



COLEGIO DE POSTGRADUADOS

INSTITUCIÓN DE ENSEÑANZA E INVESTIGACIÓN EN CIENCIAS AGRÍCOLAS

CAMPUS TABASCO

PROGRAMA PRODUCCIÓN AGROALIMENTARIA EN EL TRÓPICO

**DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DE LA DENSIDAD DE LONGITUD DE
RAÍCES FINAS Y TRASLACIÓN NUTRIMENTAL NPK EN ACACIA
*mangium L.***

VIRGINIA SÁNCHEZ LÓPEZ

T E S I S

PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL
PARA OBTENER EL GRADO DE:

MAESTRA EN CIENCIAS

H. CÁRDENAS, TABASCO, MÉXICO
2015

La presente Tesis titulada: **DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DE LA DENSIDAD DE LONGITUD DE RAÍCES FINAS Y TRASLACIÓN NUTRIMENTAL NPK EN ACACIA *mangium L.***, realizada por la alumna Virginia Sánchez López, bajo la dirección del Consejo Particular indicado, há sido aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

MAESTRA EN CIENCIAS

EN PRODUCCIÓN AGROALIMENTARIA EN EL TRÓPICO

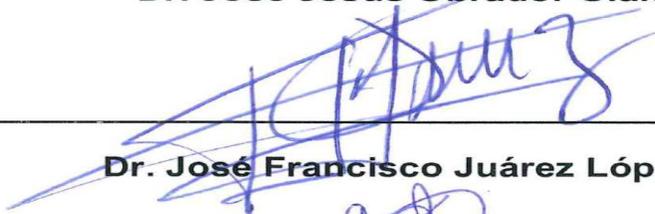
CONSEJO PARTICULAR

Consejero: _____



Dr. José Jesús Obrador Olán

Asesor : _____



Dr. José Francisco Juárez López

Asesora: _____



Dra. Eustolia García López

Asesor: _____



Dr. Eugenio Carrillo Ávila

H. CARDENAS TABASCO A 10 DE JUNIO DEL 2015

RESUMEN

DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DE LA DENSIDAD DE LONGITUD DE RAÍCES FINAS Y TRASLACIÓN NUTRIMENTAL NPK EN ACACIA (*Acacia mangium* Willd.)

Virginia Sánchez López

Colégio de Postgraduados, 2015.

La presencia de árboles en los suelos ácidos, de baja fertilidad, de la sabana de Huimanguillo, es vital para su conservación y mejoramiento ya que, durante las etapas de crecimiento y desarrollo, favorece procesos relacionados con el incremento de la fertilidad edáfica y la acumulación de MO y nutrientes, lo que deriva en incrementos de la actividad biológica. Para conocer la fertilidad química de un suelo de sabana plantado con *A. mangium*, especie maderable de rápido crecimiento, fijadora de N y P y restauradora de las propiedades naturales del suelo, se analizó el pH, MO, CIC, P y bases de intercambio, en tres épocas del año (seca, lluvia y nortes) y a dos profundidades (0-30 y 30-60 cm); estimándose además el comportamiento vertical y horizontal de la densidad de longitud de raíces finas (DLR) de los árboles y la translación de los nutrimentos NPK. La acidez del suelo se acentuó con la profundidad y en la época de lluvias. El mayor contenido de MO se observó en la sequía, y disminuyó con la profundidad. Al igual que la CIC, el contenido de P fue, en general bajo, y sus valores disminuyeron en las épocas húmedas y con la profundidad. Todas las bases de intercambio mostraron contenidos muy bajos tendiendo a disminuir con la profundidad y en las épocas húmedas, con excepción del 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 evaluadas. El NPK presentó translación nutrimental en la época seca y húmeda, aunque para todos los casos, fue mayor estadísticamente en la primera; el nutrimento P fue el que mostró mayor translación, 91.9 y 78.7% para la época seca y húmeda, respectivamente.

Palabras clave: fertilidad edáfica, densidad de longitud de raíces (DLR), Translación nutrimental.

ABSTRACT

SPATIAL DISTRIBUTION OF LENGTH DENSITY OF FINE ROOTS AND TRANSLATION NUTRITIONAL NPK ACACIA (*Acacia mangium* Willd.)

Virginia Sánchez López

Colégio de Postgraduados, 2015.

The existence of trees on acid, of low fertility, savanna of Huimanguillo soils is vital for their conservation and improvement, since, during the stages of growth and development, favors the processes related to increase soil fertility and the accumulation of organic matter and nutrients, resulting in increases of biological activity. In order to know the chemical soil fertility of savanna planted *A. mangium*, one fast-growing timber species used as regenerating worn and/or eroded soils by N and P fixing, and restoring the natural properties of soil, pH, MO, CIC, P and exchangeable bases analyzed in three seasons (dry, rain and nortes) and two depths (0-30 and 30-60 cm), also we estimated the vertical and horizontal behavior of length density of fine roots (RLD) of the trees and the nutritional translation of NPK. Soil acidity is accentuated by the depth and in the rainy season. The highest content of MO was observed in drought, and decreased with depth. Like CIC, the P content was generally low, and their values decreased in wet periods and with depth. All exchangeable bases showed very low levels tend to decrease with depth and humid periods, with the exception of K. The vertical RLD showed a greater development (51.5%) in the first 20 cm, horizontal DLR was similar in all evaluated distances to the tree. The NPK nutrient provided translation in the dry and wet seasons, but for all cases was statistically higher in the first; the P was the nutrient that showed greater translational, 91.9 and 78.7% by dry and wet season respectively.

Keywords: soil fertility, root length density (RLD), nutritional translation.

DEDICATORIA

A Dios, por permitirme llegar a una meta más en mi vida llena de bendiciones, por ser la guía y mi luz en los momentos más difíciles y que nunca me ha desamparado.

A mis tres más grandes amores, Edith y Rodolfo Domínguez Sánchez, por ser los pilares que impulsan a seguir adelante, y por ser la alegría de mi vida, a mi esposo Israel Domínguez López por su paciencia, comprensión y su apoyo incondicional y por el tiempo que no he pasado con ellos.

A mis padres Romana y Samuel porque a través de ellos Dios me permitió nacer, y porque nunca me han faltado sus enseñanzas y consejos en cada etapa de mi vida y por formar parte de ella, gracias.

A mis hermanos, Herminia, Román y Daniel, que de una u otra forma han contribuido en esta etapa de mi vida. A mis 9 hermanos por formar parte de mi vida.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a Dios, por darme la oportunidad de vivir, por ayudarme a terminar este proyecto, por darme la fuerza y la voluntad, el coraje para seguir de frente y hacer este sueño realidad.

Al consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT), por el apoyo otorgado para la realización de mis estudios de maestría, a través de la beca.

Al colegio de postgraduados, Campus Tabasco por haberme brindado la oportunidad de realizar los estudios de maestría y formar parte de su comunidad.

A todos los integrantes de mi consejo particular por su paciencia, esfuerzo, dedicación, tiempo y el apoyo que me han brindado.

Al Dr. José Jesús Obrador Olán, por su amistad, su apoyo moral y académico y la disposición de su tiempo, que hicieron posible la realización del presente trabajo.

A la doctora Eustolia García López, por su amistad y valiosa aportación, por compartir su tiempo, sus conocimientos, experiencias y su confianza para la realización de este trabajo.

Al doctor Eugenio Carrillo Ávila, por sus sugerencias en los análisis de los datos estadísticos y formar parte de mi consejo.

Al doctor José Francisco Juárez por formar parte de mi consejo particular, por su contribución y por su confianza para la realización de mi trabajo de investigación.

Al doctor Roberto Pacheco por confianza, amistad, por compartir sus conocimientos, por brindarme lugar y espacio para realizar esta investigación en sus terrenos.

A todos mis maestros, mi más profundo agradecimiento por compartir sus conocimientos, sus enseñanzas y por todo el tiempo que con paciencia dedicaron en el aula.

A todos aquellos que de una u otra manera aportaron su conocimiento para y habilidad para la culminación de este trabajo.

CONTENIDO

RESUMEN.....	ii
ABSTRACT	iii
DEDICATORIA	iv
AGRADECIMIENTOS	v
LISTA DE CUADROS.....	viii
LISTA DE FIGURAS.....	ix
I. INTRODUCCIÓN	1
II. OBJETIVOS	3
III. HIPÓTESIS.....	3
IV. REVISIÓN DE LITERATURA.....	4
4. 1 ACACIA <i>Mangium</i> Willd.	4
4. 1.1 Origen y Distribución	4
4.1.2 Requerimientos ambientales.....	5
4.1.3 Características sobresalientes	5
4.2. INTERRELACIÓN SUELOS-PLANTACIONES FORESTALES	6
4.2.1. La hojarasca en plantaciones forestales	8
4.2.2. Translación de nutrientes.....	9
4.2.3. Los nutrientes en las hojas del árbol.....	11
4.3 EL ÁRBOL Y LA BIOMASA RADICAL.....	11
4.3.1 Densidad y longitud de raíces	13
4.5. LITERATURA CITADA	14
V. MATERIALES Y MÉTODOS	24
5.1. ÁREA DE ESTUDIO	24
5.2. GEOLOGÍA.....	24
5.3. CLIMA	25
5.4. CARACTERIZACIÓN DE LA UNIDAD DE SUELOS.....	26
5.5. VARIABLES DASOMÉTRICAS DE LOS ÁRBOLES DE ACACIA <i>Mangium</i>	26
5.6. FERTILIDAD QUÍMICA DEL SUELO (PH, MO, CIC, P Y BASES DE INTERCAMBIO) EN TRES ÉPOCAS DEL AÑO	27

5.7. ESTIMACIÓN DE LA DENSIDAD DE LONGITUD DE RAÍCES (DLR) FINAS Y SU DISTRIBUCIÓN VERTICAL Y HORIZONTAL.....	27
5.8. COLECTA DE HOJARASCA (HS)	28
5.9. COLECTA DE LA HOJA RECIENTEMENTE MADURA (HRM)	28
5.9.1. Análisis foliar	28
5.10. ANÁLISIS ESTADÍSTICO.....	29
VI. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	30
6.1. CARACTERIZACIÓN DEL SUELO DEL ÁREA DE ESTUDIO.....	30
6.2. CARACTERIZACIÓN DE LA PLANTACIÓN EN ESTUDIO.....	30
6.3. FERTILIDAD QUÍMICA DEL SUELO (PH, MO, CIC, P Y BASES DE INTERCAMBIO) EN TRES ÉPOCAS DEL AÑO A DOS PROFUNDIDADES	32
6.4. DENSIDAD DE LONGITUD DE RAÍCES FINAS (DLR) EN EL CULTIVO DE <i>A. MANGIUM</i>	36
6.5. APORTE DE HOJARASCA.....	38
6.6. Traslación nutrimental	43
VII. CONCLUSIONES	45
VIII. LITERATURA CITADA.....	46

LISTA DE CUADROS

Cuadro 1. Temperatura y precipitación promedio de los meses de muestreo, año 2013 y 2014.	25
Cuadro 2. Medidas dasométricas de los árboles muestreados correspondientes a las trampas de colecta: Altura total (AT), altura comercial (AC), diámetro a la altura del pecho (DAP)....	32
Cuadro 3. Contenido de macronutrientes en hojas recientemente maduras (HRM), hojas senescentes u Hojarasca (HS) y comportamiento de la traslación de acuerdo a la época climática.....	44

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Ubicación del área de estudio	24
Figura 2. Descripción del perfil de suelo y resultados de los análisis físicos-químicos	31
Figura 3. Comportamiento de los parámetros químicos en un suelo plantado con <i>A. mangium</i> , a dos profundidades y en tres épocas: a) pH; b) Materia Orgánica y c) Fósforo. Las barras Horizontales representan la diferencia mínima significativa.	33
Figura 4. Comportamiento de los parámetros químicos del suelo: a) CIC; b) potasio; c) Calcio y d) Magnesio, plantado con <i>A. mangium</i> a dos profundidades y en tres épocas. Las barras horizontales representan la diferencia mínima significativa entre concentraciones.....	35
Figura 5. Comportamiento de la DLR de <i>A. mangium</i> en un suelo Acrisol. Las barras verticales representan la diferencia mínima significativa en DLR.	37
Figura 6. Caída de hojarasca en época seca y época húmeda. Las barras verticales representan a la diferencia mínima significativa.	39
Figura 7. Concentración de Carbono, Nitrógeno, Fósforo, y Potasio, en hojas recientemente maduras (hoja RM) y hojarasca. Las barras verticales representan la diferencia mínima significativa entre concentraciones.	41

I. INTRODUCCIÓN

Las especies forestales favorecen la protección del suelo, el agua y la fauna silvestre, diversifican el paisaje rural y la renta agrícola, generan empleo a largo plazo y permiten que sus superficies de selva natural puedan ser utilizadas puramente con propósitos de conservación de los recursos naturales (Moreno, 2004). Constituyen además una alternativa importante para la obtención de recursos económicos para los silvicultores (Current *et al.*, 1995). El cultivo de los árboles en tierras agrícolas ha sido considerado como un sistema alternativo de uso del suelo, en los países tropicales para ayudar a reducir la pobreza y la deforestación con más o menos éxito (Larios y Hernandez, 1992), favorece la sustentabilidad ambiental a través de la captura de C por el incremento de la biomasa aérea y, al formar sumideros de C en el suelo derivados de los materiales orgánicos provenientes de la biomasa radical y la hojarasca también ve favorecida la fertilidad edáfica (Lee *et al.*, 2005). *A. mangium* es, básicamente considerada como una planta pionera y restauradora de la salud de los suelos degradados, como toda fabácea arbórea presenta una elevada producción de biomasa, con un significativo aporte de hojas y N al suelo, de alrededor de 8000 y 100 kg ha⁻¹ año⁻¹, respectivamente (Días *et al.*, 1995; Long *et al.*, 2009).

La producción y descomposición de hojarasca de los arboles actúa como un sistema de entrada-salida (Ranger *et al.*, 2003, Yang *et al.*, 2004), representa el principal aporte de materia orgánica y nutrientes que se incorporan al suelo para ser utilizados por las plantas (Isaac y Nair, 2006; Laossi *et al.*, 2008); y da lugar a la distribución y abundancia de los organismos en el suelo como insectos, plantas y microorganismos (Weltzin *et al.*, 2005; Isaac y Nair, 2006; Yang *et al.*, 2004). Una de las estrategias más importantes usadas por las plantas para mantener un estado nutrimental adecuado, es la movilización de nutrimentos desde las hojas senescentes hacia otros tejidos perennes (translación) (Buchanan-Wollaston, 1997; Cotê *et al.*, 2002), lo que permite que los nutrientes estén directamente disponibles para ser utilizados, promoviendo así que las plantas sean menos dependientes del suministro del suelo, reduciendo su pérdida e incrementando la eficiencia de su uso (Aerts y Chapin, 2000). Algunos

nutrimentos como N, P, K pueden fácilmente movilizarse desde las hojas maduras hacia las que estén en pleno crecimiento (Alcántar y Trejo-Téllez, 2007).

Las plantas captan los nutrientes del suelo selectivamente, absorbiendo preferentemente los nutrientes que más limitan su crecimiento, en un continuo intercambio dinámico con las reservas de nutrientes del suelo (Ingestad, 1979). La absorción de nutrientes por las raíces está inicialmente restringida por las tasas de descomposición y de mineralización, la solubilidad mineral, la capacidad de intercambio catiónico (CIC) y la competencia con los microorganismos (Freer-Smith, 2001). Los modelos de crecimiento vegetal requieren de la medición del sistema radical de las plantas cultivadas, y para ello se utilizan parámetros como el crecimiento y la densidad radical (Comerford, 2005), o la densidad de longitud de raíces (DLR, $\text{km}_{\text{raíces}}/\text{m}^3_{\text{suelo}}$), que se relaciona con la aireación del suelo y la absorción de nutrientes (Morales, 1997). Las raíces presentan diferentes impactos en el suelo dependiendo el tipo de vegetación, las cuales modifican los parámetros físicos y químicos como la densidad aparente, humedad relativa, porosidad total, porosidad interna de los macroagregados y pH, entre los más importantes (Whalley *et al.*, 2005).

