

Vertical root distribution in six agroecosystems in a savanna's Acrisol of Huimanguillo, Tabasco, Mexico

Distribución vertical de raíces en seis agroecosistemas en un Acrisol de la sabana de Huimanguillo, Tabasco, México

Murillo-De la Rosa, Arnulfo¹; Obrador-Olán, José J.¹; Castelán-Estrada, Mepivoseh¹; García-López, Eustolia¹; Carrillo-Ávila, Eugenio²; Guerrero-Peña, Armando¹

¹Colegio de Postgraduados, Campus Tabasco. Periférico Carlos A. Molina km 3.5. H. Cárdenas Tabasco. CP. 86500. ²Colegio de Postgraduados, Campus Campeche, Carretera Federal Haltun-chén-Edzná Km 17.5, C.P. 24450, Sihochac, Champotón, Campeche, Mexico.

*Autor de correspondencia: rogarlopez@colpos.mx

ABSTRACT

Objective: We studied the density of length of thin roots (DLRD), less than 6 cm thick, in six agroecosystems that develop in an acid soil characteristic of the Sabana de Huimanguillo, Tabasco, Mexico, an "acahual" was taken as a reference and characterized floristically, identifying 33 species.

Design/methodology/approach: A description of a soil profile was made, taking samples from each horizon to perform physical and chemical analyzes. The DRLD was estimated by the monolith method, considering four depths (0-10, 10-20, 20-30 and 30-40 cm), six samples were taken per agroecosystem.

Results: The soil corresponded to a Chromic Acrisol (Loamic, Cutanic, Hyperdystric, Humic). The highest values of DRLD occurred in the first 20 cm, being 67, 69.1, 66.5, 81.4, 82.8 and 77.6% for pineapple, eucalyptus, acacia, rubber, grass and acahual, respectively. It was notorious that from 40 cm of depth the DLRD values decreased considerably in all agroecosystems. 33 plant species were identified.

Limitations of the study/implications: It is necessary to do more research of the DLRD at greater depth and in other savanna soils to establish clear differences of vertical exploration of the radical biomass.

Findings/conclusions: The greatest development of DLRD occurs in the first 20 cm in the six agroecosystems, decreasing considerably according to depth. Grass presented the highest values of DLDR in general there were statistical differences between the first and the rest of the depths. No homogeneity of DLRD was observed in the arboreal agroecosystems in the studied depths.

Keywords: acid soils, root exploration, root length density.

RESUMEN

Objetivo: Estudiar la densidad de longitud de raíces delgadas (DLRD), de menos de 6 cm de grosor, en seis agroecosistemas que se desarrollan en un suelo ácido característico de la Sabana de Huimanguillo, Tabasco, México, se tomó como referencia y se caracterizó florísticamente un acahual.

Diseño/metodología/aproximación: Se describió un perfil de suelo tomando muestras de cada horizonte para determinar sus características físicas y químicas. La DRLD se estimó mediante el método del monolito, considerando cuatro profundidades (0-10, 10-20, 20-30 y 30-40 cm), se tomaron seis muestras por agroecosistema.

Resultados: El suelo correspondió a un Chromic Acrisol (Loamic, Cutanic, Hyperdystric, Humic). Los valores más altos de DRL se presentaron en los primeros 20 cm, siendo 67, 69.1, 66.5, 81.4, 82.8 y 77.6% para piña, eucalipto, acacia, hule, pasto y acahual, respectivamente. Fue notorio que a partir de 40 cm de profundidad los valores de DLRD disminuyeron considerablemente en todos los agroecosistemas. Se identificaron 33 especies de plantas.

Limitaciones del estudio/implicaciones: Es necesario hacer más investigación de la DLRD a mayor profundidad y en otros suelos de sabana para establecer con claridad diferencias de exploración vertical de la biomasa radical.

Hallazgos/conclusiones: El mayor desarrollo de DLRD se da en los primeros 20 cm en los seis agroecosistemas, decreciendo considerablemente conforme a la profundidad. Pasto presentó los valores más altos de DLRD y de manera general hubo diferencias estadísticas entre la primera y el resto de las profundidades. No se observó homogeneidad de DLRD en los agroecosistemas arbóreos en las profundidades estudiadas.

