

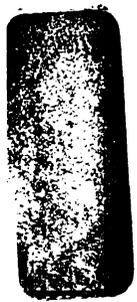
Apuntes de clase del curso corto: Sistemas Agroforestales

CATIE

gtz

Francisco Jiménez
Arturo Vargas
Editores

C838







Serie Técnica. Manual Técnico No.32

Apuntes de clase del curso corto:
Sistemas Agroforestales

**Francisco Jiménez O.
Arturo Vargas F.
Editores**

**Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza CATIE
Proyecto Agroforestal CATIE/GTZ
Turrialba, Costa Rica
1998**

El CATIE es una asociación civil, sin fines de lucro, autónoma, de carácter internacional, cuya misión es mejorar el bienestar de la humanidad, aplicando la investigación científica y la enseñanza de posgrado al desarrollo, conservación y uso sostenible de los recursos naturales. El Centro está integrado por miembros regulares y miembros adherentes. Entre los miembros regulares se encuentran: Belice, Costa Rica, El Salvador, Guatemala, Honduras, México, Nicaragua, Panamá, República Dominicana, Venezuela y el Instituto de Cooperación para la Agricultura (IICA).

El Proyecto Agroforestal CATIE/GTZ es un proyecto regional, a largo plazo, para la investigación, desarrollo y difusión de sistemas de producción agroforestales para empresas familiares pequeñas, medianas en zonas ecológicamente desprotegidas de Centro América. En el transcurso del período de fomento, la acción prioritaria se ha desplazado de la investigación y desarrollo a la diseminación regional de los resultados de investigación agroforestal.

© Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE), 1998.

ISBN 9977-57-312-3



634.99

A 655 Apuntes de clase del curso corto: sistemas agroforestales/
eds.: Francisco Jiménez, Arturo Vargas. - Turrialba, C.R.: CATIE.
Proyecto Agroforestal CATIE/GTZ, 1998. 360 p.; 28 cm.- (Serie técnica.
Manual técnico / CATIE; no. 32).

ISBN 9977-57-312-3

1. Sistemas agroforestales - Apuntes de clase - Cursos cortos.
I. Jiménez, Francisco, ed. II. Vargas, Arturo, ed. III. CATIE
Proyecto Agroforestal CATIE/GTZ IV. Título V. Serie.

Se autoriza la reproducción parcial o total de esta obra, únicamente para fines de capacitación, enseñanza e investigación, respetando los créditos del CATIE y de los autores.

Contenido

Presentación.....v

Prefacio.....vii

Somarriba, E.

luchas por
BD 1977
Capítulo 1: ¿Qué es agroforestería?..... 1

Anderson, L.; Sinclair, F.

NO
DS CATI
Capítulo 2: Interacciones ecológicas en los sistemas agroforestales..... 15

Kass, D.; Vargas, A.

Capítulo 3: Conocimientos básicos de suelos y agua para el manejo de sistemas agroforestales..... 85

Jiménez, F.

Capítulo 4: Clima y agroforestería..... 109

von Platen, H.; Köpsell, E.

Capítulo 5: Economía y sistemas agroforestales..... 127

Beer, J.

17
Capítulo 6: Ventajas, desventajas y características deseables en los árboles de sombra para café, cacao y té..... 169

Beer, J.; Luján, R.; Vargas, A.

Capítulo 7: Establecimiento y manejo de linderos con árboles maderables..... 187

Faustino, J.

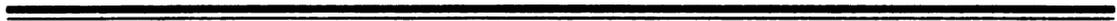
Capítulo 8: Cortinas rompevientos..... 203

Beer, J.; Kapp, G.; Lucas, C.; Vargas, A.

Capítulo 9: Taungya y sistemas agrosilviculturales permanentes..... 223

Kass, D.

Capítulo 10: Barbechos mejorados..... 239



Jiménez, J.; Kass, D.; Jiménez, F. Capítulo 11: El cultivo en callejones.....	257
Jiménez, J. Capítulo 12: Soportes vivos para la producción de cultivos.....	279
Ibrahim, M.; Camero, A.; Pezo, D.; Esquivel, J. Capítulo 13: Sistemas silvopastoriles.....	289
Benavides, J. Capítulo 14: Árboles y arbustos forrajeros: una opción agroforestal para la ganadería.....	315
Lok, R. Capítulo 15: Huertos caseros tropicales tradicionales: un nuevo enfoque.....	339

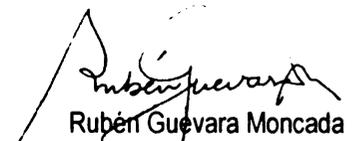
Presentación

La degradación de los recursos naturales se ha convertido, en las últimas dos décadas, en una problemática prioritaria para América Latina. Parte de la estrategia del CATIE para enfrentar y solucionar dicha problemática ha sido el diseño, la evaluación y la diseminación de sistemas mejorados de producción, que permitan incrementar la producción agrícola, pecuaria y forestal, sin afectar adversamente los recursos naturales y la calidad ambiental. Esto se enmarca bajo el lema y filosofía institucional de "Producir conservando y conservar produciendo".

