

## Diagnóstico nutrimental y distribución de densidad de longitud de raíces finas en *Acacia mangium* Willd.

### Nutritional diagnosis and length density distribution of fine roots in *Acacia mangium* Willd.

Guillermina Pascual-Córdova<sup>1</sup>\*, David Jesús Palma-López<sup>1\*</sup>, José Jesús Obrador-Olán<sup>1</sup>, Eustolia García-López<sup>1</sup>, Eugenio Carrillo-Ávila<sup>2</sup>, Saúl Sánchez-Soto<sup>1</sup>, Alberto Córdova-Sánchez<sup>1,3</sup>

<sup>1</sup>Programa de Doctorado en ciencias Agrícolas en el Trópico, Colegio de Postgraduados, Campus Tabasco, Periférico Carlos A. Molina s/n, CP. 86500. H. Cárdenas, Tabasco, México.

<sup>2</sup>Carretera Haltunchén-Edzná km 17.5, Sihochac, CP. 24450. Champotón, Campeche. México.

<sup>3</sup>Universidad Politécnica del Golfo de México. Carretera Federal Malpaso El Bellote, km 171, R/a Monteadentro, CP. 86600. Paraíso, Tabasco, México.

\*Autor de correspondencia: [dapalma@colpos.mx](mailto:dapalma@colpos.mx)

#### Artículo científico

Recibido: 22 de septiembre 2022

Aceptado: 30 de marzo 2023

**Como citar:** Pascual-Córdova G, Palma-López DJ, Obrador-Olán JJ, García-López E, Carrillo-Ávila E, Sánchez-Soto S, Córdova-Sánchez A (2023) Diagnóstico nutrimental y distribución de densidad de longitud de raíces finas en *Acacia mangium* Willd. Ecosistemas y Recursos Agropecuarios 10(1): e3492. DOI: 10.19136/era.a10n1.3492

**RESUMEN.** La acacia (*Acacia mangium* Willd.) genera una gran cantidad de biomasa aérea, parte de ella, la hojarasca, constituye una importante fuente de nutrientes que son extraídos de la profundidad del suelo por la biomasa radical, encargada del sostén de la planta, absorción de nutrientes y agua. Partiendo de lo anterior, el objetivo de ésta investigación fue evaluar la fertilidad edáfica al inicio, a los 6 y 42 meses de edad de la acacia y el comportamiento de la distribución vertical de raíces finas (DLRF) en un suelo cañero convertido a agroecosistema *A. mangium* a 6, 12, 18, 24, 30, 36 y 42 meses de edad, con dos tratamientos de fertilización. El diagnóstico nutrimental del suelo al inicio mostró características favorables para el óptimo desarrollo de la acacia, mayormente contenidos medios. Los nutrimentos Nt, P, K, Ca, Mg, tuvieron un incremento estadísticamente significativo conforme aumentó la edad. La DLRF tendió a ser mayor en los 0-20 y 20-40 cm, en los últimos meses alcanzó 2.0 km m<sup>-3</sup>, similar a lo reportado en otros estudios de la región, sin embargo, no hubo diferencia estadística significativa en su incremento por efecto de fertilización, excepto a los 42 meses. La acacia muestra un alto potencial para incrementar la fertilidad de los suelos y genera una importante DLRF para la toma de nutrientes.

**Palabras clave:** Agroecosistema, fertilidad, materia orgánica, nitrógeno, profundidad.

**ABSTRACT.** The acacia (*Acacia mangium* Willd.) generates a large amount of aerial biomass, part of it, the litter, constitutes an important source of nutrients that are extracted from the depth of the soil by the root biomass, responsible for supporting the plant, absorption of nutrients and water. Based on the above, the objective of this research was to evaluate the edaphic fertility at the beginning, at 6 and 42 months of age of the acacia and the behavior of the vertical distribution of fine roots (DLRF) in a sugarcane soil converted to agroecosystem *A. mangium* at 6, 12, 18, 24, 30, 36 and 42 months of age, with two fertilization treatments. The nutritional diagnosis of the soil at the beginning showed favorable characteristics for the optimal development of the acacia, mostly medium contents. The nutrients Nt, P, K, Ca, Mg, had a statistically significant increase as age increased. The DLRF tended to be higher at 0-20 and 20-40 cm, in recent months it reached 2.0 km m<sup>-3</sup>, similar to that reported in other studies in the region, however, there was no statistically significant difference in its increase. due to fertilization effect, except at 42 months. Acacia shows a high potential to increase soil fertility and generates an important DLRF for nutrient uptake.

**Key words:** Agroecosystem, Fertility, Organic Matter, Nitrogen, Depth.

## INTRODUCCIÓN

La agricultura en los trópicos se desarrolló primero en áreas donde los suelos eran ricos en bases de intercambio como los Alfisoles, Vertisoles, Mollisoles y algunos Entisoles, pasando a suelos menos fértiles a través del tiempo, por la presión poblacional (Lal 2019). En el estado de Tabasco los suelos más fértiles han sido ocupados principalmente para los cultivos de plátano, cacao y caña de azúcar, esta última se encuentra sobre suelos de origen aluvial, formados principalmente por sedimentos profundos del Cuaternario Reciente, que fueron acarreados por numerosos ríos y arroyos que surcan la zona (Palma-López *et al.* 2007, SIAP 2021). El manejo agrícola que se da a la caña suele ser muy intenso; por lo que, el uso inadecuado de fertilizantes y pesticidas, la quema y requemas de los residuos orgánicos durante la cosecha y preparación del ciclo siguiente, entre otros, favorecen la pérdida de la fertilidad del suelo (Salgado-García *et al.* 2011, Pascual-Córdova *et al.* 2018). Para conocer el impacto que causan las actividades agrícolas en los suelos es común recurrir a los diagnósticos nutrimentales, esta técnica permite plantear estrategias de manejo sustentable entre las que se encuentran el mejoramiento del manejo o bien, el cambio del uso del suelo (Etchevers 1999, Fukumasu *et al.* 2022).

Las plantas son indispensables para sustentar la vida en la tierra, usan la energía de la luz solar para transformarla en compuestos orgánicos, para ello necesitan además agua y nutrientes esenciales, que son tomados del suelo por las raíces (Carvalho y Foulkes 2018). El crecimiento de las plantas se ve afectado por una amplia gama de propiedades del suelo que, a su vez, son modificadas por las raíces (Gregory 2008). Las raíces juegan un papel crucial en la estabilización y estructura del suelo, ya que se encargan de la regulación fisiológica de la planta. Son muy importantes en los ecosistemas y la agricultura, por su relación con la reducción de la erosión del suelo (De Baets *et al.* 2020). De igual forma penetran el sustrato en suelos compactados y sirven de anclaje para el sostén de árboles (Lynch 2019).