Palabras clave: suelos ácidos, exploración radical, densidad de longitud de raíces.

1999). Sin embargo, esa distribución está muy influenciada por la especie cultivada (los árboles suelen tomar nutrientes de estratos profundos), la calidad del sitio, el tipo de suelo, la edad de la planta (Dwyer *et al.*, 1996) y distintas prácticas silviculturales: laboreo (Madeira, Melo, Alexander & Steen, 1989), fertilización y riego (Fabião *et al.*, 1995), y las interrelaciones árbol-cultivo (Jose, Gillespie & Pallardy, 2004; Moreno, Obrador, Cubera & Dupraz, 2005).

La región conocida como Sabana de Huimanguillo, en Tabasco, México, corresponde a una antigua planicie aluvial donde corrientes erosivas formaron lomeríos bajos a partir de rocas calizas, lutitas y arenas, creando una mezcla de minerales que, al intemperizarse, dieron origen a suelos ácidos, con altos contenidos de arenas ricas en aluminio y hierro (Palma-López, Cisneros, Moreno & Rincón-Ramírez, 2007) y donde; sin embargo, se localizan algunas áreas cultivadas con pastos destinados a la ganadería, piña (*Ananas comosus* L.) y cítricos (*Citrus* sp.). Dadas las limitaciones que estos suelos tienen para el desarrollo de los cultivos, la actividad forestal ha ido cobrando importancia en la región, observándose en los últimos 15 años, un importante establecimiento y desarrollo de plantaciones de cedro (*Cedrela odorata* L.) eucalipto (*Eucalyptus globulus* Labell), hule (*Hevea brasiliensis* Muell Arg.) y acacia (*Acacia mangium* Willd) (SIAP-SAGARPA, 2017), aunque también hay que destacar la presencia de pocas zonas que sustentan acahuales en los que suele encontrarse buena representación de la flora nativa. El presente estudio tuvo como objetivo, conocer la unidad de suelo en el que se desarrollan seis agroecosistemas típicos en la Sabana de

INTRODUCCIÓN

El sistema radical es una de las estructuras más importantes de la planta, es el soporte de su biomasa aérea y órgano de abastecimiento de agua y nutrientes (Newmann, George, & Plassard, 2009), provee de hábitat a micorrizas y organismos de la rizósfera y el rizoplano (Albrecht & Kandji, 2003); (Obrador, García, & Moreno, 2005). El aporte de materia orgánica (MO) al suelo por las raíces varía de 15 a 35% del total de la biomasa aérea (Escudero, 1985). Las raíces finas y delgadas en especies arbóreas tienden a ser menos en la superficie (0-30 cm) que la de las herbáceas, estando mejor distribuidas a mayor profundidad, lo que determina su éxito en la absorción de nutrientes y agua, permitiendo una pronta respuesta a los cambios estacionales (Moreno y otros, 2007; MOkany, Raison, & Prokushkin, 2006). La mayoría de los estudios sobre distribución radical en suelos señalan que las raíces finas y delgadas se encuentran en los primeros 50 cm del perfil (Pritchett, 1990), y que en los primeros 30 cm se realiza gran parte de la actividad microbiana (mineralización), pudiendo ser menor si no se hace laboreo de suelos (Donoso, Ruiz, Obispo, Sánchez, & Herrera,

Huimanguillo, la densidad de longitud de raíces delgadas en los mismos y la composición florística del acahual.

MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se llevó a cabo en seis agroecosistemas de la Sabana de Huimanguillo, Tabasco, México, una antigua planicie aluvial erosionada donde las corrientes erosivas han formado lomeríos de baja altitud (20 a 30 m de altura). El clima corresponde a AmW, cálido húmedo con abundantes lluvias en verano, con precipitación y temperatura media anual de 2225 mm y 27 °C, respectivamente (García, 1988; INEGI, 2002). En cuanto a la vegetación y uso del suelo, la mayor superficie (65.4%) está ocupada por pastizales (99,55 ha), seguida de plantaciones de eucalipto (30,874 ha) y cítricos (14, 426 ha) (OIEDRUS, 2005).

