades de hierro y aluminio en forma de sesquióxidos, propensos a la erosión debido a que se sitúan en lomeríos con pendientes variables (Palma *et al.*, 2007). Corresponde a la subunidad Acrisol cutánico (crómico, férrico), con textura franco arcillosa en los dos primeros horizontes y color café grisáceo muy oscuro de 0-40 cm, fuertemente húmico, con tres horizontes de transición muy intemperizados, con bajos contenidos de MO y muy ácidos (Cuadro 1). Estos suelos tienen desarrollo muy avanzado, relacionado con su edad geológica, se han formado *in situ* a partir de sedimentos miocénicos (Ortiz-Solorio *et al.*, 2011) y en ellos se encuentra la mayor actividad agrícola (plantaciones de cítricos, eucalipto y hule), tienen un horizonte Ap grueso, mayor

contenido de MO y menos acidez, indicando un mejor estado de conservación aunque la acidez y la deficiencia de bases de intercambio se acentúa conforme incrementa la profundidad (Palma-López *et al.*, 2008); suelen ser deficitarios en los micronutrientes boro y zinc, tienen mayor contenido de arcilla en el subsuelo que en el suelo superficial como resultado de procesos pedogenéticos (especialmente migración de arcilla), que conllevan a la formación de un horizonte árgico en el subsuelo (IUSS-WRB, 2007).

Horizonte y descripción del perfil (Figura 2)

1-(0-40): Tenue horizontal marcado; color en húmedo café grisáceo muy oscuro (10 YR 3/2); estructura moderadamente desarrollada en bloques subangulares poliédricos, muy fina; textura franco-arenosa; consistencia en seco blando, en húmedo es friable: permeabilidad rápida; fauna lombrices, hormigas y termitas; raíces comunes finas, delgadas y medias; pH 5.

2-(41-55): Tenue horizontal; húmedo; rojo amarillento 5 YR 4/6; estructura moderadamente desarrollada en bloques angulares poliédrica finas y muy finas; textura limo arenoso; consistencia en seco ligeramente duro y en húmedo es firme; permeabilidad es rápida; cutanes por eluviación discontinuos; raíces pocas finas y delgadas; pH 5.

3-(56-79): Tenue horizontal; rojo amarillento 5YR 5/8; estructura moderadamente desarrollada poliédrica subangulares finas; textura arcillo limoso; consistencia en seco duro y en húmedo es firme; permeabilidad moderada;

Cuadro 1. Descripción de perfil de suelo y resultado de los análisis físico-químicos.

Perfil 1	Material parental: aluvión antiguo, pleistoceno
Descrito <i>in situ</i>	Flora cultivada: <i>Acacia mangium</i>
Fecha: 8/8/2014	Flora nativa: Pasto humidícola
Localización: 17° 45' 57"; 93° 44' 40"	Fauna: Venado, gavilán, Pericos, armadillos, coyotes
Elevación: 28 m	Sin presencia de grietas actuales o en alguna parte del año
Pendiente: menos de 5%	Aplicación de Abonos orgánicos o fertilizantes: No
Drenaje del sitio: Donador	Prácticas de manejo con maquinaria: Si



Figura 2. Horizonte y panorámica de la plantación de *Acacia mangium* en Huimanguillo, Tabasco, México.

Cuadro 2. Resultados del análisis físico-químico de los perfiles de suelo de una plantación de *Acacia mangium* Willd en Huimanguillo, Tabasco, México.

Ho	pH (H ₂ O)	CE	N	MO	P Olsen	K	Ca	Mg	Na	CIC	Arcilla	Limo	Arena	Clasificación textural
cm	1:2	$\mu\text{m cm}^{-1}$	%		mg kg^{-1}	$\text{Cmol}_{(c)} \text{kg}^{-1}$				%				
0-40	4,47	52,9	0,21	5,79	3,86	11,73	0,17	MLD	MLD	9,98	29	31	39	Franco arcilloso
40-55	4,32	24,62	0,07	1,43	1,43	12,90	0,23	MLD	MLD	4,49	33	27	39	Franco arcilloso
55-79	4,2	32,3	0,03	0,65	0,14	13,12	0,13	0,09	MLD	4,99	51	23	25	Arcilla
79-150	4,47	34,05	0,03	0,46	0,14	13,65	0,10	0,15	0,03	13,23	59	29	11	Arcilla

por eluviación discontinuos, raíces pocas finas y delgadas; pH 4.