La alta producción de materia orgánica de *Acacia mangium*, es capaz de restaurar la fertilidad y biodiversidad del suelo, facilitar el establecimiento de especies vegetales poco tolerantes a condiciones ambientales adversas (Macedo *et al.*, 2008; Yang *et al.*, 2009), además de mejorar el ciclaje de nutrientes, reducir el riesgo por plagas (Kelty, 2006), y promover el secuestro de carbono (Resh *et al.*, 2002). La *Acacia mangium* es una especie recientemente introducida en Tabasco, por lo que a nivel regional se tienen poco conocimiento sobre ella, sin embargo, su adaptabilidad a suelos ácidos, su rápida tasa de crecimiento y el valor de su madera la hacen una especie promisoría que merece ser estudiada en aras de plantear estrategias de manejo de la fertilización en suelos ácidos. La presente investigación se realizó en una plantación de acacia de nueve años ubicada en la sabana de Huimanguillo. Se estudió la traslación de nutrimentos, el suministro nutrimental del suelo y la exploración radical del cultivo de *Acacia mangium* para conocer el comportamiento de dichas variables.

II. OBJETIVOS

EN UNA PLANTACIÓN DE ACACIA DE NUEVE AÑOS Y EN UN SUELO ACIDO:

1. Estimar la fertilidad química del suelo (pH, MO, CIC, P y bases de intercambio) en tres épocas del año a dos profundidades.
2. Estimar el comportamiento horizontal y vertical de la densidad de longitud de raíces finas de acacia.
3. Estimar la traslación de nutrimentos N, P y K en la época seca y húmeda.

III. HIPÓTESIS

1. La fertilidad química del suelo (pH, MO, CIC, P y bases de intercambio) varía en relación con las épocas del año y la profundidad.
2. La densidad de longitud de raíces finas de acacia disminuye conforme incrementa la distancia al tronco del árbol y la profundidad del suelo.
3. La traslación de nutrimentos N, P y K en la época seca es mayor que en la húmeda.

IV. REVISIÓN DE LITERATURA

4. 1 ACACIA *Mangium* Willd.

Es un árbol que en su hábitat natural alcanza de 25 a 30 m de altura y hasta 90 cm de diámetro a la altura del pecho (DAP). El fuste es generalmente recto; la copa es redonda si el árbol está aislado, y columnar en plantaciones cerradas. Las ramas de la parte inferior se caen naturalmente después de cierta edad. Un rasgo sobresaliente del mangium es su follaje. Su corteza es rugosa y estriada de color gris o pardo (Aseche y Azuero, 2013). Presenta hojas compuestas solo durante unas semanas después de la germinación, luego son reemplazadas por filodios (pecíolos aplanados) simples y de bordes enteros, que funcionan como hojas, con dimensiones de hasta 25 cm de largo por 10 cm de ancho (Marena-INAFOR, 2002).

Las inflorescencias aparecen en espigas de hasta 10 cm de largo; sus flores son pequeñas, bisexuales color blanco o crema (Aseche y Azuero 2013). Florece a finales del período lluvioso y a mediados del período seco. La fructificación ocurre entre cinco y siete meses después de la floración. Los frutos son vainas angostas y tienen un largo de 10 cm, retorcidas, las que al madurar se abren y exponen las semillas que cuelgan de un arillo de color naranja. Las semillas son de color negro, de 3 a 5 mm de largo y de testa dura. La recolección en forma manual es sencilla, con ayuda de implementos simples y se debe hacer cuando las vainas adquieren un color café, oscuro o negro. La maduración del fruto es irregular en el tiempo. Un árbol maduro produce hasta una libra de semillas (0.45 kg). Un kilogramo de semillas puede contener hasta 100,000 semillas. En Centroamérica, la maduración y recolección de semillas se da en febrero y abril (Marena-INAFOR, 2002).

4. 1.1 Origen y Distribución

La acacia (*Acacia mangium* Willd) es un árbol perenne nativo de Australia, Papúa-Nueva Guinea, Indonesia y las islas Molucas (Matthews *et al.*, 2005). En América Central se le conoce como Mangium o Acacia. Fue introducida en 1979, con el fin de realizar ensayos para establecer plantaciones forestales sostenibles y productivas

(Rodríguez *et al.*, 1996; Marena-INAFOR, 2002). Actualmente, la especie se distribuye en países como Panamá, Costa Rica, Colombia, Cuba, Venezuela, Ecuador, Nicaragua, República Dominicana, Honduras y en otras áreas como Camerún, la India y Filipinas (Aseche y Azuero 2013). Es una especie de rápido crecimiento en condiciones de bosque húmedo y muy húmedo tropical, donde ha sido plantada como fuente de pulpa para papel, leña, madera para la construcción, madera para muebles y también para frenar la erosión del suelo (Matthews *et al.*, 2005; CORPOICA, 2014).

4.1.2 Requerimientos ambientales

Crece bien desde el nivel del mar hasta los 720 msnm, con temperaturas desde 12°C hasta 34°C y precipitaciones desde 1,500 a 4,500 mm año⁻¹. Es una especie heliófita, crece sobre una gran diversidad de condiciones de suelos, incluyendo los muy ácidos; regenera prolíficamente en terrenos o sitios abandonados, o después de disturbios fuertes como quemaduras o incendios. Prefiere los suelos profundos de origen aluvial, pero crece también sobre suelos empobrecidos por el uso prolongado en producción agropecuaria (Marena-INAFOR, 2002).

En Queensland, Australia donde *mangium* es nativa, en la época más cálida del año la temperatura llega hasta 34°C y en la época más fría a los 12°C. Si bien la especie soporta escarcha en forma ocasional, crece y se desarrolla mejor a temperaturas altas. En Malasia se le planta en regiones con temperaturas más estables, que varían de 22°C a 25°C. En América Central, el intervalo de temperatura de los sitios donde se ha plantado acacia, varía de 21°C a 27°C; en elevaciones que van desde 30 msnm en Panamá, hasta 1100 msnm en Costa Rica (Oliva, 1990).

4.1.3 Características sobresalientes

Acacia mangium Willd (Fabácea), es una de las especies forestales más plantadas por la calidad de su madera (Marena-INAFOR, 2002) y rápido crecimiento (Torres *et al.*, 2013), siendo la más utilizada en la recuperación de áreas degradadas (Galiana *et al.*, 2002; Tonini y Vieira, 2006). Su alta producción de materia orgánica, es capaz de restaurar la fertilidad y biodiversidad del suelo, facilitar el establecimiento de especies

vegetales no tolerantes a condiciones ambientales adversas (Macedo *et al.*, 2008; Yang *et al.*, 2009), además de mejorar el ciclaje de nutrientes, reducir el riesgo por plagas (Kelty, 2006), promover el secuestro de carbono (Resh *et al.*, 2002) y favorecer el establecimiento de asociaciones simbióticas con *Rhizobium* y hongos micorrízicos vesículo-arbusculares (Rozo, 2014).

La especie *Acacia mangium*, además de ser una de las preferidas en sistemas agroforestales en los trópico cálidos húmedos, ha sido ampliamente usada en programas de restauración de suelos afectados por la minería (Mercedez y Hernández, 1996). Es regeneradora de suelos con alto grado de desgaste o erosión, en los que actúa como fijadora de nitrógeno y fósforo, permitiendo que éstos recuperen su estado natural y su fertilidad para que sean aprovechados en diferentes actividades agrícolas. Se caracteriza por su adaptabilidad a suelos ácidos, resistencia a sequías y alta productividad forrajera, apta para programas silvopastoriles (Matthews *et al.*, 2005; Rozo, 2014). Ésta especie presenta alta demanda en el mercado debido a que es una de las principales fuentes de pulpa para papel a nivel internacional (Espitia *et al.*, 2010).

4.2. INTERRELACIÓN SUELOS-PLANTACIONES FORESTALES

Los recursos naturales sufren un proceso de deterioro ambiental, que puede ser mitigado por el aporte de conocimientos, información, criterios, indicadores, modelos y principios útiles para entender las interacciones entre la sociedad y la naturaleza, fundamentales para establecer políticas ambientales y de manejo de los recursos, analizándolos no de forma aislada, sino en el contexto de las relaciones que se establecen en un ecosistema (Jardel-Peláez *et al.*, 2008). La distribución natural de la vegetación sobre la superficie de la tierra es altamente dependiente del clima y en particular de la interacción entre la disponibilidad de humedad y de la temperatura (Stephenson, 1990). En este contexto los suelos juegan un papel preponderante ya que entre otras funciones, son el almacén de elementos nutrientes y no (algunos inclusive tóxicos) y agua (FAO, 1994).

La gran mayoría de los suelos tropicales de América son ácidos (aproximadamente un 64%) y su alta concentración de Al es, con frecuencia, la razón del fracaso o el bajo rendimiento del cultivo (Sánchez, 1977). Los suelos ácidos cubren aproximadamente el 43% de la tierra cultivable del mundo, es decir, 3950 millones de hectáreas. Incluyen aproximadamente 16.7% de las tierras en África, 6.1% en Australia y Nueva Zelanda, 9.9% en Europa, 26.4% en Asia y 40.9% en América (Von Uexküll y Mutert, 1993), las cuales constituyen una parte significativa de la superficie de 48 países tropicales en desarrollo. En América los suelos predominantes son los Ultisoles y Oxisoles (Blum, 1988). En México los suelos ácidos ocupan más de 14 millones de hectáreas, principalmente en Tabasco, Veracruz, Chiapas, Campeche y Oaxaca. La mayor parte de esta región presenta condiciones de clima tropical húmedo, en donde se presentan múltiples factores adversos que limitan la producción de los cultivos como: la baja fertilidad edáfica, deficiencias y excesos de humedad, y la acidez del suelo (toxicidad por Al), principalmente (Ceballos *et al.*, 1994, SAGARPA, 2004; Ventura, 2012). No obstante, las altas precipitaciones, el clima cálido y la tolerancia de diversas especies forestales a la acidez del suelo, convierten a la cuenca del Golfo de México en una de las regiones del país con mayor vocación forestal (J.P.C., 2004).

Las especies forestales bajo manejo silvícola favorecen la protección del suelo, el agua y la fauna silvestre, diversifican el paisaje rural y la renta agrícola, generan empleo a largo plazo, permiten que sus superficies de selva natural puedan ser utilizadas puramente con propósitos de conservación de los recursos naturales (Moreno, 2004). Además constituyen una alternativa importante para la obtención de recursos económicos para los silvicultores (Current *et al.*, 1995). La silvicultura está basada en la productividad y en la adecuada remuneración económica que el inversionista o el Estado puedan conseguir. Como opción del uso de la tierra, la actividad forestal compite con los cultivos anuales, ganadería, y otras, que muchas veces tienen flujos financieros a un menor plazo. El retorno económico a mediano y largo plazo (entre 12 y 25 años) dependiendo de la especie, calidad de sitio y los objetivos de producción, le exigen a la forestería niveles altos de rentabilidad y sobre todo el incremento de la sustentabilidad (Murillo y Badilla, 2010).

La Justificación de las bondades del recurso suelo silvícola, especialmente en sistemas de plantación, es el mismo que el utilizado de la gestión del recurso suelo en los agroecosistemas, fomentan la producción pero tienen múltiples funciones ambientales; si bien son altamente manipulados por las prácticas forestales, la naturaleza del arbolado permite en el corto y mediano plazo, mejorar la función química, física y biológica del suelo, incrementar el valor los bienes ecológicos (biodiversidad y los mantos freáticos), componentes cruciales de la gestión forestal sostenible (Schoenholtz *et al.*, 2000). La silvicultura favorece la sustentabilidad ambiental a través de la captura de C por el incremento de la biomasa aérea y, al formar sumideros de C en el suelo, derivados de los materiales orgánicos provenientes biomasa radical y la hojarasca también favorece la fertilidad edáfica. Básicamente *A. mangium* es considerada como una planta pionera y restauradora de la salud de los suelos degradados, como toda fabácea arbórea presenta una elevada producción de biomasa, con un significativo aporte de hojas y N al suelo, de alrededor de 8000 y 100 kg ha⁻¹ año⁻¹, respectivamente (Días *et al.*, 1995; Long *et al.*, 2009).

4.2.1. La hojarasca en plantaciones forestales

A los diferentes materiales de los componentes de vegetación como hojas, ramas, inflorescencia y frutos que se van depositando en un suelo forestal se les llama hojarasca (Prause *et al.*, 2003); el porcentaje de hojarasca que anualmente retorna al suelo decrece con la edad (Ranger *et al.*, 2003); los árboles adultos están más orientados a la reproducción, mientras que los jóvenes lo están hacia el crecimiento vegetativo (Thiebaud y Vernet, 1981). La hojarasca está regulada fundamentalmente por procesos biológicos y climáticos y por características como la topografía del suelo, la especie vegetal, la edad y la densidad del bosque (Prause *et al.*, 2003).

La hojarasca acumulada en el suelo juega un papel muy importante en los ecosistemas terrestres, su producción y descomposición son procesos fundamentales en el ciclo de nutrientes, representa la principal transferencia de materia orgánica y nutrientes desde la parte aérea a la superficie y da lugar a la distribución y abundancia de los

organismos en el suelo como insectos, plantas y microorganismos (Weltzin *et al.*, 2005; Isaac y Nair, 2006).

Además de ser una fuente de nutrientes para las plantas, la hojarasca también modifica el ambiente físico local, proporcionando cobertura, cambiando el microclima de la superficie del suelo e incrementando la disponibilidad de otros recursos, especialmente el agua y la fertilización natural (Del Valle-Arango, 2003). Más de la mitad de la absorción anual de nutrimentos en los bosques se debe a la reincorporación de hojarasca al suelo y el subsecuente reciclaje de estos nutrientes, y representa la principal fuente de minerales disponibles (Del Valle-Arango, 2003). El porcentaje de hojarasca que anualmente retorna al suelo decrece con la edad (Ranger *et al.*, 2003).

4.2.2. Translación de nutrientes

La translación de nutrientes puede definirse como la cantidad total de elementos movilizados desde las hojas senescentes hacia otros tejidos perennes (Alcántar y Trejo-Téllez, 2007). Se trata de una de las estrategias más importantes usadas por las plantas para la conservación de nutrientes (Cotê *et al.*, 2002), lo que permite que los nutrientes estén directamente disponibles para ser utilizados y que, las plantas sean menos dependientes de la toma de nutrientes del suelo, reduciendo su pérdida e incrementando la eficiencia de su uso (Aerts y Chapin, 2000). Algunos nutrimentos como N, P, K pueden fácilmente moverse desde las hojas maduras hacia las que estén en pleno crecimiento (Alcántar y Trejo-Téllez, 2007).

El grado de translación afecta a la calidad de la hojarasca, influyendo en los procesos de descomposición y en la disponibilidad de nutrientes y puede ser cuantificado como el porcentaje de nutrientes removidos desde las hojas antes de la abscisión (eficiencia en la translación) (Aerts, 1996; Rejmánková, 2005). El grado de translación depende del periodo de abscisión de la hoja, de modo que las especies con una caída de la hoja más lenta en el tiempo, presentan una menor eficiencia en la translación de nutrientes, debido probablemente a lo imprevisible del tiempo exacto del desfronde foliar (Del Arco *et al.*, 1991). El estado nutricional de la planta y la humedad del suelo están entre los posibles controladores de la translación. Adicionalmente, la luz afecta al contenido de

nitrógeno por unidad de área, el cual puede estar correlacionado con la eficiencia de translación (Nordell y Karlsson, 1995; Rentería *et al.*, 2005).

La producción y descomposición de hojarasca actúa como un sistema de entradas y salidas de nutrientes (Ranger *et al.*, 2003), representa la principal transferencia de materia orgánica (Isaac y Nair, 2006; Laossi *et al.*, 2008) y es fuente de carbono para la síntesis del humus del suelo (Berg y McClaugherty, 2008) y de energía y nutrientes para microorganismos e invertebrados que participan en su fraccionamiento y descomposición (Del Valle 2003). La hojarasca es el principal suministro de elementos nutrientes para las plantas, contribuyendo fuertemente en la producción primaria en ecosistemas forestales (Cantú y González, 2001; Yang *et al.*, 2004).