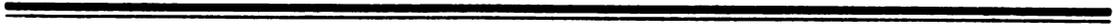
Entre las actividades que realiza el CATIE destacan la investigación, la capacitación, la enseñanza y la transferencia de tecnología sobre sistemas agroforestales, área en la cual se ha logrado acumular una amplia experiencia y liderazgo regional por más de cuatro décadas. En el campo de la capacitación, un ejemplo de este esfuerzo sostenido es el curso "Desarrollo de Sistemas Agroforestales", que se ha impartido anualmente desde 1986 y que ha permitido capacitar a más de 180 técnicos de toda América Latina. Con el fin de documentar, diseminar y proyectar los conocimientos y las tecnologías agroforestales transferidas a los participantes de este curso, nos complace poner a disposición de los lectores, esta compilación de apuntes del curso en mención. El documento es el resultado de un esfuerzo conjunto por parte de profesores/investigadores y funcionarios del Área de Cuencas y Sistemas Agroforestales (ACSAF) del CATIE. Además, se incluyen contribuciones de otros reconocidos expertos internacionales en el campo agroforestal.

El documento fue desarrollado con el fin de responder a la sentida necesidad regional de contar con textos sobre sistemas agroforestales, en idioma español, para ser utilizado en la capacitación y enseñanza, así como para enriquecer el conocimiento de los que se inician o ya trabajan en el campo agroforestal. En este contexto, se espera que el documento sea una herramienta importante para lograr un mejor entendimiento y, por ende, un uso más frecuente de la agroforestería por parte de los técnicos, capacitadores, educadores y promotores del desarrollo rural de la región.

A largo plazo, se espera que este material contribuya a lograr una mejor y más amplia diseminación y adopción de los sistemas agroforestales en América Latina, como opciones sostenibles de producción agropecuaria y forestal.



Rubén Guevara Moncada
Director General



Prefacio

Desde 1986, el CATIE ha venido impartiendo anualmente en su sede en Turrialba, Costa Rica, el curso internacional "Desarrollo de Sistemas Agroforestales". Este evento tuvo una duración de 12 semanas, excepto los dos últimos años, que se redujo a seis semanas. Durante el periodo 1986-1997 se han recibido más de 600 solicitudes de admisión al evento y han participado 183 técnicos provenientes de 19 países de América Latina. Los diez primeros años de este curso fueron patrocinados por la Agencia Japonesa de Cooperación Internacional (JICA); El Fondo Mundial para la Naturaleza (WWF) y el CATIE patrocinaron el evento de 1996 y la Agencia Alemana de Cooperación Técnica (GTZ) lo hizo en 1997. La selección de los participantes se realiza con base en la capacitación y educación previa de los postulantes, la experiencia y participación actual en proyectos agroforestales, la recomendación de las organizaciones, redes, instituciones nacionales y gobiernos respectivos y su potencial como agente multiplicador de los conocimientos agroforestales que van a recibir.

El objetivo de este curso es capacitar a los participantes en describir, caracterizar, entender la interacción de componentes, evaluar, diseñar y mejorar los sistemas agroforestales, tomando en cuenta aspectos socioeconómicos, culturales, biofísicos y ambientales.

La metodología de enseñanza-aprendizaje utilizada en el curso consiste de: clases teóricas sobre los principios fundamentales de los sistemas agroforestales, su caracterización, metodología de estudio, diseño y manejo; clases prácticas sobre el uso de información incluyendo uso de la biblioteca, programas informáticos para el análisis económico de sistemas agroforestales; visitas a actividades de investigación agroforestal relevantes y a sitios donde son practicados diferentes sistemas tradicionales; una revisión de literatura sobre un aspecto particular de interés de los sistemas agroforestales; análisis y estudios de casos en un área de Costa Rica en los cuales los sistemas agroforestales son caracterizados, analizados y rediseñados para lograr una mayor eficiencia, utilizando los conceptos, métodos y técnicas desarrolladas en el curso. Más de 50 profesionales del CATIE y otras instituciones han participado en el curso como Instructores.

A partir de 1998 se introdujeron algunos cambios en este curso. Se estableció que el evento será modular, dirigido principalmente, a "capacitar capacitadores" con el propósito de lograr un efecto multiplicador en el número de personas involucradas en el proceso de capacitación y en la diseminación de los sistemas y tecnologías agroforestales. Paralelamente, El Proyecto Agroforestal CATIE-GTZ creó la serie de publicaciones "Módulos de Enseñanza Agroforestal", que servirán de material didáctico básico para la mayoría de eventos de capacitación agroforestal que se impartan, incluyendo este curso. El

sistema modular del evento permitirá a los participantes priorizar y seleccionar los sistemas agroforestales de mayor interés para él y su institución o proyecto, sobre los cuales quiere recibir la capacitación.

Además, se consideró oportuno documentar parte de los contenidos temáticos desarrollados por los instructores en los cursos de los años anteriores, con tres objetivos principales: disponer de material didáctico de apoyo para el curso en mención y otros eventos de capacitación agroforestal que realizan, tanto los instructores del CATIE, como los capacitadores preparados por el Centro para ese fin; contribuir al conocimiento y la difusión de la Agroforestería en América Latina y responder a la necesidad existente en esta región de materiales básicos, en idioma español, sobre las principales tecnologías agroforestales y sus bases biofísicas, socioeconómicas y ambientales. Así, el grupo meta de esta publicación lo constituye los técnicos, promotores, capacitadores y docentes involucrados de una u otra manera con la agroforestería en América Latina.

