

Densidad de longitud de raíces finas de teca, en un Vertisol Léptico de Tabasco, México

Length density of fine roots in teak, in a Leptic Vertisol soil in Tabasco, Mexico

Alberto Córdova-Sánchez^{1,2} ,
 José Jesús Obrador-Olán^{1*} ,
 Mepivoseh Castelán-Estrada¹ ,
 David Jesús Palma-López¹ ,
 Eustolia García-López¹ ,
 Gilberto Villanueva-López³ ,
 Guillermina Pascual-Córdova¹ 

¹Programa de Doctorado en Ciencias Agrícolas, Colegio de Postgraduados, Campus Tabasco. Periférico Carlos A. Molina s/n, CP. 86500. H. Cárdenas, Tabasco, México.

²Universidad Politécnica del Golfo de México. Carretera Federal Malpaso-El Bellote, km. 171, Ra. Monte adentro. CP. 86600. Paraíso, Tabasco, México.

³El Colegio de la Frontera Sur-Unidad Tabasco. Carretera Villahermosa-Reforma km 15.5, ranchería Guineo Secc. II. CP. 86280. Villahermosa, Tabasco, México.

*Autor de correspondencia: obradoro@colpos.mx

Artículo científico

Recibido: 15 de julio 2022

Aceptado: 09 de mayo 2023

Como citar: Córdova-Sánchez A, Obrador-Olán JJ, Castelán-Estrada M, Palma-López DJ, García-López E, Villanueva-López G, Pascual-Córdova G (2023) Densidad de longitud de raíces finas de teca, en un Vertisol Léptico de Tabasco, México. *Ecosistemas y Recursos Agropecuarios* 10(2): e3417. DOI: 10.19136/era.a10n2.3417

RESUMEN. Las raíces finas (≤ 2 mm de diámetro) en los árboles son de vida corta, en condiciones de sequía y baja fertilidad éstas alcanzan mayor longitud por unidad de volumen de suelo; así, la densidad de longitud de raíces es una variable que indica el potencial de absorción de agua y nutrientes que tiene el árbol. El objetivo del presente estudio fue estimar la densidad de longitud de raíces finas (DLRF) su distribución en profundidad y distancia de la base del árbol de teca, por el efecto de la fertilización sintética y abono verde. La metodología utilizada fue la del cilindro, a los 36 meses de edad de los árboles de teca, se tomaron muestras verticales de suelos, cada 10 cm hasta 40 cm de profundidad en las cuatro caras del perfil; y a los 46 meses se muestreó horizontalmente a tres distancias de la base del árbol: 50, 100 y 175 cm, en un diseño de bloques completos al azar. Los resultados muestran que los tratamientos con mayor DLRF fueron: la dosis 60-60-60 kg ha⁻¹ sin abono verde y el testigo con abono verde. La DLRF fue mayor en la profundidad 20-30 cm y 10-20 cm a los 38 y 46 meses. La distancia de 50 cm de la base del árbol mostró mayor DLRF (0.75 km.m⁻³). La DLRF disminuyó cuando se incrementó la dosis de fertilización sintética o cuando se estableció abono verde (*Crotalaria juncea* L.).

Palabras clave: Abono verde, *Tectona grandis*, *Crotalaria*, fertilización sintética, perfil edáfico.

ABSTRACT. The fine roots (≤ 2 mm in diameter) in the trees are short-lived, in conditions of drought and low fertility they reach a greater length per unit volume of soil; Thus, the root length density is a variable that indicates the water and nutrient absorption potential of the tree. The objective of this study was to estimate the fine root length density (DLRF) its distribution in depth and distance from the base of the three-year-old teak tree, due to the effect of chemical fertilization and a green manure. The methodology used was that of the cylinder, at 36 months of age of the teak trees, vertical soil samples were taken, every 10 cm up to 40 cm deep on the four faces of the profile; and at 46 months it was sampled horizontally at three distances from the base of the tree: 50, 100 and 175 cm, in a randomized complete block design. The results show that the treatments with the highest DLRF were: the 60-60-60 kg ha⁻¹ dose without Green Manure and the control with Green Manure. The DLRF was greater at depth 20-30 cm and 10-20 cm at 38 and 46 months. At a distance of 50 cm from the base of the tree, it showed higher DLRF (0.75 km.m⁻³). The DLRF decreased when the chemical fertilization dose was increased or when green manure (*Crotalaria juncea* L.) was established.

Key words: Green manure, *Tectona grandis*, *Crotalaria*, synthetic fertilization, edaphic profile.

INTRODUCCIÓN

La raíz juega un papel muy importante en el crecimiento y rendimiento de los árboles. Su función principal es la absorción de agua y nutrientes (Montagnoli *et al.* 2018), sirve además para el anclaje al suelo e interviene en el ciclo de los nutrientes (Bardgett *et al.* 2014). A diferencia de las hojas, los atributos que se miden en las raíces finas no están claramente relacionados con las tasas de crecimiento y supervivencia de las plantas (Ma *et al.* 2018, Wang *et al.* 2018).

En los árboles forestales las raíces finas, definidas por un diámetro menor o igual a 2 mm (Freschet *et al.* 2017), son efímeras, no leñosas y exudan carbohidrato con lo que estimulan la microflora que descompone la materia orgánica del suelo e induce la respiración y disponibilidad de nutrientes en el mismo (Kaiser *et al.* 2015, Sun *et al.* 2017). Estas raíces son fisiológicamente las más activas del árbol y comúnmente forman simbiosis con hongos micorrízicos, aunque tienen una vida más corta que las raíces con diámetro mayor de 5 mm (Wells y Eissenstat 2001).

En condiciones de sequía y baja fertilidad, los árboles tienden a producir más raíces finas por unidad de volumen de suelo; como una estrategia para mejorar la absorción de agua y nutrientes (Montagnoli *et al.* 2014). Los árboles, al aumentar la longitud de raíces finas, amplían su superficie subterránea de exploración mejorando algunas características del subsuelo como la absorción de agua y nutrientes y, en consecuencia, el rendimiento (Weemstra *et al.* 2017).

Los parámetros de densidad de longitud de raíz y longitud de raíz específica, permiten estimar cuando el sistema radicular fomenta mayor producción y una interacción competitiva (Schroeder *et al.* 2016), aunque la biomasa de las raíces finas tiende a disminuir cuando aumenta la fertilidad del suelo y la disponibilidad de agua (Burton *et al.* 2000). El uso de los abonos verdes en plantaciones forestales, ayudan a mejorar el suelo, disminuyendo su degradación, aumentando su fertilidad, mayor disponibilidad de nutrientes, y reduce la densidad aparente (Subaedah *et al.* 2016, Ma *et al.* 2021). La

densidad de longitud de raíces (DLR) se expresa en kilómetro por metro cúbico y se define como la longitud total de raíces por metro cúbico (m^3) de suelo (Moreno *et al.* 2005). Es una variable que emplea el valor en longitud de las raíces analizadas y refleja mejor el potencial de absorción de agua y nutrientes, que el peso o número de raíces en sí mismos (Craine 2006). Por lo anterior, el objetivo de este estudio fue estimar la DLRF y su distribución en profundidad y distancia del tronco del árbol de teca en un suelo Vertisol Léptico en Balancán, Tabasco, con cuatro tratamientos de fertilización sintética y un tratamiento con abono verde (AV).