La senescencia foliar es un proceso relacionado con la degradación foliar y la movilización de nutrientes desde las hojas senescentes hacia otros tejidos perennes (Lim y Cousens, 1986; Aerts, 1996). Se trata de un proceso complejo que resulta de la degradación coordinada de macromoléculas a moléculas más pequeñas que son fácilmente transportadas (Buchanan-Wollaston, 1997). Los elementos reabsorbidos son transportados a tejidos como la corteza o las raíces, donde son almacenados hasta su posterior translación, principalmente hojas jóvenes, permitiendo que los nutrientes estén directamente disponibles para realizar procesos relacionados con las actividades fotosintéticas y para que las especies sean menos dependientes del suministro del suelo, e incrementar la eficiencia de su uso (Aerts y Chapin, 2000; Escudero y Mediavilla, 2003). Se trata de una de las estrategias más importantes usadas por las plantas para la conservación de nutrientes móviles y/o menos disponibles (Côte *et al.*, 2002). El conocimiento de la distribución de los nutrientes en los distintos compartimentos del árbol es necesario para realizar predicciones realistas sobre la exportación de nutrientes bajo diferentes manejos forestales (Augusto *et al.*, 2000). El grado y especificidad de la translación nutrimental afecta la calidad de la hojarasca, lo cual influye en los procesos de descomposición y en la disponibilidad de nutrientes. El conocimiento de los patrones de translación es crucial para entender el papel de las plantas en el ciclo de nutrientes (Rejmánková, 2005).

4.2.3. Los nutrientes en las hojas del árbol

La disponibilidad de nutrientes para las plantas está determinada por la proporción en que los nutrientes circulan dentro del sistema y la cantidad de insumos que éste recibe (Lampkin, 2001). La concentración de nutrientes en las hojas del árbol es de gran importancia ya que transmite información sobre procesos como: los ciclos de nutrientes, la capacidad de crecimiento de la planta y la eficiencia en el uso de nutrientes (Cornelissen *et al.*, 1997; Aerts y Chapin, 2000).

Durante el ciclo vegetativo de las hojas, la concentración de nutrientes depende de su naturaleza química, función fisiológica y otros factores (Oleksyn *et al.*, 1999). La concentración de nutrientes en las hojas de las plantas transmite información sobre varios aspectos de la ecofisiología de la planta, como puede ser la proporción entre fotosíntesis y respiración, además de influir notablemente en la descomposición de la hojarasca (Reich *et al.*, 1998; Aerts y Chapin, 2000). Las hojas presentan una alta demanda de nutrientes frente al resto de órganos del árbol, entre el 30 y el 70% del total de los nutrientes almacenados anualmente se encuentran en las hojas (Piatek y Allen, 2000).

Los elementos considerados indispensables para las plantas superiores en la actualidad son C, H, O, N, P, K, S, Ca, Mg, Fe, Mn, Cu, Zn, B, Mo, Ni, y Cl (Alcántar y Trejo-Téllez, 2007). Como elementos mayores, la planta adsorbe del suelo N y K, aunque el N también puede ser fijado biológicamente de la atmósfera por algunas bacterias que se asocian a las plantas; el P generalmente se incluye dentro de este grupo porque, aunque se aplica en menores cantidades que los dos anteriores, también debe ser suministrado en grandes cantidades (NPFI, 1988). Como elementos mayores secundarios se consideran el Ca, Mg y S y, como microelementos esenciales (oligoelementos) están el Fe, Mn, Zn, Cu, B, Mo, Cl y Ni (Bertsch, 1998).

4.3 EL ÁRBOL Y LA BIOMASA RADICAL

Fundamentalmente debemos considerar que un árbol es un todo en el que la parte aérea y la radical, están íntimamente relacionadas; cualquier acción sobre el sistema

aéreo, repercute sobre las raíces y cualquier acción sobre estas últimas tiene incidencia sobre el follaje (Pérez, 2010). Los árboles juegan un importante papel en el mejoramiento de las características físicas, químicas y biológicas del suelo; incrementan el contenido de materia orgánica, mejoran la capacidad de cambio catiónico y aniónico, mejoran la estructura del suelo, además los árboles proveen bienes y servicios beneficiosos para la población humana (Isos, 2003).

El crecimiento y desarrollo de las plantas forman una combinación de diversos eventos en diferentes niveles, desde el biofísico y bioquímico hasta el fisiológico (Molist *et al.*, 2011). Una pequeña cantidad de las sustancias naturales en las plantas controla su crecimiento y desarrollo, pero varios procesos como la iniciación de las raíces, el establecimiento y terminación de los periodos de letargo y reposo, la floración, formación y desarrollo de los frutos, abscisión, senescencia y ritmo de crecimiento, se encuentran bajo control hormonal (Jordán y Casaretto, 2006). Se conocen cuatro tipos generales de hormonas en las plantas: auxinas, giberelinas, citosininas e inhibidores, y también se han reconocido las propiedades hormonales del etileno (Lira, 1994).

La mayor parte del nitrógeno y fósforo de la planta se concentra en las raíces finas y en las hojas, que son los órganos fisiológicamente más activos de la planta (Landsberg y Gower, 1997). La absorción de los nutrientes del suelo por las raíces puede seguir tres vías: 1) Acceso por intercepción 2) Acceso por flujo de masas, 3) Acceso por difusión (Alcántar y Trejo-Téllez, 2007).

Las plantas captan los nutrientes del suelo selectivamente, absorbiendo preferentemente los nutrientes que más limitan su crecimiento, en un continuo intercambio dinámico con las reservas de nutrientes del suelo (Ingestad, 1979). La absorción de nutrientes por las raíces de las plantas está inicialmente restringida por las tasas de descomposición y de mineralización, la solubilidad mineral, la capacidad de intercambio catiónico y la competencia con los microorganismos (Freer-Smith, 2001). Las prácticas forestales que afecten estos procesos, o las características del suelo, influirán también en las tasas de absorción (Alcántar y Trejo-Téllez, 2007). Generalmente, el nutriente que más limita el crecimiento determina las tasas de

absorción del resto de los nutrientes, resultando en proporciones de nutrientes óptimos para el crecimiento de las plántulas y árboles (Ingestad, 1979). Además, el exceso de deposición de N y S atmosféricos, acidifica el suelo y se libera aluminio, que es tóxico para las raíces y disminuye la eficiencia de la absorción (Alcántar y Trejo-Téllez, 2007).

4.3.1 Densidad y longitud de raíces

La estrecha relación entre el suelo y las plantas se da por la presencia de las raíces como órganos de anclaje y absorción de nutrientes. Por medio de su estudio se pueden establecer relaciones entre las necesidades fisiológicas de las plantas y el efecto que ocasionan sobre el suelo, así como la relación existente entre las propiedades del suelo y el desarrollo de las raíces (Jiménez y Arias, 2004).

Los modelos del crecimiento vegetal requieren de la medición del sistema radical de las plantas cultivadas, y para ello se utilizan parámetros como el crecimiento y la densidad radical (Comerford, 2005) o la densidad de longitud de raíces (DLR, $\text{km}_{\text{raíces}}/\text{m}^3_{\text{suelo}}$), que se relaciona con la aireación del suelo y la absorción de nutrientes (Morales, 1997; Moreno, 2004).

La DLR se define como el total de longitud radical en relación a un volumen de suelo (Miranda 2004), es una variable que emplea el valor en longitud de las raíces analizadas, expresándolas por una unidad de área específica, se considera además, el diámetro (mm) de raíces para determinar la función radical, la cual se relaciona estrechamente con la absorción de nutrientes, cuanto mayor es el área radical, mayor serán los tricoblastos que absorben nutrientes del suelo (Hertel *et al.*, 2003).

La diferenciación de las raíces “finas” de las “gruesas” es muy difícil y se han propuesto diversas maneras para hacerlo. Uno de los procedimientos más utilizados ha sido la discriminación por medio del diámetro de las raíces usando como parámetros los límites superiores de 2 mm o 5 mm, según sea el objetivo del estudio (Jiménez y Arias, 2004).

La densidad radical representa la distribución espacial del sistema radical de las especies vegetales. Se define como la media aritmética del largo de las raíces en relación a un plano en tres dimensiones o volumen de suelo (Miranda 2004).

Los pelos radicales intervienen en forma importante en la capacidad de absorción porque aumentan entre 5 y 18 veces el área superficial de la raíz, lo que favorece una exploración más eficiente del entorno, dado que rellenan espacios y esquivan obstáculos, y ayudan a la movilización de los iones ya que su respiración cede protones al suelo, acidifica la zona y favorece la liberación de cationes de las micelas edáficas (Alcántar y Trejo-Téllez, 2007).

El estudio nutrimental de los suelos de las plantaciones forestales necesita de conocer aspectos básicos relacionado con las aportes de nutrientes entradas de las plantaciones forestales.

4.5. LITERATURA CITADA

Aerts R. 1996. Nutrient resorption from senescing leaves of perennials: are there general patterns? *Journal of Ecology* 84: 597-608.

Aerts R. and Chapin F. S. 2000. The mineral nutrition of wild plants revisited: a re-evaluation of processes and patterns. *Advances in Ecological Research* 30: 1-67.

Alcántar G. G. y Trejo-Téllez L. 2007. *Nutrición de cultivos*. Mundi-prensa México. Colegio de Postgraduados. 454p.

Augusto L. Ranger J. Ponette Q. Rapp M. 2000. Relationships between forest tree species, stand production and stand nutrient amount. *Annals of Forest Science* 57: 313-324.

Berg B. McClaugherty C. 2008. *Plant litter: Decomposition, humus formation, carbon sequestration*. 2.º edición. Berlín (Alemania): Springer-Verlag. p. 338.

Bertsch F. 1998. *La fertilidad de los suelos y su manejo*. Asociación Costarricense de la

- Blum A. 1988. Drought resistance. In: Plant breeding for stress environments. CRC Press, Boca Raton, Florida 43-76.
- Buchanan-Wollaston, V. 1997. The molecular biology of leaf senescence. *Journal of Experimental Botany* 48: 181-199.
- Cantú S.I. y González R.H. 2001. "Interception loss, throughfall and stem flow chemistry in pine and oak forests in northeastern Mexico". *Tree Physiology*, 21: 1009-1013.
- Ceballos H. Pandey S. Knapp E.B. and Duque. B. 1994. Tolerancia a suelos ácidos en poblaciones tropicales de maíz del CIMMYT. *Agronomía mesoamericana*. 5: 96-103.
- Comerford N. B. 2005. Soil factors influencing soil nutrient availability and uptake by plant roots: Soil Nutrient Bioavailability. In H. BassiriRad, Ed. *Ecological Studies; Nutrient Acquisition by Plants: An Ecological Perspective*. Springer-Verlag. pp 1-14.
- Cornelissen J. H. C. Werger, M. J. A. Castro D. P. Van Rheenen J.W.A. and Rowland A. P. 1997. Foliar nutrients in relation to growth, allocation and leaf traits in seedlings of a wide range of woody plant species and types. *Oecologia* 111: 460-469.
- CORPOICA 2014. Ficha técnica *Acacia mangium*. Recuperado de: http://www.corpoica.org.co/NetCorpoicaMVC/STDF/Content/fichas/pdf/Ficha_2.pdf.
- Cotê B. Fyles W. and Djalilvand H. 2002. Increasing and P resorption efficiency and proficiency in northern deciduous hardwoods with decreasing foliar N and P concentrations. *Annals of Forest Science* 59: 275-281.

- Cotê B. Fyles W. Djalilvand H. 2002. Increasing and P resorption efficiency and proficiency in northern deciduous hardwoods with decreasing foliar N and P concentrations. *Annals of Forest Science* 59: 275-281.
- Current D. Lutz E. and Scherr S. J. 1995. The Costs and Benefits of Agroforestry to Farmers The World Bank Research Observer. 10 (2), 151-180. Oxford University.
- Del Arco J. M. Escudero A. and Garrido M. V. 1991. Effects of site characteristics on nitrogen retranslocation from senescent leaves. *Ecology* 72: 701-708.
- Del Valle J. I. 2003. Descomposición de la hojarasca fina en bosques pantanosos del Pacífico colombiano. *Interciencia*, 28: 148-153.
- Del Valle-Arango J. I. 2003. Cantidad, calidad y nutrientes reciclados por la hojarasca fina de bosques pantanosos del Pacífico Sur Colombiano. *Interciencia*, 28: 443-449.
- Dias L.E. Franco A. A. Campello E. De Faria S.M. and Da Silva E. M. 1995. Leguminosas forestales: Aspectos relacionados con su nutrición y uso en la recuperación de suelos degradados. *Bosque* 16(1): 121-127.
- Escudero A. Mediavilla S. 2003. Decline in photosynthetic nitrogen use efficiency with leaf age and nitrogen resorption as determinants of leaf life span. *Journal of Ecology* 91: 880-889.
- Espitia M. Murillo O. Castillo C. Araméndiz H. y Paternina N. 2010. Ganancia genética esperada en la selección de Acacia (*Acacia mangium* Willd.) en Córdoba, Colombia. *Revista U. D. C. A Actualidad y divulgación científica*. 13 (2), 99-107.
- FAO 1994. *CHERISH THE EARTH: Soil Management for Sustainable Agriculture and Environmental Protection in the Tropics*. 29 pp. Rome, Italy.

- Freer-Smith P. 2001. Environmental stresses to forests. Páginas: 282-300 en J. Evans (editor). The forest handbook. Volume 1. An overview of forest science. Blackwell Science Ltd., Malden.
- Galiana A. Balle P. Guessan K. A. and Domenach A. 2002. Nitrogen fixation estimated by the N natural abundance method in *Acacia mangium* Willd Inoculated with *Bradyrhizobium* sp. and grown in silvicultural conditions. *Soil Biology & Biochemistry*, 34:251-262.
- Hertel D. Leuschner C. and Hölscher A. 2003. Size and structure of fine root systems in old-growth and secondary tropical montane forests (Costa Rica). *Biotropica*. 35(2):143-153.
- Ingestad T. 1979. Mineral nutrient requirements of *Pinus sylvestris* and *Picea abies* seedlings. *Physiologia plantarum* 45: 373-380.
- Isaac S. R. y Nair M. A. 2006. "Litter dynamics of six multipurpose trees in a homegarden in Southern Kerala, India". *Journal of Agroforestry System*, 67: 203-213.
- Isos G. R. 2003. Evaluación de la dinámica del suelo en plantaciones: efecto del *Pinus caribaea* y *Acacia mangium* sobre las propiedades de un suelo ácido. Tesis. Universidad De Panamá Vicerrectoría de Investigación y Postgrado Programa de Maestría en Ciencias Agropecuarias. Panamá. 75 p.
- J. P. C. (JAAKKO PÖYRY CONSULTIN). 2004. Estudio de Prefactibilidad de la Cuenca Industrial Forestal del Golfo de México, Fase I y II. Informe Final. CONAFOR, México, 126 p.
- Jardel-Peláez E. J. Maas M. Castillo A. García-Barrios R. Porter L. Sosa-Ramírez J. y Burgos A. 2008. Investigación ecológica a largo plazo y manejo de ecosistemas. *Ciencia y Desarrollo* 34 (215):31-37.

- Jiménez R. C. y Arias A. D. 2004. Distribución de la biomasa y densidad de raíces finas en una gradiente sucesional de bosques en la Zona Norte de Costa Rica. Kurú: Revista Forestal (Costa Rica) 1(2).
- Jordán M. y Casaretto J. 2006. Hormonas y Reguladores del Crecimiento: Auxinas, Giberelinas y Citocininas. Capítulo XV. Ediciones Universidad de La Serena, La Serena, Chile. 15: xx-xx.
- Kelty M. J. 2006. The role of species mixtures in plantation forestry. Forest. Ecol. Manag. 233:195–204.
- Lampkin N. 2001. Agricultura ecológica. 1º ed. U.K. Grupo Mundi – Prensa. 50–84.
- Landsberg J. J. y Gower S. T. 1997. Applications of physiological ecology to forest management. Academic Press, San Diego.
- Laossi K. R. Barot S. Carvalho D. Desjardins T. Lavelle P. Martins M. Mitja D. Rendeiro A. R. Rousseau M. Velásquez E. Grimaldi M. 2008. Effects of plant diversity on plant biomass production and soil macrofauna in Amazonian pastures. Pedobiología, 5: 397-407.
- Larios R. J. y Hernandez J. 1992. Fisiografía, ambiente y uso agrícola de la tierra de Tabasco, Mex. UACH-DCR. Chapingo, Mex. 130p.
- Lee Mi-sun, Kaneyuki N, Takayuki N & Hiroshi K (2005) The importance of root respiration in annual soil carbon fluxes in a cool-temperate deciduous forest . Agricultural and Forest Meteorology Volume 134, Issues :95-101pp.
- Lim M. T. Cousens J. E. 1986. The internal transfer of nutrient in a Scots pine stand. 2. The patterns of transfer and the effects of nitrogen availability. Forestry 59: 17-27.
- Lira S. R. H. 1994. Fisiología vegetal. México. trillas: Universidad Antonio Narro. 237p.