El estudio del sistema radical de las plan-

tas permite entender el crecimiento y desarrollo que tienen los cultivos y plantaciones bajo determinadas condiciones ambientales, las raíces profundas con diámetros superiores a los 5 mm son fundamentales para la regulación de las aguas subterráneas y de los cursos de agua, el secuestro de carbono y el bombeo de nutrientes (Moreno *et al.* 2005, Pierret *et al.* 2016). Las raíces finas, de hasta 3 mm de diámetro, son responsables, principalmente, de la absorción de agua y nutrientes, y tienen un papel central en el ciclo del carbono, pues son las más dinámicas y activas de la planta (Jiménez y Arias-Aguilar 2012), modifican las propiedades físicas y químicas del suelo, por ejemplo, la densidad aparente, humedad relativa, porosidad total, porosidad interna de macroagregados, capacidad de intercambio catiónico y pH (Whalley *et al.* 2005, Yu *et al.* 2018). Estas raíces suelen encontrarse en los estratos superiores del suelo donde los contenidos de materia orgánica son mayores y la acumulación de hojarasca en la superficie del suelo promueve una mayor concentración de nutrientes (Jian *et al.* 2015).

Las raíces finas representan entre el 90 y 95% de la longitud total del sistema radical, por lo que constituyen la mayor superficie de contacto con el suelo, su densidad permite estimar la capacidad que tiene la planta para tomar los nutrimentos para su crecimiento y desarrollo (Gaitán *et al.* 2005). La biomasa de raíces finas y la densidad de su longitud, en combinación con su vida útil, pueden representar una dimensión subterránea adicional principalmente para conocer su capacidad de captar nutrimentos (Weemstra *et al.* 2020). La densidad de longitud de raíces (DLR) es una medida aritmética que indica el total de la longitud radical en relación a un volumen de suelo (Gregory 2008, Sánchez-López *et al.* 2016); es una característica crítica para determinar el potencial de los cultivos para absorber agua y nutrientes y, sobre todo, para conocer la capacidad exploratoria del sistema radical a diferentes profundidades, conocimiento necesario si se quiere estimar el pool de nutrientes edáfico del que pueden disponer plantaciones y cultivos (Basilio de Azevedo *et al.* 2011, Sánchez-López *et al.* 2016). La DLR varía en razón de la especie, espaciamiento, edad, pro-

fundidad, condiciones edáficas y ambientales (Kunhamu et al. 2010, Javed et al. 2017). En *Acacia mangium* Wild. en un suelo Acrisol, Sánchez-López et al. (2016) encontraron valores de 0.5 a 3 km m<sup>-3</sup> en los primeros 20 y 100 cm, respectivamente. Para la encina (*Quercus ilex* L.) en un Luvisol crómico, Moreno et al. (2005) obtuvieron valores promedio de 2.4 km m<sup>-3</sup>, sin que hubiese variación estadística en las diferentes profundidades, hasta 120 cm. Mientras que, Obrador-Olán et al. (2021) en palma africana (*Elaeis guineensis* Jacq.) reportaron valores promedio de 50 km m<sup>-3</sup> en los primeros 10 cm y 1.6 km m<sup>-3</sup> a 150 cm de profundidad. Por lo anterior, el objetivo de esta investigación fue estudiar la distribución vertical de la densidad de longitud de raíces finas en un agroecosistema de *Acacia mangium* Willd. a los 6, 12, 18, 24, 30, 36 y 42 meses de edad, con diferentes tratamientos de fertilización, y conocer el comportamiento de la fertilidad del suelo al inicio, a los 6 y a los 42 meses.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Área de estudio

El experimento se realizó en el Campo Experimental del Colegio de Postgraduados, Campus Tabasco, ubicado en las coordenadas 18° 01' Latitud Norte y 93° 03' Longitud Oeste, en el km 21 de la Carretera Federal 180 Cárdenas-Coatzacoalcos, en el municipio de Cárdenas, Tabasco.

El terreno donde se realizó la investigación es un Eutríc Cambisol (Clayic), anteriormente estaba cultivado con caña de azúcar, en ciclo resoca seis y tenía un rendimiento por debajo de 50 t ha<sup>-1</sup>, razón por la que se decidió cambiar su uso a silvícola, estableciendo la plantación de acacia en agosto de 2016.

Las semillas con las que se obtuvieron las plantas de acacia que se utilizaron en el experimento provinieron de un rodal semillero de una finca de Huimanguillo. La germinación de la semilla se realizó en cama semillera. Para favorecer este proceso, las semillas fueron frotadas con lija fina de óxido de aluminio, grano 180 (Rodríguez 2010, Carpenedo et al. 2016). Ocho días después de emergida la plántula

fue trasplantada a tubetes de polietileno de 310 cm<sup>3</sup>, con sustrato previamente preparado que consistió en una mezcla de peat moss, vermiculita, agrolita y suelo (2:1:1:1), más el fertilizante químico de liberación controlada (FLC) Basacote plus 9 meses (16-8-12), a razón de 10 kg m<sup>-3</sup> (Escamilla-Hernández et al. 2015, Hernández-Sánchez et al. 2021). A los tres meses las plantas fueron sembradas en campo a tres por tres metros (marco real), con una densidad de plantación de 1 111 árboles ha<sup>-1</sup>, tomando en cuenta que en sus etapas juveniles la plantación debe tener por lo menos el doble de densidad que cuando es adulta (CONAFOR 2010). Su altura promedio era de 45.4 cm y diámetro de 7.8 mm a 10 cm del cuello.

### Diseño experimental

Se emplearon arreglos factoriales alojados en un diseño experimental de bloques completos al azar con cuatro repeticiones. La superficie del lote experimental fue de 1.89 ha<sup>-1</sup>. Las unidades experimentales fueron de 72 m<sup>2</sup> en las que se seleccionaron ocho árboles de *A. mangium* como parcela útil. Entre cada parcela se dejó una distancia de 1.5 m. y una línea de árboles como borde en cada lado.