El libro está estructurado en dos partes; una primera llamada Bases de la Agroforestería donde se analizan aspectos conceptuales, biofísicos, económicos y ambientales y una segunda parte denominada Tópicos Agroforestales donde se tratan con mayor detalle diferentes sistemas, tecnologías y prácticas agroforestales. Se debe tener presente que la mayoría de estos documentos corresponden a notas de clase de algunas de las charlas del curso antes mencionado, donde las limitaciones de tiempo no permitían tratar con más detalle y amplitud los temas. Se espera que este esfuerzo del CATIE a través del Área de Cuencas y Sistemas Agroforestales y de su Proyecto Agroforestal CATIE/GTZ sirva al propósito de un manejo integrado de los recursos naturales y una agricultura sostenible en todos sus componentes.

Los editores
Turrialba, Costa Rica
Octubre de 1998

¿Qué es Agroforestería?*

Eduardo Somarriba

- **Resumen**
- **Introducción**
- **La metodología del análisis**
- **Conceptos en la definición agroforestal**
- **Conclusiones**
- **Bibliografía**

*Publicado también en: el Chasqui (Costa Rica) 24: 5-13

¿ Qué es agroforestería?

Resumen

En este trabajo se analizan los conceptos utilizados por varios autores para definir la Agroforestería y se discuten, en detalle, algunos temas "oscuros" de la disciplina agroforestal (interacciones biológicas y económicas, secuencias temporales, etc.). El objetivo es despojar a la definición de todo elemento innecesario y arribar a una definición sencilla que contenga la esencia del concepto agroforestal.

Se obtuvo la siguiente definición: Agroforestería es una forma de cultivo múltiple en la que se cumplen tres condiciones fundamentales: 1) existen al menos dos especies de plantas que interactúan biológicamente, 2) al menos uno de los componentes es una leñosa perenne y 3) al menos uno de los componentes es una planta manejada con fines agrícolas (incluyendo pastos).

Introducción

Los primeros intentos para definir la Agroforestería se remontan a 1977-1979 (Bene *et al.*, 1977; Combe y Budowski, 1979). Así, Combe y Budowski (1979) mencionaban: "la Agroforestería es el conjunto de técnicas de manejo de tierras, que implican la combinación de los árboles forestales, ya sea con la ganadería, o con los cultivos". Se mencionaba explícitamente la participación del elemento árbol y a veces se exigía la presencia del componente "forestal", el cual, en la mayoría de las ocasiones, tiene la connotación de "maderable" o sujeto de las técnicas de la silvicultura clásica. Posteriormente se propuso (y se aceptó inmediatamente) el término "leñoso perenne" en sustitución de "árbol" (Lundgren y Raintree, 1982).

Paralelamente a la evolución del concepto "árbol", se dieron dos fases en el desarrollo de la definición (ver otros aspectos de la historia de la Agroforestería en King, 1989; Robinson, 1985). Primero, se ofrecieron definiciones muy extensas que más bien parecían una lista de atributos deseables (ver Wiersum, 1981 y varios autores en *Agroforestry Systems*, 1981). Posteriormente, se trató de darle a la Agroforestería un contenido más realista y acorde con la experiencia acumulada durante los primeros años de vida de la disciplina. Las definiciones se hicieron más cortas y explícitas. Así, Nair (1985) enunciaba: "agroforestry represents an approach of integrated land use that involves deliberate retention or admixture of trees and other woody perennials in crop/animal production fields to benefit from the resultant ecological and economic interactions". ("La Agroforestería representa un enfoque en el uso integral de la tierra, que involucra una mezcla o retención deliberada de árboles y otras leñosas perennes en el campo de la producción agropecuaria, que la misma se beneficie de las interacciones ecológicas y económicas resultantes").

Sin embargo, una inspección de la práctica actual de la disciplina, sugiere que la necesidad de definir objetivamente el concepto agroforestal aún persiste. Se está en una fase de expansionismo (acritico) del concepto y hoy en día casi "cualquier cosa" puede ser Agroforestería. Tratando de definir "agricultura" Spedding (1988) enunció: "...it is a worthwhile and challenging occupation to try and define anything we wish to discuss, provided that we remember to make the definition a useful one. By "useful" is meant that it enables us to distinguish between the things defined and other things...". ("...es una actividad valiosa y desafiante el tratar de definir cualquier cosa que deseemos discutir, con la condición de que tengamos en mente que debe ser una definición útil. Por "útil" se quiere decir que permita distinguir entre las cosas que se quieren definir y el resto").

Este trabajo tiene como meta, arribar en forma objetiva a una definición que contenga la esencia del concepto agroforestal. En este proceso, se analizan los elementos comunes en las definiciones agroforestales propuestas hasta hoy día y se despoja al concepto agroforestal de una serie de características adscritas, pero no esenciales, a su definición. Como corolario, se pretende acotar el ámbito del concepto y así regular el expansionismo actual de la disciplina.

La metodología del análisis

En el análisis se parte de una definición hipotética (proto-definición) muy detallada y extensa y se realizan aproximaciones sucesivas a una definición final más concisa y general. La proto-definición se obtuvo agregando los elementos mencionados por varios autores en sus intentos de definir Agroforestería. En esta composición se evita el análisis de los aspectos de terminología y de clasificación tan confusamente mezclados en la literatura agroforestal (Lundgren y Raintree 1982).