Agroecosistemas estudiados y selección de parcelas

Los criterios para seleccionar las parcelas fueron: tipo de suelo representativo de la sabana, Acrisol cutánico según Palma-López, Cisneros, Moreno & Rincón-Ramírez (2007), para corroborarlo se realizaron barrenaciones; que el periodo de cultivo de los agroecosistemas fuera de al menos 10 años. Tres parcelas correspondieron a plantaciones: eucalipto (*Eucalyptus globulus* Labell), hule (*Hevea brasiliensis* Muell Arg.) y acacia (*Acacia mangium* Willd) y dos a cultivos: piña (*Ananas comosus* L.) y pasto de humidícola (*Brachiaria humidicola* (Rendle) Schweickert). Como agroecosistema de referencia se tomó un acahual, en el que realizó un levantamiento florístico; la identificación de las especies se llevó a cabo en el Herbario CSAT del Campus Tabasco, Colegio de Postgraduados.

Descripción y clasificación de la unidad de suelo

La unidad de suelo se corroboró mediante la descripción de un perfil en el agroecosistema piña (Cuanalo, 1990) y los resultados de los análisis físico-químicos de las muestras, utilizando los conceptos de la Base Referencial Mundial del Recurso Suelo (IUSS Working Group WRB, 2015) y la (NOM-021-RECNAT-2000).

Para estimar la densidad de longitud de raíces delgadas (DLRD) se utilizó el método del monolito (USDA, 2000), usando cubos metálicos de 25×25 y 10 cm de alto. En cada agroecosistema se tomaron seis muestras a cuatro profundidades (0-10, 10-20, 20-30 y 30-40 cm), el muestreo en piña, hule, acacia y eucalipto se realizó en un punto equidistante entre planta y planta (método del quince), en pasto y acahual se realizó de forma alea-

ria. Las raíces delgadas de diámetros menores a 6 mm fueron extraídas de forma manual del suelo seco, para después extraer el resto por el método de lavado a mano de (Böhm, 1979). Las raíces extraídas de cada monolito fueron medidas y, considerando el volumen de suelo de cada uno de ellos, se calculó la DLRD en km m^{-3} (Moreno, Obrador, Cubera, & Dupraz, 2005).

Para observar las diferencias de las variables en estudio por agroecosistema entre las diferentes (cuatro) profundidades, se realizó un análisis de varianza y, en caso de encontrar diferencias significativas, se hizo la prueba de rango múltiple de LSD (diferencia mínima significativa) al 5% de nivel de significancia

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En el Cuadro 1 se enlistan las 33 especies identificadas en el acahual, las cuales corresponden a 25 familias botánicas. Al comparar los resultados con los de Ochoa, Hernández, De Jong & Gurría (2007), Escobar-Ocampo & Ochoa-Gaona (2007) y Contreras-Rodríguez (2010), se observó que el número de familias (25) es alto, pero el porcentaje (más de 50%) de árboles representativos de bosques maduros fue similar. La caracterización del perfil y los resultados de los análisis de suelo por horizonte, hasta los 65 cm de profundidad (Cuadro 2) muestran un suelo fuertemente húmico, de color negro oscuro, baja saturación de bases y revestimientos de arcilla; hay dos horizontes de transición fuertemente intemperizados, con bajos contenidos de MO, muy ácidos, con contenido no detectable de fósforo (P), confirmando que corresponde a un Chromic Acrisol (Loamic, Cutanic, Hyperdystric, Humic) (WRB, 2015).

El comportamiento vertical de la DLRD por y entre agroecosistemas presentó, en los primeros 20 cm, sus valores más altos: 67.0, 69.1, 66.5, 81.4, 82.8 y 77.6% para piña, eucalipto, acacia, hule, pasto y acahual, respectivamente. Los valores absolutos de la DLRD varían significativamente entre profundidades. Todos, excepto en la acacia, presentaron diferencias altamente significativas entre la primera profundidad (0-10 cm) y las restantes (Figura 1, Cuadro 3). El acahual y la piña mostraron los valores más bajos de DLRD (4.54 y 9.43, respectivamente), el más alto (38.78) se observó en pasto, el cual prácticamente duplicó al del hule, que fue el segundo en DLRD (19.22).