- Long Y. Nan L. Hai R. and 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.
- Macedo M. O. Resende A. S. García P. C. Boddey R. M. Jantalia C. P. Urquiaga S. Campello, E. F. C. and Franco A. A. 2008. Changes in soil C and N stocks and nutrients dynamics 13 years after recovery of degraded land using leguminous nitrogen-fixing trees. *Forest. Ecol. Manag.* 255: 1516-1524.
- Macedo M. O. Resende A. S. García P. C. Boddey R. M. Jantalia C. P. Urquiaga S. Campello E. F. C. Franco A. A. 2008. Changes in soil C and N stocks and nutrients dynamics 13 years after recovery of degraded land using leguminous nitrogen-fixing trees. *Forest. Ecol. Manag.* 255: 1516-1524.
- Marena-INAFOR. 2002. Guía de Especies Forestales de Nicaragua/Orgut Consulting aAB 1a Ed. Managua, Nicaragua, Editora de Arte, S.A. 304 p. ISBN 99924-34-17-1.
- Matthews S. Ziller S. R. Zalba S. Iriarte A. Baptiste M. P. Poorter M. Cattaneo M. Causton C. y Jackson L. 2005. Programa mundial sobre especies invasoras (GISP). ISBN 1-919684-49-2.
- Mercedez J. y Hernández M. 1996. Producción de Acacia, Eucalipto y Teca. Guía técnica No 1. Serie de Recursos Naturales. Fundación de Desarrollo Agropecuario (FDA). Santo Domingo, República Dominicana.
- Miranda C. G. O. (2004). Producción de raíces de trigo, papas y arvejas creciendo bajo distintos niveles de Fósforo. Tesis. Universidad Austral de Chile. Valdivia Chile. 69 p.
- Molist P. Pombal M. A. y Megías M. 2011. Atlas de Histología Vegetal y Animal. Órganos Vegetales. 1. Raiz. <http://webs.uvigo.es/mmegias/descargas/o-v-raiz.pdf>.

- Morales R. E. A. 1997. Apuntes metodológicos para el estudio de raíces en plantaciones forestales y bosques naturales. In: Simposio Internacional Posibilidades del Manejo Forestal Sostenible en América Tropical. Santa Cruz de la Sierra, Bolivia. CATIE. p. 80-91.
- Moreno G. 2004. El árbol en el medio agrícola. *Foresta* 27: 170-176.
- Murillo O. y Badilla Y. 2010. Calidad de la Plantación Forestal. Instituto Tecnológico de Costa Rica. Escuela de Ingeniería Forestal. Cartago, Costa Rica. 66 p.
- Nordell K. O. and Karlsson P. S. 1995. Resorption of nitrogen and dry matter prior to leaf abscission: variation among individuals, sites and years in the mountain birch. *Functional Ecology* 9: 326-333.
- NPFI 1988. Manual de fertilizantes. Ed. LIMUSA. México, D.F. 292 p.
- Oleksyn J. Zytowskiak R. Reich P. B. Tjoelker M. G. and Karolewski P. 1999. Ontogenetic pattern of leaf CO₂ exchange, morphology and chemistry in *Betula pendula* trees. *Trees* 14: 271-281.
- Oliva H. E. 1990. Comportamiento en plantaciones de *Mangium* (*Acacia Mangium* Will) y Aripín (*Caesalpineia Velutina* (B y R) Standl) en América Central. Tesis Mag. Sc. Turrialba, C. R. CATIE. 117p.
- Pérez P. 2010. Capacitación en poda y conducción de árboles para uso urbano. Ministerio de Asuntos Agrarios. Provincia de Buenos Aires. http://www.maa.gba.gov.ar/2010/SubPED/Agricultura/archivos/Poda_yconducciondearbolesparausourbano.pdf
- Piatek K. B. Alen H. L. 2000. Site preparation effects on foliar N and P use, retranslocation, and transfer to litter in 15-years old *Pinus taeda*. *Forest Ecology and Management* 129: 143-152.

- Prause J. Angeloni P. y Arce G. 2003. Variación mensual en el aporte de hojas de cuatro especies forestales nativas del Parque Choqueño húmedo (Argentina). *Revistas de Ciencias Forestales- Quebracho* 10: 39-45.
- Ranger J. Gérard F. Lindemann M. Gelhaye D. and Gelhaye L. 2003. Dynamics of litterfall in a chronosequence of Douglas-fir (*Pseudotsuga menziesii* Franco) stands in the Beaujolais mounts (France). *Annals of Forest Science* 60: 475-488.
- Ranger J. Gérard F. Lindemann m. Gelhaye D. Gelhaye L. 2003. Dynamics of litterfall in a chronosequence of Douglas-fir (*Pseudotsuga menziesii* Franco) stands in the Beaujolais mounts (France). *Annals of Forest Science* 60: 475-488.
- Rejmánková E. 2005. Nutrient resorption in wetland macrophytes: comparison across several regions of different nutrient status. *New Phytologist* 167: 471-482.
- Rentería L. Y. Jaramillo V. J. Martínez-Yrizar A. and Pérez-Jiménez A. 2005. Nitrogen and phosphorus resorption in trees of a Mexican tropical dry forest. *Trees* 19: 431-441.
- Resh S. C. Binkley D. and Parrotta J. A. 2002. Greater soil carbon sequestration under nitrogen-fixing trees compared with *Eucalyptus* species. *Ecosystems* 5: 217–231.
- Rodríguez-Petit A. Clavero T. and Razz R. 1996. Evaluación del crecimiento de *Acacia mangium* Will sometida a defoliación. Taller internacional: Los árboles en los sistemas de producción ganadera. p. 45. EEPF “Indio Hatuey”. Matanzas, Cuba.
- Rozo R. G. F. C. 2014. Multiplicación Clonal Masiva In Vitro De *Acacia mangium* Willd., Como Estrategia para la Recuperación de Suelos Deprimidos. Trabajo de grado presentado a la Facultad de Ciencias Básicas como requisito para optar al Título de Biólogo. IBAGUÉ, TOLIMA . 83p.
- SAGARPA 2004. Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación de México.2004. www.sagarpa.gob.mx. México.

- Sánchez P.A. 1977. Advances in the management of Oxisols and Ultisols in Tropical South America. p. 535-566 in Proceedings of the International Seminar on Soil Environment and Fertility Management in Intensive Agriculture. The Society for the Science of Soil and Manure, Tokyo, Japón.
- SCHOENHOLTZ S. H. MIEGROET, H. V & J. A. BURGE.R 2000 A review of chemical and physical properties as indicators of forest quality: Challenges and opportunities. For. Ecol. Manage., 138:335-356, 2000.
- Stephenson N.L. 1990. Climatic control of vegetation distribution: The role of the water balance. Amer. Nat. 135: 649–670.
- Thiebaud B. Vernet P. 1981. Biologie de la reproduction sexuée. En: Teissier du Cros (Ed.) Le Hêtre, Inra, Paris, 1981, pp.118-135.
- Tonini H. E. e Vieira B. 2006. Desrama, crescimento e predisposição à podridão-do-lenho em *Acacia mangium*. Pesquisa Agropecuária Brasileira, 41(1077-1082).
- Torres L. A. Suarez I. E. y Gatti K. 2013. Propagación in Vitro de *Acacia mangium Willd* Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial. 11, 81- 87.
- Useche T. F. y Azuero R. S. A. 2013. Monografía. Yopo (*Anadenanthera peregrina*), *Acacia* (*Acacia mangium* Wild) y Melina (*Melina G. arbórea*) tres especies arbóreas propicias para los sistemas silvopastoriles en el piedemonte llanero. Trabajo de grado. UNAD CEAD – ACACIAS. 64p.
- Ventura U. F. Salgado G. S. Castelán E. M. Palma L. D. J. Rivera C. M. C. y Sánchez G. P. 2012. Métodos de Interpretación del Análisis Nutricional en Naranja Valencia (*Citrus sinensis* L. Osbeck). Terra Latinoamericana, 30 (2), pp. 139-145. S.M.C.S. Chapingo, México.
- Von Uexküll H.R. Mutert E. 1995. Global extent, development and economic impact of acid soils. Plant Soil 171:1-15.

- Walley W. R. B. Riseley P. B. Leeds-Harrison N. R. A. Bird P. K. Leech and Adderley W. P. 2005. Structural differences between bulk and rhizosphere soil. *Eur. J. Soil Sci.* 56: 353-360.
- Weltzin J. F. Keller J. K. Bridgham S. D. Pastor J. Allen P. B. and Chen J. 2005. Litter controls plant community composition in a northern fen. *Oikos* 110: 537-546.
- Yang L. Liu N. Ren H. and Wang J. 2009. Facilitation by two exotic Acacia: *Acacia auriculiformis* and *Acacia mangium* as nurse plants in South China. *Forest Ecol. Manage.* 257(8): 1786-1793.
- Yang Y. S. Guo J. F. Chen G.S. Xie J. S. Cai L. P. Lon P. 2004. Litterfall, nutrient return, and leaf-litter decomposition in four plantations compared with a natural forest in subtropical China. *Annals of Forest Science* 61: 465-476.

V. MATERIALES Y MÉTODOS

5.1. ÁREA DE ESTUDIO

El presente trabajo se realizó en el Rancho las Acacias, localizado en las coordenadas 17°45'57 N y 93°44'40 W, en el Ejido las Flores, municipio de Huimanguillo, Tabasco (Figura 1), donde la altitud varía de 20-50 msnm, con temperatura y precipitación media anual de 26.2°C y 2,290 mm, respectivamente; el clima se clasifica como Cálido húmedo con abundantes lluvias en verano (García, 2004).

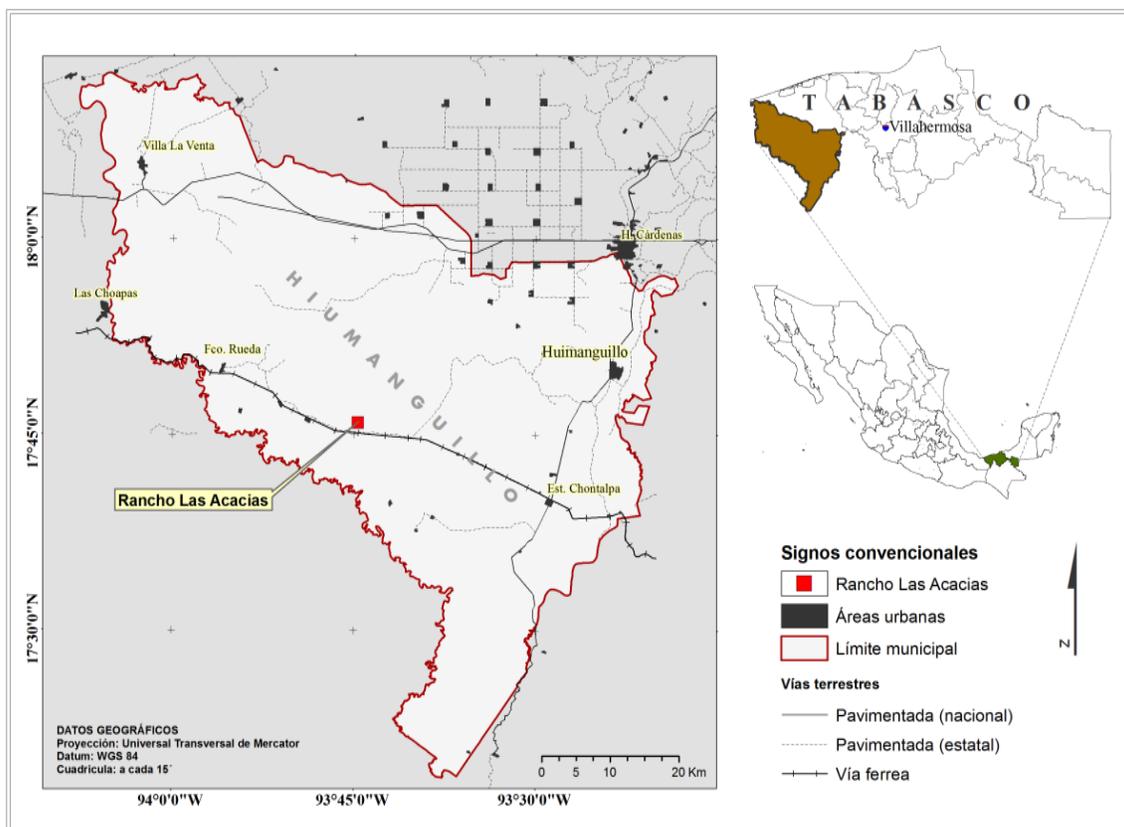


Figura 1. Ubicación del área de estudio

5.2. GEOLOGÍA

El sitio de estudio se ubica en una serie de lomeríos de baja altitud (entre 20 y 50 msnm), fisiográficamente constituye una antigua planicie fluvial erosionada de manera que las corrientes erosivas han formado desniveles, los cuales forman los lomeríos del

paisaje, con pendientes convexas de 2 a 4 por ciento y pequeños valles estrechos y alargados que forman lo que se conoce como “galería de selva”. La edad data del pleistoceno, en la era Cuaternaria y en algunos casos se encuentran rocas calizas del terciario (Palma-López *et al.*, 2007).

5.3. CLIMA

En el estado de Tabasco pueden diferenciarse tres épocas climáticas, que están en función de la temperatura y precipitación (Larios y Hernández, 1992). La época de lluvia contempla los meses de junio a septiembre, la época de nortes comprende de octubre a enero y se caracteriza por una disminución en la precipitación con presencia del mayor número de días nublados, ocasionando un incremento en humedad relativa y se presentan vientos frescos llamados nortes, y la época seca transcurre durante los meses de febrero a mayo, cuando hay la menor precipitación del año y las temperaturas más elevadas, con máximas de 40°C, así como el mayor número de días soleados, hay vientos secos conocidos en la región como sures.

Según el servicio meteorológico nacional en el 2013 y 2014, se presentó una precipitación anual de 2811.9 y 2,394.4 respectivamente, con una temperatura máxima, media y mínima de: 31.9, 21.9, 26.9 en el 2013 y 29.7, 21.9 y 26.7 en el 2014 (Cuadro 1).

Cuadro 1. Temperatura y precipitación media de los meses de muestreo, año 2013 y 2014.

Año	Meses	T. promedio	Precipitación
2013	Nov	25.8	455.8
2013	Dic	23.9	460.5
2014	Ene	22.3	177.7
2014	Feb	25.8	38.8
2014	Mar	27.3	70.5
2014	Abr	28.6	133.4
2014	May	27.7	274.7
2014	Jun	28.4	264.6
2014	Jul	28.5	178.2
2014	Ago	28.7	193.0
2014	Sep	27.8	372.0
2014	Oct	27.1	411.1

5.4. CARACTERIZACIÓN DE LA UNIDAD DE SUELOS

Para determinar la unidad de suelo se describió un perfil siguiendo la metodología propuesta por Cuanalo (1990); de cada uno de los cuatro horizontes del perfil se tomó una muestra de aproximadamente 1 kg de suelo para llevarla al laboratorio de Análisis de suelo Plantas y Aguas (LASPA) del Campus Tabasco donde, siguiendo la metodología establecida en la Norma Oficial Mexicana (NOM-021-RECNAT-2000) se realizaron las siguientes determinaciones físicas y químicas: Materia Orgánica (MO) por el método de Walkley y Black, pH mediante potenciómetro en agua (relación 1-2); textura por el método del hidrómetro de Bouyoucos; conductividad eléctrica (CE) del extracto de saturación, y medición electrolítica de Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ , Na^+ , empleando acetato de amonio 1N a pH 7.0 como solución extractante; y fósforo (P) extractable por el método Olsen.