El acortamiento de la definición, en las aproximaciones sucesivas, se basa en discusiones lógicas de un conjunto de ejemplos hipotéticos convenientemente escogidos, que permiten destacar contradicciones o aspectos robustos de cada concepto usado en la proto-definición. En el análisis se retienen como parte de la definición, únicamente los elementos que son necesarios para especificar la naturaleza agroforestal de una forma de uso agrícola (*sensu lato*) de la tierra.

Conceptos en la definición agroforestal

Tomando los conceptos presentados por varios autores (Combe y Budowski 1979; Wiersum 1981; Nair 1985, 1989; varios autores en *Agroforestry Systems*, 1981) se llega a la siguiente proto-definición:

La Agroforestería es un sistema de uso de la tierra donde leñosos perennes (LP) interactúan bioeconómicamente en una misma área con cultivos y/o animales. Estos elementos pueden estar asociados en forma simultánea o secuencial, en zonas o mezclados. Las formas de producción agroforestal

son aplicables tanto en ecosistemas frágiles como estables, a escala de campo agrícola, finca o región, a nivel de subsistencia o comercial. El objetivo es diversificar la agricultura migratoria, aumentar el nivel de materia orgánica en el suelo, fijar nitrógeno atmosférico, reciclar nutrientes, modificar el microclima y optimizar la producción del sistema, respetando el principio de rendimiento sostenido. Se exige compatibilidad con las condiciones socioculturales de la población y servir para mejorar las condiciones de vida de la región.

Lo superfluo en la definición de Agroforestería

Una observación salta a la vista: ciertos elementos de esta proto-definición son aplicables en unos casos y en otros no. Por ejemplo, fijación de nitrógeno sólo podría esperarse con las leguminosas u otras plantas que son capaces de fijar nitrógeno atmosférico. Por otro lado, si la Agroforestería es aplicable en toda la gama de posibilidades latitudinales, ecológicas y económicas, entonces, ¿para qué mencionarla en la definición?

Además, la compatibilidad sociocultural es un requisito indispensable de cualquier forma de uso de la tierra (FUT), es decir, no es una exclusividad de la Agroforestería. Finalmente, el rendimiento sostenido puede o no, ser la meta de toda FUT. Por ejemplo, una gramínea de porte alto plantada entre hileras de una leñosa perenne forrajera, manejadas ambas especies en un sistema de corte y acarreo, sin fertilización, es un ejemplo agroforestal que puede ser no sostenible (ver también Agroforestry Systems, 1981).

De este modo, una «primera aproximación» a la definición agroforestal, que contenga únicamente lo esencial de la Agroforestería podría ser:

La Agroforestería es una FUT que satisface cinco requisitos: 1) es una forma de cultivo múltiple, 2) al menos uno de los componentes es una leñosa perenne, 3) los componentes interactúan biológica y/o económicamente, 4) los componentes se presentan en arreglos espaciales y temporales y, 5) permite una producción diversificada.

Arreglos espaciales o temporales

La especificación de arreglos espacio-temporales en la definición agroforestal es una redundancia innecesaria. La producción de dos o más bienes o servicios en una misma unidad de tierra, lleva implícita la consideración de arreglos espacio-temporales. El valor de especificar la existencia de estos arreglos no está en su contribución para definir Agroforestería, sino más bien, en su contribución para clasificar ejemplos agroforestales.

Diversificación de la producción

Algunos autores (King 1979; Kapp 1989) han propuesto que monocultivos de LP de usos múltiple (por ejemplo plantaciones de nogal para fruta y madera y agua, etc.) pueden considerarse como sistemas agroforestales. Sin embargo, la Agroforestería debe, en principio, satisfacer la condición de cultivo múltiple. El uso múltiple no es condición suficiente para catalogar como agroforestal a una FUT.

Por otro lado, las bondades de la diversificación (estabilidad de ingresos y minimización de riesgo) no son exclusividad agroforestal. Por ejemplo, cultivos múltiples con anuales (no necesariamente agroforestales) tienen estos mismos efectos (Steiner, 1984). Las bondades surgen, no por la inclusión del componente LP sino del cultivo múltiple mismo. Obviamente, la producción diversificada (de bienes y/o servicios) es una característica intrínseca a la existencia de dos o más componentes en el sistema y podría excluirse de la definición. Una «segunda aproximación» a la definición agroforestal sería:

La Agroforestería es una FUT que satisface tres requisitos: 1) es una forma de cultivo múltiple, 2) al menos uno de los componentes es una LP, y 3) los componentes interactúan biológica y/o económicamente.

La naturaleza de las interacciones agroforestales

En las definiciones agroforestales existentes, la expresión "...componentes que interactúan biológica y/o económicamente..." implica que la existencia de interacciones económicas es una condición suficiente para caracterizar la naturaleza agroforestal de una FUT. Sin embargo, imaginemos el caso de un agricultor que tenga una finca de pastos en Costa Rica y plantaciones forestales en Brasil. A nivel de unidad empresarial siempre hay interacción económica entre los pastos en Costa Rica y los pinos en Brasil, a pesar de que el contacto biológico entre estas unidades de producción es nulo ¿Es esto Agroforestería? Si aceptamos este ejemplo como una forma de uso agroforestal de la tierra (FUAT), debemos estar listos para aceptar que la tierra es una planeta agroforestal. Por otro lado, en una FUT (sea esta una FUAT o no) en la que los componentes interactúan biológicamente entre sí, siempre se puede obtener una representación económica de estas interacciones (ya sean éstas positivas o negativas).