4-(80-150): Horizontal tenue; pardo oscuro 7.5 YR 5/8; moderadamente desarrollada poliédrica subangular fina; textura arcillosa; consistencia en seco es duro y en húmedo es firme; permeabilidad moderada cutanes por eluviación discontinuos; raíces rara y finas; sin fauna; pH

La Figura 3 muestra los valores registrados de los parámetros del suelo estudiados en las tres épocas y dos

profundidades. El pH en la primera profundidad incrementó estadísticamente ($p < 0.05$) en las épocas seca ($\bar{X} = 4.60$) y norte ($\bar{X} = 4.52$), mientras que en la segunda profundidad en todas las épocas (seca, lluvia y norte, $\bar{X} = 4.85$, 4.42, 4.64, respectivamente), atribuido a la liberación de ácido carbónico (H₂CO₃) durante el proceso de mineralización de la MO (Mulder y Malcolm, 1994), que si bien es mayor en el primer horizonte, debido al gran aporte de hojarasca de los árboles y la mayor actividad microbiana, hay también efecto

por el movimiento del H₂CO₃ en los horizontes del suelo (Changming *et al.*, 2005; Wilson, 2008). Aunque todos los valores de pH se ubican como fuertemente ácidos (NOM-021-RECNAT-2000), la acacia puede crecer y desarrollarse plenamente a valores menores que los reportados en este estudio (Shah y Millat, 2004). La MO fue estadísticamente diferente ($p < 0.05$) en cada profundidad y época (Figura 4), los contenidos promedio variaron de 3.77% a 4.46% para la primera profundidad, considerados altos, y de

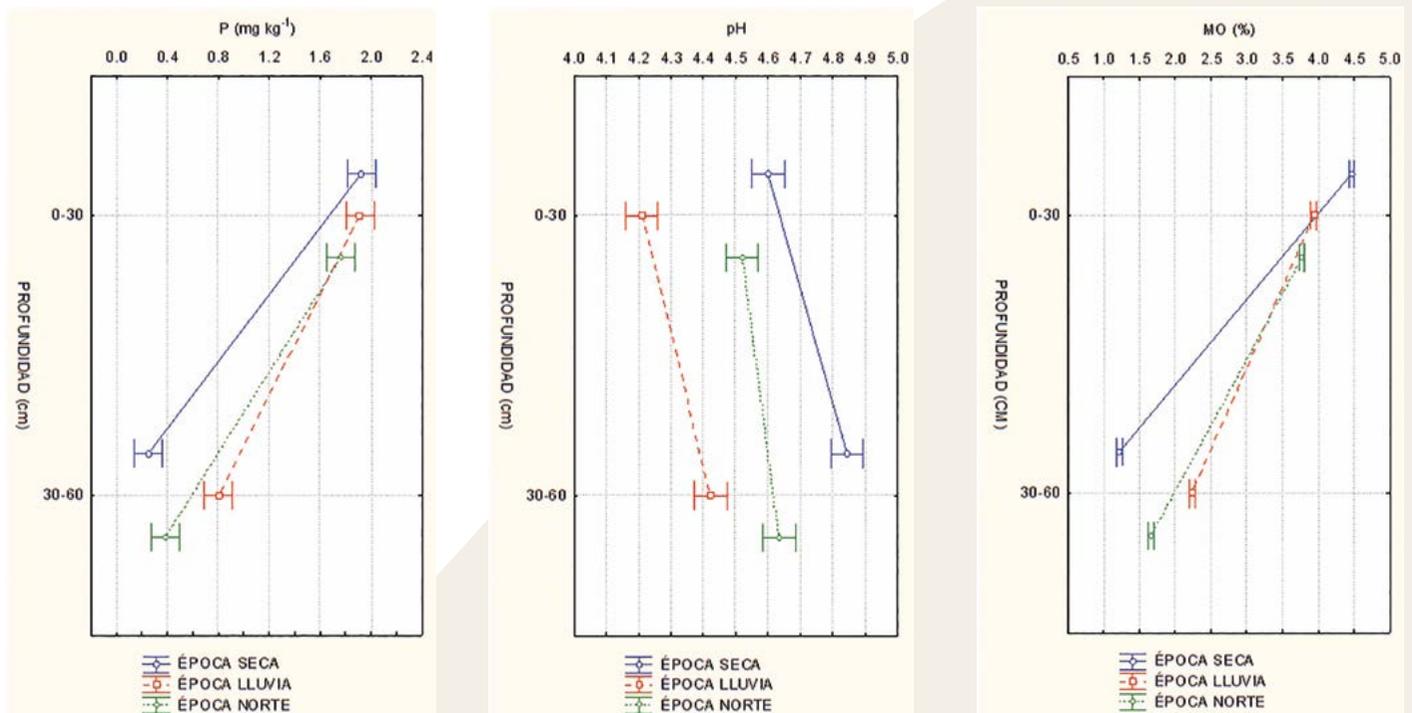


Figura 3. Tendencia estadística de variables químicas del suelo en una plantación de *A. mangium* Willd a dos profundidades y tres épocas: Fósforo, pH, Materia Orgánica.