El hule presentó diferencias altamente significativas en las dos primeras profundidades con respecto a las demás especies. También es importante notar que a 40 cm

Cuadro 1. Especies de plantas identificadas en un acahual de 10 años ubicado en un Chromic Acrisol de la sabana de Hui-manguillo, Tabasco.

No.	Nombre común	Nombre científico	Familia
1	Guarumo	<i>Guazuma ulmifolia</i> Lam.	Sterculiaceae
2	Cesniche	<i>Lippia myriocephala</i> Schl. et Cham.	Verbenaceae
3	Pochote	<i>Cochlospermum vitiifolium</i> (Willd.) Spreng.	Cochlospermaceae
4	Manzano	<i>Bunchosia loanceolata</i> Turcz.	Malpighiaceae
5	Jolocin	<i>Heliocarpus donnell-smithii</i> Rose	Tiliaceae
6	Volador	<i>Terminalia amazonia</i> (Gmel.) Excell	Combretaceae
7	Nance cimarrón	<i>Vitex gaumeri</i> Greenm.	Verbenaceae
8	Chachalaquillo	<i>Citharexylum hexangulare</i> Greenm.	Verbenaceae
9	Barí	<i>Calophyllum brasiliense</i> Camb.	Clusiaceae
10	Vara prieta	<i>Vernonia patens</i> Kunth	Asteraceae
11	Tachiconcillo	<i>Davilla kunthii</i> St. Hil.	Dilleniaceae
12	Cedro	<i>Cedrela odorata</i> L.	Meliaceae
13	Jobo	<i>Spondias mombin</i> L.	Anacardiaceae
14	Mulato	<i>Bursera simaruba</i> (L.) Sarg.	Burseraceae
15	Tachuelillo	<i>Zanthoxylum kellermanii</i> P. Wilson	Rutaceae
16	Nudillo	<i>Faramea occidentalis</i> (L.) A. Rich.	Rubiaceae
17	Zarza	<i>Mimosa pigra</i> L.	Fabaceae
18	Cojón de venado	<i>Semmmadenia donnell-smithii</i> (Rose.) Woodson	Apocynaceae
19	Morenilla	<i>Miconia albicans</i> (Sw.) Trians	Melastomataceae
20	Castarrica	<i>Alibertia edulis</i> (Rich.) A. Rich.	Rubiaceae
21	Capulincillo	<i>Xylopia frutescens</i> Aubl.	Annonaceae
22	Marota	<i>Schefflera morototoni</i> (Aubl.) Dcne. & Planch.	Araliaceae
23	Cenizo	<i>Miconia argentea</i> (Sw.) DC.	Melastomataceae
24	Guayaba	<i>Psidium guajava</i> L.	Myrtaceae
25	Limón dulce	<i>Citrus limmeta</i> Risso	Rutaceae
26	Limón real	<i>Citrus medica</i> L.	Rutaceae
27	Berenjena de montaña	<i>Solanum</i> sp.	Solanaceae
28	Pata de vaca	<i>Bauhinia divaricata</i> L.	Fabaceae
29	Canaque	<i>Alchornea laticifolia</i> Swartz	Euphorbiaceae
30	Higuillo	<i>Ficus</i> sp	Moraceae
31	Laurel	<i>Nectandra sanguinea</i> Rott.	Lauraceae
32	Ceiba	<i>Ceiba pentandra</i> (L.) Gaert.	Bombacaceae
33	Negrito	<i>Lantana camara</i> L.	Verbenaceae

los valores de DLRD disminuyeron considerablemente en todos los agroecosistemas (Figura 1) y que en ninguno fueron mayores a 4 km m^{-3} . Los valores de DLRD de la mayoría de los agroecosistemas estudiados estuvieron en el intervalo de los observados en otras especies (Purbopuspito & Van Rees, 2002; Silva & Rego, 2003; Radersma & Ong, 2004) y otras unidades de suelo (Mulia & Dupraz, 2006), con excepción del pasto, cuyos valores superaron los reportados para las dehesas españolas (Joffre, Rambal, & Ratte, 1999; Moreno, Obrador, Cubera & Dupraz, 2005).