La magnitud de las interacciones forestales

Algunos autores (Agroforestry Systems, 1981; Lundgren y Raintree, 1982) han indicado que las FUAT se caracterizan por la existencia de interacciones "significativas" entre componentes ¿Pero, qué es una interacción significativa? La subjetividad (arbitrariedad) al establecer límites a este concepto puede ser muy grande.

Una finca de 1000 ha de pasto, con un árbol de pino en el centro ¿Es Agroforestería? ¿Cambiaría nuestra apreciación si la finca es de 0,10 ha? En el primer caso, la contribución de este árbol al total de

interacciones biológicas de la finca es insignificante. El mismo árbol tendrá un fuerte efecto si la finca es de solo 0,1 ha. El extremo de este proceso sería aquel donde se cuenta únicamente con el árbol y su retorno más inmediato, que todavía incluya pasto. Obviamente, la contribución relativa del árbol al total de interacciones es dependiente de la selección de los límites espaciales del sistema, pero no afecta al hecho de que las interacciones siempre estuvieron presentes.

El volumen total de interacciones biológicas entre componentes depende de la proporción entre componentes y de los arreglos espacio-temporales utilizados. Mil árboles de pino en 500 ha de pasto generan más interacciones que un solo árbol en la misma área. Por otro lado, en una finca de 1000 ha con un bloque de pino de 500 ha contiguo a otro bloque de pasto de igual tamaño, el volumen de interacciones que ocurren en la franja "ecotono" pino-pasto será menor al que se presentaría en una finca con cinco bloques de pino de 100 ha cada uno y cinco de pastos de igual tamaño, dispuestos como en un tablero de ajedrez. Además, este arreglo tendría un volumen total de interacciones menor al que se presentaría si se siguen fraccionando los bloques tanto como sea posible de modo que se pueda llegar a un arreglo de franjas de pino intercaladas con franjas de pasto, en algo muy parecido a un "alley cropping" (cultivo en callejones).

Del análisis de la naturaleza y magnitud de las interacciones entre componentes en una FUAT, podemos concluir que: 1) se exige que los componentes interactúen biológicamente entre sí; la existencia de interacciones económicas entre componentes no es una condición suficiente para caracterizar la naturaleza agroforestal de una FUT y 2) por ser la magnitud de las interacciones completamente dependiente de la escogencia de los límites del sistema, de las proporciones entre componentes y de los arreglos espacio-temporales utilizados, el concepto de "interacción significativa" no puede ser utilizado objetivamente para caracterizar la naturaleza agroforestal de una FUT; es la mera existencia de interacciones biológicas la única condición necesaria.

Con base en los resultados anteriores se puede presentar la tercera aproximación a la definición:

La Agroforestería es una FUT que satisface tres requisitos: 1) es una forma de cultivo múltiple, 2) al menos uno de los componentes es una LP, y 3) los componentes interactúan biológicamente.

Esta definición incluye ejemplos tales como "alley cropping" (cultivo en callejones), "taungya", maderables como sombra de cultivos perennes, cultivos anuales o pastoreo bajo cultivos perennes, etc. Sin embargo, también incluye ejemplos tales como eucalipto-pino o cualquier otra mezcla de dos o más especies maderables. Muchos dirán inmediatamente que esto no es Agroforestería. Entonces, se debe imponer alguna restricción adicional a los elementos fundamentales usados en la definición.

Leñosas y maderables

Una inspección de los ejemplos que caben dentro del ámbito de esta definición y que además son aceptados como ejemplos agroforestales, indica que la única característica adicional capaz de discriminar (excluir) ejemplos de combinaciones de dos o más maderables, es exigir que al menos uno de los componentes sea una planta manejada con fines agrícolas (incluyendo pastos). Esta misma idea ha sido sugerida anteriormente por Huxley (1983).

De este modo, una cuarta aproximación puede ser:

La Agroforestería es una FUT que satisface cuatro requisitos: 1) es una forma de cultivo múltiple, 2) al menos uno de los componentes es una LP, 3) los componentes interactúan biológicamente y 4) al menos uno de los componentes es una especie manejada con fines agrícolas (incluyendo pastos).

La definición resultante incluirá ejemplos tales como cacao-café y cualquier otra combinación de perennes con perennes. Aquí vale la pena un análisis detallado. La mayoría (quizás todos) los profesionales en Agroforestería considerarán el cultivo de cacao, bajo caucho o coco, como Agroforestería. La claridad de la decisión se pierde cuando se trata de ejemplos como cítricos con macadamia o con aguacates. Muchos dirán que estos ejemplos son solamente casos de cultivos múltiples con perennes.

La claridad de la naturaleza agroforestal de estos ejemplos desapareció debido a: 1) pérdida de la estructuración vertical del sistema y 2) ausencia de (al menos) un componente con funciones "arbóreas". Sin embargo, existen numerosos ejemplos en la literatura agroforestal de sistemas sin estructuración vertical. Por ejemplo, es fácil imaginar un cultivo en callejones (un ejemplo agroforestal típico) donde la LP es podada frecuentemente a baja altura de modo que no se presentan diferencias de altura con el cultivo (por ejemplo maíz).