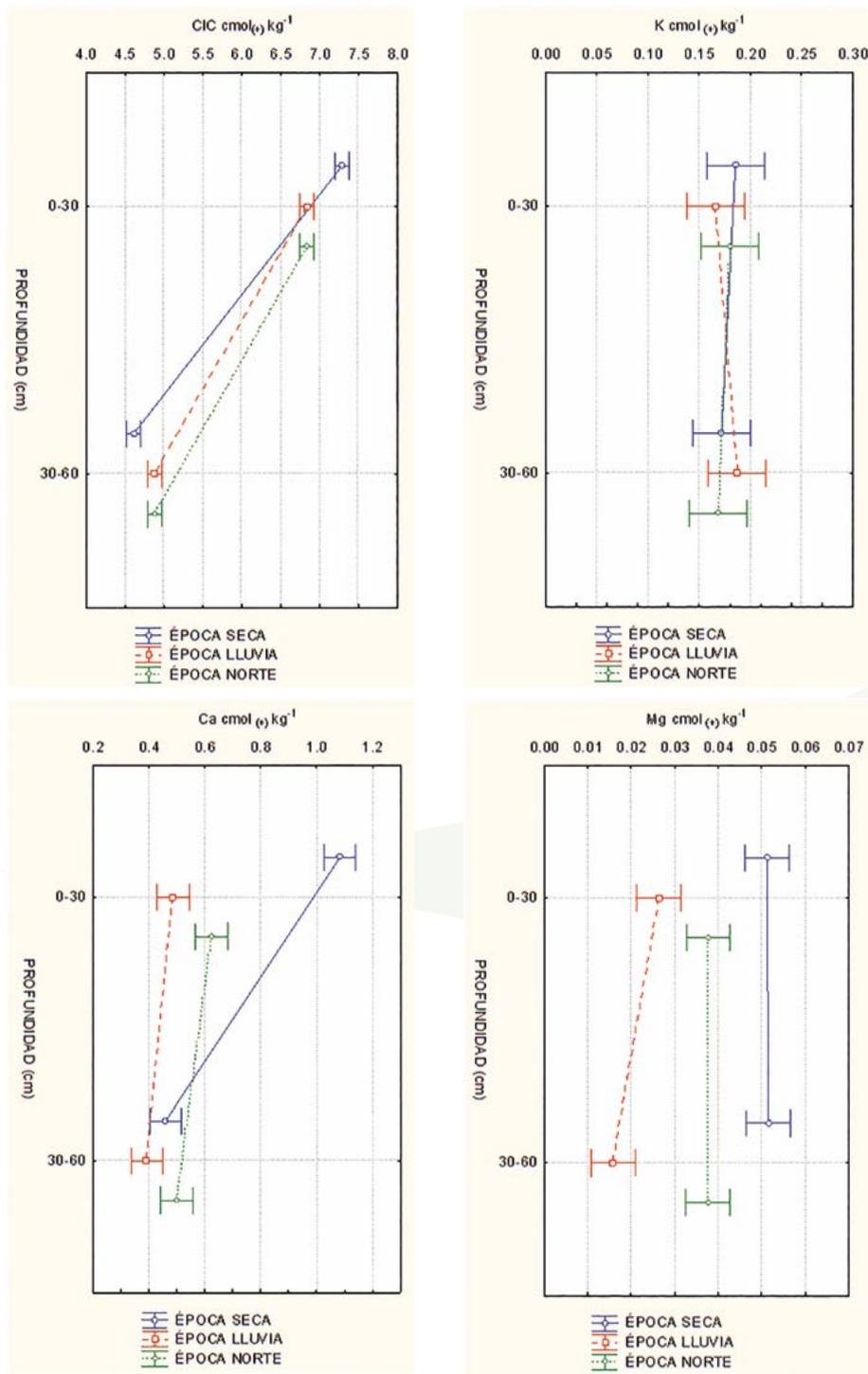


Figura 4. Tendencia estadística de variables químicas del suelo en una plantación de *A. mangium* Willd a dos profundidades y tres épocas: CIC, K, Ca, Mg.

