



Avances en Investigación Agropecuaria

ISSN: 0188-7890

revaia@ucol.mx

Universidad de Colima

México

Casanova, F.; Ramírez, L.; Solorio, F.

Interacciones radicales en sistemas agroforestales: mecanismos y opciones de manejo

Avances en Investigación Agropecuaria, vol. 11, núm. 3, septiembre-diciembre, 2007, pp. 41-52

Universidad de Colima

Colima, México

Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=83711304>

- Cómo citar el artículo
- Número completo
- Más información del artículo
- Página de la revista en redalyc.org

redalyc.org

Sistema de Información Científica

Red de Revistas Científicas de América Latina, el Caribe, España y Portugal

Proyecto académico sin fines de lucro, desarrollado bajo la iniciativa de acceso abierto

Interacciones radicales en sistemas agroforestales: mecanismos y opciones de manejo[▼]

Root interactions in agroforestry systems: mechanics and management options

Casanova, F.;* **Ramírez, L. y Solorio, F.**

Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, Universidad Autónoma de Yucatán,
Carretera Mérida-Xmatkuil, km 15.5, Apartado Postal: 4-116 Itziminá. C. P. 97100,
Mérida, Yucatán, México. Teléfono y fax: (+52 999) 9423200, 9423205.

*Correspondencia: fernando215_45@hotmail.com

[▼]Estudio de revisión

Resumen

Los sistemas agroforestales (SAF) son una forma de uso de la tierra en donde las leñosas interactúan con los cultivos y/o animales, con la finalidad de diversificar y optimizar la producción de manera sostenida. Sin embargo, estos sistemas tienen limitantes originados por una combinación inadecuada de las diferentes especies, lo que resulta en competencia entre ellas. Las características radicales de las especies leñosas tienen un papel importante en el éxito de los SAF, ya que indican modificaciones que pudieran existir entre especies asociadas. Por tanto, el objetivo de esta revisión es analizar la importancia de las interacciones radicales, los criterios para el manejo con base en las características morfológicas y patrones de crecimiento entre especies y su impacto en los SAF. La incorporación de especies arbóreas dentro de los cultivos requiere de objetivos claros; es decir, conocer el papel que desempeñarían dentro del sistema. No es redituable utilizar especies arbóreas que no poseen cierto valor o producto, ya que la competencia entre los árboles y los cultivos es solamente admisible si es compensada a través de

Abstract

Agroforestry systems (AFS) are land uses where woody species interact with crops and/or animals with the objective to diversify and to optimize production in a sustainable way. AFS have limitations originated from inadequate combination of species, which results in a strong competition among them. The root characteristics of woody have an important role in the success of the AFS, since they indicate the modifications that could exist between species associated. Therefore, the objective of this review is to analyse the importance of interactions root, the criteria for their management based on the morphological characteristics and growth patterns between species, and examine the impact on the AFS. The incorporation of woody species within crops requires of clear objectives; in other ways, to know the role that they would carry out within the system. It is not profitable to use woody species that do not have certain value or product, since the competition between trees and crops is only permissible if it is compensated by the advantages in relation to increases in the system productivity. The desirable

las ventajas con relación a los aumentos en la productividad de sistema. Son deseables aquellas especies arbóreas cuyas raíces sean agresivas con relación a los sistemas radiculares del cultivo asociado, y que manifiesten un crecimiento lateral profundo y/o posean una alta plasticidad. Una opción para reducir la competencia radicular es la regulación del espaciamiento y/o distribución de las diversas especies asociadas, así como la aplicación de prácticas de manejo. Los patrones de la actividad radicular de las plantas difieren entre especies, su conocimiento puede ayudar a evitar competencia excesiva y pérdidas de nutrientes en SAF con la asignación óptima del espacio y recursos disponibles.

Palabras clave

Asociación arbórea, competencia, complementación.

woody species are those whose roots are aggressive in relation with the root systems of the associated crop, and show deep lateral root growth and/or they have a high plasticity. Root competition could be reduced throughout management such as: the regulation of plant density and/or distribution of the associated species, as well as the application of handling practices. The patterns of the root activity differ among species, and its understanding can aid to avoid excessive competition and losses of nutrients in AFS with the optimal allocation of available space and resources.