Las diferencias altamente significativas observadas en las dos primeras profundidades en hule pueden estar relacionadas con mayor adaptabilidad al suelo estudiado (Serrano, 2003). Los bajos valores (menores de 4 km m^{-3}) de DLRD observados a 40 cm de profundidad confirman que la biomasa de raíces delgadas en especies arbóreas tiende a disminuir conforme aumenta la profundidad, si bien es cierto que en las herbáceas suele hacerlo de manera menos drástica (Moreno, Obrador, Cubera & Dupraz, 2005). Esta reducción muestra, en la mayoría de las especies herbáceas, una caída exponencial conforme se

Cuadro 2. Descripción del Perfil de suelo de Agroecosistema piña en la Sabana de Huimanguillo, Tabasco, México

Tipo de de suelo: Chromic Acrisol (Loamic, Cutanic, Hyperdystric, Humic); **Describió:** José J. Obrador Olán y Arnulfo Murrillo de la Rosa; **Fecha:** 11/nov/09; **Localidad:** Colonia Pino Suarez; **Localización:** 17°42' 03" N, 93°39' 95" W; **Elevación:** 33 m; **Relieve:** Loma con pendiente regular tipo convexa-cóncava, mayor a 5% y menor a 10%; **Drenaje del sitio:** normal; **Material parental:** sedimentos aluviales del Pleistoceno; **Flora cultivada:** piña, 10 años; **Fauna:** crotobinas (heces de lombrices), hormigas; **Manto freático:** 80 cm

Ho	Prof. (cm)	DESCRIPCIÓN
Ap1	0-25	Color en seco pardo amarillento (10YR6/4), en húmedo negro (10YR2/1); textura franco arenosa; estructura fuertemente desarrollada en bloques subangulares, finos, abundantes; poros numerosos finos y medianos, continuos, caóticos dentro y fuera de los agregados; permeabilidad rápida; consistencia en húmedo friable y en muy húmedo ligeramente pegajosa y plástica; raíces comunes finas y delgadas; presencia de crotobinas y hormigas, pH 5.60.
Ah2	25-65	Color en seco pardo oscuro (10YR3/3), en húmedo negro (10YR2/1); motas tenues, comunes, pardo grisáceas (10YR3/2); textura franco limosa; estructura fuertemente desarrollada en bloques subangulares con pocos grumos, finos y medios; poros numerosos, finos y medianos, continuos, caóticos dentro y fuera de los agregados; permeabilidad rápida; consistencia en húmedo friable y en muy húmedo ligeramente pegajosa y plástica; cutanes por "eluviación", continuos en canales y poros grandes de minerales arcillosos con humus; nódulos muy pocos, pequeños y medianos, de color pardo oscuro (10YR3/3), de forma prismática, subangular, de naturaleza blanda y composición de óxido de hierro; raíces comunes, finas, delgadas y medias; presencia de crotobinas; pH 5.26.
Bt1	65-100	Color en seco gris claro (2.5Y6/4), en húmedo gris (2.5Y8/4), motas grises (2.5Y5/1) y rojas (10YR6/8); textura franco arcillo arenosa; poros frecuentes, finos y muy finos, continuos, caóticos, dentro y fuera de los agregados tubulares; estructura moderadamente desarrollada en bloques subangulares finos y medios; consistencia en húmedo friable, y en muy húmedo, ligeramente pegajosa y plástica; cutanes por "eluviación", continuos, en canales y poros grandes de minerales arcillosos con humus; pedregosidad pocas piedras, de tamaño pequeño, subangulares, de clases arenisca, caliza y basalto; nódulos frecuentes, pequeños y medianos, de color pardo oscuro (10YR3/3) y rojo (10R4/8), de forma prismática, subangular y elipsoide, blandos, de óxido de hierro; permeabilidad moderada; raíces raras, finas, pH 5.15
Bt2	100-200	Color en seco amarillo rojizo (7.5YR7/8), en húmedo rojo amarillento (5YR5/8); textura arcillo arenosa; estructura moderadamente desarrollada bloques subangulares, medios; poros pocos finos y medianos, continuos, caóticos; permeabilidad lenta; consistencia en húmedo y muy húmedo ligeramente pegajosa y plástica; raíces escasas; pH 5