1.22% a 2.24% para la segunda, clasificados como bajos a medios (NOM-021-RECNAT-2000).

La MO es el indicador mayormente utilizado para evaluar la calidad del suelo (Maicelo, 2012), valores altos favorecen el incremento de su fertilidad física, química y biológica, y por ende, la calidad de sitio para las especies que realizan sucesión secundaria; algunas de las cuales llegan a ser componentes ecológicos relevantes (Russell, 1977; Hynynen et al., 2010). *A. mangium*

es considerada una planta pionera y restauradora de suelos degradados, tiene elevada producción de biomasa con significativo aporte de hojas ($\pm 8000 \text{ kg ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$) y nitrógeno al suelo ($\pm 100 \text{ kg ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$) (Días et al., 1995; Long et al., 2009). Los valores de P a 0-30 cm en las tres épocas fueron estadísticamente semejantes, y diferentes a 30-60 cm, que a su vez fueron diferentes entre sí. Todos los contenidos de P del suelo ($< 5.5 \text{ mg kg}^{-1}$) fueron bajos (NOM-021-RECNAT-2000), atribuido a que el P se reporta como deficitario en suelos ácidos de la sabana de Huimanguillo (Ventura et al., 2012; Ramos, 2013). El P es el nutriente más importante al momento de establecer dosis de fertilización en suelos ácidos, es muy reactivo con aluminio intercambiable abundante en estos suelos (Gamboa, 2013) favoreciendo la fijación del P y Molibdeno, generando toxicidad a las plantas, interfiere en la movilización del Ca en el tejido vegetal, y en más del 80% de los suelos ácidos de los trópicos su toxicidad limita el crecimiento de las plantas (Marschner et al., 1991).

La Figura 4 muestra la tendencia de la CIC y las bases de intercambio; registrando que todos los valores de la primera se ubicaron en el intervalo de muy bajos a bajos (NOM-021-RECNAT-2000), debido a que en estos suelos están condicionados por la intemperización y el tipo de arcilla (Palma et al. 2007; Pérez, 2009). En las épocas húmedas, lluvia y norte en ambas profundidades evaluadas, la CIC presentó valores estadísticamente similares ($\bar{X}=6.83$, 4.88 y 6.84 y 4.89, respectivamente) pero diferentes a los de época seca que, en la primera profundidad fue mayor ($\bar{X}=7.29$) que en la segunda ($\bar{X}=4.61$). El clima, sobre todo

la humedad y temperatura, condiciona los contenidos de nutrientes (Sharma *et al.*, 2012), y excesivas precipitaciones en suelos francos tienden a lixiviar bases de intercambio e incluso, las arcillas, que va en detrimento de la CIC (Nurudin *et al.*, 2013). Los contenidos de K^+ , Ca^{2+} y Mg^{2+} en las diferentes épocas y profundidades en el suelo estudiado fueron muy bajos (NOM-021-REC-NAT-2000). Los valores de K^+ fueron iguales estadísticamente en todas las épocas y profundidades. El Ca^{2+} tuvo un contenido estadísticamente mayor sólo en la época seca. El Mg^{2+} mostró diferencias entre épocas pero no en profundidad, al igual que el Ca^{2+} , donde los valores fueron estadísticamente mayores en la época seca.

Un suelo ácido tiene bajo contenido de cationes, que han sido removidos por los cultivos, el clima, fertilizantes nitrogenados y la génesis misma del suelo (Pandey *et al.*, 1992), y se caracteriza por frecuente toxicidad por Al y Mn, deficiencias de Ca, Mg, P, Fe y Mo (Sharma *et al.*, 2005). Lo anterior puede ser corregido parcialmente mediante encalado ($<2000 \text{ kg ha}^{-1}$) (Watanabe y Osaki, 2002), en suelos ácidos orgánicos esta enmienda favorece la mineralización de MO y el aporte de nutrimentos, mejorando el crecimiento y desarrollo de las plantas (Ramos, 2013). Los fertilizantes químicos son muy eficaces para atenuar selectivamente las deficiencias de nutrimentos que limitan el crecimiento y rendimiento de los cultivos pero, contrario a la MO, contribuyen poco

a la mejora de las condiciones físicas y la capacidad de retención de humedad de los suelos (Tegene, 1998).