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio y diseño experimental

El experimento se estableció en un terreno con superficie de 2.20 ha, propiedad de la empresa Agropecuaria Santa Genoveva, en el municipio de Balancán, Tabasco. El clima predominante es cálido subhúmedo con lluvias en verano. La precipitación media anual de la zona es de 1 600 mm y la temperatura media es de 26.5 - 27 °C (Aceves y Rivera 2019), la altitud es de 42 msnm, con coordenadas UTM 0690555 m E, 1974127 m N (tomada de GPS Garmin® 30).

Antes de iniciar el experimento, se realizó el análisis de fertilidad de suelo, encontrándose, de acuerdo a la SEMARNAT (2000), que la clase textural del suelo es franco arcillo arenoso; con pH de 7.5, medianamente alcalino; el contenido de materia orgánica del suelo (MOS), de 3.5% es medio; la capacidad de intercambio catiónico (CIC) de 23 $cmol_{(c)} kg^{-1}$ corresponde a un nivel medio; el nitrógeno total (Nt); y fosforo asimilable (P) con 0.14% y 8 $mg kg^{-1}$, respectivamente, corresponden a concentraciones medias; y las bases intercambiables tienen contenido alto (Ca 12.33 $cmol_{(c)} kg^{-1}$); bajo (Mg 0.62 $cmol_{(c)} kg^{-1}$); y muy bajo (K 0.15 $cmol_{(c)} kg^{-1}$) (Tabla 1).

Las plantas de teca provinieron de un clon obtenido en el vivero de la empresa Agropecuaria Santa Genoveva (ASGv). Cuando se inició el estudio la plantación tenía 24 meses de edad, y un

arreglo de marco real de 3.5 x 3.5 m. En las parcelas experimentales (P) se aplicaron tratamientos (T) de fertilización sintética, se consideró un testigo sin fertilización 0-0-0 (P1, T1) y dosis de 60-60-60 (P2, T2); 90-60-60 (P3, T3) y 120-60-60 (P4, T4) kg ha⁻¹, con cuatro repeticiones cada tratamiento, cuando las plantaciones tenían dos años de edad. Estas dosis de fertilización evaluadas, fueron incrementos de un estudio previo, realizado por Balam *et al.* (2015). Como fuente fertilizante se usaron urea (46-00-00), fosfato diamónico (18-46-00) y cloruro de potasio (00-00-60). La aplicación se realizó al suelo, a 20 cm de profundidad, en dos orificios, al norte y sur en la zona de goteo de cada árbol. El diseño experimental fue en bloques al azar, utilizando un arreglo de parcelas divididas, el factor utilizado fue un abono verde (*Crotalaria juncea* L.), con densidad de 20 kg de semilla ha⁻¹, sembrándose al voleo en los callejones de la plantación, cuya biomasa fue incorporada al suelo 60 días después de la siembra. Los tratamientos aplicados, fueron las dosis de fertilización sintética.

Tabla 1. Propiedades fisicoquímicas de un suelo Vertisol Léptico con una plantación de teca (*Tectona grandis* L.) de 24 meses de edad, en Balancán, Tabasco, México.

Parámetro	Unidad	Profundidad (0-30 cm)	Clasificación (SEMARNAT 2000)
Acidez	pH	7.50	Medianamente alcalino
CIC	cmol _(c) kg ⁻¹	22.8	Media
MOS	%	3.50	Media
Nt	%	0.14	Media
P-Olsen	mg kg ⁻¹	8.0	Media
K	cmol _(c) kg ⁻¹	0.15	Muy bajo
Ca	cmol _(c) kg ⁻¹	12.33	Alto
Mg	cmol _(c) kg ⁻¹	0.62	Bajo
DA	g cm ⁻³	1.05	Baja

Clase textural del suelo: Franco arcillo-arenoso.

Densidad de longitud de raíces finas en el perfil

El muestreo se realizó en cada tratamiento, a 150 cm del tronco del árbol, cuando las plantas tenían 38 meses de edad. Las raíces finas se estimaron a partir de un perfil donde se tomaron muestras de cada 10 cm hasta una profundidad de 40 cm en las caras norte, sur, este y oeste, mediante el método del cilindro, extrayendo un volumen de 270.5 cm³ por muestra (Moreno *et al.* 2005), fueron 16 monolitos

por cada perfil, dando un total 128 monolitos, que fueron colocados en bolsas de plástico debidamente etiquetadas por fecha, número de perfil, cara, profundidad y tratamiento. Para no confundir las raíces del AV con las de la teca, 15 días antes del muestreo realizado para estimar la DLRF, se extrajeron con todo y raíz las plantas de *Crotalaria*, con el fin de que solo se cuantificaran en todos los tratamientos, las raíces de teca.

Densidad de longitud de raíces finas a tres distancias del árbol

El muestreo se realizó cuando los árboles de teca tenían 46 meses, en este caso las raíces finas solo se estimaron en la parcela sin AV, en cada tratamiento y a tres distancias del pie del árbol, 50, 100 y 175 cm; en cada distancia se consideraron tres profundidades, 0-10 cm, 10-20 cm y 20-30 cm mediante el método del cilindro (Moreno *et al.* 2005). Extrayendo un volumen de 270.5 cm³ por muestra, para un total de 144 monolitos, que fueron colocados en bolsas de plástico debidamente etiquetadas por fecha, número de perfil, cara, profundidad y tratamiento.

Las muestras de suelo tomadas con los cilindros para estimar la densidad de longitud de raíces finas en el perfil y la densidad de longitud de raíces finas a tres distancias del árbol, se secaron a la sombra, se separaron las raíces, se lavaron a mano, con agua corriente y se secaron en una estufa marca FAITHFUL a 70 °C durante 48 horas, posteriormente se pesaron con una balanza analítica marca Ohaus[®], modelo Adventure H5276 (precisión 0.001 g) y se separaron las raíces finas (≤ 2 mm de diámetro), se midieron con un vernier electrónico marca Surtek[®] (resolución 0.01 mm) (Tahir *et al.* 2007). Posteriormente se midió su longitud con una regla de acero inoxidable marca Wescott (Moreno *et al.* 2005) calculándose la DLRF en km m⁻³ suelo, con la siguiente ecuación:

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

Caracterización del suelo

Para caracterizar la unidad de suelo se describió un perfil en el área de estudio, siguiendo la metodología de Cuanalo (1990). Se tomaron muestras de aproximadamente 1 kg de suelo en cada horizonte del perfil, las cuales se trasladaron al laboratorio donde, aplicando la metodología establecida en la Norma Oficial Mexicana (SEMARNAT 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) en el extracto de saturación, capacidad de intercambio catiónico (CIC) por el método del acetato de amonio (1.0 M, pH 7.0) y Bases Intercambiables mediante absorción atómica de Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^{+} , y 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 clasificó el suelo siguiendo los criterios de la Base Referencial Mundial del Recurso Suelo (IUSS Grupo de Trabajo-WRB 2014).

Análisis estadístico

Los datos de densidad de longitud de raíces finas en los perfiles a diferentes distancias del árbol y profundidades del suelo se analizaron con el procedimiento PROC ANOVA, posteriormente se hizo la comparación de medias con la prueba de Tukey (<0.05), también se analizaron las interacciones entre profundidad y distancia. Todos los análisis se efectuaron con el software SAS[®] versión 9.1.