### Diagnóstico nutrimental del suelo

El muestreo inicial del suelo se realizó con barrena tipo holandesa a la profundidad de 0-30 cm. Para la muestra compuesta se tomaron aleatoriamente 15 submuestras mediante un recorrido en zigzag por la parcela experimental. En laboratorio, la muestra se secó al aire, se molió con rodillo de madera y se tamizó en malla de 2 mm. Para realizarle los análisis de pH en agua relación 1:2, materia orgánica (MO), capacidad de intercambio catiónico (CIC), nitrógeno total (Nt), fósforo Olsen (P), potasio (K), calcio (Ca) y magnesio (Mg) se utilizó la metodología de la Norma Oficial Mexicana 021-RECNAT-2000 (SEMARNAT 2002). Para analizar el efecto de la plantación en la fertilidad del suelo los factores evaluados fueron la fertilización mineral y las edades de los árboles, con tres niveles para el factor fertilización (NPK 34-17-17; PK 00-17-17 y testigo 00-00-00), y dos niveles para el factor edad (6 y 42

meses). Los fertilizantes utilizados fueron: urea (46% N), superfosfato de calcio triple (46%) y cloruro de K (60%). La fertilización inicial fue de 50 g, al año se aplicaron 100 g y a los dos y tres años 200 g. El muestreo de suelos a los 6 y 42 meses se realizó en las cuatro parcelas (repeticiones) establecidas para cada nivel de fertilización (tres), en total 12 por fecha. Se siguió el mismo protocolo que se realizó para el muestreo inicial.

### Densidad de la longitud de raíces

Para la estimación de la densidad de longitud de raíces finas, el muestreo se realizó a los 6, 12, 18, 24, 30, 36 y 42 meses de establecida la plantación; en cada fecha se excavaron cuatro perfiles por tratamiento a un metro de distancia de los árboles seleccionados aleatoriamente (una por árbol), hasta una profundidad de 60 cm y se realizaron los muestreos a tres profundidades: 0-20 cm, 20-40 cm y 40-60 cm por el método del monolito, con dimensiones de 7 X 7 x 20 cm de largo, ancho y alto. Las muestras de suelo con las raíces se colocaron en bolsas de polietileno (debidamente identificadas) procurando disturbar lo menos posible el material durante la extracción de raíces de los cubos y su posterior traslado al sitio de lavado.

Solo se consideraron las raíces finas, aquellas cuyo diámetro fue inferior a 3 mm (Cuanalo 1990, Moreno *et al.* 2005). Las raíces fueron cuidadosamente separadas del suelo por el método de lavado a mano de Böhm (1979), para luego secarlas en estufa a 70 °C hasta peso constante, pesarlas en balanza de precisión ( $\pm 0.0001$  g), medir su longitud y calcular la DLR (en  $\text{km m}^{-3}$  suelo) mediante la ecuación:

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

Se consideraron como factores a la fertilización y a la profundidad del perfil de suelo, con tres niveles para cada factor. Los niveles del factor fertilización fueron los indicados en el párrafo previo y los niveles del factor profundidad fueron: 0-20, 20-40 y 40-60 cm. En este caso se realizó un análisis estadístico para cada edad de la plantación. En los casos en los

que se detectó efecto significativo de alguno de los factores o de la interacción ( $p \leq 0.05$ ), se realizó la prueba de comparación múltiple de medias de Tukey, con un nivel de significancia del 5%.

## RESULTADOS

### Diagnóstico nutrimental del suelo

En la Tabla 1 se muestra el análisis realizado al suelo que previamente fue usado para el cultivo de caña, donde el pH fue moderadamente ácido, la MO y el Nt presentaron valores medios, para el P los contenidos fueron medios, la capacidad de intercambio catiónico (CIC) presentó valor medio y para K, Ca y Mg contenidos bajo, medio y bajo, respectivamente.

En la Figura 1 se muestra el comportamiento que tuvieron algunos parámetros de la fertilidad del suelo (N, P, K, Ca, Mg) a través del tiempo. Todos los elementos tuvieron un incremento estadísticamente significativo conforme aumentó la edad de la plantación al pasar de los 6 a los 42 meses de establecida; sin embargo, entre niveles de fertilización no se observaron diferencias estadísticas significativas en ninguno de los nutrimentos para la misma edad de muestreo. No se detectaron efectos significativos de la interacción fertilización por edad en ninguno de los casos. En Nt tuvo valores promedio de 0.10 y 0.13% en el muestreo a los 6 y 42 meses, respectivamente. El Fósforo pasó de presentar valores bajos a medios, promediando 3.53 y 10.34  $\text{mg kg}^{-1}$  a los 6 y 42 meses, respectivamente. Las Bases de intercambio K, Ca y Mg pasaron de presentar, a los 6 meses de establecida la plantación, un contenido promedio en el suelo de, 0.12, 4.1 y 0.27  $\text{Cmol}_{(+)}\text{kg}^{-1}$ , valores diagnosticados como muy bajo, bajo y muy bajo, a contenidos promedio a los 42 meses de 0.60, 10.6, 0.76, diagnosticados como valores medios, altos, y bajos, respectivamente.

En la Figura 2 se muestra el comportamiento de la DLR en los tres niveles de fertilización estudiados (34-17-17, 00-17-17 y el testigo) y a los tres niveles del factor profundidad (0-20, 20-40 y 40-60 cm), en siete diferentes fechas de muestreo (6, 12, 18, 24, 30, 36 y 42 meses). El promedio en los siete periodos de muestreo fue de 3.56, 2.71 y 0.96 km

**Tabla 1.** Propiedades químicas de un Eutric Cambisol (Clayic) 0-30 cm de la parcela de estudio, tomadas después de la preparación del terreno para el establecimiento de la acacia.

Análisis del suelo	pH	MO	Nt	P-Olsen	CIC	K	Ca	Mg
		%		mg kg <sup>-1</sup>		Cmol(c) kg <sup>-1</sup>		
	5.6	2.5	0.11	5.0	0.39	0.13	3.8	0.5

Densidad aparente 1.25 t m<sup>-3</sup>, MO: materia orgánica, Nt: nitrógeno total, P: fósforo, CIC: capacidad de intercambio catiónico, K: potasio, Ca: calcio, Mg: magnesio.