Densidad de longitud de raíces finas (DLR)

La Figura 5 muestra el desarrollo horizontal y vertical de las raíces finas de *A. mangium*; en la vertical la mayor cantidad de DLR finas, 2.73 km m^{-3} (51.46% del total) se ubicó en los primeros 20 cm, profundidad estadísticamente diferente. Lo anterior coincide con lo reportado por Moreno *et al.* (2005), Soethe *et al.* (2006) y Ramos (2013), quienes encontraron más de 50% de DLR de los árboles en el primer horizonte. De igual forma, Fabiao *et al.* (1994) analizando dos rodales de *Eucaliptus globulus* de 12 y 18 años cuantificaron 71.9 y 57.9% (respectivamente) de biomasa radical en los primeros 20 cm de profundidad. En un suelo similar al del presente estudio, la DLR en los primeros 20 cm para caoba de más de un año fue de 3.31 y 1.30 km m^{-3} , para suelos encalados y no, respectivamente, el encalado favoreció una mayor distribución de raíces en los primeros 60 cm, lo cual permitió mayor toma de nutrimentos y mayor crecimiento y desarrollo de la plantación (Ramos, 2013).

Además de ser muy eficientes en la absorción de nutrimentos y agua, las raíces finas son fuente importante de carbono orgánico bajo tierra, y tienen efectos importantes sobre procesos físico-químicos y propiedades biológicas del suelo (Jackson *et al.*, 1997; Godbold *et al.*, 2006; Kivlin *et al.*, 2013). Flores (1999), indica que los tejidos primarios de las raíces finas tienen muy baja resistencia mecánica y se les dificulta crecer adecuadamente en horizontes profundos, debido a mayor densidad aparente y menor disponibilidad de oxígeno. El patrón de distribución del sistema radical de las plantas en un suelo depende en gran medida de su profundidad, la cual está relacionada con su estructura, densidad aparente, altura del manto freático y presencia de elementos tóxicos. En suelos ácidos la toxicidad de Al^{3+} es una barrera química para el óptimo crecimiento de las raíces finas (Duque-Vargas *et al.*, 1994; Lehmann, 2003). Resalta que la distribución horizontal de *A. mangium* mostró patrones similares en los primeros horizontes,

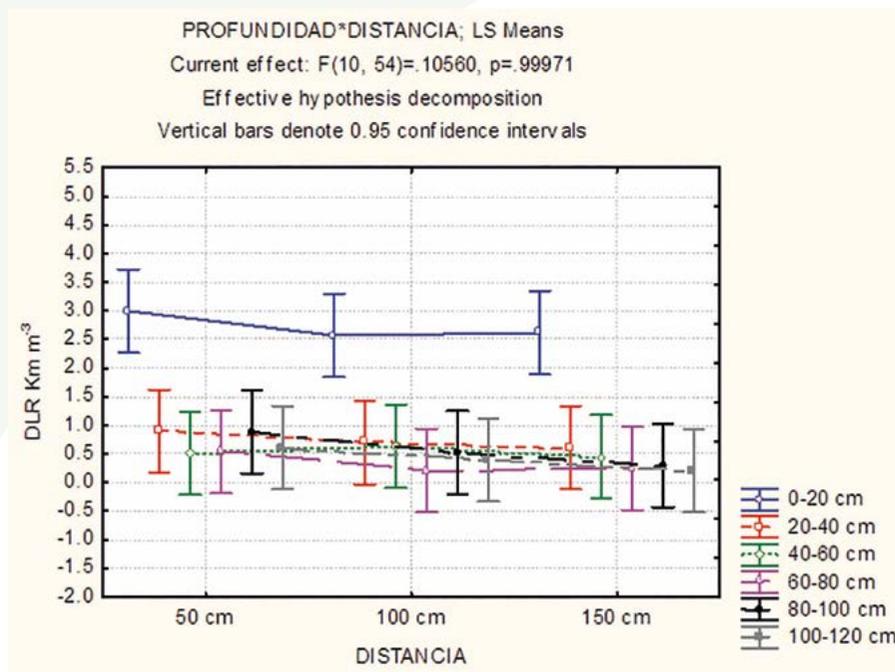


Figura 5. Densidad de longitud de raíces finas (DLR) de *Acacia mangium* Willd en Huimanguillo, Tabasco, México.