Con los resultados de los análisis y la información de campo se realizó la clasificación del suelo utilizando los conceptos de la Base Referencial Mundial del recurso suelo (IUSS Grupo de Trabajo-WRB. 2007).

5.5. VARIABLES DASOMÉTRICAS DE LOS ÁRBOLES DE ACACIA *Mangium*

Para la medición de la altura de los árboles de Acacia se utilizó un *hipsómetro láser forestry* (Vertex Láser VL400). Para el diámetro altura de pecho ($D_{ap1.30}$), se utilizó una cinta métrica para tomar el valor de la circunferencia a una altura de la 1.30 m midiendo desde la base de cada árbol (Normas de inventario forestal, 2006), obtenido el cálculo con la siguiente ecuación:

$$D_{ap1.30} = \left[\frac{P}{\pi} \right]$$

Donde $D_{ap 1.30}$, es el diámetro altura del pecho a 1.30 m de la base del tallo de árbol, P es el perímetro de la circunferencia y π es la constante del círculo ≈ 3.1416 .

5.6. FERTILIDAD QUÍMICA DEL SUELO (PH, MO, CIC, P Y BASES DE INTERCAMBIO) EN TRES ÉPOCAS DEL AÑO

Los muestreos de suelos se realizaron en las tres épocas del año: seca (febrero a mayo), lluvia (junio a octubre) y norte (noviembre a enero), reconocidas para el estado de Tabasco y relacionadas con la intensidad de la precipitación, que varía en función del área geográfica y otras variables climatológicas (Ruiz-Álvarez *et al.*, 2012). En cada época se tomaron cuatro muestras compuestas por 15 submuestras, a dos profundidades 0 a 30 y de 30 a 60 cm, que fueron llevadas al LASPA para realizarles los siguientes análisis químicos: 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), según metodología establecida en la Norma Oficial Mexicana (NOM-021-RECNAT-2000).

5.7. ESTIMACIÓN DE LA DENSIDAD DE LONGITUD DE RAÍCES (DLR) FINAS Y SU DISTRIBUCIÓN VERTICAL Y HORIZONTAL

La DLR se estimó a partir del muestreo realizado durante la época de lluvia, en cuatro perfiles de 1.2 m de profundidad, ubicados en la parcela en estudio a tres distancias del tronco del árbol (50, 100, 150 cm). Se tomaron muestras cada 20 cm con un cubo de 2000 cm³ (10x10x20) de volumen (Schroth y Sinclair, 2003; Moreno *et al.*, 2005) obteniéndose un total de 72 monolitos, que fueron colocados en bolsas de plástico debidamente etiquetadas según número de perfil, profundidad y distancia.

Las muestras de suelo se secaron a la sombra y se separaron las raíces finas (secundarias y terciarias) y gruesas y, con la ayuda de un vernier electrónico Marca Surtek (resolución 0.01 mm) se separaron en finas (< 3 mm de diámetro), medias (3 a 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 siguiente ecuación:

$$DLR = \frac{\text{Longitud de raíces (km)}}{\text{Volumen de suelo (m}^3\text{)}}$$

5.8. COLECTA DE HOJARASCA (HS)

Para la captura de hojarasca en la plantación, se colocaron aleatoriamente cuatro trampas biológicas de malla fina (plástica) y con áreas de aproximadamente 2 m², se sujetaron a los árboles, con la finalidad de no tocar la superficie del suelo y evitar cualquier tipo de contaminación o incluso efectos de mineralización (Pulido y Díaz, 2005). El material vegetativo se colectó mensualmente en bolsas de papel horadadas (4 muestras por periodo de muestreo). La hojarasca fue secada a 70°C, en una estufa con circulación forzada de aire, hasta peso seco constante. Se separó el material por estructuras vegetativas en hojas, pecíolos, ramas y frutos y se pesaron en balanza analítica. Las colectas se realizaron por un periodo de ocho meses, en época húmeda (noviembre, diciembre, enero y febrero) y en época de seca (marzo, abril, mayo y junio).

5.9. COLECTA DE LA HOJA RECIENTEMENTE MADURA (HRM)

Mensualmente se tomaron muestras de tejido vegetal, en el tercio inferior de la copa de 16 árboles seleccionados aleatoriamente y cercanos a las trampas de colecta, la hoja muestreada fue la recientemente madura y para su colecta se utilizó una tijera forestal de pértiga. Las muestras se colectaron en bolsas de papel horadadas. El material vegetal se trasladó en el laboratorio y se secó a 70°C en una estufa con circulación forzada de aire hasta peso seco constante.

5.9.1. Análisis foliar

Las muestras secas del tejido foliar senescente (capturado en las trampas biológicas) y el de la hoja recientemente madura (tomada de los árboles) se molieron finamente en molino con aspas de acero inoxidable. Para conocer el estado nutricional de las plantaciones, a cada muestra foliar se le realizaron análisis químicos para determinar su contenido total de nitrógeno, fósforo, potasio, calcio, magnesio y carbono y se realizaron en el Laboratorio de Análisis Químicos de Suelos, Plantas y Aguas (LASPA) del Campus Tabasco-Colegio de Postgraduados.

Para determinar el porcentaje de reciclaje de nutrientes y la eficiencia de reabsorción corregida (Vitousek y Sanford, 1986), se aplicó la siguiente fórmula:

$$1- \left[\frac{\text{(Nutriente en hoja senescente)}}{\text{(Nutriente en la hoja joven (en árbol))}} \right] \times 100$$

5.10. ANÁLISIS ESTADÍSTICO

El análisis estadístico de los parámetros cuantificados se realizó con apego a un diseño completamente al azar con un arreglo factorial, en el que se consideraron las tres épocas y las profundidades y distancias de muestreo como factores. Para los PARÁMETROS QUÍMICOS DE SUELO determinados, las épocas del año y las profundidades fueron considerados como factores; para la DENSIDAD DE LONGITUD DE RAÍCES (DRL) los factores considerados fueron la profundidad y la distancia, con seis y tres niveles respectivamente, y cuatro repeticiones (perfiles). Para el caso de LA TRANSLACIÓN NUTRIMENTAL se consideró la concentración nutrimental (NPK) de la hoja recientemente madura y la hojarasca, y como factor a las épocas (seca y húmeda). Es importante aclarar que los análisis vegetales incluyeron solo hojas recientemente maduras y las hojas senescentes (hojarasca).

Los resultados se sometieron a un análisis de varianza (ANOVA) y prueba de comparación de medias (Tukey 0.05).

VI. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

6.1. CARACTERIZACIÓN DEL SUELO DEL ÁREA DE ESTUDIO

Los Acrisoles son 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 altas cantidades de hierro y aluminio en forma de sesquióxidos. Son propensos a la erosión debido a que se sitúan en lomeríos con pendientes variables (Palma-López *et al.*, 2007). El suelo en estudio es un 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, muy ácidos (Figura 2). Los suelos de esta unidad tienen desarrollo muy avanzado, lo que está relacionado con su edad geológica; se han formado *in situ* a partir de sedimentos miocénicos (Ortíz-Solorio *et al.*, 2011) y en ellos se encuentra la mayor actividad agrícola (plantaciones de cítricos, eucalipto y hule); tienen un horizonte Ap más grueso, mayor contenido de materia orgánica y menos acidez que la mayoría de los otros acrisoles, 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); son propensos a 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 Grupo de Trabajo-WRB. 2007).

6.2. CARACTERIZACIÓN DE LA PLANTACIÓN EN ESTUDIO

La plantación de *Acacia* tiene nueve años de edad, presenta una densidad de siembra de aproximadamente 400 árboles ha⁻¹. En el Cuadro 2 se presentan las medidas dasométricas de los árboles correspondientes a las cuatro trampas de colecta de hojarasca y de la hoja recientemente madura. El promedio general de la altura total (AT), altura comercial (AC) y diámetro a la altura del pecho (DAP) de los 16 árboles muestreados fue de 27.2 metros, 18.1 metros y 34.7 cm, respectivamente. Castellanos-

Barliza y León (2010) reportan, en plantaciones de 10 y 11 años en suelos degradados de Colombia, un DAP de 16.5, 21.7, 19.0 cm en tres sitios diferentes, lo cual es inferior a lo reportado en este estudio.

1) Perfil 1	Material parental: aluvial antiguo, pleistoceno													
Descrito por: Virginia Sánchez López, Dr. José Jesús Obrador Olán	Flora cultivada: Acacia Mangium													
Fecha: 8/8/ 2014	Flora nativa: Pasto humidícola													
Localización: 17°45'57 y 93°44'40	Fauna: Venado, gavián , pericos, armadillos, coyotes													
Elevación: 28 msnm	Presencia de grietas actuales o en alguna parte del año: No													
Pendiente: menos del 5 %	Aplicación de abonos orgánicos o fertilizantes: no													
Drenaje del sitio: Donador	Prácticas de manejo con maquinaria: si													
	Horizonte Descripción del perfil													
	1- (0-40) Tenue horizontal marcado; color en húmedo café grisáceo muy oscuro (10 YR 3/2; estructura moderadamente desarrollada en bloques subangulares poliédricas muy finas; 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- (40-55) 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; cutánes por eluviación discontinuos; raíces pocas finas y delgadas; pH 5.													
	3- (55-79) 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; por eluviación discontinuos, raíces pocas finas y delgadas; pH 4.													
	4- (79-150) 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 cutánes por eluviación discontinuos; raíces rara y finas; sin fauna; pH 5.													
Ho	pH (H ₂ O)	CE	N	MO	P Olsen	K	Ca	Mg	Na	CIC	Arcilla	Limo	Arena	Clasificación Textural
	rel. 1:2	µc/cm	%		mg kg ⁻¹	Cmol kg ⁻¹				%				
H1(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
H2(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
H3(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
H4(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

Figura 2. Descripción del perfil de suelo y resultados de los análisis físicos-químicos

Acacia mangium es una especie de rápido crecimiento, los árboles pueden alcanzar 30 m de altura con un tronco recto y de 50 cm de diámetro. Se caracteriza por tener una madera de buena calidad: dura, resistente y densa, que es utilizada en la ebanistería para fabricar muebles finos y en el área de la construcción en la fabricación de

gabinetes, marcos para puertas, ventanas y molduras (Barros, 2007; Aseche y Asuero, 2013). Otros usos que se da a la acacia son: sombra para los animales, que favorece el incremento de peso, como forraje y cerco vivo (Garnica *et al.*, 2006), en la industria del papel (pulpa) y como leña; la especie presenta, además, buenas características para usarla en el control de erosión, como poste, cortina rompevientos en sistemas agroforestales, caminos, para la obtención de esencias aromáticas y taninos (Aseche y Asuero, 2013) y como planta pionera en suelos degradados (Martínez *et al.*, 2006).

Cuadro 2. Medidas dasométricas de los árboles donde se colocaron las trampas de colecta de hojarasca y de hojas recientemente maduras: Altura total (AT, m), altura comercial (AC, m), diámetro a la altura del pecho (DAP, cm).

Trampa	1				2				3				4			
Árbol	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
AT	31	26	30,5	32,5	24,6	25,4	24,4	25,7	24,6	26,5	26,5	25,2	29,5	27	27,5	28
AC	20,7	17,3	20,3	21,7	16,4	16,9	16,3	17,1	16,4	17,7	17,7	16,8	19,7	18,0	18,3	18,7
DAP	35,5	36,4	38,0	38,0	25,5	29,9	29,9	32,9	32,8	33,7	31,2	31,6	42,3	39,5	38,2	39,5

6.3. FERTILIDAD QUÍMICA DEL SUELO (PH, MO, CIC, P Y BASES DE INTERCAMBIO) EN TRES ÉPOCAS DEL AÑO A DOS PROFUNDIDADES

En la figura 3 se muestra el comportamiento del pH, y los contenidos de materia orgánica y fósforo de los suelos estudiados en las tres épocas y las dos profundidades. En las dos profundidades evaluadas el pH se incrementa durante las épocas de secas y de nortes con relación al encontrado en la época de lluvias: en la primera profundidad el valor del pH en las épocas de secas ($\bar{X}=4.60$) y nortes ($\bar{X}=4.52$, estadísticamente iguales) fueron estadísticamente mayores que el observado durante la época de lluvias ($p<0.05$); y en la segunda profundidad los valores observados fueron estadísticamente diferentes entre sí en todas las épocas (seca, lluvia y norte, $\bar{X}=4.85$, 4.42, 4.64, respectivamente), con valores significativamente mayores para la época de secas,

seguida de la época de nortes, lo cual era de esperarse dada la liberación que se hace de ácido carbónico (H_2CO_3) durante el proceso de mineralización de la MO (Mulder *et al.*, 1991; Mulder y Malcon, 1994), que si bien es mayor en el primer horizonte, donde el aporte de hojarasca propio de los árboles es grande y la actividad microbiana es mayor, acusa también el efecto del movimiento de H_2CO_3 en los horizontes del suelo (Changming 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).

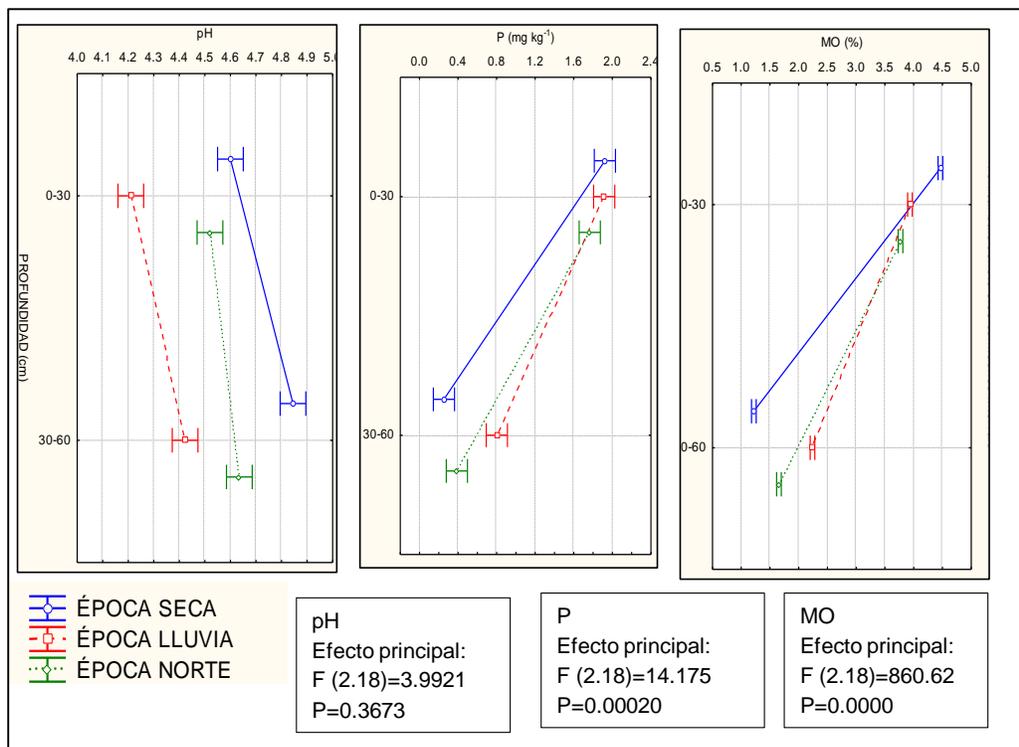


Figura 3. Comportamiento de los parámetros químicos en un suelo plantado con *A. mangium*, a dos profundidades y en tres épocas: a) pH; b) Materia Orgánica y c) Fósforo. Las barras Horizontales representan la diferencia mínima significativa.

La MO fue estadísticamente diferente ($p < 0.05$) en las tres épocas (Figura 3) a ambas profundidades, los contenidos promedio estuvieron en los intervalos de 3.77 y 4.46% y 1.22 y 2.24% para la primera y segunda profundidad, respectivamente, los cuales para

la profundidad 0-30 cm, son considerados altos, y bajos y medios para la profundidad de 30-60 cm (NOM-021-RECNAT-2000). La MO es el indicador utilizado con más frecuencia 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 una sucesión secundaria; algunas especies arbóreas llegan, en algunas regiones, a ser un componente ecológico relevante (Russell, 1977; Hynynen *et al.*, 2010). *A. mangium* es considerada como una planta pionera y restauradora de la salud de los suelos degradados, como toda fabácea arbórea presenta una elevada producción de biomasa, con un significativo aporte de hojas y N al suelo, de alrededor de 8000 y 100 kg ha⁻¹ año⁻¹, respectivamente (Días *et al.*, 1995; Long *et al.*, 2009).