Ho	Textura (%)			MO (%)	P Olsen (mg Kg ⁻¹)	pH	CIC	Ca	Mg	Na	K
	A	L	R								
Ap1	60.5	17.2	22.3	6.5	7	5.8	14.7	3.18	0.94	0.32	0.11
Ah2	62.7	15.6	21.7	6.9	4	5.4	13.9	3.22	0.96	0.28	0.10
Bt1	51.7	16.9	31.4	0.6	NS	4.9	8.1	1.82	0.55	0.23	0.07
Bt2	52.3	11.1	36.6	0.2	NS	4.7	7.3	1.78	0.49	0.20	0.07

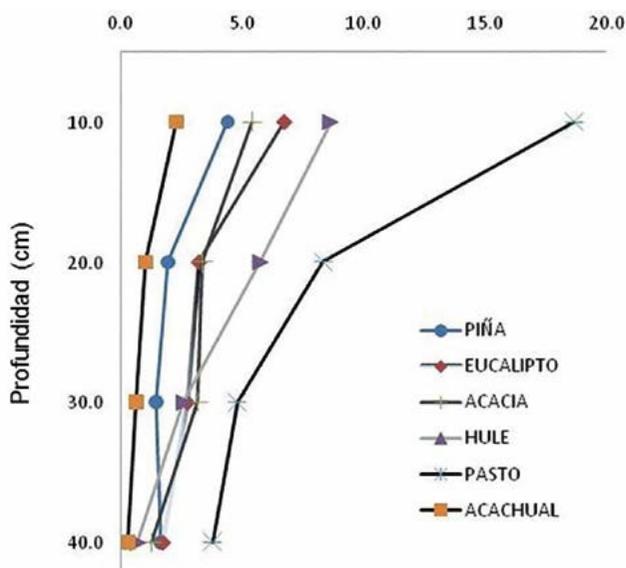


Figura 1. Distribución vertical de raíces delgadas (km m^{-3}) de seis agroecosistemas en un suelo Chromic Acrisol (Loamic, Cutanic, Hyperdystric, Humic) de la sabana de Huimanguillo, Tabasco, México

profundiza, lo que generalmente no sucede con la biomasa de raíces gruesas (Fujita & Yanagisawa, 1999).

CONCLUSIONES

La unidad de suelo correspondió a Chromic Acrisol (Loamic, Cutanic, Hyperdystric, Humic). La mayor DLRD en los agroecosistemas estudiados se da en 0-20 cm, decreciendo considerablemente conforme incrementa la profundidad. Los valores más altos de DRLD se presentaron en pasto. No se observó homogeneidad de DLRD en los agroecosistemas arbóreos. Se recomienda realización estudios de densidad radical de diferentes diámetros, a mayor profundidad y en otros suelos de sabana para establecer claramente las diferencias de exploración vertical. La composición florística del acahual estuvo representada por 33 especies correspondientes a 25 familias botánicas.

Cuadro 3. Valores promedios de densidad de longitud de raíces finas (DLRD) en seis agroecosistemas de la Sabana de Huimanguillo, Tabasco, México.

Agroecosistemas	Profundidad				Total
	0-10 cm	10-20 cm	20-30 cm	30-40 cm	
	DLR finas (km m ⁻³)				
Piña	4.26a**	1.97b	1.71b	1.49b	9.43
Eucalipto	6.87a**	3.08b	2.48b	1.73b	14.17
Hule	8.62a**	5.81a**	2.41b	2.37b	19.22
Acacia	5.40a**	3.51b*	2.85b*	1.24c	12.99
Pasto	19.60a**	9.96a*	5.80bc	3.42c	38.78
Achual	2.42a**	1.23b*	0.61c	0.28c	4.54

El ANOVA se realizó contrastando cada profundidad de todos los agroecosistemas, cada uno tuvo seis repeticiones. Letras diferentes indican diferencias estadísticas (prueba LSD, 0.5): *significativas y **altamente significativas.