sin importar la distancia al tronco, lo que significa que el árbol realiza gran exploración en la capa superficial, que disminuye conforme aumenta la profundidad, sin embargo, cuando crece junto a otras especies arbóreas, tiende a explorar con mayor intensidad el suelo cercano a su tronco (vástago) (Kilawe, 2011). El incremento o decremento de raíces se relaciona con la función de los tejidos que la conforman, tales como, el sostén, conducción de agua; mientras que la mayor parte de fijación del carbono debajo del suelo está a cargo de raíces gruesas, y la absorción de nutrientes y reciclaje de nutrimentos están relacionadas con raíces finas y delgadas, las cuales se caracterizan por ser estructuras muy dinámicas y activas de la planta (Flores, 1999) y se desarrollan en sitios con mayor fertilidad edáfica.

CONCLUSIONES

El suelo cultivado con *A. mangium* en la sabana de Huimanguillo, mostró variación en cuanto a fertilidad química entre épocas y profundidades. El pH correspondió a un suelo ácido, problema que se acentúa con la profundidad y en la época de lluvias. Se registró mayor cantidad de MO en la época seca, variando de alta en el horizonte superficial, a media y baja en la profundidad, mientras que el contenido de P fue bajo. Aunque todos los valores de CIC fueron bajos, los menores valores se registraron en épocas lluviosas y a más profundidad. Respecto a las bases de intercambio, registraron en general contenidos muy bajos y, con excepción del K, tendieron a disminuir con la profundidad y en las épocas húmedas. La distribución vertical de la densidad de longitud de raíces finas mostró mayor desarrollo (51.5%) a 0-20 cm, y la horizontal fue similar, independientemente de la distancias al árbol.

LITERATURA CITADA

- Basirirad H. 2000. Kinetics of nutrient uptake by roots: responses to global change. *New Phytologist* 147(1):155-169.
- Bradshaw A. 1997. Restoration of mined lands-using natural processes. *Ecological Engineering* 8: 255-269.
- Böhm W. 1979. Methods of studying root systems. *Ecological Studies* 33. Ed. Springer- Verlag, Berlin, Germany. 188 p.
- Bustamante M.M., Medina E., Asner G.P., Nardoto G.B., García-Montiel D.C. 2006. Nitrogen cycling in tropical and temperate savannas. *Biogeochemistry* 79: 209-237.
- Changming Y., Linzhang Y., Zhu O. 2005. Organic carbon and its fractions in paddy soil as affected by different nutrient and water regimes. *Geoderma* 124: 133-142.
- Coutts M.P., Nielsen C.C.N., Nicoll B.C. 1999. The development of symmetry, rigidity and anchorage in the structural root systems of conifers. *Plant and soil* 217: 1-15.
- Cuanalo de la C.H. 1990. Manual para la descripción de perfiles de suelo en el campo. 3era. ed. Colegio de Postgraduados, Chapingo, México. 40 p.
- Dias L.E., Franco A.A., Campello E., De Faria S.M., Da Silva E.M. 1995. Leguminosas forestales: Aspectos relacionados con su nutrición y uso en la recuperación de suelos degradados. *Bosques* 16(1): 121-127.
- Duque-Vargas J., Pandey S., Granados G., Ceballos H., Knapp E. 1994. Inheritance of tolerance to soil acidity in tropical maize. *Crop Science* 34: 50-54.
- Fabiao A., Madeira M.V., Steen E., Katterer T., Ribeiro C. 1994. Growth dynamics and spatial distribution of root mass in *Eucalyptus globulus* plantations in Portugal. In: *Eucalyptus for biomass production*. Pereira J.S. and Pereira H. (Editors). Commission of the European Communities. pp. 60-76.
- Fernández O., Montani T., Distel R. 1988. El sistema radical de especies de zonas áridas y semiáridas. Algunas estrategias de supervivencia. *Interciencia* 13 (1): 25-30.
- Flores E. 1999. La planta, estructura y función. Cartago, C. R. LUR. 884 p.
- Fresnillo F.D., Fernández O., Busso C. 1992. Seasonal dynamics of root growth and decomposition in *Medicago minima* and *Erodium cicutarium*, two annual forages in semiarid Argentina. *Acta Oecológica* 13 (1): 119-126.
- Gamboa-Zúñiga J.P. 2013. Demanda nutrimental en plantaciones jóvenes de *Eucalyptus pellita* F. Muell en Acrisoles de la Sabana de Huimanguillo, Tabasco. Tesis de Maestría Tecnológica, Colegio de Postgraduados-Campus Tabasco. 33 pp.
- García E. 2004. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen. Quinta Edición. Instituto de Geografía de la UNAM. 90 p.
- Gill R.A., Jackson R.B. 2000. Global patterns of root turnover for terrestrial ecosystems. *New Phytologist* 147:13-31.
- Godbold D.L., Hoosbeek M.R., Lukac M., Cortrufó F., Janssens I.A., Ceulemans R., Polle A., Velthorst E.J., Scarascia-Mugnozza G., De Angelis P., Miglietta F., Peressotti A. 2006. Mycorrhizal hyphal turnover as a dominant process for carbon input into soil organic matter. *Plant and Soil* 281: 15-24.
- Hynynen J., Niemistö P., Viherä-Aarnio A., Brunner A., Hein S., Velling P. 2010. Silviculture of birch (*Betula pendula* Roth and *Betula pubescens* Ehrh.) in northern Europe. *Forestry* 83(1): 103-119.
- IUSS-WRB. 2007. Base Referencial Mundial del Recurso Suelo. Primera actualización 2007. Informe sobre Recursos Mundiales de Suelos No. 103. FAO, Roma.
- Jackson R.B., Mooney H.A., Schulze E.D. 1997. A global budget for fine root biomass, surface area and nutrient roots. *Proc. Nat. Acad. Sc.* 94:7362-7366.
- Kilawe C.J. 2011. Rooting pattern of *Acacia mangium* in pure and mixed stands of *Eucalyptus camaldulensis*, *Tectona grandis* and *Casuarina montana* in the coastal Tanzania. Thesis of Master Degree of European Forestry. 72 pp. Vienna, Austria.
- Kivlin N.S., Waring G.B., Averill C., Hawkes V.C.C. 2013. Tradeoffs in microbial carbon allocation may mediate soil carbon storage in future climates. *Frontiers in microbiology* 4 (261): 1-3.
- Köpke U. 1981. A comparison of methods for measuring root growth of field crops. *J. Agronomy & Crop Science* 150: 39-49.
- Lehmann J. 2003. Subsoil root activity in tree-based cropping systems. *Plant and soil* 255: 319-331.