Los valores de P en las tres épocas y en la primera profundidad fueron estadísticamente iguales, pero diferentes con los de la segunda profundidad, los que a su vez fueron diferentes entre sí. Todos los contenidos de P del suelo en estudio fueron bajos, < 5.5 mg kg⁻¹ (NOM-021-RECNAT-2000), lo que no es extraño, ya que este elemento suele ser deficitario en suelos ácidos en la sabana de Huimanguillo (Ventura *et al.*, 2012; Ramos, 2013). El P es el nutrimento más importante al momento de establecer dosis de fertilización en suelos ácidos, es muy reactivo con el aluminio intercambiable que es abundante en este tipo de suelo (Gamboa, 2014). Sánchez *et al.* (1977) y Marschner *et al.* (1991) indican que los suelos ácidos se caracterizan por tener un alto contenido de Al activo, el cual, además de ser causante de la fijación del fósforo y molibdeno, es tóxico para las plantas, interfiere en la movilización del calcio en el tejido vegetal y, en más del 80% de los suelos ácidos de los trópicos su toxicidad limita el crecimiento de las plantas.

En la Figura 4, se muestra el comportamiento de la CIC y las bases de intercambio; todos los valores de la primera se ubicaron en el intervalo de muy bajos a bajos (NOM-021-RECNAT-2000), estos valores están condicionados por la intemperización y el tipo de arcilla (Palma-López *et al.*, 2007; Pérez, 2010). En las épocas de lluvia y nortes y en ambas profundidades la CIC presentó valores similares estadísticamente (\bar{X} =6.83, 4.88 y 6.84 y 4.89, respectivamente) pero diferentes de los de la época seca, que en la

primera profundidad presentó un valor significativamente mayor ($\bar{X}=7.29$) y en la segunda uno significativamente menor ($\bar{X}=4.61$) a los observados en las otras épocas. El clima, sobre todo la humedad y temperatura, condiciona los contenidos de nutrientes (Sharma *et al.*, 2012), excesivas precipitaciones tienden a lixiviar las bases de intercambio, e incluso las arcillas, lo que va en detrimento de la CIC (Young, 1974; Nurudin, 2013).

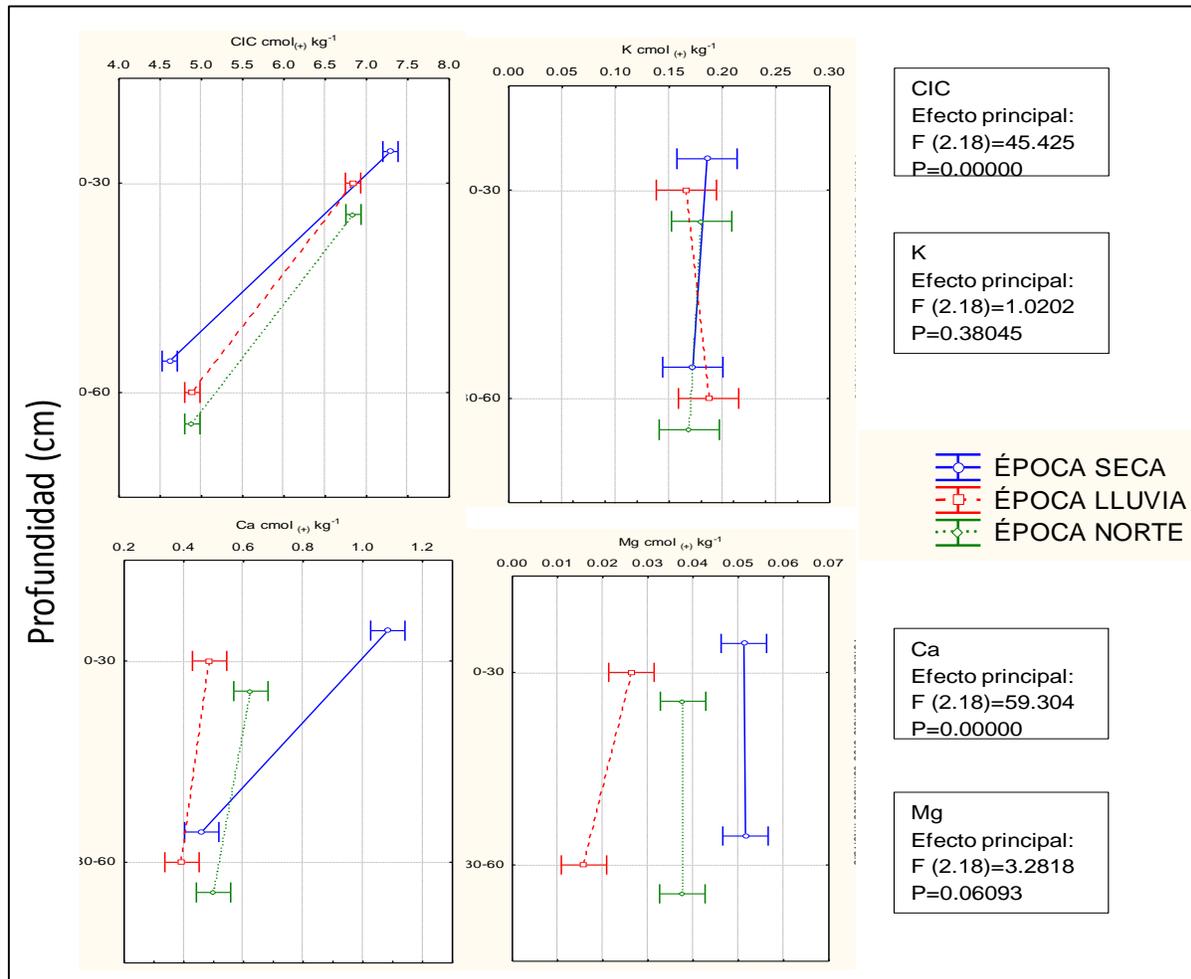


Figura 4. Comportamiento de los parámetros químicos del suelo: a) CIC; b) potasio; c) Calcio y d) Magnesio, plantado con *A. mangium* a dos profundidades y en tres épocas. Las barras horizontales representan la diferencia mínima significativa entre concentraciones.

Los contenidos de K^+ , Ca^{2+} y Mg^{2+} en las diferentes épocas y profundidades en el suelo estudiado fueron muy bajos (NOM-021-RECNAT-2000). Los valores de K^+ fueron iguales estadísticamente en todas las épocas a ambas profundidades. El Ca^{2+} mostró un contenido estadísticamente mayor sólo en la época seca y a la menor profundidad. El Mg^{2+} mostró diferencias significativas entre épocas a ambas profundidades, con valores estadísticamente mayores en la época seca seguida de la época de nortes; valores significativamente menores fueron observados en la época de lluvias.

Un suelo ácido presenta bajo contenido de cationes, que han sido removidos por los cultivos, el clima, fertilizantes nitrogenados y/o la génesis misma del suelo (Pandey *et al.*, 1992). Se caracterizan por su frecuente toxicidad por Al y Mn, y deficiencias de Ca, Mg, P, Fe y Mo (Betanzos *et al.*, 1996; Sharma *et al.*, 2005). Estos problemas pueden ser corregidos parcialmente mediante el encalado, procedimiento que es recomendable cuando las dosis necesarias para aminorar el efecto tóxico a las plantas no son muy altas ($<2000 \text{ kg ha}^{-1}$) (Watanabe y Osaki, 2002). En suelos ácidos orgánicos la aplicación de esta enmienda favorece la mineralización de la materia orgánica y el aporte de nutrimentos, lo que mejora el crecimiento y desarrollo de las plantas (Simard *et al.*, 1994; Ramos, 2013). Los fertilizantes químicos son muy eficaces para atenuar selectivamente las deficiencias de nutrientes 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).

6.4. DENSIDAD DE LONGITUD DE RAÍCES FINAS (DLR) EN EL CULTIVO DE *A. MANGIUM*

En la Figura 5 se observa el comportamiento 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 de profundidad, siendo estadísticamente diferente de las restantes, que a su vez resultaron estadísticamente similares entre ellas. Lo anterior coincide con lo reportado por Moreno *et al.* (2005), Soethe *et al.* (2006) y Ramos (2013), quienes encontraron que las raíces finas de los árboles se encuentran en porcentajes muy por arriba del 50% 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 de profundidad para caoba de más de un año de edad 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 una mayor toma de nutrimentos y un mayor crecimiento y desarrollo de la plantación (Ramos, 2013).

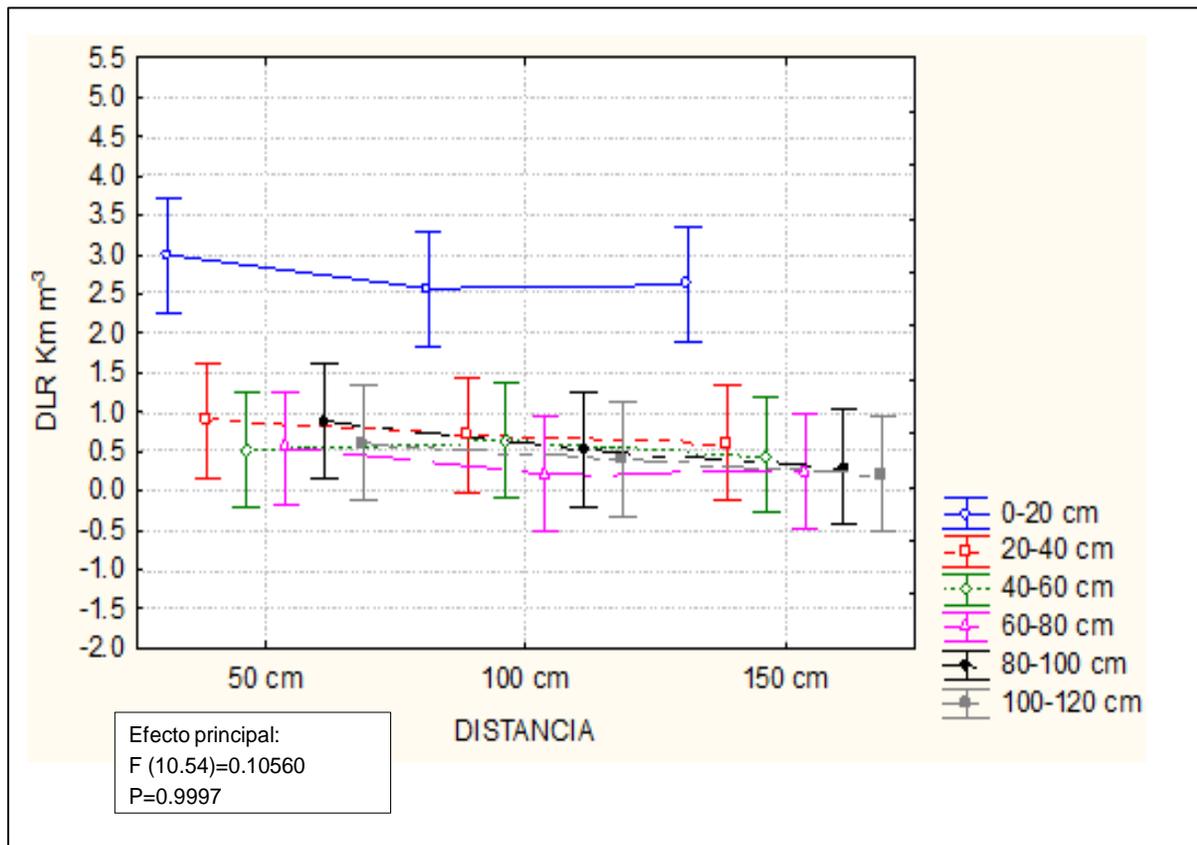


Figura 5. Comportamiento de la DLR de *A. mangium* en un suelo Acrisol. Las barras verticales representan la diferencia mínima significativa en DLR.

Además de ser muy eficientes en la absorción de nutrimentos y agua, las raíces finas son una fuente importante de carbono orgánico bajo tierra, tienen efectos considerables sobre los procesos físicos y químicos y las propiedades biológicas del suelo (Jackson *et al.*, 1997; Godbold *et al.*, 2006; Kivlin *et al.*, 2013). Jensen (1994) y Flores (1999) indican que los tejidos primarios de las raíces finas tienen muy baja resistencia

mecánica y se les dificulta crecer adecuadamente en horizontes profundos, debido a la 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, lo cual está relacionado con su estructura, densidad aparente, altura del manto freático y la presencia de elementos tóxicos (Pritchett, 1990). 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).

Llama poderosamente la atención que la distribución horizontal de las raíces de *A. mangium* mostró patrones similares en los primeros horizontes, sin importar la distancia al tronco, lo que significa que el árbol realiza una gran exploración en la capa superficial, que va disminuyendo conforme incrementa la profundidad; sin embargo, cuando crece junto a otras especies arbóreas, tiende a explorar con mayor intensidad el suelo que se encuentra cercano al tronco del árbol (Kilawe, 2011).

El incremento o decremento de raíces está relacionado con la función de los tejidos que la conforman: el sostén, conducción de agua y la mayor parte de la fijación del carbono debajo del suelo está a cargo de las raíces gruesas, la absorción de nutrientes y el reciclaje de nutrimentos están relacionados con las raíces finas y delgadas, las cuales se caracterizan por ser una de las estructuras más dinámicas y activas de la planta (Flores 1999) y por desarrollarse en sitios donde la fertilidad edáfica es mayor (Jensen, 1994).

6.5. APORTE DE HOJARASCA

La cantidad total de hojarasca caída en las trampas en época de seca y húmeda fue de 7543.8 (74.7%) y 2556.1 kg ha⁻¹ (25.3%), respectivamente; entre uno y otro periodo se observaron diferencias altamente significativas (Figura 6). La mayor cantidad de hojas caídas en la época seca se da como una medida fisiológica de la planta para dar prioridad a la fase reproductiva de la especie y para disminuir el estrés hídrico (Urrego y del Valle 2001; Krisnawati, *et al.*, 2011). *Acacia mangium* es altamente productora de biomasa, a los tres años de edad se ha cuantificado una producción de 10.39 t ha⁻¹ de

biomasa foliar; la biomasa correspondiente a ramas finas y gruesas disminuye al incrementarse la edad de la plantación (Sánchez *et al.*, 2008). La *Acacia mangium* en etapa de madurez es capaz de aportar alrededor de 8 t ha año⁻¹ de hojarasca, lo que le permite ser una excelente planta pionera para sitios donde la disponibilidad de nutrientes y la fertilidad de los suelos en general, no favorecen el crecimiento de otras especies (GENCAPD, 2013). El punto óptimo para biomasa forrajera se presenta a los tres años de edad, con una producción de hoja de entre 3.5 a 5 t ha⁻¹ (Castellanos-Barliza y León, 2011).