RESULTADOS

Densidad de longitud de raíces finas en el perfil

El tratamiento sin abono verde mostró los valores más altos de DLRF con promedio de 0.14 km.m^{-3} y diferencias estadísticas significativas con el tratamiento con abono verde, que tuvo un promedio de 0.08 km.m^{-3} (Figura 1). Contrariamente, los tratamientos con fertilización sintética no mostraron diferencias significativas sobre esta variable ($p > 0.17$), dejando ver que entre más se incrementa la

dosis de fertilizantes, la DLRF muestra tendencias de inhibirse; además, es notorio que, aunque no hubo diferencias estadísticas significativas, el testigo 0-0-0 presentó una densidad mayor, con 0.13 km.m^{-3} (Figura 1).

Las interacciones fertilizantes químico*AV de la DLRF (Figura 2), muestran que el tratamiento 120-60-60 kg ha^{-1} y AV presentó el menor valor (promedio) 0.03 km.m^{-3} y diferencias estadísticas significativas ($p < 0.05$), con todos los demás tratamientos. Los tratamientos con valores más altos de DLRF fueron testigo con AV y dosis 60-60-60 kg ha^{-1} sin AV. 0.14 km y 0.15 km.m^{-3} , respectivamente. En la Figura 3 se muestra la DLRF a varias profundidades, observándose diferencias significativas ($p < 0.005$); la mayor DLRF se encontró en la profundidad 20-30 cm con 0.16 km.m^{-3} , y la menor, de 0.06 km.m^{-3} a la profundidad de 0-10 cm.

En la Figura 4 se presentan los efectos de los tratamientos de fertilización sintética con las diferentes profundidades evaluadas. Aunque no se observan diferencias significativas ($p > 0.05$), el mayor incremento de DLRF se encuentra en el testigo (0-0-0) y en las profundidades de 20-30 y 30-40 cm, disminuyendo la DLRF al aumentar las dosis de fertilización sintética. En la profundidad de 30-40 cm, en la dosis de fertilización 90-60-60 kg ha^{-1} se encuentra la menor cantidad de DLRF.

Densidad de longitud de raíces finas a diferentes distancias del árbol

El análisis estadístico muestra que la DLRF a diferentes distancias de la base del árbol presenta diferencias altamente significativas ($p < 0.0017$). En la Figura 5 se observa que la distancia a 50 cm mostró el mayor valor de DLRF con 0.78 km.m^{-3} , disminuye en las distancias de 100 cm y 175 cm, con valores de DLRF de 0.57 y 0.55 km.m^{-3} , respectivamente. En la misma Figura 5 se observa que la DLRF en las diferentes profundidades no mostró diferencias significativas ($p > 0.08$). Pero la mayor DLRF (0.72 km.m^{-3}) se tuvo en la profundidad de 0-10 cm; disminuyendo a 0.56 km.m^{-3} en los 10-20 cm, pero aumentó en la profundidad de 20-30 cm con 0.62 km.m^{-3} .

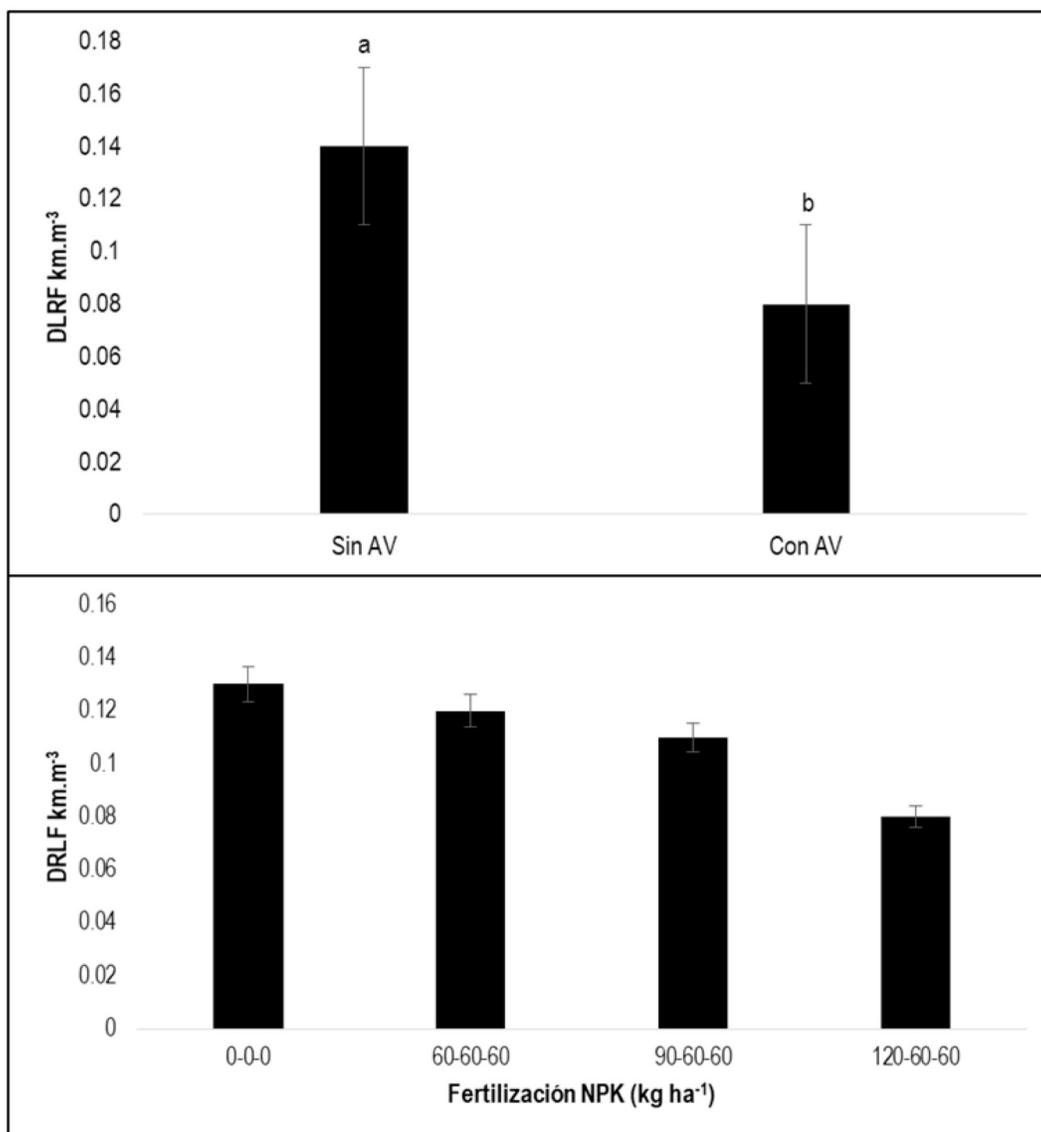


Figura 1. Efecto de *Crotalaria juncea* y fertilización sintética en la densidad de longitud de raíces Finas de árboles de teca en Tabasco, México. Las líneas sobre las barras representan la desviación estándar. Letras iguales no hay diferencias significativas.