LITERATURA CITADA

Albrecht, A., & Kandji, S. (2003). Carbon sequestration in tropical agroforestry systems. (99), 15-27. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 99(1-3), 15-27. doi:10.1016/S0167-8809(03)00138-5

Böhm, W. (1979). *Methods of studying root systems*. Berlin, FGR: Springer Verlag.

Contreras-Rodríguez, I. (2010). Manejo y uso actual de los achuales en la UMAFOR 2708CE, Centro Tabasco. H. Cárdenas, Tabasco, México: Tesina de Maestría Tecnológica. Colegio de Postgraduados.

Cuanalo, C.H. (1990). *Manual para la descripción de perfiles de suelo en el campo* (Tercera ed.). Chapingo, Texcoco, México: Colegio de Postgraduados.

Donoso, S., Ruiz, F., Obispo, A., Sánchez, C., & Herrera, M. (1999). Efecto del laboreo sobre la biomasa de *Eucalyptus globulus* en el suroeste de España. *Forest Systems*, 8(2), 377-386.

Dwyer, M., Ma, B., Stewart, D., Hayhoe, H., Balchin, D., Culley, J., & McGroven, M. (1996). Root mass distribution under conventional and conservation tillage. *Canadian Journal of Soil Science*, 76(1), 23-28. doi:10.4141/cjss96-004

Escobar-Ocampo, M., & Ochoa-Gaona, S. (2007). Estructura y composición de la vegetación del Parque Educativo Laguna Bélgica, Chiapas, México. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 391-419.

Escudero, A. (1985). Efectos de árboles aislados sobre las propiedades químicas del suelo. *Revue d'Ecologie et Biologie du Sol*(22), 149-159.

Fabião, A., Madeira, M., Steen, E., Kätterer, T., Ribeiro, C., & Araújo, C. (1995). Development of root biomass in an *Eucalyptus globulus* plantation under different water and nutrient regimes. *Plant and Soil*, 168(1), 215-223.

Fujita, N., & Yanagisawa, N. (1999). Different distribution patterns of woody species on a slope in relation to vertical root distribution and dynamics of soil moisture profiles. *Ecological Research*(14), 165-177. doi:10.1046/j.1440-1703.1999.00295.x

García, M. (1988). *Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen* (Cuarta ed.). México: Indianápolis.

INEGI. (2002). *Estadísticas Ambientales, Superficie Forestal por Ecosistema según formación primaria y vegetación secundaria*. Obtenido de http://aplicaciones.semarnat.gob.mx/estadisticas/compendio2010/archivos/01_rforestales/d3_Rforesta01_01.pdf

Joffre, R., Rambal, S., & Ratte, J. (1999). The dehesa system of southern Spain and Portugal as a natural ecosystem mimic. *Agroforestry Systems*, 45(1-3), 57-79. doi:10.1023/A:1006259402496

Jose, S., Gillespie, R., & Pallardy, S. (2004). Interspecific interactions in temperate agroforestry. *Agroforestry Systems*, 61(1-3), 237-255. doi:10.1023/B:AGFO.0000029002.85273.9b

Madeira, M., Melo, M., Alexander, C., & Steen, E. (1989). Effects of deep ploughing and superficial disc harrowing on physical and chemical soil properties and biomass in a new plantation of *Eucalyptus globulus*. *Soil and Tillage Research*, 14(2), 163-175.

MOkany, K., Raison, R., & Prokushkin, A. (2006). A Critical analysis of root: shoot ratios in terrestrial biomes. *Global Change Biology*, 12(1), 84-96. doi:10.1111/j.1365-2486.2005.001043.x

Moreno, G., Obrador, J., Cubera, E., & Dupraz, C. (2005). Fine Root distribution in dehesas of Central-Western Spain. *Plant and Soil*, 277(1-2), 153-162. doi:10.1007/s11104-005-6805-0

Moreno, G., Obrador, J., García, E., Cubera, E., Montero, M., Pulido, F., & Dupraz, C. (2007). Driving competitive and facilitative interactions in oak dehesas through management practices. *Agroforestry Systems*, 70(1), 25-40. doi.org/10.1007/s10457-007-9036-y

Mulia, R., & Dupraz, C. (2006). Unusual fine root distributions of two deciduous tree species in Southern France: what consequences for modeling of tree root dynamics? *Plant Soil*, 281(1), 71-85. doi:10.1007/s11104-005-3770-6

Newmann, G., George, T., & Plassard, C. (2009). Strategies and methods for studying the rhizosphere-the plant science toolbox. *Plant and Soil*, 321(1), 431-456.