Key words

Tree association, plant competition, plant complementation.

Introducción

Los sistemas silvopastoriles (SSP) constituyen una modalidad de los sistemas agroforestales (SAF) y sus principales componentes son los árboles, los pastos, los animales y el suelo, en un sistema integrado. Estos sistemas ofrecen beneficios al proteger el suelo de la erosión y, simultáneamente, adicionan materia orgánica para mejorar las propiedades del mismo, así como alimento para los animales todo el año, a la vez que les proporcionan sombra. También existe una buena fijación de CO₂ y mantienen una alta biodiversidad animal y vegetal [Simón *et al.*, 1995].

Es importante conocer el tipo de interacciones que se presentan en los diversos componentes del sistema, ya que éstos se encuentran dentro del mismo perfil del suelo. Debido al conflicto inherente entre la facilitación, complementación y los efectos de competencia del sistema radicular, la selección de características deseables de los árboles en agroforestería es una tarea complicada, ya que se requiere de un conocimiento detallado y comprensión de los sistemas raíz-suelo e interacciones entre las raíces de las diferentes especies.

Hasta ahora, la mayoría de los estudios de las interacciones entre los componentes de los SAF se han enfocado en la parte aérea. Sin embargo, la competencia por recursos (agua y nutrimentos) puede darse tanto en la porción aérea como en la por-

ción subterránea de los árboles y los cultivos asociados [Delgado *et al.*, 2003; Casanova, 2005].

En este sentido, pudieran identificarse algunos criterios radiculares apropiados para la selección de los componentes, tanto arbóreos como herbáceos, de los SAF, en diferentes condiciones, e incluirlos en los programas de selección y diseño de los mismos. Comúnmente se han considerado: la productividad y la calidad del producto, el sombreado y la tolerancia a la sombra, la adaptación y la mejora del sitio, por mencionar algunos criterios. Sin embargo, la pregunta importante sería: ¿cuáles son las especies que cumplen estos criterios en función del sistema radicular?; y, si se conocen algunas especies, ¿estas son suficientemente atractivas, en el sentido económico, para ser adoptadas por el agricultor?

La pertinencia del estudio de las raíces reside en las variadas funciones fisiológicas de este órgano, como en la nutrición vegetal, como reserva de nutrientes, como sostén o anclaje y como órgano involucrado en la regulación fisiológica de la planta [Russell, 1977]. El estudio de las raíces y sus interacciones son la base para las mejoras en los sistemas de manejo y diseños existentes o para desarrollar nuevos sistemas [Matthews *et al.*, 2004].

Las asociaciones con diferentes especies de cultivo, uso eficiente de los recursos por las plantas, dosis de aplicación de un fertilizante, implementación de podas periódicas de rebrotes, son algunas de las técnicas y prácticas que podrían optimizar las funciones radiculares y las interacciones subterráneas presentes en los SAF, mejor conocidas como “manejo de raíces” [Schroth, 1995]. El objetivo del presente trabajo es analizar la información sobre las diversas formas de interacciones de los sistemas radiculares de especies asociadas, así como las opciones para influir —en estas interacciones— a través de la selección de especies, diseño y manejo de los SAF.

Interacciones radiculares: mecanismos y perspectivas de manejo

Distribución de raíces e interacciones radiculares

La hipótesis fundamental de los SAF es que los diferentes componentes vegetales (e.g., árboles, arbustos y plantas herbáceas) habiten en diferentes estratos de suelo, de tal forma que sean complementarios en el uso de los recursos.

Con frecuencia se ha generalizado que el “efecto de extracción de nutrientes” es una de las ventajas de los SAF [Nair, 2004]. En tal caso, se supone que todas las leñosas perennes poseen sistemas radiculares pivotantes que les permiten extraer nutrientes de sectores más profundos del perfil del suelo donde no llegan las raíces de la vegetación herbácea o cultivo asociado. Dichos nutrientes se vuelven disponibles mediante la descomposición de hojas y ramas en la superficie del suelo. Sin embargo, el

denominado “efecto de extracción” no ocurre en todas las condiciones, pues depende de la morfología y fisiología del sistema radicular de las especies que comprenden el sistema, del tipo de material usado para el establecimiento de las leñosas (e.g., semilla, material vegetativo) y del manejo de defoliación que se les aplique. Un ejemplo del efecto de estas condiciones sobre el desarrollo radical fue reportado por Pezo e Ibrahim [1996], quienes encontraron que, en bancos forrajeros constituidos por *Erythrina poeppigiana* y *Gliricidia sepium* sembradas por estacas, y sometidos a defoliaciones frecuentes, los sistemas radiculares son superficiales. En tal caso, más bien puede haber competencia por nutrientes entre las raíces de las leñosas y las forrajeras herbáceas, ya que las raíces de ambas especies se encuentran muy cerca unas de otras.