En la interacción de los tratamientos fertilización sintética*profundidad no se encontraron diferencias significativas ($p > 0.5$). Pero en la Figura 6 se observan incrementos en los tratamientos 90-60-60 y 120-60-60 kg ha⁻¹ en la profundidad de 0-10 cm, con DLRF de 0.78 y 0.80 km.m⁻³, respectivamente. Mientras que en las profundidades 10-20 cm y 20-30 cm se observan las DLRF más bajas (0.49 y 0.48 km.m⁻³, respectivamente), que corresponden a

los tratamientos de fertilización 90-60-60 y 120-60-60 kg ha⁻¹.

Los análisis estadísticos de la DLRF en las interacciones distancia*profundidad muestran diferencias significativas ($p < 0.05$). En la distancia de 50 cm del árbol y en la profundidad de 0-10 cm se tiene la mayor DLRF con 0.97 km.m⁻³ (Figura 7). A mayor distancia de la base del árbol (100 y 175 cm) disminuye la DLRF hasta 0.66, 0.53 km.m⁻³, respec-

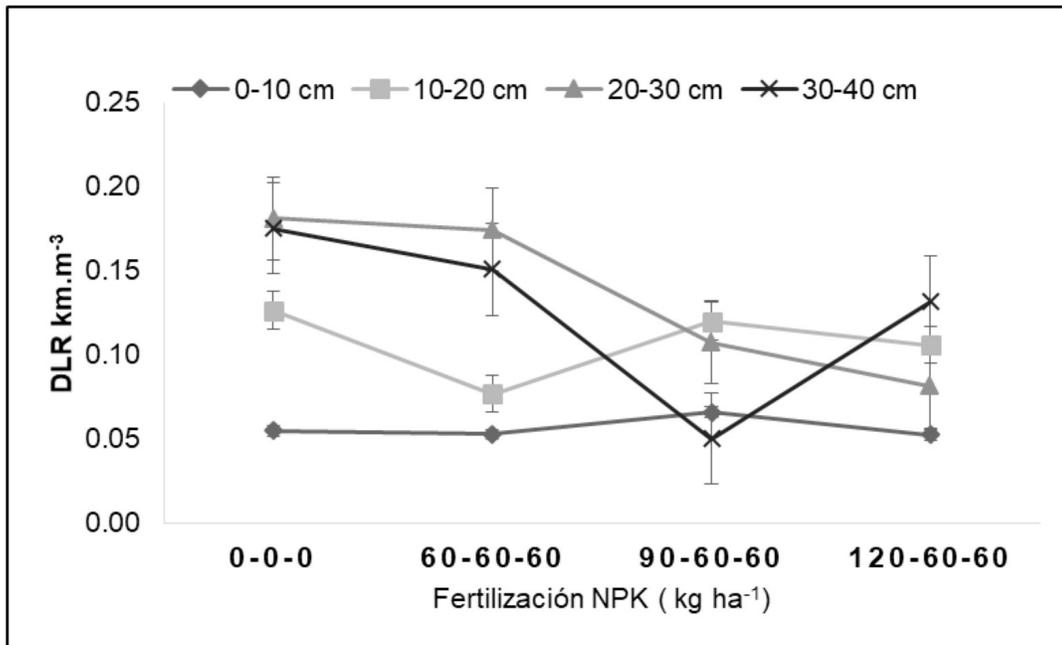


Figura 2. Efecto de los niveles de fertilización y abono verde sobre la densidad de longitud de raíces Finas en una plantación de teca en Tabasco, México. Las líneas sobre las barras representan la desviación estándar.

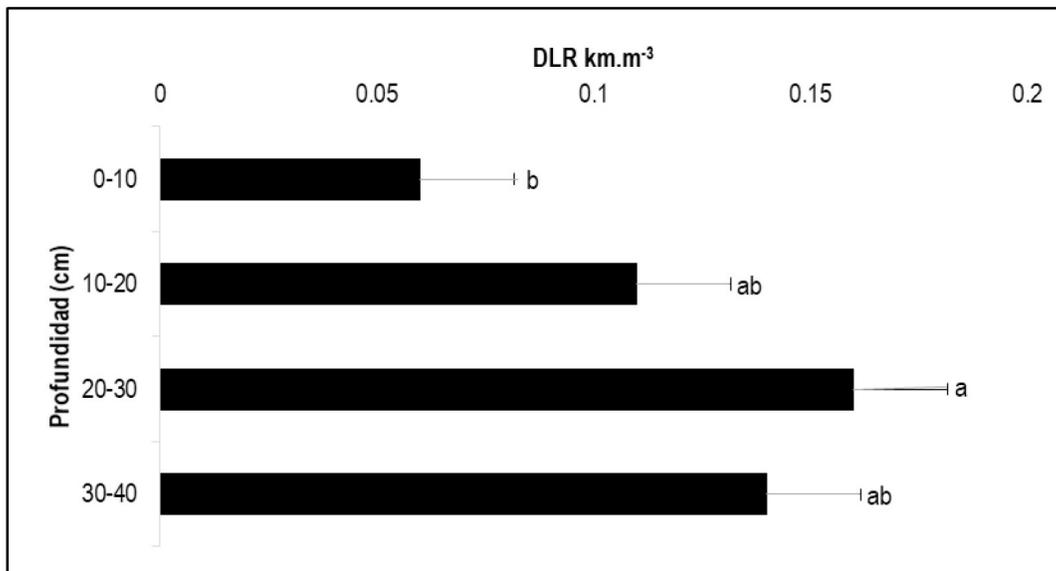


Figura 3. Densidad de longitud de raíces finas en árboles de teca a diferentes profundidades del suelo en Tabasco, México. Las líneas en las barras representan la desviación estándar. Letras iguales no hay diferencias significativas.

tivamente en la capa superficial, lo que no sucede en las siguientes profundidades (10-20 y 20-30 cm), disminuye a los 100 cm y aumenta a los 175 cm.

Caracterización del suelo Vertisol Léptico

El suelo presentó grietas y más de 34% de arcillas en todos los horizontes del perfil; el primer horizonte, Ap (0-18 cm), tiene color de matriz negro (10YR2/1), con motas tenues, pocas y muy fi-