Por otro lado, con germoplasma y manejo adecuado, las plantaciones de LP pueden realizar muchas funciones "arbóreas" (leña, madera, sombra, ciclaje de nutrientes, gomas, frutas, etc.). Por ejemplo, combinaciones de cítricos con nogal en el noreste de México, producen frutas y madera. El manejo puede diseñarse para producir preferencialmente madera o fruta, pero no puede cambiar la naturaleza esencial del sistema. De lo contrario, un mismo sistema que produce cantidades significativas de madera en Indonesia será catalogado como agroforestal y no lo será en México donde el objetivo es producir fruta.

El componente animal

Varias definiciones comúnmente citadas (Nair, 1985; Combe y Budowski, 1979; Lundgren y Raintree, 1982), sugieren que una FUT puede estipularse como agroforestal en casos donde se cuenta con una LP y animales. Sin embargo, en ninguno de los casos queda claro si los enunciados "...deliberate retention or admixture of trees or other woody perennials in crop/animal production fields..." (...la retención o mezcla deliberada de árboles u otros y otras leñosas perennes en producción animal o agrícola...) y "...la combinación de los árboles forestales, ya sea con la ganadería o con los cultivos..." abarcan sistemas constituidos únicamente por una LP y animales (es decir, la leñosa como fuente única de forraje), o si asumen implícitamente que se trata de pastizales donde se introduce una LP como un segundo componente vegetal.

Es bastante probable que exista una LP capaz de satisfacer todas las necesidades nutricionales de los animales, ya sea en pastoreo directo o en estabulación y corte. Si se planta toda la finca con esta especie ¿Es esto Agroforestería? La condición ineludible de cultivo múltiple indica que no. La etiqueta agroforestal exige que entre la LP y el animal, medie otra planta manejada (es decir, que existan al menos dos especies de plantas). Esta segunda planta puede ser herbácea u otra LP. La presencia de animales no es condición ni suficiente, ni necesaria en una FUAT. Este resultado ya había sido sugerido por otros autores (Agroforestry Systems, 1981; Huxley 1983).

Por analogía, la apicultura en plantaciones forestales puras o en cultivos perennes monoespecíficos y probablemente la piscicultura en manglares, no pueden catalogarse como ejemplos agroforestales. Pastoreo directo o apicultura en bosques naturales diversos son casos problemáticos. Por un lado, en ambos casos media más de una especie vegetal, pero el adjetivo de "planta manejada" con fines agrícolas es completamente dudoso. Estas formas de uso de la tierra, son completamente equivalentes al caso de las tribus que se dedican a recolectar (no a cultivar, ni a manejar) productos del bosque ¿es eso Agroforestería? La posición es difícil de sostener.

Acogiéndonos al concepto de "cultivo múltiple" imprescindible en Agroforestería, será necesario etiquetar como FUAT únicamente a los sistemas manejados con fines agrícolas. Esta exigencia excluye del ámbito agroforestal muchos ejemplos de lo que conocemos como "range management" (ordenación de praderas arboladas). No podrá catalogarse como un ejemplo agroforestal un claro de bosque en el que crecen herbáceas al pie de unos árboles. Tampoco lo serán las sabanas arboladas con animales silvestres en África.

Los bancos de proteína son ejemplos (aceptados como FUAT) donde se cuenta con dos componentes vegetales espacialmente separados (pastos y lotes de LP) y un componente animal. La separación entre lotes es una condición similar a la finca con pino y pasto usada como ejemplo en

secciones anteriores. En la ausencia de animales, las interacciones agroforestales se restringen a las áreas de "ecotono" entre el pasto y la LP. Por ejemplo, visualicemos una finca con un lote de pasto de 400 ha, adyacente a uno de leucaena de 1 ha y tracemos un transecto abarcando ambos lotes (por ejemplo de 10 m de ancho atravesando 100 m de leucaena y de 2000 m de pasto). Porciones del pasto a 2000 m de distancia no tendrán ningún efecto sobre las plantas de leucaena, de modo que se puede reducir la porción del transecto sobre el pasto hasta llegar a un momento donde se den estos efectos. Lo mismo es aplicable en los 100 m de transecto sobre la leucaena. La franja de transecto donde se dan interacciones, es decir, el "ecotono" entre el pastizal y el lote de leucaena, es por definición, una FUAT. En la ausencia de animales, en un banco de proteína, la etiqueta agroforestal es aplicable únicamente en esta franja de "ecotono".

Aunque inusual, es posible diseñar una finca que solo produzca forraje de pasto y de leucaena, plantada esta última en hileras espaciadas convenientemente para permitir la producción de pasto en los callejones. La finca no tiene animales, solo vende forrajes; la finca es una FUAT porque toda el área es en realidad un "ecotono". Los ejemplos de cultivo en callejones derivan su naturaleza agroforestal de este mismo concepto.

Las FUT que incluyen animales son particularmente ilustrativas de lo que podríamos llamar "interacciones directas a distancia". Visualicemos el caso de animales con pastoreo directo en pastizales, pero suplementados con forraje cortado en lotes de leucaena fuera de la finca (para hacer el ejemplo aún más extremo). El ganado actúa como un vector de nutrientes, semillas, etc. los cuales tienen efectos directos sobre el crecimiento, producción, etc. del pasto. La misma situación se obtendría si los animales pastorearan directamente en el lote de leucaena, con suplementación de pasto cortado fuera de la finca. Generalizando, una finca con lotes de pasto y de leucaena separados espacialmente, pero conectados por el movimiento de los animales, cuenta con interacciones directas a distancia que obligan a considerarlo como una FUAT.