La magnitud de las interacciones entre leñosas perennes y herbáceas, así como entre individuos dentro de cada una de estas categorías, está en función de la disponibilidad de recursos para su crecimiento. Los requerimientos específicos, las características morfológicas de los componentes, la densidad de plantas, el arreglo espacial y el manejo utilizado, son, además, otros factores muy importantes [Simón *et al.*, 1995]. Se menciona que la competencia por recursos en el suelo se presenta por la deficiencia de agua y nutrimentos. En su hábitat natural, las plantas están expuestas a ambientes heterogéneos (tanto espaciales como temporales) en la disponibilidad de los recursos esenciales para su supervivencia [Crawley, 1997; Casanova, 2005].

En los SAF la presencia de leñosas perennes puede favorecer el incremento en la fertilidad del suelo, y por ende, beneficiar el desarrollo del estrato herbáceo. Algunos de los mecanismos más importantes involucrados en este efecto positivo de las leñosas perennes son: la fijación de nitrógeno (N), el reciclaje de nutrimentos, la mejora en la eficiencia de uso de nutrientes, el mantenimiento de la materia orgánica y el control de la erosión [Nair, 2004].

Estratificación vertical de los sistemas radiculares

Estratificar los sistemas radiculares de las diferentes especies podría resultar en el establecimiento de una distribución de raíces a través del desplazamiento vertical por otras especies más competitivas. Para ello, Schroth [1999] plantea algunas condiciones: 1) El sistema radicular de una primera especie debe de ser suficientemente competitiva para desplazar el sistema radicular de una segunda especie, de lo contrario las raíces se traslaparán (en algunas asociaciones esto debe de ser deseable; por ejemplo, en la asociación leguminosa-cultivo); 2) El sistema radicular de la especie desplazada debe poseer una alta plasticidad para responder a la restricción del crecimiento y compensarlo en profundidad; 3) El sistema radicular de la primera especie debe de ser de baja profundidad de enraizamiento con la finalidad de que la segunda especie logre

aumentar su crecimiento lateral por debajo de la primera especie; 4) Las condiciones del suelo deben permitir el crecimiento de las raíces en profundidad (e.g., el suelo no debe ser demasiado compacto, seco, e infértil, entre otros) con relación a la capa arable.

Para pronosticar la distribución de raíces de tales asociaciones y seleccionar las especies, se requiere de medidas cuantitativas de sistemas radiculares relevantes y de las características del suelo donde se desee que se desarrollen. En este sentido, las complicaciones surgen debido a que las condiciones bajo las cuales los sistemas radiculares se desarrollan están en constante cambio con el tiempo [Sinclair *et al.*, 1994].

Interacciones a nivel de raíz individual

Las restricciones del desarrollo lateral de la raíz y la formación de sistemas radiculares verticalmente estratificados en la zona de contacto de las raíces con el suelo, puede ser vista como diferentes mecanismos por los cuales las plantas se han desarrollado para evitar la competencia *inter* e *intra*-específica. Fenómenos similares han sido observados en el contexto de las raíces individuales, y la cuestión es si tales mecanismos también pueden ser ajustables para reducir los efectos de la competencia en SAF.

En un SAF se tiene que tomar en cuenta la distribución de las raíces de las especies en una superficie de suelo (e.g., arquitectura radical), para tener un punto inicial de estudio y poder observar las modificaciones que puedan existir en una planta asociada con otra. Porter *et al.* [1994] concluyeron que, altas densidades radicales promueven la competencia por nutrientes debido a la disminución de las distancias entre raíces de un mismo individuo (zonas de agotamiento). Asimismo, se ha comprobado que la competencia entre raíces de la misma especie es mayor que la competencia con plantas vecinas de otras especies [Rubio *et al.*, 2001].