- Long Y., Nan L., Hai R., Wang J. 2009. Facilitation by two exotic *Acacia*: *Acacia auriculiformis* and *Acacia mangium* as nurse plants in South China. *Forest Ecology and Management* 257: 1786-1793.
- Maicelo Q.J.L. 2012. Indicadores de sustentabilidad en función del suelo y retención de carbono en la biomasa de *Ceroxylon peruvianum* Galeano, Sanin & Mejía, en la cuenca media del río Utcubamba, Amazonas, Perú. *Ecología Aplicada*, 11(1): 33-38.
- Marschner H., Hxüssling M., George E. 1991. Ammonium and nitrate uptake rates and rhizosphere pH in non- mycorrhizal roots of Norway spruce (*Picea abies* [L.] Karst.). *Trees* 5: 14-21.
- Molist P., Pombal M.A., Megias M. 2011. Atlas de Histología Vegetal y Animal. Órganos Vegetales. 1. Raíz. <http://webs.uvigo.es/mmegias/descargas/o-v-raiz.pdf>.
- Morales A. 1997. Apuntes metodológicos para el estudio de raíces en plantaciones forestales y bosques naturales. *In: Simposio Internacional sobre Posibilidades del Manejo Forestal Sostenible en América Tropical*. Bolfor, Cifor, IUFRO. Santa Cruz de la Sierra, Bolivia. CATIE. 11 p.
- Moreno G., Obrador J.J., Cubera E., Dupraz C. 2005. Fine Root distribution in dehesas of Central-Western Spain. *Plant and soil* 277 (1): 153-162.
- Mulder J., Malcolm S.C. 1994. Soil and Soil Solution Chemistry *In: Biogeochemistry of Small Catchments: A Tool for Environmental Research*. Moldan B. and Cerny J. Editors. SCOPE Published by John Wiley & Sons Ltd.
- NOM-021-RECNAT-2000. Norma oficial mexicana. Que establece las especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos. Estudio, muestreo y análisis. SEMARNAT. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, México, D.F.
- Nurudin M., Ohta S., Bhakti H.E., Mendham D., Wicaksono A., Heriyanto J., Watanabe M. 2013. Relationships between soil characteristics and productivity of *Acacia mangium* in South Sumatra. *Tropics* 22(1): 1-12.
- Ortiz-Solorio C.A., Gutiérrez-Castorena M.C., Sánchez-Guzmán P., Gutiérrez-Castorena E.V. 2011. Cartografía de la degradación de suelos en la República Mexicana: evolución y perspectivas. En: Krasilnikov P., Jiménez-Nava F.J., Reyna-Trujillo T., García-Calderón N.E. (eds) Geografía de suelos de México. Universidad Nacional Autónoma de México, Facultad de Ciencias, Distrito Federal. 462 p.
- Palma-López D.J., Cisneros D.J., Moreno C.E., Rincón-Ramírez J.A. 2007. Suelos de Tabasco: su uso y manejo sustentable. Colegio de Postgraduados-ISPOTAB-FUPROTAB. Villahermosa, Tabasco, México.
- Palma-López D.J., Moreno C.E., Rincón R.J.A. y Shirma T.E.D. 2008. Degradación y conservación de los suelos del estado de Tabasco. Colegio de Postgraduados, CONACYT, CCYTET. Villahermosa, México. 74 p.
- Pandey R., Lepak P., Jaffe J.E. 1992. Electronic structure of alkaline-earth selenides. *Phys. Rev.* 46: 4976-4977.