De los análisis presentados arriba podemos llegar a la quinta y última aproximación:

La Agroforestería es una FUT que satisface cinco requisitos: 1) es una forma de cultivo múltiple, 2) al menos uno de los componentes es una LP, 3) los componentes interactúan biológicamente, 4) al menos uno de los componentes es una especie manejada con fines agrícolas y 5) existen al menos dos especies vegetales.

La escala temporal

Antes de concluir el análisis, vale la pena discutir algunas implicaciones "un poco incómodas", que surgen de la posibilidad de que los componentes de una FUAT estén dispuestos en arreglos espaciales

o temporales. Anteriormente se indicó que este tipo de enunciado no debe incluirse explícitamente en la definición, pero que la existencia de tales arreglos es una característica intrínseca a toda FUAT.

La agricultura migratoria es considerada como una FUAT (Raintree y Warner, 1986). Sin embargo, vale la pena analizar varios escenarios que ilustran lo complejo de esta posición. Se puede imaginar la situación en que un agricultor en la selva amazónica cultiva una hectárea de terreno con cultivos anuales durante un año y deja la tierra en barbecho durante 100 años. Durante este período, la comunidad indígena extrae productos de la selva (frutas, leña, madera para construcciones, etc.), pero, en general, no maneja el barbecho. En el año 101, un nuevo agricultor tumba el bosque y desarrolla otro ciclo agrícola de un año, antes de abandonar la tierra durante otros 100 años.

El ejemplo anterior ¿Es Agroforestería? Muchos dirán que no, aduciendo que no hay manejo deliberado (Lundgren y Raintree, 1982; Nair, 1985, 1989), que la escala temporal entre la fase agrícola y la forestal no es "significativa", etc. Sin embargo, supongamos que los suelos de la Amazonia son tan pobres que realmente se requieran 100 años de barbecho para recuperar la fertilidad perdida durante el ciclo agrícola y que existe una dependencia inevitable entre la fase forestal y la fase agrícola ¿Es esto Agroforestería? Ahora, muchos dirán que sí.

Por el contrario, hay que imaginar que estamos en el delta de un río importante, con suelos fértiles, pero en una región sujeta a períodos de cinco años en los que llueve poco, seguidos de períodos con buenas lluvias por dos años consecutivos. Los agricultores no cuentan con la tecnología necesaria para manejar riego, las tierras son cultivadas únicamente en los dos años lluviosos y abandonadas a la regeneración (una vegetación eminentemente arbustiva) durante los cinco años de «malas lluvias».

El ejemplo anterior ¿Es Agroforestería? Probablemente, muchos dirán que sí, a pesar de que la fase de barbecho no está determinada por agotamiento de la fertilidad de los suelos y que no existe ningún tipo de dependencia entre la fase agrícola y la fase leñosa. Tampoco es razonable suponer que varios años de barbecho tienen efectos sobre la probabilidad de obtener años con buenas lluvias. Se podría argumentar que algún tipo de interacción siempre se dará, pero éstas no tienen mayor relevancia para el funcionamiento del sistema.

Ahora hay que imaginar que se está en otra región donde los suelos son más fértiles, de modo que el período de barbecho se puede reducir a diez años ¿Es esto Agroforestería? Muy pocos dudarán en etiquetar esto como una FUAT. Aún menos dudarían, si en lugar de diez años de barbecho se requirieran solo siete y que éstos fueran suficientes para mantener no uno, sino tres ciclos agrícolas consecutivos.

Se puede forzar un poco más la historia y suponer que los agricultores se dieron cuenta que ciertas especies leñosas arbóreas contribuyen significativamente a mejorar la calidad del barbecho.

Inmediatamente surge la idea que si estimulamos la aparición de estas especies en el barbecho, el periodo de descanso requerido podría acortarse de siete a cuatro años, que el número de ciclos agrícolas podría aumentarse de dos a tres, o ambas cosas. Deliberadamente, se ha mejorado el barbecho ¿Es esto Agroforestería? Muchos (si no todos) dirán que sí.

La premisa del manejo deliberado ha aparecido en muchos casos como una muleta imprescindible para: 1) lidiar con el problema de la agricultura migratoria con periodos de barbecho notoriamente largos y 2) para evaluar formas de agricultura permanente en las que al menos uno de los componentes de la FUAT tiene una densidad de población muy baja y/o poca estructuración espacial. La discusión en secciones anteriores mostró que: 1) aún en el caso de la agricultura migratoria, su inclusión es ambigua e innecesaria y, 2) la condición de manejo deliberado nace primeramente de la naturaleza agrícola utilitarista (Spedding, 1988) de los sistemas agroforestales.

En términos generales, la agricultura migratoria es una forma de producción que implica una rotación de campos. Una finca donde un campo hoy está ocupado por maíz, pero que hace cinco años era una plantación de cítricos, está en una condición esencialmente similar a la agricultura migratoria. Es posible que no exista una relación de dependencia entre el ciclo de maíz y la fase previa de cítricos, pero es razonable suponer que siempre se darán efectos residuales (aunque sean pequeños) de los cítricos sobre el maíz y de éste sobre el próximo cultivo por plantar en este campo ¿Es esto Agroforestería? Probablemente, muchos dirán que sí y muchos otros dirán que no.