Actividad radicular y competitividad

Es reducida la información en la literatura científica sobre la competencia entre plantas a nivel subterráneo; la mayoría de los ensayos realizados —acerca de la absorción de nutrientes, agua y arquitectura radical— han sido con un solo individuo, sin tomar en cuenta el factor de competencia que puede existir en una comunidad agroforestal. Para lograr un mejor entendimiento de estos mecanismos es necesario conocer algunos atributos de las plantas, como su capacidad de absorción, que están en función de la densidad radical [Escamilla *et al.*, 1991b; Tamayo, 2004].

En un estudio realizado bajo condiciones controladas [Casanova *et al.*, 2004], simulando un SSP, se evaluó la competencia por nutrientes en la asociación de *Panicum maximum* y *Leucaena leucocephala*, concluyendo que el crecimiento y distribución del sistema radicular de la leguminosa no afecta negativamente a la gramínea

forrajera asociada y viceversa, lo que nos indica la habilidad competitiva de estas especies.

En estudios recientes sobre SSP basados en la asociación de *L. leucocephala* (a una densidad de 5,000 plantas/ha) y *P. maximum*, se demostró que el SSP presenta mayor transferencia de biomasa de un nivel trófico a otro, comparado con el monocultivo de *P. maximum*, y que las raíces de *L. leucocephala* no compiten por agua con las raíces de la gramínea [Delgado *et al.*, 2003].

La cantidad de agua absorbida por las raíces de las plantas depende de la extensión, distribución y actividad de las mismas. Estas características del sistema radical son influenciadas por las condiciones físicas y químicas del suelo, así como también por las características genéticas de las variedades [Escamilla, 1991a; Avilán y Louis, 1998; Tamayo, 2004].

Patrones de crecimiento radicular

Para el estudio de productividad de ecosistemas vegetales y su relación con los recursos del suelo, la interfase más importante es el sistema radical como órgano que mantiene el crecimiento foliar, ya que éste es el sistema que tiene como función principal absorber agua y nutrimentos del suelo. La distribución de las especies dentro de un ecosistema natural estará en función de la competencia de dichas especies. La luz es el factor más importante para cuantificar competencia en la parte aérea del ecosistema. En la parte subterránea, la competencia por agua y nutrimentos rigen la presencia de especies. La forma en que el sistema radical compite por agua y nutrientes es más conocida por sus manifestaciones que por sus mecanismos. Sin embargo, su estudio es uno de los caminos más importantes para entender la relación suelo-planta en un ecosistema [Escamilla, 1999].

Las características de las raíces, particularmente su patrón de distribución (tanto vertical como horizontal), tienen un papel importante en el éxito de los sistemas agroforestales. Las especies de árboles con abundantes raíces superficiales pueden no ser preferidas por los sistemas donde los árboles y los cultivos crecen simultáneamente sobre la misma unidad de suelo, para evitar la competencia de raíces. Por ello es importante medir parámetros como biomasa radical, densidad radical, relación raíz-parte aérea, entre otros, lo cual permitirá conocer las características radicales y, por consiguiente, se podrán seleccionar las especies adecuadas para el éxito de los SAF [Tamayo *et al.*, 2004].

Manejo de interacciones radiculares

Los estudios de raíces pueden justificar mejoras en los sistemas de manejo y diseños existentes o la necesidad de implementar nuevos sistemas. Al implementar una

nueva práctica o sistema de manejo forestal se procura que las raíces de los diferentes componentes interaccionen positivamente. Sin embargo, en la práctica, siempre van a existir ventajas y desventajas para cada diseño de manejo forestal: toda mejora en la fertilidad y estructura del suelo, extracción de nutrientes y reducción de pérdida de recursos por lixiviación estará acompañada por algún grado de competencia, efecto alelopático o transmisión/difusión de plagas y enfermedades.

En un estudio realizado en Costa Rica [Schaller *et al.*, 2001], se evaluó la posibilidad de restringir la extensión lateral de raíces de eucalipto (*Eucalyptus deglupta*) de 12 y 16 meses de edad, mediante barreras vivas de gramíneas competitivas. Los resultados encontrados sugieren que las gramíneas no forzaron las raíces arbóreas a desarrollarse en profundidades mayores; al contrario, las raíces de los árboles fueron aún más superficiales cuando hubo gramíneas, lo que indica su habilidad de competencia por recursos.

En otro estudio [Chesney *et al.*, 2001] observaron el efecto de la intensidad de podas foliares (e.g., parciales y completas) sobre la distribución de biomasa de raíces finas y la acumulación de N en el follaje de *E. poeppingiana* de dos y ocho años de edad, en un sistema de cultivo en callejones bajo condiciones de trópico húmedo, concluyendo que las podas parciales son la mejor alternativa para aumentar el reciclaje de N del follaje hacia el suelo y con esto se reducía la mortalidad de las raíces finas.

La sensibilidad de los árboles a la competencia con gramíneas por nutrientes y agua, a nivel radicular, generalmente resulta en menores tasas de crecimiento y supervivencia, y es un problema común en la horticultura y silvicultura, así como en el establecimiento de árboles en praderas. Por otro lado, este efecto de las gramíneas ha sido empleado como barrera biológica en el crecimiento lateral de raíces de los árboles, para reducir el efecto de competencia con los cultivos adyacentes; por ejemplo, las raíces de plantas herbáceas competitivas restringieron el crecimiento lateral y aumentaron la extensión vertical de los sistemas radicales de los árboles [Neves *et al.*, 1998].

Manejo de raíces en SAF para reducir efectos negativos

Asociación de árboles con cultivos anuales

Para definir algunas características deseables de un árbol para cualquier tipo de sistema, es importante conocer y tener previsto cuál sería la principal función para su consideración dentro del sistema productivo. En cuanto a cualquier tipo de SAF, el resultado principal de la incorporación de árboles a los cultivos anuales debe poseer una clara finalidad en el sentido económico para ser atractiva e interesante para los agricultores, ya que al establecer árboles, se reduce el espacio disponible para el cultivo, lo cual es un inconveniente dentro del sistema. De este modo, para conseguir un

resultado importante y seguro en sistemas asociados, los árboles podrían aportar un producto equivalente (e.g., forraje, frutas, madera), o incrementar la cosecha, por lo menos a mediano plazo (aumentando la fertilidad del suelo; e.g., fijación de N, micorrizas, almacenamiento de C) [Schroth, 1999].

Una proporción considerable de la investigación en SAF se ha enfocado principalmente al uso de árboles leguminosos, ya que poseen la bondad de mejorar la disponibilidad de N y, por ende, la fertilidad del suelo [Lehmann *et al.*, 1998; Peter and Lehmann, 2000]. Sin embargo, la incorporación de árboles que no poseen un valor o producto comercial no es viable, ya que la competencia entre los árboles y los cultivos por el espacio, luz, y recursos del suelo, es solamente aceptable si es compensado a través de las ventajas claras con relación a los aumentos en la cosecha o su protección [Sánchez, 1995]. En este sentido, una limitación potencial para la utilización de tales árboles es que, las especies no competitivas no pueden ser tan eficientes como las especies competitivas en capturar nutrientes lixiviados y mejorar la estructura del suelo a través de la actividad radicular [Schroth, 1995]. Por tanto, un aspecto fundamental es conocer los indicadores de competitividad y eficiencia en la mejora del suelo por parte del componente arbóreo.

Asociación de árboles con gramíneas forrajeras perennes y cultivos de cobertura

Cuando las especies arbóreas son establecidas y asociadas con gramíneas perennes que sirven como forraje, la situación es contraria, hasta cierto punto, a la que se presenta en los sistemas de árboles-cultivos anuales. Inicialmente, las especies de gramíneas perennes poseen un sistema radicular más denso y profundo a diferencia de los árboles, y pueden competir severamente con las plántulas de árboles en desarrollo por agua y nutrientes [Dupraz *et al.*, 1998]. Además de la competencia directa por los recursos del suelo, existen interacciones químicas (alelopatía), de las cuales se sospecha que contribuyen a la agresiva competencia de algunas de las especies de gramíneas forrajeras perennes, como *Cynodon dactylon*, *Sorghum sudanense*, y *Sorghum halepense* [Faría-Mármol, 2005].

Las características deseables de los sistemas radiculares de los árboles son probablemente diferentes entre asociaciones. Si los árboles son cultivados en una pradera, éstos deben responder a la competencia de las raíces de los pastos a través del desplazamiento descendente de su sistema radicular; de este modo pudieran minimizar la competencia e incrementar el uso de los recursos del suelo. Además, las diferencias temporales entre la actividad de la raíz de los árboles y de los pastos serían deseables (complementarias) [Hauggaard-Nielsen and Jensen, 2005].

En las asociaciones de árboles con leguminosas herbáceas (e.g., cultivos de cobertura), es deseable una intensa exploración del suelo directamente por debajo del cultivo

por parte de las raíces de las especies arbóreas, debido a que se espera que los árboles se beneficien de mejoras del suelo que aporta el cultivo y tomen especialmente el N fijado que se libera de los residuos de la cosecha (desperdicios de las raíces en descomposición) y a través de los exudados de la raíz. La transferencia directa de nutrimentos del cultivo de cobertura hacia los árboles, vía acoplamiento de hongos (e.g., micorrizas), puede ser de menor importancia. La competencia entre los árboles y las cosechas por N, simultáneamente, puede estimular la actividad de la fijación de nitrógeno por las leguminosas [Twornlow, 2004]. De esta manera, son deseables aquellas especies arbóreas cuyos sistemas radiculares sean suficientemente agresivos con relación a los sistemas radiculares del cultivo asociado, y que no se manifiesten con un crecimiento lateral reducido o posean una baja plasticidad.

Por tanto, el manejo de los sistemas radiculares de las especies arbóreas debe favorecer su crecimiento lateral y explotación intensiva de los horizontes del suelo, por ejemplo; en la aplicación de fertilizante, donde este tiene que ser distribuido en un área suficientemente grande alrededor de los árboles, de modo que el crecimiento lateral de la raíz no sea deprimido por gradientes limitantes en la disponibilidad de nutrientes con el aumento de distancia al tallo.

Asociación de diferentes especies arbustivas

Los SAF estudiados con diferentes árboles o arbustos son plantaciones de cultivos perennes, especialmente café, cacao y té, asociados con especies arbóreas como sombra o protección. Otros ejemplos incluyen los solares altamente diversificados o las asociaciones más simples de diversas cosechas de árboles, tales como cacao con las palmas de coco [Mota de Brito *et al.*, 2002]. El objetivo principal en el diseño y manejo de estos sistemas puede ser que se eviten interacciones radiculares entre los árboles asociados tanto cuanto sea posible.

Una forma para controlar la competencia radicular entre los árboles utilizados como sombra y los cultivos perennes asociados, es mediante la regulación del espaciamiento y/o distribución de las diversas especies asociadas. Sin embargo, las asociaciones de cultivos perennes pueden presentar los problemas especiales en el manejo que se relacionan con el traslape de los sistemas radiculares [Sánchez, 1995].

Conclusiones

La presente revisión precisa la visión de que los sistemas radiculares de plantas asociadas actúan recíprocamente de muchas formas, desde una severa competencia, hasta la complementación y/o facilitación. Incluso donde se presenta competencia, ésta no es necesariamente negativa para el sistema en su totalidad, pueden presentarse me-

joras en el uso de los recursos del suelo y en el medio ambiente en general. Definir el grado de competencia que puede presentarse en estos sistemas asociados no es una tarea fácil. Sin embargo, es necesario para el diseño y manejo de los mismos.

La mayoría de medidas de manejo en sistemas agroforestales tiene, probablemente, cierta atribución en la forma y el funcionamiento de los sistemas radiculares dependiendo de la especie de la planta, y por lo tanto, en sus interacciones. En algunos casos, la información suficiente sobre sistemas radiculares nos ayudará a predecir el comportamiento en el desarrollo, la distribución y la actividad de las raíces en SAF que cambiarán como respuesta a una medida de manejo bien definida. Los sistemas radiculares obran recíprocamente y son influenciados por varios factores. En un futuro próximo, la información generada nos ayudará a decidir sobre qué especies de plantas y cuáles planes de manejo son los adecuados para los sistemas agroforestales. Es importante que a mediano plazo los investigadores implicados en el estudio de raíces concentren su esfuerzo al estudio de sistemas agroforestales, y a la importancia práctica de los procesos radiculares.

Literatura citada

- Avilán, R. L. y Louis, A. M. 1998. *Estudio del sistema radicular del frijol (Phaseolus vulgaris L. variedad carioca) por los métodos del monolito, sonda y radioisótopos en un suelo del orden alfisol*. Rev. Agro. Trop. 26 (2): 117-142.
- Casanova, L. F. 2005. *Interacción espacial y temporal de raíces de Leucaena leucocephala (Lam.) de Wit y Panicum maximum (Jacq.) en presencia de nutrientes bajo condiciones controladas*. Tesis de licenciatura. Instituto Tecnológico Agropecuario. Conkal, Yucatán. 63 pp.
- Casanova, L. F.; Guzmán, A. A.; Quintal, T. F.; Escobedo, M. J.; Ramírez, A. L. y Escamilla, B. J. A. 2004. *Distribución espacial y temporal de raíces de Leucaena leucocephala y Panicum maximum con fertilización química bajo condiciones controladas*. XL Reunión Nacional de Investigación Pecuaria. Mérida, Yucatán, México. 194 pp.
- Chesney, P. E.; Scholönvoigt, A.; Kass, D.; Vlek, P. y Murach, D. 2001. *Respuestas de las raíces finas y la acumulación de nitrógeno en el follaje de Erythrina poeppigiana después de podas parciales o completas*. Agroforestería en las Américas. 8(30): 48-51.
- Crawley, M. J. 1997. *Plant ecology*. Blackwell Science, Cambridge, UK. 736 pp.
- Delgado, G. H.; Ramírez, A. L.; Ku, V. J.; Velázquez, M. A. and Escamilla, B. J. A. 2003. *Root Density and Soil Water Relationships of a Silvopastoral System of the Tropical Region of Yucatan, Mexico*. Third International Symposium on the Dynamics of Physiological Processes in Woody Roots. Perth, Australia. 120 pp.
- Dupraz, C.; Simorte, V.; Dauzat, M.; Bertoni, G.; Bernadac, A. and Masson, P. 1998. *Growth and nitrogen status of young walnuts as affected by intercropped legumes in a Mediterranean climate*. Agrofor. Syst. (43): 70-81.
- Escamilla, B. J. A. 1999. *Estudios de suelos y de ecosistemas vegetales*. In: Orellana, R., Escamilla, B. J. A., y Larque, Saavedra, A. (Eds.). *Ecofisiología Vegetal y Conservación de los Recursos Genéticos*. Centro de Investigación Científica de Yucatán. Mérida. p. 121-123.

- Escamilla, B. J. A.; Comerford, N. B. and Neary, D. G. 1991a. *Spatial pattern of slash pine root distribution*. Soil Sci. Soc. Am. J. (55): 1716-1722.
- Escamilla, B. J. A.; Comerford, N. B. and Neary, D. G. 1991b. *Soil core-break method to estimate pine root distribution*. Soil Sci. Soc. Am. J. (55): 1722-1726.
- Faria-Mármol, J. 2005. *Estrategias de alimentación con pastos y cultivos forrajeros*. XII Congreso Venezolano Producción e Industria Animal. AVPA-INIA-UCV. Maracay. p. 235-238.
- Hauggaard-Nielsen, H. and Jensen, E. S. 2005. *Facilitative root interactions in intercrops*. Plant and soil (274): 237-250.
- Lehmann, J.; Peter, I.; Steglich, C.; Gebauer, G.; Huwe, B. and Zech, W. 1998. *Below-ground interactions in dryland Agroforestry*. For. Ecol. Manage. (111): 157-169.
- Matthews, R.; van Noordwijk, M.; Gijsman, A. J. and Cadisch, G. 2004. *Models of below-ground interactions: their validity, applicability and beneficiaries*. In: van Noordwijk M.; Cadisch G., and Ong, C. K. (Eds.). *Below-ground interactions in tropical agroecosystems concepts and models with multiple plant components*. CAB International. p. 41-60.
- Mota de Brito, A.; Vieira da Silva, G. C.; Cordeiro de Almeida, C. M. V.; e Gonçalves de Matos, P. G. 2002. *Sistemas agroflorestais com o cacaueteiro: uma tentativa de busca do Desenvolvimento sustentável do estado do Amazonas, Brasil*. Agrotróp. 14(2): 61-72.
- Nair, P. K. R. 2004. *Agroforestry: Trees in support of sustainable agriculture*. In: Hillel, H.; Rosenzweig, C.; Powlson, D.; Scow, K.; Singer, M. and Sparks, D. (Eds.), *Encyclopedia of Soils in the Environment*. Elsevier, London, U.K. p. 35-44.
- Neves, C. V.; Dechen, A. R.; Feller, C.; Saab, O. A. e Piedade, S. S. 1998. *Efeito do manejo do solo no sistema radicular de tangerineira "Ponca" enxertada sobre limoeiro "Cravo" em latossolo roxo*. Rev. Bras. Frut. (20): 246-253.
- Peter, I. and Lehmann, J. 2000. *Pruning effects on root distribution and nutrient dynamics in an acacia hedgerow plant in northern Kenya*. Agrofor. Syst. (50): 59-75.
- Pezo, D. e Ibrahim, M. 1996. *Sistemas silvopastoriles, una opción para el uso sostenible de la tierra en sistemas ganaderos*. En: Pastoreo intensivo en las zonas tropicales. I Foro Internacional FIRA/BANCO DE MÉXICO. Veracruz, México. 35 pp.
- Porter, P. S.; Comerford, N. B. and Escamilla, J. A. 1994. *Use of Thiesen Areas in Models of Nutrient Uptake in Forested Ecosystems*. Soil Sci. Soc. Am. J. 58 (1): 210-215.
- Rubio, G.; Walk, T.; Ge, Z.; Yank, X.; Liaok, H. and Lynch, J. P. 2001. *Root Gravitropism and Below-ground Competition among Neighbouring Plants: A Modelling Approach*. Ann. Bot. (88): 929-940.
- Russell, R. 1977. *Plant roots systems: their function and interaction with the soil*. McGraw-Hill Book Company, London. 298 pp.
- Sánchez, P. A. 1995. *Science in Agroforestry*. Agrofor. Syst. (30): 5-55.
- Schaller, M.; Schroth, G.; Beer, J. y Jiménez, F. 2001. *Interacciones radiculares entre Eucalyptus deglupta y gramíneas competitivas*. Agroforestería en las Américas. 8 (30):44-47.
- Schroth, G. 1995. *Tree root characteristics as criteria for the species selection and systems design in agroforestry*. Agrofor. Syst. (30):125-143.
- Schroth, G. 1999. *A review of belowground interactions in agroforestry, focussing on mechanisms and management options*. Agrofor. Syst. (43): 5-34.
- Simón, L.; Hernández, I. y Duquesne, P. 1995. *Efecto del pastoreo de Albizia lebbek Benth (algarrobo de olor) en el comportamiento de hembras bovinas en crecimiento*. Pastos y Forrajes. 18:67-71.
- Sinclair, F. L.; Verinumbe, I. and Hall, J. B. 1994. *The role of tree domestication in agroforestry*. In: Leakey RRB and Newton A. (Eds.) *Tropical trees: potential for domestication and the rebuilding of forest resources*, HMSO, London. p. 124-136.

- Tamayo, M. J.; Casanova, L. F.; Guzmán, A. A.; Quintal, T. F.; Ramírez, A. L. y Escamilla, B. J. A. 2004. *Descripción del componente radical de cinco especies leñosas como indicadores del potencial de establecimiento*. XXXII Congreso Nacional de la Ciencia del Suelo. [Versión electrónica en disco compacto]. León, Guanajuato, México.
- Tamayo, M. J. 2004. *Características radicales de cinco especies leñosas con potencial forrajero*. Tesis de licenciatura. Instituto Tecnológico Agropecuario No. 2. Conkal, Yucatán. 58 pp.
- Twornlow, S. 2004. *Increasing the role of legumes in smallholder farming systems*. The future challenge. In: Rachid Serraj (ed) *Symbiotic Nitrogen Fixation*. Sci. Publ. Inc. USA. 382 pp.

Recibido: Junio 19, 2007

Aceptado: Noviembre 6, 2007