- Pérez C.P. 2009. Fertilización NPK y demanda nutrimental de cuatro especies forestales en fases temprana de crecimiento. Tesis de Maestría en Ciencias, Colegio de Postgraduados-Campus Tabasco. 88 pp.
- Ramos A.C. 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. Tesis de Maestría en Ciencias, Colegio de Postgraduados-Campus Tabasco. 60 pp.
- Ruiz-Álvarez O., Arteaga-Ramírez R., Vázquez-Peña M.A., Ontiveros C.R.E., López-López R. 2012. Balance hídrico y clasificación climática del estado de Tabasco, México. *Universidad y Ciencia* 28(1): 1-14.
- Russell E.W.1977. The Role of Organic Matter in Soil Fertility. *Phil. trans.R.Soc. Lond. B.* 281: 209-219. Great Britain.
- Schroth G., Sinclair. F.L. 2003. *Trees, crops and soil fertility: concepts and research methods*. Wallingford, UK. CAB International.
- Shah N.M., Millat E.M.M. 2004. Growth and yield prediction models for *Acacia mangium* grown in the plantations of the central region of Bangladesh. *New Forests* 27: 81-88. Kluwer Academic Publishers, Netherlands.
- Sharma K.L., Mandal U.K., Srinivas K., Vittal K.P.R., Mandal B., Grace J.K., Ramesh V. (2005). Long-term soil management effects on crop yields and soil quality in a dryland Alfisol. *Soil and Tillage Research* 83(2), 246-259.
- Sharma K.L. Biswapati M., Venkateswarlu B. 2012. Soil quality and productivity improvement under rainfed conditions-Indian perspectives. *In: Resource Management for Sustainable Agriculture*. Abrol V. and Sharma P. editors. *Agricultural and Biological Sciences*. InTech. pp: 203-233.
- Soethe N., Lehmann J., Engels C. 2006. The vertical pattern of rooting and nutrient uptake at different altitudes of a south Ecuadorian montane forest. *Plant and Soil* 286:287-299.
- Tegene B. 1998. Indigenous soil knowledge and fertility management practices of the South Wällo Highlands. *Journal of Ethiopian Studies* 31 (1): 123-158.
- Torres L.A., Suarez I.E., Gatti K. 2013. Propagación *in vitro* de *Acacia mangium* Willd. *Biotechnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial* (ISSN 1692-3561). *Rev.Bio.Agro* 11(1): 81-87.
- Ventura U.F., Salgado G.S., Castelán E.M., Palma L.D.J., Rivera C.M.C., Sánchez G.P. 2012. Métodos de Interpretación del análisis nutrimental en naranja valencia (*Citrus sinensis* L. Osbeck). *Terra Latinoamericana* 30 (2): 139-145.
- Wilson B.Y.V. 2008. Dinámica nutrimental y crecimiento de cedro (*Cedrela odorata* L.) y teca (*Tectona grandis* L. f) en un suelo Fluvisol del estado de Tabasco. Tesis de Maestría en Ciencias, Colegio de Postgraduados. H. Cárdenas Tabasco. 99 pp.
- Watanabe T., Osaki M. 2002. Mechanisms of adaptation to high aluminum condition in native plant species growing in acid soils: a review. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* 33: 1247-1260.
- USDA-NRCS. 2011. National Soil Survey Handbook, title 430-VI.