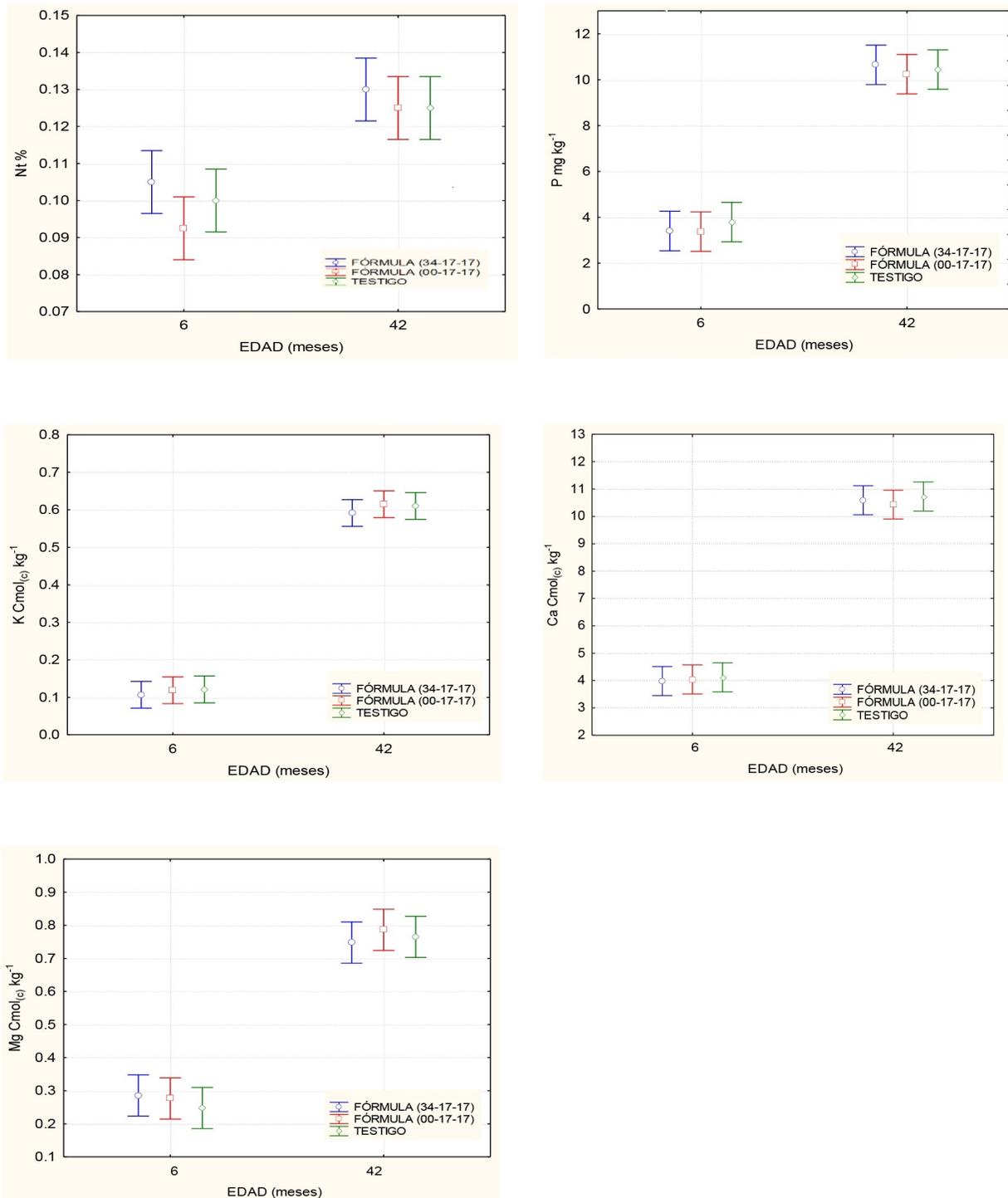
m<sup>-3</sup>, a los 0-20, 20-40 y 40-60 cm, respectivamente. Los valores más altos de DLR para los tres niveles de fertilización se presentaron en la profundidad 0-20 cm, diferentes estadísticamente respecto de los observados a la profundidad de 40-60 cm para todas las fechas. El nivel 34-17-17 (NPK) presentó valores más altos en las dos primeras profundidades (0-20 y 20-40 cm), con diferencias estadísticas significativas a la profundidad de 20-40 cm a los 18, 24 y 30 meses respecto a los otros dos tratamientos estudiados (PK y Testigo). Conforme avanzó la edad de la plantación, la cantidad de raíces aumentó: en la última fecha de muestreo se observaron valores significativamente mayores de la DLR a la profundidad 0-20 cm para los niveles de fertilización 34-17-17 y 00-17-17 respecto del testigo, así como respecto de los tratamientos correspondientes a las demás profundidades. Llama la atención que los niveles de fertilización: testigo y 00-17-17 (PK) en la mayoría de las edades presentaron valores estadísticamente similares e incluso un alto crecimiento de la DLR en los meses 18, 24, 30 y 36. Sólo a la edad de 6 meses no se encontró efecto significativo de la interacción fertilización por profundidad, pero sí en las demás edades, lo que se observa en la Figura 2 por la falta de paralelismo entre las rectas que unen a los niveles de fertilización.

## DISCUSIÓN

### Diagnóstico nutrimental del suelo

El diagnóstico nutrimental muestra las siguientes características (Tabla 1): pH moderadamente ácido, que es característico de suelos tropicales (Palma-López *et al.* 2017), la relación que guarda este parámetro con la disponibilidad de nutrientes es fundamental; sin embargo, con este valor no se espera que haya problemas para el crecimiento

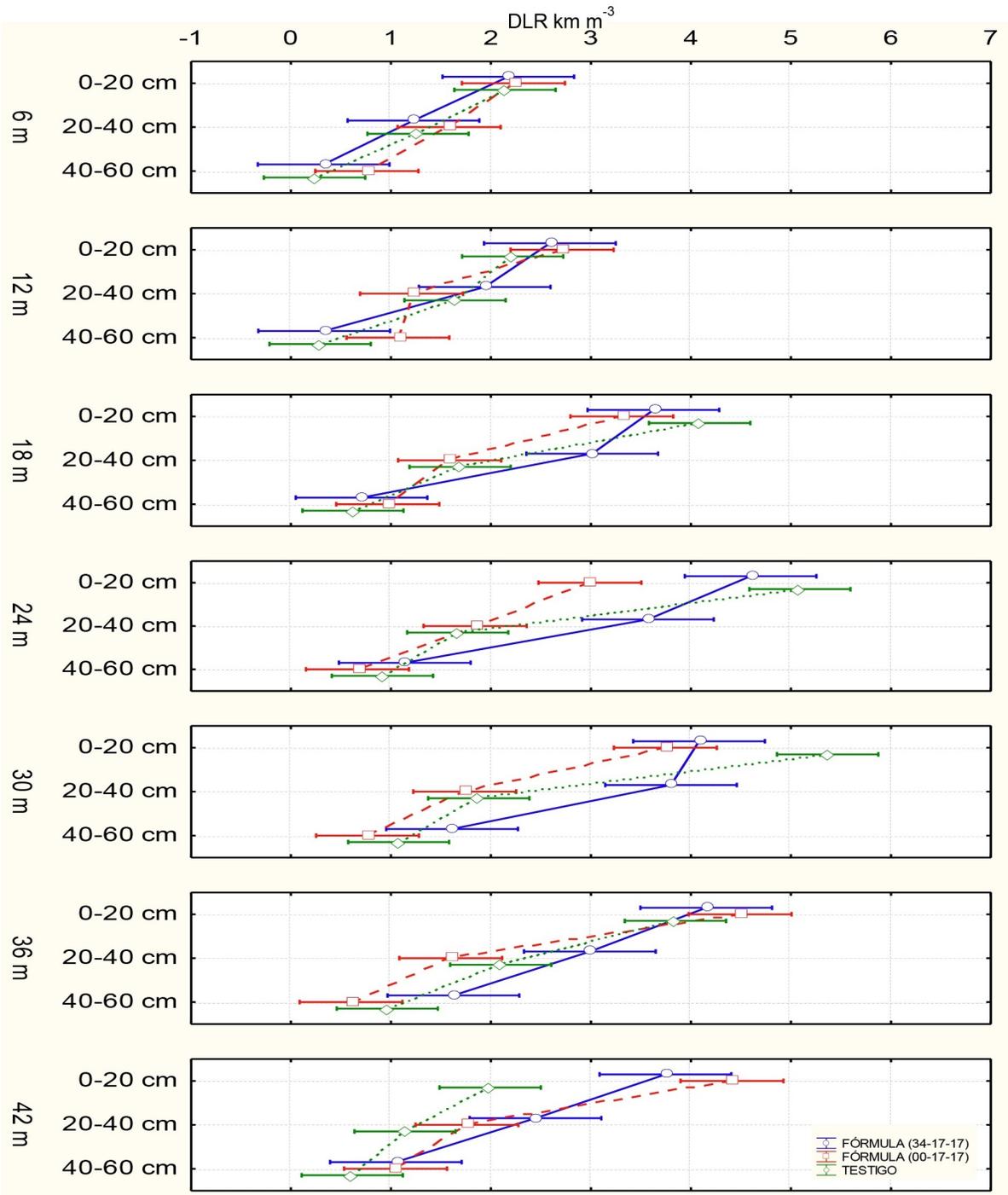
y desarrollo de la acacia (Hegde *et al.* 2013). La MO y el Nt presentaron valores medios, suficientes para el desarrollo inicial de la acacia, la cual es reconocida como una planta pionera y mejoradora de los suelos, sobre todo en lo que se relaciona con el incremento de las fracciones humedificadas de la materia orgánica, el N inorgánico y las poblaciones de microorganismos, indicadores de calidad ambiental (Schiavo *et al.* 2009, Sánchez-López *et al.* 2016). El contenido de fósforo encontrado pertenece a la clase media y concuerda con los valores reportados por Pascual-Córdova *et al.* (2018) en cultivo de caña. Los contenidos medios de P son comunes en suelos tropicales y el suministro nutrimental es del orden de 42 kg de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, suficientes para nutrir a la planta de acacia en una etapa temprana, la cual comúnmente recibe muy poca o ninguna enmienda (Sánchez-López *et al.* 2016, Reyes *et al.* 2018). La capacidad de intercambio catiónico (CIC) presentó valor medio. Este parámetro depende de la mineralogía de arcillas, es un indicador que hace referencia a la cantidad de cationes que pueden ser retenidos e intercambiados con la solución del suelo, se relaciona además con la retención de humedad y estructura del suelo (Guerrero-Peña *et al.* 2017). Los valores encontrados son adecuados para el óptimo crecimiento y desarrollo de la acacia (Hegde *et al.* 2013), además de que las plantaciones de acacia, suelen mejorar sustancialmente los contenidos de materia orgánica, dado el aporte de la hojarasca la que, una vez mineralizada, incrementa los ácidos húmicos, sustancias que favorecen el incremento de la CIC (Pereira *et al.* 2018). Las bases de intercambio K, Ca y Mg presentaron contenidos bajo, medio y bajo, respectivamente, sus valores llaman poderosamente la atención ya que los suelos de llanura aluvial suelen presentar contenidos altos de estos elemen-



**Figura 1.** Contenido nutrimental del suelo de estudio a los 6 y 42 meses. La barra vertical indica la diferencia mínima significativa (Tukey,  $p = 0.05$ ).

tos (Palma-López *et al.* 2017); pero las extracciones de estos nutrientes por el cultivo de caña son altas

(Calcino *et al.* 2018) y las aplicaciones externas, para el caso del K son bajas, en tanto que el Ca y



**Figura 2.** Densidad de longitud de raíces finas (DLR  $\text{km m}^{-3}$ ) en el agroecosistema *Acacia mangium* Willd. a tres profundidades (0-20, 20-40 y 40-60 cm) y siete periodos (6, 12, 18, 24, 30, 36 y 42 meses). Las barras horizontales indican la diferencia mínima significativa (Tukey,  $p = 0.05$ ).

Mg no son considerados en las dosis de fertilización (Salgado-García *et al.* 2011).

En la Figura 1 se muestra el comportamiento que tuvieron algunos parámetros de la fertilidad del

suelo a través del tiempo. Todos tuvieron un incremento estadísticamente significativo conforme aumentó la edad de la plantación; pero entre niveles de fertilización para el mismo periodo no se observaron diferencias estadísticas significativas. Lo anterior se debe, tal vez, a la capacidad que tiene la acacia de fijar nitrógeno (es una fabácea) y a la alta producción de hojarasca enriquecida que aporta la plantación al suelo (Castellanos-Barliza y León 2011). En Nt tuvo valores promedio de 0.10 y 0.13% en el muestreo a los 6 y 42 meses, respectivamente. Hubo un importante incremento del N, dada la naturaleza de la acacia que aporta cantidades altas de hojarasca, del orden de 6 t ha<sup>-1</sup> en plantaciones jóvenes y hasta 10.5 t ha<sup>-1</sup> en plantaciones maduras (Hero y Watanabe, 2000; Castellanos-Barliza y León 2010; Sánchez-López et al. 2016). Por otra parte *A. mangium* tiene una alta capacidad de fijar nitrógeno debido a su carácter simbiótico con bacterias formadoras de nódulos, lo que da como resultado sitios con contenidos altos de este nutrimento (Pereira et al. 2018). Por su alta capacidad de fijar nitrógeno, la acacia es comúnmente asociada con eucalipto (plantaciones mixtas), para mejorar la nutrición de este último y generar menos dependencia a las aplicaciones de fertilizantes (Epron et al. 2016, Paula et al. 2018). El Fósforo pasó de presentar valores bajos a medios, promediando 3.53 y 10.34 mg kg<sup>-1</sup> a los 6 y 42 meses, respectivamente. Este elemento, que tiene relación con el crecimiento de la biomasa radical de las plantas, suele ser uno de los más deficitarios en suelos tropicales (Johan et al. 2021). Sin embargo, el incremento del P en el suelo de estudio muestra que la relación demanda-suministro favorece a este último. Las bases de intercambio K, Ca y Mg pasaron de presentar, a los 6 meses de establecida la plantación, un contenido promedio en el suelo de 0.12, 4.1 y 0.27 Cmol<sub>(+)</sub>kg<sup>-1</sup>, valores diagnosticados como muy bajo, bajo y muy bajo, a contenidos promedio a los 42 meses de 0.60, 10.6, 0.76, diagnosticados como valores medios, altos, y bajos, respectivamente. Estos incrementos se deben probablemente a la capacidad que tiene la acacia de extraer nutrientes de estratos inferiores del suelo, los cuales son depositados en la superficie por el aporte y mineralización de la

hojarasca (Sánchez-López et al. 2016, Hamad-Sheip et al. 2021). Los resultados anteriores explican el porque *A. mangium* es utilizada ampliamente como una planta pionera que mejora la fertilidad de los suelos, restauradora del ciclo de nutrientes en suelos degradados.

En la Figura 2 se muestra el comportamiento de la DLR en los nueve tratamientos evaluados: tres niveles de fertilización (34-17-17, 00-17-17 y el testigo) con tres niveles del factor profundidad, en siete diferentes periodos de muestreo (6, 12, 18, 24, 30, 36 y 42 meses). El promedio en los siete periodos de muestreo fue de 3.56, 2.71 y 0.96 km m<sup>-3</sup>, a los 0-20, 20-40 y 40-60 cm, respectivamente. Al respecto, Sánchez-López et al. (2016) en *Acacia mangium* reportan que en los primeros 50 cm de un suelo Acrisol encontraron una DLR promedio de 1.73 km m<sup>-3</sup>. Mientras que Moreno et al. (2005) encontraron en encina (*Quercus ilex* L.), a los 60 cm de profundidad valores de DLR de 1.61 km m<sup>-3</sup>. Los valores más altos de DLR para los tres niveles de fertilización se presentaron en la profundidad 0-20 cm, diferentes estadísticamente respecto de los observados a la profundidad de 40-60 cm para todas las fechas. Las raíces finas tienen una alta plasticidad, lo que les permite explorar horizontes del suelo donde existe una mayor cantidad de nutrientes que, de manera general, se da en la primera profundidad, donde la dinámica y concentración nutrimental suele ser mayor (Avani et al. 2014, Bachecha et al. 2016). Sobre esto, Inagaki et al. (2009) indican que las más altas densidades de raíces de *Acacia mangium* se encuentran en los estratos superiores, y éstas se ven favorecidas con la aplicación de fertilizantes nitrogenados y fosfatados. También O'Grady et al. (2005) al estudiar la densidad de raíces finas de eucalipto, encontraron que ésta es más alta en los horizontes superiores del suelo, donde más del 75% de la longitud total de la raíz fina se encuentra en los primeros 20 cm de profundidad. El nivel de fertilización 34-17-17 (NPK) presentó valores mayores en DLR en las dos primeras profundidades (0-20 y 20-40 cm), con diferencias estadísticas significativas en varios de los periodos, respecto a los otros dos niveles de fertilización estudiados. Esto pudo deberse a la aplicación del

fertilizante nitrogenado y su dinámica. Además de qué, de los tres macronutrientes este elemento es el más móvil y pudo moverse por infiltración a la segunda profundidad, ofreciendo a las raíces finas un sitio propicio para la toma de nutrientes. Sobre lo mismo Inagaki *et al.* (2009) indican que las más altas densidades de raíces de *Acacia mangium* se encuentran en los estratos superiores más fértiles, y suelen ser mayores cuando se realizan fertilizaciones nitrogenadas y fosfatadas. Mientras que O'Grady *et al.* (2005) encontraron que la densidad de raíces finas de eucalipto, es más alta en los horizontes superiores del suelo, y más del 75% de la longitud total de la raíz fina la encontraron en los primeros 20 cm de profundidad. Conforme avanzó la edad de la plantación, la cantidad de raíces aumentó y las diferencias estadísticas solo se presentaron prácticamente, entre la última profundidad y las dos primeras profundidades. Llama la atención que los niveles de fertilización: testigo y 00-17-17 (PK) en la mayoría de las edades presentaron valores estadísticamente similares e incluso un alto crecimiento de la DLR en los meses 18, 24, 30 y 36. Al parecer la ausencia de fertilizantes incentivó a la planta a realizar una mayor exploración radical, lo cual concuerda con lo señalado por Castro *et al.* (2017), quienes mencionan que las leguminosas leñosas permiten la recuperación de tierras marginales para el desarrollo agrícola, debido a su

capacidad para fijar nitrógeno, controlar la erosión y actuar como simbiote para otras especies.

## CONCLUSIONES

La fertilidad inicial del suelo presentó características favorables para el óptimo crecimiento y desarrollo de la *A. mangium*. Todos los nutrientes mayores presentaron incrementos significativos después de 42 meses de plantar *A. mangium*, por lo que esta especie muestra un alto potencial para incrementar la fertilidad de los suelos cañeros que han venido perdiendo su potencial por el manejo inadecuado al que son sometidos. No se observó una diferencia clara en el incremento de la DLR por efecto del factor fertilización (solo a los 42 meses), si bien es cierto que el nivel de fertilización completa tendió a mostrar un mayor efecto.

## AGRADECIMIENTOS

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por el apoyo económico con la beca y al Colegio de Postgraduados, para cursar el programa de Doctorado en Ciencias Agrícolas en el Trópico.

## LITERATURA CITADA

- Avani N, Lateh H, Bibalani GH (2014) Root distribution of *Acacia mangium* Willd. and *Macaranga tanarius* L. of rainforest. Bangladesh Journal of Botany 43: 141-145.
- Bachega LR, Bouillet JP, Piccolo MC, Saint-André L, Bouvet JM, Nouvellon Y, Gonçalves JLM, Robin A, Laclau JP (2016) Decomposition of *Eucalyptus grandis* and *Acacia mangium* leaves and fine roots in tropical conditions did not meet the home field advantage hypothesis. Forest Ecology and Management 359: 33-43.
- Basilio de Azevedo MC, Chopart JL, Medina C de C (2011) Sugarcane root length density and distribution from root intersection counting on a trench-profile. Science Agricultural 68: 94-101.
- Böhm W (1979) Methods of studying root systems. Ecological Studies 33. Springer- Verlag. Berlin, Germany. 188p.
- Calcino D, Schroeder B, Panitz J, Hurney A, Skocaj D, Wood A, Salter B (2018) Australian sugarcane nutrition manual. This publication is proudly funded by Sugar Research Australia. 122p.
- Carpenedo AS, Machado AM, Benítez LE, Gómez de Oliveira G, da Silva CF (2016) Volumen de contenedores y dosis de fertilizante de liberación controlada en el crecimiento de plantas de *Cabralea canjerana* producidas

- en vivero. *Bosque* 37: 401-407.
- Carvalho P, Foulkes MJ (2018) Roots and uptake of water and nutrients. In: Meyers R (ed) *Encyclopedia of sustainability science and technology*, Springer. New York, NY. DOI: 10.1007/978-1-4939-2493-6\_195-3.
- Castellanos-Barliza J, León PJD (2010) Caída de hojarasca y dinámica de nutrientes en plantaciones de *Acacia mangium* (Mimosaceae) de Antioquia, Colombia. *Acta Biológica Colombiana* 15: 289-308.
- Castellanos-Barliza J, León PJD (2011) Descomposición de hojarasca y liberación de nutrientes en plantaciones de *Acacia mangium* (Mimosaceae) establecidas en suelos degradados de Colombia. *Revista de Biología Tropical* 59: 113-128.
- Castro D, Urzúa J, Rodríguez-Malebrán M, Inostroza-Blancheteau C, Ibáñez C (2017) Woody leguminous trees: New uses for sustainable development of drylands. *Journal of Sustainable Forestry* 36:764-786.
- CONAFOR (2010) *Prácticas de reforestación. Manual básico. Primera edición.* Comisión Nacional Forestal. San Juan de Ocotán Zapopan, Jalisco, México. 64p.
- Cuanalo de la CH (1990) *Manual para la descripción de perfiles de suelo en el campo.* 3th edición. Centro de Edafología, Colegio de Postgraduados. Chapingo. 40p.
- De Baets S, Denbigh DGT, Smyth MK, Eldridge MB, Weldon L, Higgins B, Matyjaszkiewicz A, Meersmans J, Larson ER, Chenchiah IV, Tanniemola B, Quine TA, Grierson CS (2020) Micro-scale interactions between *Arabidopsis* root hairs and soil particles influence soil erosion. *Communications biology* 3(164):1-11. DOI: 10.1038/s42003-020-0886-4.
- Epron D, Koutika LS, Tchicelle SV, Bouillet JP, Mareschal L (2016) Uptake of soil mineral nitrogen by *Acacia mangium* and *Eucalyptus urophylla x grandis*: no difference in N form preference. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science* 179: 726-732.
- Escamilla-Hernández N, Obrador-Olán JJ, Carrillo-Ávila E, Palma-López DJ (2015) Uso de fertilizantes de liberación controlada en plantas de teca (*Tectona grandis*), en la etapa de vivero. *Revista Fitotecnia Mexicana* 38: 329-333.
- Etchevers JD (1999) Técnicas de diagnóstico útiles en la medición de la fertilidad del suelo y el estado nutrimental de los cultivos. *Terra Latinoamericana* 17: 209-219.
- Fukumasu J, Jarvis N, Koestel J, Kätterer T, Larsbo M (2022) Relations between soil organic carbon content and the pore size distribution for an arable topsoil with large variations in soil properties. *European Journal of Soil Science* 73: 2016-01320. DOI: 10.1111/ejss.13212.
- Gaitán JJ, Penón EA, Costa MC (2005) Distribución de raíces finas de *Eucalyptus globulus* ssp. *maidenii* y su relación con algunas propiedades del suelo. *Ciência Florestal* 15: 33-41.
- Gregory PJ (2008) *Plant roots: growth, activity and interactions with the soil.* John Wiley & Sons. Wiley-Blackwell. Australia. 350p.
- Guerrero-Peña A, de la Cruz-Pons A, Velasco-Velasco J (2017) Interpretación del análisis de suelos cañeros basado en las relaciones entre propiedades y elementos. *Agroproductividad* 10: 87-92.
- Hamad-Sheip Y, Abdul-Hamid H, Abiri R, Saleh MN, Mohamed J, Jalil AM, Naji HR (2021) Effect of *Acacia mangium* canopy on physicochemical characteristics and nutrient concentrations of the soil at Ayer Hitam Forest Reserve, Malaysia. *Forests* 12: 12-59.
- Hegde M, Palanisamy K and Seon JY (2013) *Acacia mangium* Willd. a fast growing tree for tropical plantation. *Journal of Forest Science* 29: 1-14.

- Hernández-Sánchez G, Obrador-Olán JJ, Juárez-López JF, Arreola-Enríquez J, García-López E, Castillo-Arias EÁ (2021) Plant quality index of caracolillo (*Ormosia macrocalyx* Ducke), in nursery stage with controlled release fertilizers. *Agroproductividad* 14: 147-155.
- Hero SB, Watanabeb H (2000) Estimation of litter fall and seed production of *Acacia mangium* in a forest plantation in South Sumatra, Indonesia. *Ecology and Management* 130: 265-268.
- Inagaki M, Inagaki Y, Kamo K, Titin J (2009) Fine-root production in response to nutrient application at three forest plantations in Sabah, Malaysia: higher nitrogen and phosphorus demand by *Acacia mangium*. *Journal of Forest Research* 14: 178-182.
- Javed AM, Deivaseeno D, Ratnam W (2017) Characterization of natural provenances of *Acacia mangium* Willd. and *Acacia auriculiformis* A. Cunn. ex Benth. in Malaysia based on phenotypic traits. *Journal of Forest Science* 63: 562-576.
- Jian S, Zhao C, Fang S, Yu K (2015). The distribution of fine root length density for six artificial afforestation tree species in Loess Plateau of Northwest China. *Forest Systems* 24(1):e-003. DOI: 10.5424/fs/2015241-05521.
- Jiménez RC, Arias-Aguilar D (2012) Distribución de la biomasa y densidad de raíces finas en una gradiente sucesional de bosques en la Zona Norte de Costa Rica. *Revista Forestal Mesoamericana Kurú* 1: 44-63.
- Johan PD, Ahmed OH, Omar L, Hasbullah NA (2021) Phosphorus transformation in soils following co-application of charcoal and wood ash. *Agronomy* 11: 2010. DOI: 10.3390/agronomy11102010.
- Kunhamu TK, Kumar BM, Viswanath S, Suresh KP (2010) Root activity of young *Acacia mangium* Willd trees: influence of stand density and pruning as studied by 32P soil injection technique. *Agroforestry Systems* 78: 27-38.
- Lal R (2019) Tropical soils: distribution, properties and management. In: Furtado JI, Morgan WB, Pfafflin JR, Ruddle K (ed) *Tropical Resources*. 1st Edition. Routledge. London. pp: 39-52.
- Lynch JP (2019) Root phenotypes for improved nutrient capture: an underexploited opportunity for global agriculture. *New Phytologist* 223: 548-564.
- Moreno G, Obrador JJ, Cubera E, Dupraz C (2005) Fine root distribution in dehesas of Central-Western Spain. *Plant and soil* 277: 153-162.
- O'Grady AP, Worledge D, Battaglia M (2005) Temporal and spatial changes in fine root distributions in a young *Eucalyptus globulus* stand in southern Tasmania. *Forest Ecology and Management* 214: 373-383.
- Obrador-Olán JJ, Castelán-Estrada M, Córdova-Sánchez A, Salgado-García S, García-López E, Carrillo-Ávila E (2021) Densidad de longitud de raíces (DLR) en palma de aceite (*Elaeis guineensis* Jacq) en un Luvisol de Chiapas, México. *Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias - UNCuyo* 53: 157-164.
- Palma-López DJ, Cisneros DJ, Moreno CE, Rincón-Ramírez JA (2007) Suelos de Tabasco: su uso y manejo sustentable. Colegio de postgraduados-ISPROTAB-Fundacion Produce Tabasco. Villahermosa, Tabasco, México. 195p.
- Palma-López D, Jiménez-Ramírez R, Zavala-Cruz J, Bautista-Zúñiga F, Gavi-Reyes F, Palma-Cancino DJ (2017) Actualización de la clasificación de suelos de Tabasco, México. *Agroproductividad* 10: 29-35.
- Pascual-Córdova G, Obrador-Olán JJ, Carrillo-Ávila E, García-López E, Sánchez-Soto S, Guerrero-Peña A, Ortiz-García CF (2018) Indicadores de calidad del suelo en el agroecosistema caña de azúcar (*Saccharum* spp.). *Revista Facultad de Agronomía (LUZ)* 35: 1-25

- Paula RR, Bouillet JP, Gonçalves JLM, Trivelin COP, Balieiro FC, Nouvellon Y, Oliveira JC, Deus-Júnior JC, Bordron B, Laclau JP (2018) Nitrogen fixation rate of *Acacia mangium* Willd at mid rotation in Brazil is higher in mixed plantations with *Eucalyptus grandis* Hill ex Maidenthian in monocultures. *Annals of Forest Science* 75(14). DOI: 10.1007/s13595-018-0695-9.
- Pereira PA, Zagatto MRG, Brandani BC, Mescolotti DL, Cotta SR, Gonçalves JLM, Cardoso EBN (2018) *Acacia* Changes Microbial Indicators and Increases C and N in Soil Organic Fractions in Intercropped *Eucalyptus* Plantations. *Frontiers in Microbiology* 9:655. DOI: 10.3389/fmicb.2018.00655.
- Pierret A, Maeght JL, Clément C, Montoroi JP, Hartmann C, Gonkhamdee S (2016) Understanding deep roots and their functions in ecosystems: an advocacy for more unconventional research. *Annals of Botany* 118: 621-635.
- Reyes MG, Carmona GSL, Fernández ME (2018) Aspectos fisiológicos y de aprovechamiento de *Acacia mangium* Willd. Una revisión. *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas* 12: 244-253.
- Rodríguez RL (2010) Manual de prácticas de viveros forestales. Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, Área Académica de Ingeniería Forestal. Pachuca, Hidalgo, México. 44p.
- Salgado-García S, Palma-López DJ, Zavala-Cruz J, Lagunes-Espinoza LC, Castelán-Estrada M, Ortiz-García CF, Juárez-López JF, Ruiz-Rosado O, Armida-Alcudia L, Rincón-Ramírez JA, Córdova-Sánchez S (2011) Un programa de fertilización sustentable para el Ingenio "Presidente Benito Juárez" en Tabasco, México. *Avances en Investigación Agropecuaria* 15: 45-65.
- Sánchez-López V, Obrador-Olán JJ, García-López E, Carrillo-Ávila E (2016) Roth length density of *Acacia mangium* Willd in Savannah soil. *Agroproductividad* 9: 3-11.
- Schiavo JA, Galba BJ, Martins MA, Pasqualoto CL (2009) Recovery of degraded areas revegetated with *Acacia mangium* and eucalyptus with special reference to organic matter humification *Science Agricultural* 66: 353-360.
- SEMARNAT (2002) Norma Oficial Mexicana NOM-021-RECNAT-2000, que establece las especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos. Estudios, muestreo y análisis. Diario Oficial de la Federación. México. 73p
- SIAP (2021) Producción agrícola 2021. [https://nube.siap.gob.mx/avance\\_agricola/](https://nube.siap.gob.mx/avance_agricola/). Fecha de consulta: 10 de marzo de 2022.
- Weemstra M, Kiorapostolou N, van Ruijven J, Mommer L, de Vries J, Sterck F (2020) The role of fine-root mass, specific root length and life span in tree performance: A whole-tree exploration. *Functional Ecology* 34: 575-585.
- Whalley WRB, Riseley PB, Leeds-Harrison NR, Bird A, Leech PK, Adderley WP (2005) Structural differences between bulk and rhizosphere soil. *European Journal of Soil Science* 56: 353-360.
- Yu B, Xie C, Cai S, Chen Y, Peng Y, Mo Z, Liu T, Yang Z (2018) Effects of tree root density on soil total porosity and non-capillary porosity using a ground-penetrating tree radar unit in Shanghai, China. *Sustainability* 10:46-40.