NOM-021-RECNAT-2000. (2000). Norma Oficial Mexicana que establece las especificaciones de estudios, muestreo y análisis fertilidad, salinidad y clasificación de suelos. Secretaría de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca (SERMANAP). Obtenido de <http://biblioteca.semarnat.gob.mx/janium/Documentos/Ciga/libros2009/DO2280n.pdf>

Obrador, J., García, E., & Moreno, G. (2004). Consequences of dehesa land use on nutritional status of vegetation in Central-Western Spain. En S. Schnabel, & A. Ferreira, *Sustainability of*

- agrosilvopastoral systems: dehesas, montados. *Advances in Geo-Ecology* (Vol. 37, págs. 327-340). Catena Verlag.
- Ochoa, G., Hernández, V., De Jong, H., & Gurría, G. (2007). Pérdida de diversidad florística ante un gradiente de Intensificación del sistema agrícola de roza-tumba-quema: un estudio de caso en la selva Lacandona, Chiapas, México. *Boletín de la Sociedad Botánica de México*(81), 65-80.
- OIEDRUS. (2005). Sistema de Información para el Desarrollo Rural Sustentable de Tabasco). Estadística básica. Obtenido de http://www.oeidrustab.gob.mx/mapas/memoria_web/tipos_suelos.pdf. Tabasco
- Palma-López, D., Cisneros, J., Moreno, E., & Rincón-Ramírez, J. (2007). Palma-López, D.J., Cisneros D.J., Moreno C.E. & Rincón-Ramírez, J.A. (2007). Suelos de Tabasco: su uso y manejo sustentable. Colegio de Postgraduados-ISPOTAB-FUPROTAB. Villahermosa, Tabasco, México. Villahermosa, Tabasco, México: Colegio de Postgraduados-ISPOTAB-FUPROTAB.
- Pritchett, W. (1990). Suelos forestales. Propiedades, conservación y mejoramiento. México. D.F.: Jonh Wiley & Sons. Editorial Limusa, S.A. .
- Purbopuspito, J., & Van Rees, K. (2002). Root distribution at various distances from clove trees growing in Indonesia. *Plant Soil*, 239(2), 313–320. Obtenido de <https://link.springer.com/article/10.1023/A:1015096119071>
- Radersma, S., & Ong, C. (2004). Spatial distribution of root length density and soil water of linear agroforestry systems in sub-humid Kenya: Implications for agroforestry models. *Forest Ecology and Management.*, 188(1-3), 77–89. doi: 10.1016/j.foreco.2003.07.021
- Serrano, E. (2003). Relation between functional root content and banana yield in Costa Rica. En F. Rosales, T. Moens, & L. Vega (Edits.), *International Symposium Banana Root System: towards a better understanding for its productive management* (págs. 25-34). San José, Costa Rica. Obtenido de http://www.inibap.org/pdf/IN050550_en...
- SIAP-SAGARPA. (2017). Sistema de Información Agrícola y Pesquera. Obtenido de www.siap.gob.mx
- Silva, J., & Rego, F. (2003). Root distribution of a Mediterranean shrubland in Portugal. *Plant and Soil*, 255(2), 529–540. doi: <https://doi.org/10.1023/A:1026029031005>
- USDA. (2000). Guía para la evaluación de la calidad del suelo. (A. Luthers, J. Salazar, & L. Plaza, Trads.) Argentina: Departamento de Agricultura. Servicio de Investigación Agrícola. Obtenido de <http://soils.usda.gov/sqi>
- WRB, I. W. (2015). Base referencial mundial del recurso suelo 2014, Actualización 2015. Sistema internacional de clasificación de suelos para la nomenclatura de suelos y la creación de leyendas de mapas de suelos. Informes sobre recursos mundiales de suelos. Roma, Italia: FAO.