En un caso aún más extremo, imaginemos cualquier área de tierra en la cual existe hoy un árbol plantado. Nada crece bajo la copa del árbol ya que el único lugar habitable es el pequeño espacio ocupado por el árbol mismo. Dentro de 20 años, el árbol muere y en su lugar se desarrollan plantas herbáceas forrajeras. Por varias generaciones, el espacio es ocupado por las herbáceas, hasta que en una ocasión, otro árbol coloniza nuevamente el sitio y lo ocupa por otra veintena de años. El ciclo árbol-herbácea puede repetirse innumerables veces ¿Es esto Agroforestería?

Todos los escenarios anteriores son esencialmente idénticos a la agricultura migratoria. En unos casos se dan relaciones de dependencia (unilateral) entre la fase agrícola y leñosa, pero en otros no. En ciertos casos se da manejo deliberado y en otros no. La inconsistencia es grande. Como último recurso, se podría aducir (siguiendo discusiones planteadas anteriormente) que solo basta exigir la presencia de interacciones (biológicas) para ponerle la etiqueta agroforestal. De esta manera, el problema se convertiría en uno de establecer los límites del sistema; en este caso no son límites espaciales (como en la finca de pino y pasto) sino temporales.

Ha sido una salida elegante, pero con excoiaciones. Si en algún momento de la historia de la disciplina agroforestal, surgiera la necesidad de cercenar arbitrariamente una parte del universo agroforestal (tal y como se llegó a decidir que silvicultura y agricultura deben tratarse como disciplinas separadas), las FUAT basadas en arreglos temporales estarían primeras en la lista ¿Dónde se pondrían? Probablemente será necesario abrir una nueva casilla en el archivador de disciplinas agrícolas (*sensu lato*) que trate exclusivamente con sistemas de relevos temporales.

Conclusiones

En un intento de simplificar la quinta aproximación a la definición agroforestal presentada arriba, podemos argumentar que: 1) cultivo múltiple es una FUT, de modo que podemos decir simplemente que Agroforestería es "una forma de cultivo múltiple" y, 2) las interacciones biológicas entre componentes se dan primariamente entre, al menos, dos de los componentes vegetales (ya que la presencia de animales no es una condición necesaria). Estas simplificaciones conducen a la definición final:

La Agroforestería es una forma de cultivo múltiple que satisface tres condiciones básicas: 1) existen, al menos, dos especies de plantas que interactúan biológicamente, 2) al menos uno de los componentes es una leñosa perenne y, 3) al menos uno de los componentes es una planta manejada con fines agrícolas (incluyendo pastos).

Esta definición es muy parecida a las aceptadas comúnmente hoy día (por ejemplo Nair 1985, 1989). El valor de este nuevo esfuerzo, es mostrar los pasos lógicos que conducen a la definición, y por lo tanto, analizar detalles que en las definiciones existentes todavía conducen a diferentes interpretaciones. Por otro lado, se presentan explícitamente, discusiones sobre temas muy confusos (y siempre evitados) como son el caso de las interacciones biológicas o económicas, "ecotonos" y límites de sistemas, animales y efectos directos a distancia, uso múltiple y cultivo múltiple, manejo deliberado, etc. Estas discusiones arrojan luz sobre las "áreas grises" del ámbito agroforestal.

Agradecimientos

Muchos de los ejemplos usados en este análisis surgieron de discusiones con becarios de diversos países tropicales de América y África. Los becarios eran parte de un programa de entrenamiento en servicio en Agroforestería auspiciado por la Universidad de las Naciones Unidas (UNU) y el Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE). Críticas y comentarios valiosos fueron proporcionados por Tomás Schlichter, María Julia Mazzarino, John Vandermeer, Henning von Platen, John Beer y Gerald Kapp.

Bibliografía

- AGROFORESTRY SYSTEMS. 1981. Editorial: What is agroforestry. *Agroforestry Systems* (Holanda) 1(1): 7-12.
- BENE, J.G.; BEAL, H.W.; COTE, A. 1977. *Trees, food and people: land management in the tropics*. Ottawa. Can. IDRC. 59 p
- COMBE, J.; BUDOWSKI, G. 1979. Classification of traditional agroforestry techniques. *In: Workshop on Traditional Agroforestry Systems in Latin America*. (1979, Turrialba, C.R.). Ed. por De Las Salas, G. Turrialba, C.R., CATIE. p. 17-47.
- HUXLEY, P.A. 1983. Some characteristics of trees to be considered in agroforestry. *In: Plant research and agroforestry*. Ed. by P.A. Huxley. Nairobi, Kenya, ICRAF. p. 3-12.
- KAPP, G. 1989. La Agroforestería como alternativa de reforestación en la zona Atlántica de Costa Rica. *El Chasqui* (CATIE, C.R.) 21. 6-17.
- KING, K.F.S. 1979. Concepts of agroforestry. *In: International cooperation in agroforestry*. Ed. by T. Chandler; D. Spurgeon. Nairobi, Kenya, ICRAF. pp. 1-13.
- KING, K.F.S. 1989. The history of agroforestry. *In: Agroforestry Systems in the tropics*. