

EXPERIMENTOS AGROFORESTALES DE CAMPO. CONTROL DE INTERFERENCIA ENTRE PARCELAS ¹

M.R. Rao ²

M. Govindarajan ³

En los experimentos de campo, los investigadores deben asegurarse que están midiendo los efectos reales de los tratamientos en diferentes parcelas y no la influencia de los tratamientos en parcelas adyacentes. Por supuesto, es inevitable algún grado de interferencia entre parcelas vecinas en los experimentos de campo. Al eliminar una o dos líneas en los lados y uno o dos m al final de las líneas, se elimina el efecto de interferencia entre parcelas en la mayoría de los experimentos con un cultivo anual. Sin embargo, en los experimentos agroforestales, la interacción entre parcelas puede ser extensiva debido a la dispersión lateral de las raíces y el dosel de los árboles. Si se rodean parcelas de sólo cultivos por todos sus lados con parcelas agroforestales, las raíces de los árboles pueden extenderse a las parcelas con cultivos y agotar en esa área los nutrientes y el agua. Como consecuencia, los rendimientos de los cultivos podrían ser ficticiamente bajos, desviando los indicadores del potencial agroforestal. Por esta razón se debe dar especial atención a la distribución y manejo de experimentos agroforestales para evitar esta interferencia.

Existen tres áreas principales de interferencia entre parcelas simultáneas y adyacentes. La primera es arriba del suelo, causada por el efecto de las parcelas con árboles de sombra o parcelas con cultivos de protección (abrigaño). La segunda es sobre el suelo, causada por el movimiento del agua y la hojarasca entre parcelas. La tercera es bajo el suelo, causada por la interferencia de raíces y la competencia por recursos entre parcelas.

De éstas, la tercera es la de mayor preocupación para los investigadores ya que es universal, puede parcializar seriamente los resultados y pasar desapercibida fácilmente. En este artículo, discutimos las formas de minimizar los tres tipos de interferencia, pero en nuestro enfoque la interferencia bajo suelo es la más imperceptible.

La interferencia bajo el suelo entre parcelas se debe a la rápida expansión de las raíces de los árboles por varios metros en todas direcciones, en busca de agua y nutrientes (Cuadro 1). La interferencia entre parcelas adyacentes de árboles es generalmente menos dañina que entre parcelas de árboles y no arbóreas, o parcelas sólo con cultivos, debido a que los árboles de crecimiento similar tienden a competir equitativamente.



La interacción entre parcelas en la experimentación agroforestal, puede ser extensiva debido a la dispersión lateral de las raíces y del dosel de los árboles. Maíz (*Zea mays*,) asociado con *Gliricidia* sp. Turrialba, Costa Rica (Foto D.Kass).

Sin embargo, las raíces de los árboles se expanden rápidamente hacia las parcelas de cultivos, debido a que los árboles dominan los cultivos y estos no ocupan el suelo durante todo el año. Esto resulta en un agotamiento del

¹ Traducido de Agroforestry Today, Enero-Marzo 1996, por Ariadne Jiménez, CATIE.

² Meka R. Rao es Coordinador del Programa Interacción de Componentes del ICRAF y de la Estación de Investigación Machakos. Su dirección es ICRAF, PO Box 30677, Nairobi, Kenya; FAX: +254 2 521 001; E-mail: mrao@cgnnet.com.

³ M. Govindarajan concluyó recientemente su Ph.D en Agroforestería en la Universidad de Florida, Estados Unidos

Cuadro 1. Expansión radicular lateral (ERL) de varias especies arbóreas en diferentes suelos y condiciones climáticas

Sitio	Precipitación	Suelo	Especies	ERL*(m)	Edad	Fuente
Hileras Machakos,	(mm) 740	Alfisoles	<i>Senna siamea</i>	6	(Años) 0.8	H Odhiambo, comun personal ICRAF
Kenya			<i>S. spectabilis</i>	6	0.8	idem
			<i>L. leucocephala</i>	7	4.0	los autores
Onne, Nigeria	2400	Ultisoles	<i>S. siamea</i>	5	6.0	Hauser (1993)
			<i>D. barteri</i>	15	6.0	Hauser (1993)
Arboles Machakos, Kenya	740	Alfisoles	<i>S. siamea</i>	13	4.0	Rao <i>et al.</i> (1993)
			<i>L. Leucocephala</i>	> 8	4.5	idem
			<i>Sesbania sesbania</i>	6	4.0	NA Saleem, comun personal ICRAF
Chiapata, Zambia	1000	Alfisoles	<i>S. sesban</i>	4	1.0	F Kwesiga, comun personal ICRAF
Mali, Nigeria	NA	Alfisoles	<i>Acacia seyal</i>	26	NA	Groot and Soumaré (1995)
			<i>Sclerocarya birrea</i>	50	NA	idem

agua y los nutrientes del suelo de las parcelas de solo cultivos, y en bajos rendimientos. Esto también resulta en acumulación de biomasa y concentración de nutrientes en parcelas agroforestales, llevando a un mejor crecimiento tanto de los árboles como del subsecuente cultivo. Esto puede entonces conducir a la sobreestimación de los beneficios de las tecnologías agroforestales y a una subestimación de los efectos negativos de la competencia, en el caso de sistemas agroforestales simultáneos.

Veamos por ejemplo, los resultados de un experimento de cultivo en callejones en el oeste de Kenya, en el cual se evaluaron seis especies arbóreas en parcelas de 28 m² (Otieno *et al.*, 1991). El rendimiento promedio de maíz en callejones rodeado por *Leucaena leucocephala* por estación fue de 2.5 t ha⁻¹, comparado con 1.72 t ha⁻¹ para las parcelas adyacentes con sólo maíz.

Se podría concluir que el cultivo en callejones ha mejorado el rendimiento del maíz en un 45%. Pero cuando se comparan los rendimientos del maíz en cultivo en callejones, con los de solo maíz dentro del experimento pero más allá de la posible influencia de las hileras de *Leucaena* (3.55 t ha⁻¹) es claro que el cultivo en callejones realmente disminuyó el rendimiento del maíz en un 30%. Entre más pequeña sea la parcela, mayor es la interferencia entre ellas y mayor la

magnitud del error en la comparación del tratamiento.

El grado de interferencia entre las parcelas depende de la especie arbórea, manejo, edad, tamaño de la parcela, suelo y condiciones climáticas (Cuadro 1). La poda generalmente reduce la expansión de las raíces de los árboles, pero existen diferencias notables entre especies todavía sin importar cómo se manejen los árboles.

Se encontró que la mayoría de las especies arbóreas manejadas como hileras expanden sus raíces entre seis y ocho m; mientras que las raíces de *Dactyladenia* se expanden hasta 15 m desde la base. En suelos ácidos, las raíces de los árboles son generalmente confinadas a profundidades superficiales, pero se expanden varios metros en forma lateral, debido a que los nutrientes están concentrados a pocos centímetros en el suelo y aquí la toxicidad por aluminio es baja.

CONTROL DE LA INTERFERENCIA BAJO EL SUELO

Existen varias formas de controlar la interferencia bajo el suelo entre parcelas. Un método es zanजार y podar las raíces entre parcelas. Una segunda forma es instalar barreras contra el crecimiento radicular entre las parcelas, y la tercera es aislarlas o proporcionar grandes "protectores" entre ellas.

ZANJEO

Cavar zanjas profundas entre las parcelas y cortar las raíces de los árboles puede reducir en gran medida la interferencia entre las parcelas. Las zanjas se vuelven a rellenar con tierra. Sin embargo, ésta no es una solución permanente a menos que se repita frecuentemente, debido a que las raíces se regeneran rápidamente y se vuelven a infiltrar en las parcelas adyacentes. La frecuencia del zanjeo depende de la especie arbórea, del suelo, de las condiciones de precipitación y de la distancia entre parcelas. La experiencia con especies de rápido crecimiento como *Sesbania*, *Leucaena*, *Senna* y *Calliandra* sugieren que el zanjeo es necesario una vez cada época de siembra o cada cuatro a cinco meses, convirtiéndolo en algo laborioso, particularmente en un experimento a largo plazo. Las zanjas se pueden dejar sin rellenar para evitar el crecimiento radical recurrente, pero las zanjas abiertas capturan la lluvia y el agua de escorrentía, y causan estancamiento. Si las zanjas son poco profundas, las raíces de los árboles pueden crecer debajo de ellas y hacia afuera en las parcelas adyacentes. Además, las zanjas abiertas y el suelo amontonado entre las parcelas obstruyen las labores de campo normales. Una solución es colocar una cobertura metálica sobre las zanjas a una profundidad de 10 a 20cm y luego colocar tierra sobre ésta, dejando una zanja cóncava para la mayor profundidad de raíces para cortarla y evitar su rebrote. Cualquier crecimiento en la capa delgada de la superficie del suelo puede ser controlado fácilmente por medio del cultivo normal.



En áreas donde hay dos estaciones lluviosas y dos cultivos cada año, la poda de raíces al inicio de cada estación puede contener en forma efectiva la expansión de las raíces. En áreas con una estación lluviosa, el zanjeo al inicio de las lluvias puede eliminar la interferencia de las raíces por esa estación, pero las raíces de los árboles pueden reinfiltrarse en las parcelas durante la larga

estación seca. Una solución para esto es cavar zanjas inmediatamente después de las lluvias y dejarlas abiertas hasta el inicio de las próximas lluvias, para evitar el crecimiento de las raíces durante el período sin cultivo. Una ventaja de las zanjas abiertas durante la estación seca es que éstas pueden capturar la hojarasca sobre el suelo, arrastrada por el viento y evitar la interferencia entre parcelas, que resulta de la expansión de la hojarasca sobre ellas. La hojarasca acumulada en las zanjas debe ser redistribuida en las parcelas fuente antes de cerrar las zanjas. Las zanjas deben cavarse tan profundas como el suelo lo permita -hasta dos m-, para cortar todas las raíces que interfieren. La profundidad de la zanja es particularmente importante en experimentos donde los suelos están sujetos a lixiviación de nutrientes o contienen nutrientes en lo profundo del perfil.

BARRERAS CONTRA EL CRECIMIENTO RADICULAR

Las barreras contra el crecimiento radical han sido utilizadas en su mayoría para estudios de competencia en cultivos intercalados. Sin embargo, también se pueden utilizar para evitar la interacción entre parcelas.

Las barreras más utilizadas son las láminas de polietileno, láminas de hierro galvanizado, mallas para exclusión de raíces y fibra de vidrio. También se pueden utilizar láminas de asbestos o paredes de ladrillo. Las barreras son colocadas verticalmente en trincheras rodeando las parcelas. Se utilizan para proporcionar una solución permanente a la interferencia entre las parcelas, pero la experiencia en la Estación de Investigación de Machakos del ICRAF, en Kenya y en otras partes, ha demostrado que las raíces sobrepasan fácilmente las barreras creciendo hacia abajo y extendiéndose hacia arriba en las parcelas adyacentes.

Las barreras de polietileno se rompen fácilmente y no resisten más de una estación. Todas las barreras tienen la desventaja de obstaculizar el flujo lateral del agua y de nutrientes, causando un problema interno de drenaje, particularmente

en terrenos con pendiente. La malla de exclusión de raíces es permeable al agua y los nutrientes, pero es cara y se ha encontrado que permite cierta penetración de las raíces (C.R. Ong, comunicación personal).

AISLAMIENTO DE PARCELAS

El zanjeo y las barreras radicales eliminan solamente las interacciones bajo el suelo pero el aislamiento de la parcela puede minimizar ambas interacciones sobre y bajo el suelo. Sin embargo, el área de protección requerida es grande, particularmente en el caso de los experimentos agroforestales a largo plazo con árboles sin podar y estas grandes áreas de protección incrementan los costos operacionales del estudio. Tampoco se puede practicar la técnica de aislamiento donde el terreno es limitado u ondulado. Cuando el área experimental es grande, la variabilidad entre parcelas también es mayor. Considerando que la interacción entre parcelas con y sin árboles es de mayor preocupación que la interacción entre parcelas con árboles, el requerimiento de tierra podría ser reducido, proporcionando extra protección solamente para parcelas con cultivos o manteniéndolas fuera del experimento. Si las parcelas de solo cultivo se mantienen fuera del estudio y por tanto no se incluyen en el análisis de variancia, entonces la variancia de las mediciones de las parcelas de un solo cultivo será diferente a la de las parcelas con árboles. Cualquier pérdida en la precisión estadística debido a esto, sin embargo, es menor comparado con la ganancia en precisión agronómica por medio de la evaluación realística de los tratamientos agroforestales, contra los tratamientos de solo cultivo. La precisión de esta comparación puede aún ser mejorada colocando solo cultivos al final de cada réplica para compensar la variabilidad del suelo.

El grado de separación de las parcelas requerido para evitar los efectos de la interferencia, depende de las especies arbóreas y de cómo éstas son manejadas, de la longevidad del experi-

mento y de la topografía del terreno. La guía principal es que las áreas de cosecha de las parcelas deben estar libres de interferencia, los cultivos deben crecer exactamente como lo harían si el campo completo fuese sometido al mismo tratamiento. La distancia de aislamiento o protección sería menor en experimentos que incluyan hileras que dentro de árboles sin manejo, debido a una menor expansión lateral de las raíces de las hileras. Los cultivos protectores deben ser cultivados y manejados de la misma forma que en las parcelas experimentales.

CONTROL DE INTERFERENCIA SOBRE EL SUELO

Los rodales forestales y las parcelas agroforestales con doseles densos y altos pueden afectar severamente las parcelas de cultivos anuales debido al efecto de sombra. Contrario a la interferencia bajo el suelo, la sombra no puede ser evitada, por lo que se debe tener cuidado en la planificación y distribución de las parcelas experimentales. La sombra puede no ser un problema entre parcelas con árboles de similar tamaño, ya que éstos se afectan uno al otro de igual manera durante el curso del día, pero es tan importante como la interface bajo el suelo. La sombra puede no ser un problema serio en ensayos de cultivo en callejones o cultivos intercalados en hileras, donde las hileras son podadas periódicamente. Pero si será un factor principal en estudios sobre combinación de árboles en sistemas de multiestratos y sistemas de barbecho arbóreo rotativo, debido a que éstos contienen parcelas con diferentes tamaños de doseles. Por ejemplo, en un experimento de barbecho rotativo con sesbania, sólo la sombra de un cultivar puro de *Sesbania sesban* de seis m de altura afectó las parcelas de maíz en monocultivo a una distancia de hasta cuatro m. Esto significa que para medir en forma exacta el rendimiento de maíz en una área de 5x5 m libre de sombra, se necesita una parcela de 13x13 m, si el cultivo está rodeado por todos sus lados por barbechos de sesbania.

La sombra entre parcelas puede ser manejada con una orientación apropiada de hileras, podas

laterales o superiores de los árboles en las hileras exteriores de las parcelas, teniendo parcelas más grandes para cultivos en monocultivo y aislando las parcelas de monocultivo de las parcelas con árboles en el estudio. La sombra es generalmente menor en hileras que corren de este a oeste, particularmente cercanas al ecuador. Con orientación nortesur, las parcelas al lado este y oeste recibirán sombra por largas horas en la mañana y en la tarde. En zonas más templadas, sin embargo, aún las hileras con orientación este-oeste pueden proporcionar algo de sombra sobre las parcelas adyacentes. La sombra puede ser reducida por medio de la poda lateral de las hileras en los bordes o inclinando las hileras exteriores hacia dentro de la parcela, con mallas de alambre tirante.

En terrenos con pendiente, se debe tener cuidado para prevenir que la escorrentía de una parcela afecte las otras parcelas. Primero, las parcelas deben estar ubicadas a lo largo de la pendiente adyacente a cada una en bloques a través de la pendiente. Segundo, los drenajes de captación deben ser instalados sobre el experimento y también entre bloques para desviar la escorrentía desde un bloque en la parte superior hacia afuera del área experimental.

Cuando la distribución de la hojarasca en las parcelas en los experimentos de barbecho arbóreo es un problema, se puede remediar estableciendo cortinas rompevientos o barreras con material muerto como mantas u hojas de palmeras contra el viento, con tallos de retención de cereal no cosechado en las parcelas a contra viento, con zanjas o combinando todos estos métodos.

Si los árboles proporcionan protección en las parcelas o cambian el microclima, los bloques de las parcelas deben ser ubicados en una hilera continua y no en líneas paralelas, de modo que la exposición al ambiente externo sea el mismo en todas las parcelas. Cuando el espacio en una dirección evita esto, las parcelas deben ser separadas por un cultivo protector grande, particularmente a contraviento.

CONCLUSIÓN

Ningún método por sí solo puede proporcionar la solución perfecta a la interferencia entre parcelas en experimentos agroforestales. Por lo tanto, es probablemente práctico y sabio considerar una combinación de dos o más de los métodos descritos anteriormente. Además, el zanjeo y la instalación de barreras se deben hacer a lo largo de los límites de todos los tratamientos agroforestales. Estas prácticas evitan que los árboles exploten los recursos fuera del área asignada y la expansión de enfermedades originadas en el suelo y nemátodos asociados con árboles, como el llamado agallador de la sesbania.

Los experimentos agroforestales tienden a ser de largo plazo, por lo que se debe tener cuidado desde el inicio en la planificación, distribución y manejo para evitar la interferencia entre parcelas, ya que es difícil corregir problemas a la mitad de un estudio. El permitir cualquier clase de parcialidad causada por la interferencia después del hecho de utilizar modelos estadísticos no es una solución práctica.

La experimentación agroforestal de campo es relativamente nueva, y el conocimiento sobre los patrones radiculares y los efectos competitivos de los árboles es todavía limitado. Los investigadores agroforestales deben tener esto en mente y reportar cualquier información que recopilen que pueda contribuir a mejorar la experimentación de campo.

BIBLIOGRAFÍA

- GROOT, J.J.R.; SOUMARÉ, A.** 1995. The roots of the matter: soil quality and tree roots in the Sahel. *Agroforestry Today (Kenya)* 7(1):9-11.
- HAUSER, S.** 1993. Root distribution of *Dactyladenia (Acioa) barteri* and *Senna (Cassia) siamea* in alley cropping on Ultisol: implication for field experimentation. *Agroforestry Systems (Holanda)* 24:111-122.
- OTIENO, H.J.O.; HEINEMAN, A.M.; MENGICH, E.K.; AMADALU, B.** 1991. AFRENA on station project Maseno, Kenya: progress report for the year 1991. Nairobi, Kenya: ICRAF. s.p.
- RAO, M.K.; MURAYA, P.; HUXLEY, P.A.** 1993. Observations of some tree root systems in agroforestry intercrop situations and their graphical representation. *Environmental Agriculture* 29:183-194. ◇