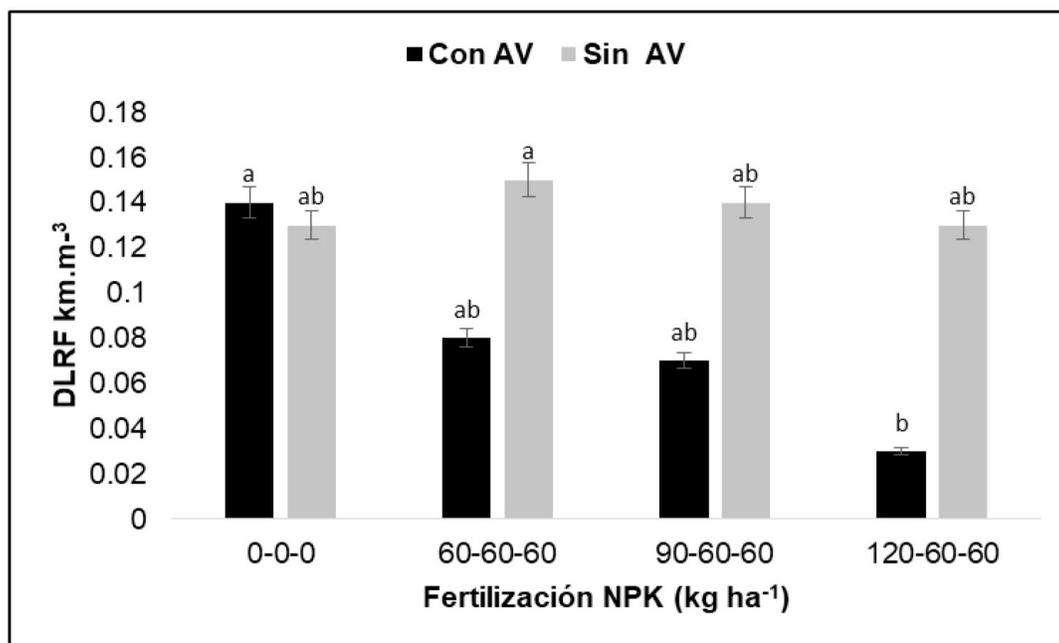


Figura 4. Efecto de los niveles de fertilización sobre la DLRF en árboles de teca a diferentes profundidades del suelo en Tabasco, México. Las barras verticales representan la desviación estándar. Letras iguales no hay diferencias significativas.

nas, de color rojo oscuro (2.5 YR 3/6); es ligeramente pedregoso, las piedras son pequeñas y medias, con presencia de roca caliza. El horizonte Bw (18-26 cm) presentó color café amarillento oscuro (10 YR 4/4) con motas color negro (10YR2/1) marcadas, comunes muy finas y finas; consistencia dura en húmedo, y pegajosa y plástica en muy húmedo; muy pocas piedras, gravas y piedras pequeñas subangulares. En estos primeros dos horizontes la permeabilidad es lenta, y hay presencia de fauna y deyecciones de lombrices. El horizonte C (26-43 cm) es de color café amarillento (10 YR 5/6) con motas color negro (10 YR 2/1) y amarillo (10 YR 7/8), su consistencia en húmedo es ligeramente dura, y pegajosa y plástica en muy húmedo; muy pocas piedras, gravas y piedras pequeñas, subangulares. Hay un horizonte R (43-47 cm) de color blanco con motas amarillas, donde se encuentra la roca madre o material rocoso, la piedra caliza tiene reacción al HCl a 10% a diferencia de los horizontes anteriores. En los dos últimos horizontes se observa permeabilidad moderada. El relieve es plano con pendientes inferiores a 3%, la flora nativa de esa zona está compuesta por árboles de tinto (*Haema-*

toxylum campechianum L.), guano redondo (*Sabal mexicana* Mart.), tasiste (*Acoelorrhapha wrightii* Griseb y H.Wendl), tachicón (*Curatella americana* L.), encinos (*Quercus* sp) y güiros (*Crescentia cujete* L.); también se tienen plantaciones comerciales de teca (*Tectona grandis* L.f.), melina (*Gmelina arborea* Roxb) y eucalipto (*Eucalyptus* sp).

DISCUSIÓN

Densidad de longitud de raíces finas en el perfil

Las raíces de los árboles de teca, al disponer más fácilmente de nutrientes suplementarios proporcionados por el abono verde (AV) y los fertilizantes NPK en los tratamientos de fertilización, tienen menor necesidad de crecer y, por tanto, no necesitan explorar más allá del volumen superficial en busca de agua y minerales (Weemstra et al. 2017). El AV establecido en este estudio mediante *C. juncea*, fija N atmosférico, pudiendo aportar de 70 a 204 kg de N ha⁻¹, según resultados encontrados por Vera et al. (2011). En este estudio, de acuerdo al tratamiento testigo (sin fertilizante), las raíces de los árboles de teca necesi-

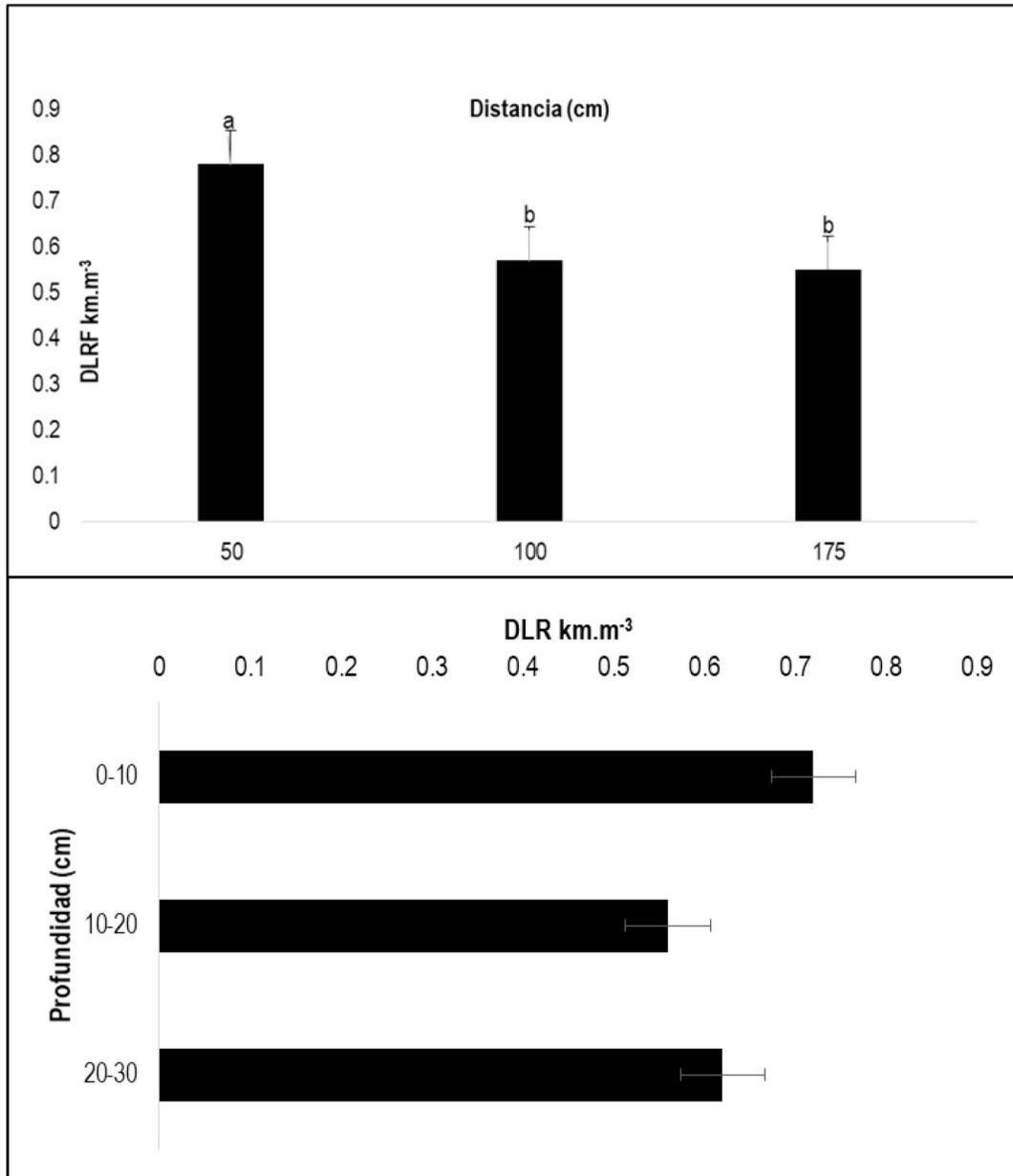


Figura 5. Densidad de longitud de raíces finas a diferentes distancias y profundidad del árbol de teca en Tabasco, México. Las líneas sobre las barras representan la desviación estándar. Letras iguales no hay diferencias significativas.