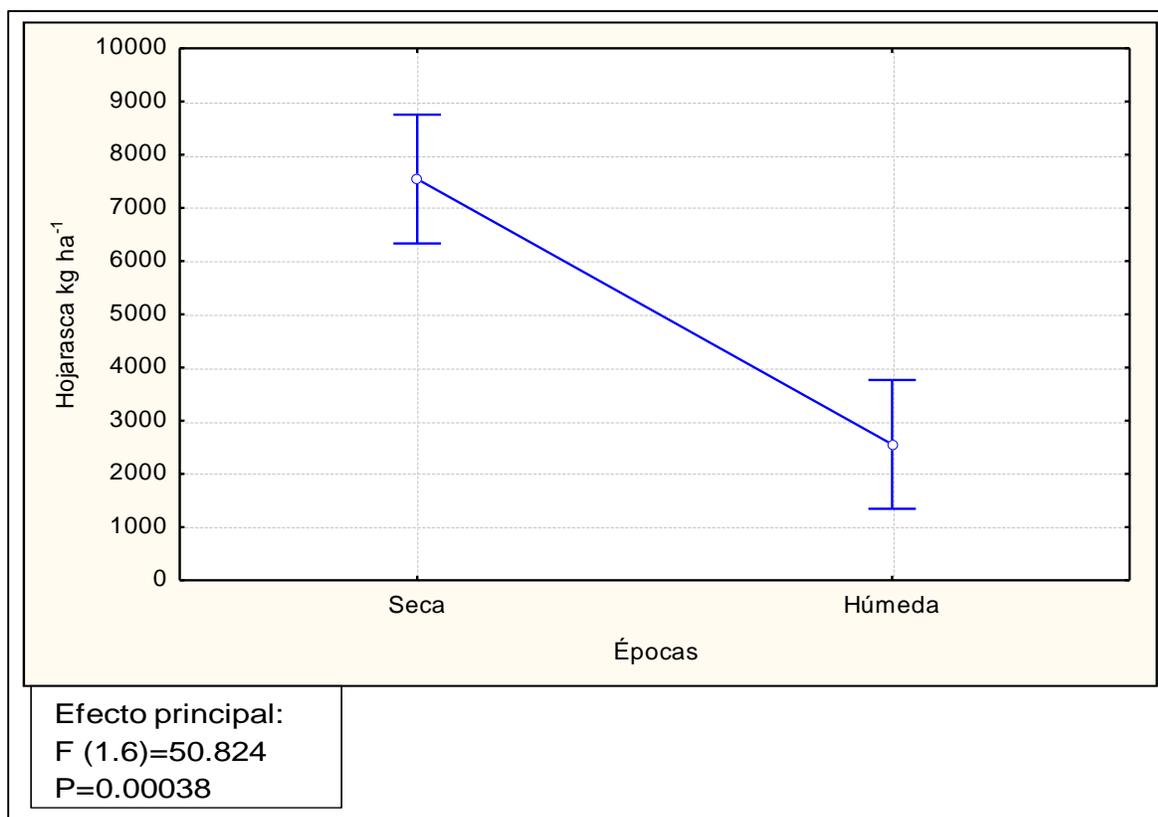


Figura 6. Caída de hojarasca en época seca y época húmeda. Las barras verticales representan a la diferencia mínima significativa.

Las hojas presentan una alta demanda de nutrientes frente al resto de órganos del árbol: entre 30 y 70% del total de los nutrientes almacenados anualmente se encuentran en las hojas (Piatek y Allen, 2000). Entre éstos destacan el C, H, O, N, P,

K, S, Ca, Mg, clasificados como macronutrientes, ya que su concentración en el tejido vegetal seco es mayor a 1000 mg kg^{-1} (ppm) (Alcantar y Trejo 2007).

La concentración de Carbono en las hojas muestreadas en las dos épocas fue estadísticamente similar, al igual que para el caso de la hojarasca, aunque los contenidos de C de las hojas y la hojarasca mostraron diferencias estadísticas significativas (Figura 7). El promedio del porcentaje de Carbono de hojas recientemente maduras fue de 55.5 y 55.2% y en la hojarasca de 56.6 y 56.3% en época de seca y lluvia, respectivamente. Valores de carbono cercano al 50% en este órgano son comunes sobre todo para especies tropicales (Yerena *et al.*, 2010). Alcantar y Trejo (2007), mencionan que cuando el tejido fresco es secado a 100°C por 48 h, la materia seca obtenida representa entre 10 y 20% del peso fresco inicial, la cual está compuesta principalmente por los elementos organogénicos, C, O e H, los cuales constituyen de 90 a 98% del total.

La plantación en estudio aporta alrededor de 10 t de hojarasca, que equivalen aproximadamente a 5.7 t ha^{-1} de C orgánico, similar a lo que aportan anualmente diferentes plantaciones y cultivos, con la diferencia que en estos últimos, el manejo de los residuos tiende a disminuir la fertilidad del suelo (quema, uso como forrajes), sin dejar de lado que algunos subproductos del manejo de una plantación forestal también son exportados para la generación de energía (leña, carbón) (Koopmans y Koppejan, 1997).

En la concentración de Nitrógeno (N) foliar, se encontraron diferencias estadísticas significativas en las hojas recientemente maduras con respecto a la hojarasca; sin embargo, por época, la concentración estimada para hojarasca y hojas fue estadísticamente similar (Figura 7). El porcentaje promedio de Nitrógeno de hojas recientemente maduras fue de 1.97 y 1.92% y para hojarasca de 1.22 y 1.31% en época de secas y lluvia, respectivamente. Alcantar y Trejo (2007) mencionan que el N normalmente se encuentra contenido en material vegetal seco en un intervalo de 0.8 a 5% (8000 a 50 000 ppm) dependiendo de la especie vegetal, su estado de desarrollo y el órgano analizado; el contenido de N requerido para el crecimiento óptimo de la planta varía entre 2 y 5% del peso seco (Marschner 1995). Los valores obtenidos en el

presente trabajo están en el intervalo encontrado para ésta y otras especies (Hernández *et al.*, 2001; Hove *et al.*, 2003 y Alvarado *et al.*, 2007). El nitrógeno es el nutriente más ampliamente demandado para el crecimiento de las plantas, es componente esencial de proteínas y ácidos nucleicos, y cuando no se encuentra disponible en un rango óptimo, el crecimiento se ve reducido (Weinhold *et al.*, 1995). El efecto de la translación nutrimental de N desde las hojas maduras hacia áreas en crecimiento, se constata por la aparición de los síntomas típicos de deficiencias de N en hojas maduras (Jones, 1997).

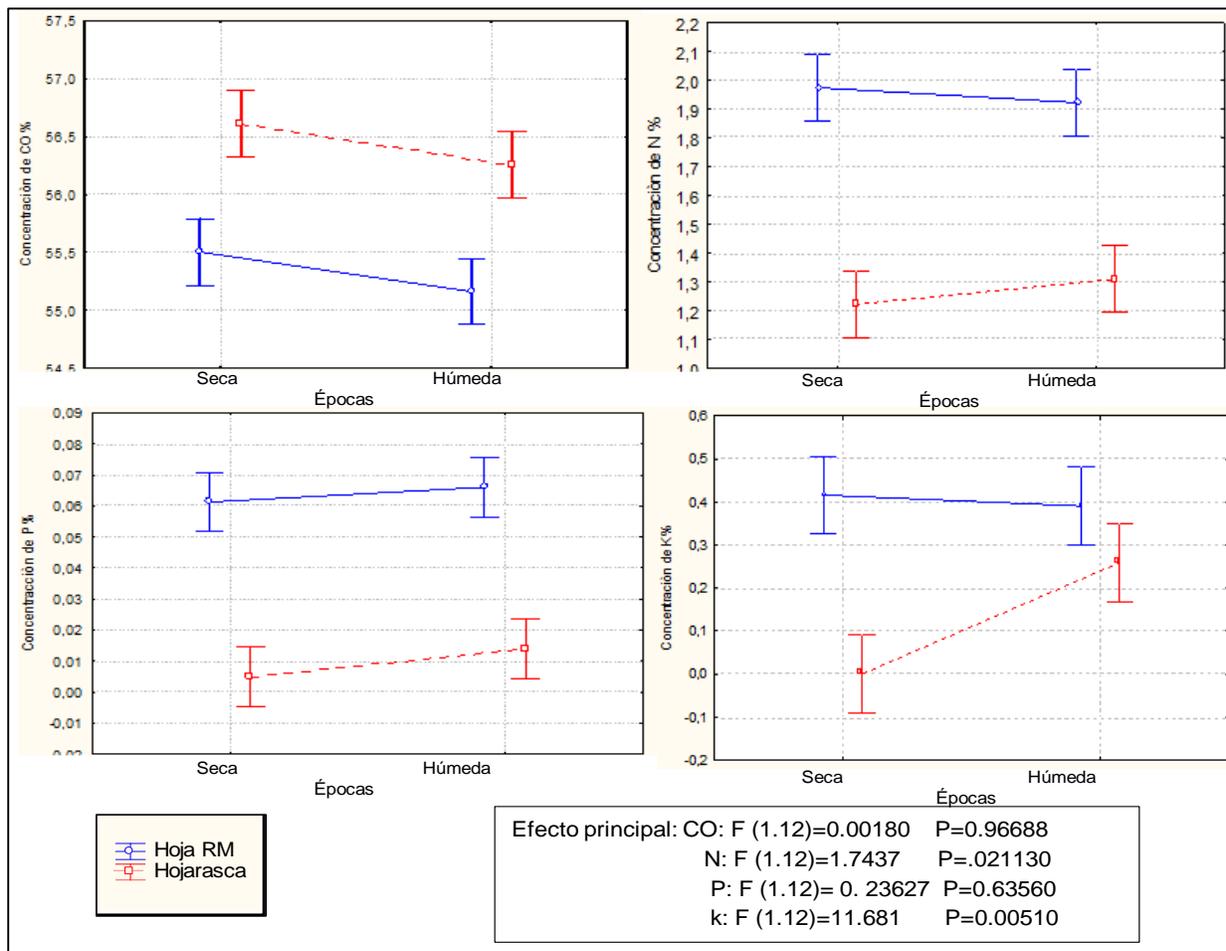


Figura 7. Concentración de Carbono, Nitrógeno, Fósforo, y Potasio, en hojas recientemente maduras (hoja RM) y hojarasca. Las barras verticales representan la diferencia mínima significativa entre concentraciones.

Los contenidos de P cuantificados las muestras vegetales mostraron diferencias estadísticas significativas entre las hojas recientemente maduras y la hojarasca, con concentraciones mayores en las primeras (Figura 7). Sin embargo, los análisis realizados a uno u otro componente en diferente época (húmeda o seca) no mostraron diferencias estadísticas significativas. El porcentaje de fósforo de hojas recientemente maduras fue de 0.061% y 0.061% en época de secas y lluvia respectivamente, siendo menor a la concentración promedio en tejido seco de las plantas superiores (Salisbury y Ross, 1994; Alcantar y Trejo, 2007). En la hojarasca se obtuvo un porcentaje de Fosforo de 0.00497% y 0.01405% en época de seca y lluvia respectivamente; el cual presenta resultados más altos comparados con los obtenidos por Castellanos-Barliza y León (2011), pero inferiores a los reportados por Velasco *et al.* (1999) en un estudio que se realizó en un sistema silvopastoril con una asociación de *Acacia mangium* y *Brachiaria humidicola*, en donde las heces y la orina de los animales son ricas en fósforo. El P, después del N, es el elemento nutriente más limitante para el crecimiento de los vegetales, su concentración es de alrededor del 0.2% del peso seco de la planta (Salisbury y Ross, 1994; Jeschke *et al.*, 1996; Raghothama, 1999). El P es un componente clave para muchas moléculas que participan en procesos básicos para las plantas, tales como ácidos nucleicos, fosfolípidos y ATP (Schachtman *et al.*, 1998). Además, en su forma inorgánica (P_i) está involucrado en el control de muchas reacciones enzimáticas y en la regulación de distintos procesos metabólicos (Theodorou y Plaxton, 1993). Los principales efectos de la deficiencia de P incluyen la reducción en el número de hojas (Lynch *et al.*, 1991) y la pérdida en la eficiencia fotosintética (Lauer *et al.*, 1989).

Los macronutrientes, N y P, están íntimamente involucrados en el metabolismo y crecimiento de las plantas, participan de manera conjunta en diferentes procesos bioquímicos de las mismas, y su suministro, dinámica y disponibilidad en el suelo se relaciona con diversos factores físicos, químicos y biológicos (Mattson *et al.*, 1991; López-Cantarero *et al.*, 1997).

La concentración de Potasio (K) detectadas en los análisis realizados a la hoja y hojarasca mostró diferencias estadísticas significativas entre una y otra (Figura 7) para

la época de secas, con valores mayores en las hojas recientemente maduras. Para la época húmeda no se encontraron diferencias estadísticas en su concentración entre las hojas y la hojarasca. La concentración de Potasio en la hoja recientemente madura en época de seca no presentó diferencias significativas con respecto a la época de lluvia, al igual que la hojarasca en las dos épocas. El porcentaje de Potasio de hojas recientemente maduras fue de 0.42 y 0.39 en época de secas y lluvia, respectivamente, siendo menor a la concentración promedio en tejido seco de las plantas superiores (Salisbury y Ross, 1994; Alcantar y Trejo, 2007). En la hojarasca se obtuvo una concentración de Potasio de 0.01 y 0.26% en época de seca y lluvia, respectivamente, siendo en el primer caso menor, y en el segundo mayor a lo reportado por Castellanos-Barliza y León (2011). El contenido de potasio se reduce en las hojas viejas (Alcantar y Trejo 2007). Al igual que el N, el K es un nutriente que se necesita en concentraciones elevadas para un adecuado crecimiento de las plantas, oscilando su concentración en un rango de 2 a 5% de materia seca de la planta, tanto en partes vegetativas, como frutos y tubérculos (Daliparty *et al.*, 1994; Marschner, 1995). Este macronutriente juega un papel esencial en el crecimiento y metabolismo de la planta como activador de enzimas (Evans y Sorger, 1996), funciona como un osmorregulador para mantener la presión de turgencia de los tejidos (Kaiser, 1982), regula la apertura y cierre estomático de los estomas (Humble y Raschke, 1971), equilibra la carga de los aniones (Streeter y Barta, 1984) y la fijación neta de CO₂ (Ozbun *et al.*, 1965).

6.6. Traslación nutrimental

Los nutrimentos N, P, K son elementos móviles en el floema, se movilizan de las hojas maduras a las hojas que están en pleno crecimiento (Marschner 1995). Cuando un nutrimento es móvil, los síntomas de deficiencia aparecen inicialmente en las hojas viejas y, por el contrario, si el nutrimento es inmóvil, los síntomas de deficiencias serán evidentes primero en las hojas jóvenes (Alcantar y Trejo 2007).

La traslación nutrimental fue mayor en la época de seca en todos los macronutrientes. El P fue el elemento que presentó mayor movilidad en las dos épocas, lo cual indica la necesidad nutrimental que la acacia tiene de este nutrimento (Cuadro 3). De acuerdo con Aerts, (1996), el nitrógeno presenta una movilidad o traslación moderada y el

fósforo alta; los valores promedio para especies forestales están en el intervalo del 28 al 83% para N y entre 25 y 98% para P. Escudero *et al.* (1992), estudiando diversas especies forestales en suelos mediterráneos, encontraron porcentajes de traslación para nitrógeno en el intervalo de 24 y 69% y 32 y 67% para N y P, respectivamente. La fertilidad del suelo, las condiciones ambientales y las características intrínsecas de las especies condicionan la traslación nutrimental (Hiremath y Wel 2002).

Cuadro 3. Contenido de macronutrientes en hojas recientemente maduras (HRM), hojas senescente u hojarasca (HS) y comportamiento de la traslación, de acuerdo a la época climática.

ÉPOCA		N %	kg ha⁻¹	P%	Kg ha⁻¹	K%	Kg ha⁻¹
SECA	HRM	1.97	199.3	0.061	6,2	0.42	42.0
	HS	1.22	123.5	0.005	0,5	0.01	0.4
	Traslación	38	75.8	91.9	5.7	99	41.6
HÚMEDA	HRM	1.92	194.1	0,066	6.7	0.39	39.5
	HS	1.31	132.3	0,014	1.4	0.26	26.2
	Traslación	31.8	61.8	78.7	5.3	33.7	13.3
Traslación Total			137.6		11		54.88

VII. CONCLUSIONES

La fertilidad química del suelo varió en las épocas y profundidades estudiadas. El pH en la primera profundidad mostró valores significativamente menores en la época de lluvias con relación a los valores observados en las restantes épocas del año evaluadas, en las que se observaron valores estadísticamente iguales. En la segunda profundidad todas las épocas mostraron valores de pH estadísticamente diferentes, con valores significativamente mayores en la época de secas, seguidos de los observados en la época de nortes. El contenido de P en el suelo solo mostró diferencias estadísticas en la segunda profundidad, con valores significativamente mayores en la época de lluvias. La CIC mostró valores significativamente mayores en la época de seca en la primera profundidad, y valores estadísticamente menores en la misma época en la segunda profundidad. El Ca mostró también diferencias estadísticas a la primera profundidad, con concentraciones significativamente mayores en la época de seca respecto de las otras dos (que fueron estadísticamente iguales), aunque en la segunda profundidad no se encontraron diferencias estadísticas en los contenidos de Ca entre épocas del año. El contenido de K en el suelo no mostró diferencias estadísticas entre épocas del año a ninguna de las dos profundidades, caso contrario del contenido de Mg, que mostró diferencias estadísticas entre las tres épocas a las dos profundidades, con concentraciones significativamente mayores en la época de secas, seguida de la época de nortes.