tan crecer más para explorar más superficie y encontrar los nutrientes y agua. Esto es consistente con estudios, como el de Wang *et al.* (2016) quienes evaluaron la adición de N como fertilizante, en una especie de abeto (*Cunninghamia lanceolata* (Lamb) Hook.) pero no encontraron incremento en la DLRF. Otro estudio realizado por Ping *et al.* (2023) en es-

tecas enraizadas del clon híbrido de alamo (*Populus x euramericana* cv.) encontraron que la biomasa de raíces finas disminuyó con el aumento de la disponibilidad de nitrógeno en el suelo. Cuando las raíces tienen cerca los nutrientes, no necesitan explorar más volumen de suelo, pero en el caso contrario éstas profundizan para buscar agua y nutrientes (Yang *et*

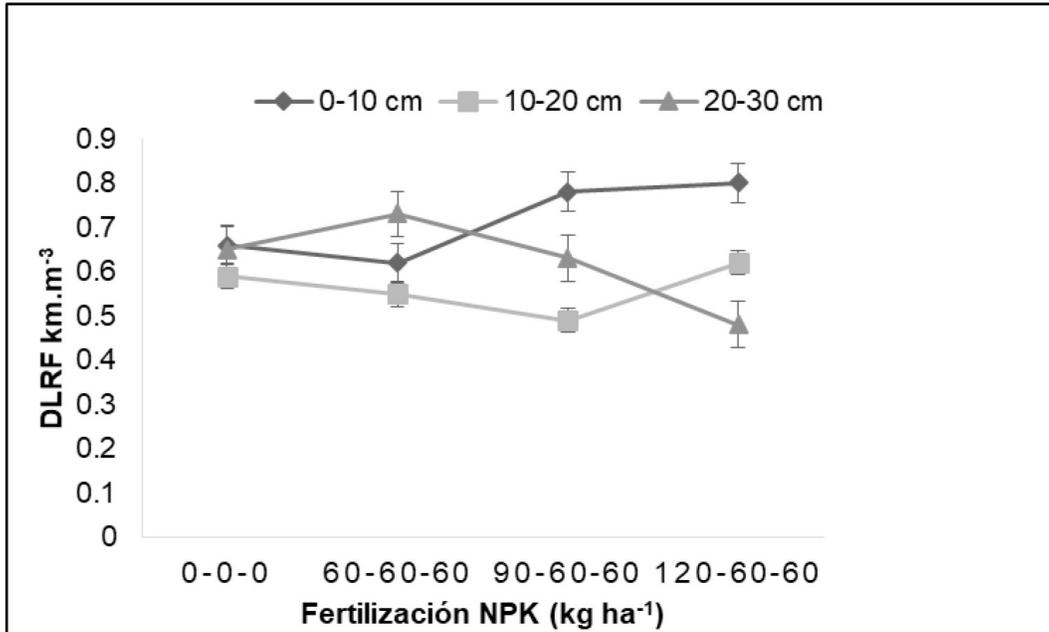


Figura 6. Efecto de los niveles de fertilización en la densidad de longitud de raíces finas de teca a diferentes profundidades del suelo en Tabasco, México. Las barras verticales representan la desviación estándar.

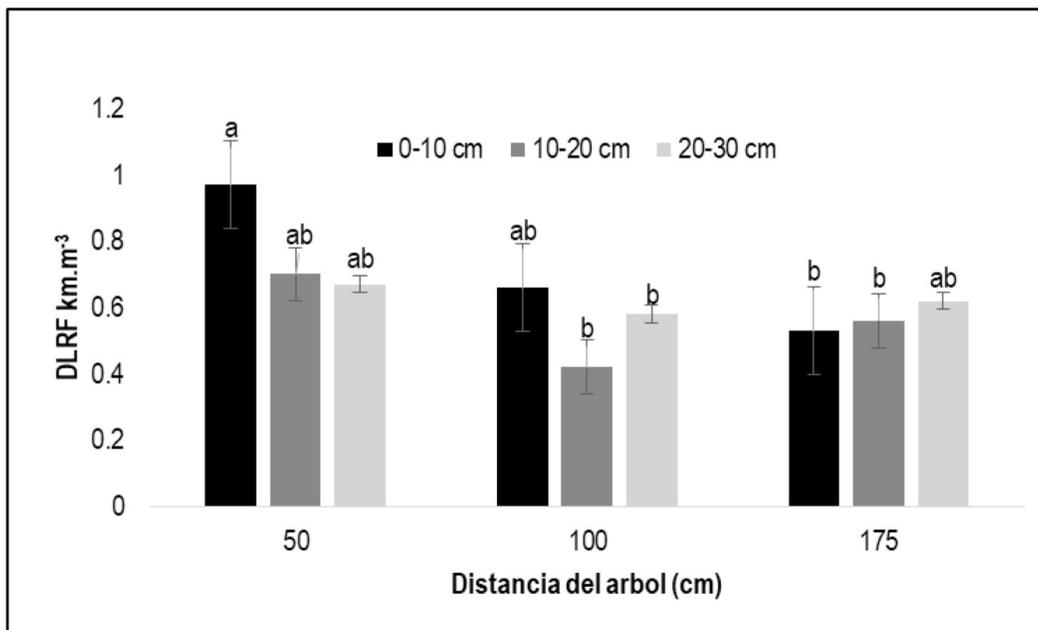


Figura 7. Densidad de longitud de raíces finas en la interacción profundidad * distancia, en árboles de teca en Tabasco, México. Las líneas en cada barra representan la desviación estándar. Letras iguales no hay diferencias significativas.

al. 2015, Nardini *et al.* 2016). En la interacción fertilizantes*AV la DLRF fue menor con las concentraciones más altas de fertilizante, esto es similar con

lo reportado por diversos autores quienes han encontrado poco crecimiento de raíces cuando se suministra fertilización, más aún cuando es complementada

con AV (Nardini *et al.* 2016, Wang *et al.* 2016).

Los incrementos y distribución de la DLRF en el horizonte del suelo a los 20-30 cm de profundidad, pueden deberse a que los árboles de teca están en crecimiento y necesitan mayor profundidad para distribuirse, luego al haber mayor acumulación de hojarasca y carbono almacenado, se restringen a la zona más fértil y accesible (Weemstra *et al.* 2017, Obrador *et al.* 2021). El 64% de la DLRF encontrada en las profundidades de 20-40 cm a los 36 meses de edad, es similar a lo reportado por Zhang *et al.* (2015) en ecosistemas forestales en tuya oriental (*Platyclusus orientalis* L.), encino (*Quercus dentata* Thunb.), y sófora del Japón (*Sophora japónica* L.) a los 25-40 cm de profundidad. De igual manera, Prieto *et al.* (2015), en un estudio de los rasgos funcionales de la raíz en comunidades de vegetación a diferentes profundidades del suelo, encontraron plantas con mayor longitud específica de raíces en suelos menos fértiles. Esto puede deberse también al crecimiento de las raíces para la obtención del agua y nutrientes (Versini *et al.* 2014).

Densidad de longitud de raíces finas a diferentes distancias del árbol

La disminución de la DLRF a medida que aumenta la distancia de la base del árbol es consistente con lo reportado por Singh y Srivastava (1985) en plantaciones de teca de 19 y 29 años de edad; y a lo reportado por Moreno *et al.* (2005) en especies de *Quercus ilex* L. Este comportamiento, probablemente se debe a que las raíces profundizan para buscar agua en el suelo e incrementan el aporte de agua a la planta por lo que se extienden poco (Broedel *et al.* 2017, Fan *et al.* 2017). Al respecto, Clement *et al.* (2019) en plantaciones jóvenes de teca (<10 años) y adultas (>10 años), encontraron que, en los primeros horizontes, hasta 20 cm, los valores de la DLRF eran altos, disminuyendo drásticamente en los siguientes horizontes. En otro estudio en plantaciones de eucalipto (*Eucalyptus grandis* W.Hill) en edades de 20 meses, se encontró que la DLRF disminuyó en las profundidades de 10-50 cm (Bordron *et al.* 2019). Resultados similares se han encontrado en vegetación de alamo (*Populus x euramericana* cv.), mayores can-

tidades de raíces finas en el horizonte orgánico, disminuyendo en las siguientes profundidades (Yan *et al.* 2023). En la mayoría de los ecosistemas, las raíces finas se concentran cerca de la superficie del suelo y su densidad disminuye potencialmente al aumentar la profundidad del suelo (Schenk 2008).

Por otra parte, la fertilización NPK aplicada a los tratamientos evaluados al momento del muestreo, junto con el carbono producido por las raíces muertas, contribuyó a que la DLRF aumentara (Phillips *et al.* 2012, Tefs y Gleixner 2012). Además de lo anterior, el incremento en la DLRF puede deberse a que las concentraciones de nutrientes son comúnmente más altas en las capas superiores del suelo al aportar fertilizantes (Schenk *et al.* 2008). Sobre lo mismo Moreno *et al.* (2005) al evaluar la DLRF en la encina (*Quercus ilex* L.) a distancias de 2.5 a 10 m del tronco del árbol, no encontraron diferencias significativas. Mientras que otros estudios, indican que los nutrientes de las plantaciones de teca a los cuatro y hasta cinco años, incrementan cuando hay mayor acumulación y mineralización de la hojarasca (Vigulu *et al.* 2017).

Caracterización del suelo Vertisol Léptico

Los Vertisoles son suelos arcillosos, pesados, que presentan grietas anchas y profundas en temporada seca, se reconocen por el horizonte vértico de diagnóstico, con un espesor mayor o igual a 25 cm. El calificador Léptico corresponde a la presencia de roca continua o material duro a profundidades menores o iguales a 100 cm de la superficie del suelo (IUSS Grupo de Trabajo-WRB 2014, Palma *et al.* 2017). Es probable que, debido a tales características, estos suelos presenten mala aireación y, en consecuencia, poco desarrollo de raíces de la vegetación natural y de los cultivos; por otro lado, el agrietamiento profundo característico de estos suelos puede causar la ruptura de las raíces durante la temporada seca (Jean *et al.* 2019).

CONCLUSIONES

La densidad de longitud de raíces finas disminuyó cuando incrementó la dosis de fertilización

sintética y cuando se estableció abono verde de *Crotalaria juncea* en las parcelas de teca. La mayor concentración de DLRF se encontró en las profundidades de 20-40 cm. A distancia de 50 cm del tronco de la teca, la mayor DLRF se encuentra de los 0-20 cm.

Mientras que a 50 y 100 cm de la base del árbol y en las primeras capas, la DLRF es mayor que en las otras distancias y profundidad. La DLRF disminuye a medida que aumenta la distancia a la base del árbol y en la profundidad de 0-10 cm.

LITERATURA CITADA

- Aceves NLA, Rivera HB (2019) Clima. En: La biodiversidad en Tabasco. Estudio de Estado. Vol I. CONABIO. México. pp: 61-68.
- Balam CM, Gómez GA, Vargas HJJ, Aldrete A, Obrador OJJ (2015) Fertilización inicial de plantaciones comerciales de teca (*Tectona grandis* L.f.) en el sureste de México. *Revista Fitotecnia Mexicana* 38: 205-212.
- Bardgett RD, Mommer L, De Vries FT (2014) Going underground: root traits as drivers of ecosystem processes. *Trends Ecology & Evolution* 29: 692-699.
- Bordron B., Oliveira IR, Guillemot J, Laclau JP, Jourdan YN, Abreu JCH, Trivelin PCO, Goncalves JLM, Plassard C, Bouillet JP (2019) Fertilization increases the functional specialization of fine roots in deep soil layers for young *Eucalyptus grandis* trees. *Forest Ecology and Management* 431: 6-16.
- Broedel E, Tomasella J, Cândido LA, von Randow C (2017) Deep soil water dynamics in an undisturbed primary forest in central Amazonia: differences between normal years and the 2005 drought. *Hydrological Processes* 31: 1749-1759.
- Burton AJ, Pregitzer KS, Hendrick RL (2000) Relationship between fine root dynamics and nitrogen availability in Michigan northern hardwood forests. *Oecologia* 125: 389-399.
- Clement C, Pierret A, Maeght JL, Hartmann C, Xayyathip K, Soullieuth B, Souyafong P, Latsachack K, Thammahacksa C, Sengtaheuanghong O (2019) Linking tree-rooting profiles to leaf phenology: a first attempt on *Tectona grandis* Linn F. *Trees* 33: 1491-1504.
- Craine JM (2006) Competition for nutrients and optimal root allocation. *Plant and Soil* 285: 171-185.
- Cuanalo CH (1990) Manual para la descripción de perfiles de suelo en el campo. 3^a ed. Centro de Edafología, Colegio de Postgraduados. Chapingo. 40p.
- Fan Y, Miguez-Macho G, Jobbágy EG, Jackson RB, Otero-Casal C (2017) Hydrologic regulation of plant rooting depth. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 114: 10572-10577.
- Freschet GT, Valverde-Barrantes OJ, Tucker CM, Craine JM, McCormack ML, Violle C, Fort F, Blackwood CB, Urban-Mead KR, Iversen CM, Bonis A, Comas LH, Cornelissen JHC, Dong M, Guo D, Hobbie SE, Holdaway RJ, Kembel SW, Makita N, Onipchenko VG, Picon-Cochard C, Reich PB, de la Riva EG, Smith SW, Soudzilovskaia NA, Tjoelker MG, Wardle DA, Roumet C (2017) Climate, soil and plant functional types as drivers of global fine-root trait variation. *Journal of Ecology* 105: 1182-1196.
- IUSS Working Group WRB (2014) World reference base for soil resources 2014. International soil classification system for naming soils and creating legends for soil maps. World Soil. Resources Reports No. 106. FAO. Rome, Italy. 181p.
- Jean PT, Tamfuh PT, Djakba SB, Zame PZ, Hamadjida G, Monique A, Jean PN, Dieudonne LB (2019) Characteristics, classification and genesis of vertisols under seasonally contrasted climate in the Lake Chad Basin, Central Africa. *Journal of African Earth Sciences* 150: 176-193.