La densidad de longitud de raíces finas fue estadísticamente igual en la distribución horizontal (tres distancias del árbol estudiadas), presentando diferencias estadísticas entre la primera profundidad, en la que se observaron valores significativamente mayores, y todas las otras profundidades evaluadas (distribución vertical), en las que la densidad de longitud de raíces fue estadísticamente similar. La translación de nutrimentos fue mayor en la época seca, siendo el P el que mostró mayor porcentaje de translación, valor que para N y P tendió a ser relativamente homogéneo en las épocas estudiadas, el K presentó entre ellas un intervalo de translación bastante alto.

VIII. LITERATURA CITADA

- Aerts R. (1996) Nutrient resorption from senescing leaves of perennials: Are there general patterns. *Journal of Ecology*. Vol. 84 (4): 597-608.
- Alcántar G. G. y Trejo-Téllez L. 2007. *Nutrición de cultivos*. Mundi-prensa México. Colegio de Postgraduados. 454p.
- ALVARADO M. RODRÍGUEZ J. y CERRATO M. 2007. Concentración de carbono y nitrógeno a seis frecuencias de poda en *Gliricidia sepium* Y *Erythrina* sp. *Tierra Tropical*. 3(2): 211-220.
- Aseche T. F. Asuero R. S. A. (2013). Monografía: Yopo (*Anadenanthera peregrina*), acacia (*Acacia mangium* Willd) y Melina (melina arbórea). Tres especies arbóreas propicias para los sistemas silvopositoriles en el Piedemonte Llanero. UNAD CEAD- ACACIAS. 64p.
- Barros A. S. (2007). El género *Acacia*, especie multipropósito. *Ciencia e investigación forestal- Instituto forestal/Chile*.
- Betanzos M.E. Pandey S. y Ramírez F.A. 1996. Mejoramiento genético de maíces tropicales tolerantes a suelos ácidos. *Campo Experimental del Centro de Chiapas, Ocozocoautla, Chis., México*.
- Castellanos-Barliza J. & Leon P. J. D. 2011. Descomposición de hojarasca y liberación de nutrientes en plantaciones de *Acacia mangium* (Mimosaceae) establecidas en suelos degradados de Colombia. *Biol. Trop.* 59 (1):113-128
- Changming Y. Linzhang Y. and Zhu O. 2005. Organic carbon and its fractions in paddy soil as affected by different nutrient and water regimes. *Geoderma* 124. 133–142. Elsevier.
- Cuanalo de la C. H. 1990. *Manual para la descripción de perfiles de suelo en el campo*. 3era. ed. Colegio de Postgraduados, Chapingo, México. 40p.

- Daliparthi J. Barker AV. Mondal SS. 1994. Potassium fractions with other nutrients in crops: a review focusing on the tropics. *J. Plant Nutr.* 17:1859-1886.
- Dias L.E. Franco A. A. Campello E. De Faria S.M. and Da Silva E. M. 1995. Leguminosas forestales: Aspectos relacionados con su nutrición y uso en la recuperación de suelos degradados. *Bosque* 16(1): 121-127.
- Duque-Vargas J. Pandey S. Granados G. Ceballos H. and Knapp E. 1994. Inheritance of tolerance to soil acidity in tropical maize. *Crop Science* 34: 50-54.
- Escudero A. Del Arco J. M. Sanz I. C. Ayala J. (1992) Effects of leaf longevity and retranslocation efficiency on the retention time of nutrients in the leaf biomass of different woody species. 90:80-87.
- Escudero A. Mediavilla S. 2003. Decline in photosynthetic nitrogen use efficiency with leaf age and nitrogen resorption as determinants of leaf life span. *Journal of Ecology* 91: 880-889.
- Evans HJ Sorger GJ. 1996. Role of mineral elements with emphasis on the univalent cations. *Annu. Rev. Plant Physiol.* 17: 47-77.
- Fabiao A. Madeira M. V. Steen E. Katterer T. and Ribeiro C. 1994. Growth dynamics and spatial distribution of root mass in *Eucalyptus globulus* plantations in Portugal. En: *Eucalyptus for Biomass Production*. (Editors) J. S. Pereira, and H. Pereira. Commission of the European Communities. pp. 60-76.
- Flores E. 1999. La planta, estructura y función. Cartago, C. R. LUR. 884 p.
- Gamboa Z. 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.
- GENCAPD “Guyana Environmental Capacity Development Project”. 2013. Post plantation Management of Acacia on mined out sites at Mahdia, Research report compendium. Faculty of Agriculture and Forestry de Guyana. 97 pp.
- Godbold D.L. Hoosbeek M.R. Lukac M. Cortrufo F. Janssens I.A. Ceulemans R. Polle A. Velthorst E.J. Scarascia-Mugnozza G. De Angelis P. Miglietta F. and Peressotti A. 2006. Mycorrhizal hyphal turnover as a dominant process for carbon input into soil organic matter. *Plant Soil* 281: 15-24.
- Hernández I. Simón L. y Duquesne P. 2001. Evaluación de las arbóreas *Albizia lebbek*, *Bauhinia purpurea* y *Leucaena leucocephala* asociadas con pasto bajo pastoreo. In Sánchez, M; Rosales, M. eds. *Agroforestería para la producción animal en América Latina II*. Roma, FAO. 343 p.
- Hiremath A J y J J Ewel (2001) Ecosystem nutrient use efficiency, productivity and nutrient accrual in model tropical communities. *Ecosystems* 4(7):669-682.
- Hove L. Franzel S. y Moyo P. 2003. Farmer experiences on the production and utilization of fodder trees in Zimbabwe. Constraints and opportunities for increased adoption. *Tropical Grasslands*, 37: 279–283.
- Hynynen J. Niemistö P. Viherä-Aarnio A. Brunner A. Hein S. and Velling P. 2010. Silviculture of birch (*Betula pendula* Roth and *Betula pubescens* Ehrh.) in northern Europe. *Forestry*, Vol. 83, No. 1.
- IUSS Grupo de Trabajo-WRB. 2007. Base Referencial Mundial del Recurso Suelo. Primera actualización 2007. Informes 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.

- Jensen W. 1994. Botánica. 2ª. ed. Distrito, Federal, MX. McGraw-Hill. 762 p.
- Jeschke W. D. Peuke A. Kirkby E. A. Pate J. S. Hartung W. 1996. Effects of P deficiency on the uptake, flows and utilization of C, N and H₂O within intact plants of *Ricinus communis* L. J. Exp. Bot. 47:1737-1754.
- Jones B. J. Jr. 1997. The essential elements. In. Hydroponics: A Practical Guide for the Soilles Grower. Benton Jones JJr. (ed), St. Lucie Press, Boca Raton, Florida, pp.3032.
- Kaiser W. M. 1982. Correlation between changes in photosynthetic activity and changes in total protoplast volume in leaf tissue from hygro-, meso-, and xerophytes under osmotic stress. Planta. 154: 538-545.
- 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 A thesis submitted to BOKU UNRLS of the requirements for the Master degree of European Forestry. 72 pp. Vienna, Austria.
- Kivlin N.S. Waring G.B. Averill C. and 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.
- Koopmans A., Koppejan J. 1997. Proceedings of Regional Consultation on Modern Applications of Biomass Energy. Malaysia.
- Krisnawati H. Kallio M. and Kanninen M. 2011. *Acacia mangium* Willd: ecology, silviculture and productivity. CIFOR, Bogor, Indonesia.
- Larios R. J. y Hernandez J. 1992. Fisiografía, ambiente y uso agrícola de la tierra de Tabasco, Mex. UACH-DCR. Chapingo, Mex. 130p.
- Lauer M. J. Blevins D. G. Sierzputowska-Gracz H. 1989. P-nuclear magnetic resonance determination of phosphate compartmentation in leaves of reproductive

- soybeans (*Glycine max* L.) as affected by phosphate nutrition. *Plant Physiol.* 89: 1331-1336.
- Lehmann J. 2003. Subsoil root activity in tree-based cropping systems. *Plant and soil* 255: 319-331.
- Long Y. Nan L. Hai R. and 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.
- Lopez-Cantarero I Ruíz JM Hernández J. Romero L. 1997. Nitrogen Metabolism and Yield Response to Increases in Nitrogen- Phosphorus Fertilization: Improvement in Greenhouse cultivation of Eggplant in Greenhouse Cultivation of Eggplant (*Solanum melongena* Cv. *Bonica*). *J. Agric. Food Chem.* 46: 4227-4231.
- Lynch J. Lâuchli A. Epstein E. 1991. Vegetative growth of the common bean in response to phosphorus nutrition. *Crop Sci.* 31:380-387.
- Maicelo Q. J. L. 2012. Indicadores de sustentabilidad en función del suelo y retención de carbono en la biomasa de *Ceroxylon peruvianum* Galeano, Sanín & mejía, en la cuenca media del río Utcubamba, Amazonas, Perú. *Ecología Aplicada*, 11(1).
- Marschner H. 1995. Mineral nutrition of higher plants. Second Edition. Academic Press Inc., San Diego CA. pp 245-281.
- Marschner H. Hxussling M. and 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.
- Martinez G. A. Garcia RF. Álvarez de León M. (2006). *Acacia mangium* (*Acacia mangium* Wild). Especie arbórea de uso múltiple para la Orinoquia Colombia. CORPOICA.

- Mattson M. Lundborg T. Larsson M. Larsson CM. 1991. Nitrogen utilization in N- limited barley during vegetative and generative growth. I. Growth and nitrate uptake Kinetics in vegetative cultures grown at different relative addition rates of nitrate-N. *J. Exp. Bot.* 43: 15-23.
- Moreno G. Obrador J. J. Cubera E. Dupraz C. 2005. Fine Root distribution in dehesas of Central-Western Spain. *Plant and soil.* 277: 153-162..
- Moreno G. Obrador J.J. Cubera E. and Dupraz C. 2005. Fine Root distribution in dehesas of Central-Western Spain. *Plant and soil* 277 (1), 153-162.
- Mulder J. and 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.
- Mulder J. Pijpers M. and Christophersen N. 1991. Water flow paths and the spatial distribution of soils and exchangeable cations in an acid rain impacted and a pristine catchment in Norway. *WaterResour. Res.* 28: 1585-1596.
- NOM-021-RECNAT-2000. Norma oficial mexicana. Que establece las especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos. Estudio, muestreo y análisis. SEMARNAT. Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales.
- Normas de inventario forestal para los planes de Manejo Predial. (2006). Proyecto de implantación de un modelo de desarrollo forestal sustentable en Argentina y Uruguay. SOCODEVI. INTA.
- Nurudin M. Ohta S. Bhakti H.E. Mendham D. Wicaksono A. Heriyanto J. and Watanabe M. 2013. Relationships between soil characteristics and productivity of *Acacia mangium* in South Sumatra. *Tropics* Vol. 22 (1).1-12.
- Ortíz-Solorio C.A. Gutiérrez C.M.C. Sánchez-Guzmán P. Gutiérrez-Castoreña E.V. 2011. Cartografía de la degradación de suelos en la República Mexicana:

- evolución y perspectivas. En: Krasilnikov P, Jiménez-Nava FJ, Reyna-Trujillo T, García-Calderón NE (eds) Geografía de suelos de México. Universidad Nacional Autónoma de México, Facultad de Ciencias, Distrito Federal. 462 p.
- Ozbun J. L. Volk R. J. Jackson W. A. 1965. Effects of Potassium deficiency on photosynthesis, respiration and the utilization of photosynthetic reductant by immature bean leaves. *Crop Sci.* 5:497-500.
- 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-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. y 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.
- Piatek K. B. Alen H. L. 2000. Site preparation effects on foliar N and P use, retranslocation, and transfer to litter in 15-years old *Pinus taeda*. *Forest Ecology and Management* 129: 143-152.
- Pritchett W. 1990. Suelos forestales. Propiedades, conservación y mejoramiento. John Wiley & Sons. Editorial Limusa, S.A. México. D.F. p 132-213.
- Pulido FJ y Díaz M (2005) Regeneration of a Mediterranean oak: a whole cycle approach. *Écoscience* 12 (1): 92-102.

- Raghothama K. G. 1999. Phosphate acquisition. *Annu. Rev. Plant Physiol. Plant Mol. Biol.* 50:665-693.
- 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. y 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.
- Salisbury F. B. y Ross C. W. 1994. Fisiología vegetal. Grupo Editorial Iberoamericano S. A. de C. V. México.
- Sánchez F. C. Lama D. Suatunce C. P. 2008. Hojas caídas y aporte de nutrientes de diez especies forestales tropicales. *Ciencia y Tecnología.* 1: 73-78.
- Sánchez P.A. 1977. Advances in the management of Oxisols and Ultisols in Tropical South America. p. 535-566 in *Proceedings of the International Seminar on Soil Environment and Fertility Management in Intensive Agriculture.* The Society for the Science of Soil and Manure, Tokyo, Japón.
- Schachtman D. P. Reid R. J. Ayling S. M. 1998. Phosphorus uptake by plants: from soil to cell. *Plant Physiol.* 116: 447-453.
- Schroth G. and Sinclair F. L. 2003. *Trees, crops and soil fertility: concepts and research methods.* Wallingford, UK: CAB International.

- Servicio Meteorológico Nacional (SMN). 2014. Climatología. Temperaturas y llluvias
smn. conagua.gop.mx
- Shah N. M. and 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. Biswapati M. Grace J.K. and 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. and Venkateswar 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. 306 pp.
- Simard R. R. Angers D. A. and Lapierre C. 1994. Soil organic matter quality as influenced by tillage, lime, and phosphorus. *Biol Fertil Soils* 18:13-18.
- Soethe N. Lehmann J. and Engels C. 2006. The vertical pattern of rooting and nutrient uptake at different altitudes of a south Ecuadorian montane forest. *Plant Soil* 286:287-299.
- Streeter J. G. Barta A. L. 1984. Nitrogen and minerals. In: *Physiological basis of crop growth and development*. Madison MB (ed.), American Society of Agronomy. pp. 175-200.
- Tegene B. 1998. Indigenous Soil Knowledge and Fertility Management Practices of the South Wällo Highlands. *Journal of Ethiopian Studies*, 31 (1), 123-158.
- Theodorou M. E. Plaxton W. C. 1993. Metabolic adaptations of plant respiration to nutritional phosphate deprivation. *Plant Physiol.* 101: 339-344.

- Urrego L. E. Del Valle J. I. 2001. Relación fenología-clima de algunas especies de los humedales forestales (Guandales) del Pacífico sur Colombiano. *Interciencia*. 26 (4): 150-156.
- Velasco, A; Ibrahim, M; Kass, D; Jiménez, F; Rivas, G. 1999. Concentraciones de fósforo en suelos bajo sistema silvopastoril de *Acacia mangium* con *Brachiaria humidicola*. *Agroforestería en las Américas* 6(23): 45-47.
- Ventura U. F. Salgado G. S. Castelán E. M. Palma L. D. J. Rivera C. M. C. y Sánchez G. P. 2012. Métodos de Interpretación del Análisis Nutricional en Naranja Valencia (*Citrus sinensis* L. Osbeck). *Terra Latinoamericana*, 30 (2), pp. 139-145. S.M.C.S. Chapingo, México.
- Vitousek P. M. y Sanford R. L. 1986. Nutrient cycling in moist tropical forest. *Annual Review of Ecology and Systematics*. Vol. 17. pp. 137-167.
- Watanabe T. y 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.
- Weinhold B. J. Todd P. T. Reichman GA. 1995. Yield and nitrogen efficiency of irrigated corn in northern corn in northern great plains. *Agron. J.* 87:842-846.
- Wilson B. Y. V. 2008. Dinámica nutricional 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.
- Yerena-Yamallel J. I. Jimenez- perez J. Agirre- Calderon O. A. Treviño-Garza E.J. (2011). Concentración de carbono en la biomasa aérea del matorral espinoso tamaulipeco. *Rev. Chapingo* vol. 17 no. 2 Chapingo ago. 2011.
- Young A. 1974. Some Aspects of Tropical Soils. *Geography*, 59 (3) p. 233-239.