- Kaiser C, Kilburn MR, Clode PL, Fuchslueger L, Koranda M, Cliff JB, Solaiman ZM, Murphy DV (2015) Exploring the transfer of recent plant photosynthates to soil microbes: mycorrhizal pathway vs direct root exudation. *New Phytologist* 205: 1537-1551
- Ma Z, Guo D, Xu X, Lu M, Bardgett RD, Eissenstat DM, Hedin LO (2018) Evolutionary history resolves global organization of root functional traits. *Nature* 555: 94-97.
- Ma, D, Yin L, Ju W, Li X, Liu X, Deng X, Wang S (2021) Meta-analysis of green manure effects on soil properties and crop yield in northern China. *Field Crops Research* 266: 108146. DOI: 10.1016/j.fcr.2021.108146.
- Montagnoli A., Di Iorio A, Terzaghi M, Trupiano D, Scippa GS, Chiatante D (2014) Influence of soil temperature and water content on fine root seasonal growth of European beech natural forest in Southern Alps, Italy. *European Journal of Forest Research* 133: 957-968.
- Montagnoli A, Dumroese RK, Terzaghi M, Pinto JR, Fulgaro N, Scippa GS, Chiatante D (2018) Tree seedling response to LED spectra: implications for forest restoration. *Plant Biosyst* 152: 515-523.
- Moreno G, Obrador JJ, Cubera E, Dupraz C (2005) Fine root distribution in dehesas of Central-Western Spain. *Plant and soil* 277: 153-162.
- Nardini A, Casolo V, Dal Borgo A (2016) Rooting depth, water relations and non-structural carbohydrate dynamics in three woody angiosperms differentially affected by an extreme summer drought. *Plant, Cell Environ* 39: 618-627.
- Obrador OJJ, Castelán EM, Córdova SA, Salgado GS, García LE, Carrillo AE (2021) Root length density (RLD) of oil palm (*Elaeis guineensis* Jacq) in a haplic Luvisol in Chiapas, Mexico. *Rev FCA UNCUYO* 53: 157-164.
- Palma LDJ, Jiménez RR, Zavala CJ, Bautista ZF, Gavi RF, Palma CDY (2017) Updating the classification of soils in Tabasco, México. *Agroproductividad* 10: 29-35.
- Phillips RP, Meier IC, Bernhardt ES, Grandy AS, Wickings K, Finzi AC (2012) Roots and fungi accelerate carbon and nitrogen cycling in forests exposed to elevated CO₂. *Ecology Letters* 15: 1042-1049.
- Ping Q, Fang C, Yuan X, Agathokleous E, He H, Zheng H, Feng Z (2023) Nitrogen addition changed the relationships of fine root respiration and biomass with key physiological traits in ozone-stressed poplars. *Science of the Total Environment* 875.
- Prieto I, Roumet C, Cardinael R, Dupraz C, Jourdan C, Kim JH, Maeght JL, Mao Z, Pierret A, Portillo N, Rouspard O, Thammahacksa C, Stokes A (2015) Root functional parameters along a land-use gradient: evidence of a community-level economics spectrum. *Journal of Ecology* 103: 361-373.
- SEMARNAT (2000) 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. 65p.
- Schenk HJ (2008) The shallowest possible water extraction profile: a null model for global root distributions. *Vadose Zone Journal* 7: 1119-1124.
- Schroeder GT, Wirth C, Nadrowski K, Meyer ST, Mommer L, Weigelt A (2016) From pots to plots: hierarchical trait-based prediction of plant performance in a mesic grassland. *Journal of Ecology* 104: 206-218.
- Singh KP, Srivastava SK (1985) Seasonal variations in the spatial distribution of root tips in teak (*Tectonia grandis* Linn. f.) plantations in the Varanasi Forest Division, India. *Plant and Soil* 84: 93-104.
- Subaedah S, Aladin A, Nirwan (2016) Fertilization of nitrogen, phosphor and application of green manure of *Crotalaria juncea* in increasing yield of maize in marginal dry land. *Agriculture and Agricultural Science Procedia* 9: 20-25.

- Sun L, Ataka M, Kominami Y, Yoshimura K (2017) Relationship between fine-root exudation and respiration of two *Quercus* species in a Japanese temperate forest. *Tree Physiology* 3: 1011-1020.
- Tahir SM, Ali AS, Adnan TM (2007) Root nutrient concentrations in teak (*Tectona grandis* L.f.) plantations as influenced by fertilization and age. *Canadian Journal of Pure and Applied Science* 1: 45-52.
- Tefs C, Gleixner G (2012) Importance of root derived carbon for soil organic matter storage in a temperate old-growth beech forest - evidence from C, N and ¹⁴C content. *Forest Ecology and Management* 263: 131-137.
- Versini A, Mareschal L, Matsoumbou T, Zeller B, Ranger J, Laclau JP (2014) Effects of litter manipulation in a tropical Eucalyptus plantation on leaching of mineral nutrients, dissolved organic nitrogen and dissolved organic carbon. *Geoderma* 232-234: 426-436.
- Vera NJA, Infante SJP; Velasco VV, Salgado GS; Palma LDJ, Grageda COA, Cárdenas R, Pena CJJ (2011) Influence of P fertilization on biological nitrogen fixation in herbaceous legumes grown in acid savannah soils from the Tabasco State, Mexico. *Journal of Sustainable Agriculture* 31: 25-42.
- Vigulu VW, Blumfield TJ, Reverchon F, Xu ZH, Tutua SS (2017) Competition for nitrogen between trees in a mixed-species plantation in the Solomon Islands. *Australian Forestry* 80: 135-142,
- Wang P, Diao F, Yin L, Huo Ch (2016) Absorptive roots trait plasticity explains the variation of root foraging strategies in *Cunninghamia lanceolata*. *Environmental and Experimental Botany* 129: 127-135.
- Wang R, Wang Q, Zhao N, Xu Z, Zhu X, Jiao C, He N (2018) Different phylogenetic and environmental controls of first-order root morphological and nutrient traits: Evidence of multidimensional root traits *Functional Ecology* 32: 29-39
- Weemstra M, Sterk FJ, Visser EJW, Kuyper TW, Goudzwaard L, Mommer L (2017) Fine-root plasticity of beech (*Fagus sylvatica*) and spruce (*Picea abies*) forest on two contrasting soils. *Plant and soil* 415: 175-188.
- Wells CE, Eissenstat DM (2001) Marked differences in survivorship among apple roots of different diameters. *Ecology* 82: 882-892.
- Yan X, Dai T, Gao Y, Di N, Jia L (2023) Responses of fine root traits and soil nitrogen to fertilization methods and nitrogen application amount in a poplar plantation. *Forest* 14: 282. DOI: 10.3390/f14020282.
- Yang B, Wen X, Sun X (2015) Seasonal variations in depth of water uptake for a subtropical coniferous plantation subjected to drought in an East Asian monsoon region. *Agricultural and Forest Meteorology* 201: 218-228.
- Zhang Y, Niu J, Yu X, Zhu W, Du X (2015) Effects of fine root length density and root biomass on soil preferential flow in forest ecosystems. *Forest System* 24(1): e-012. DOI: 10.5424/fs/2015241-06048.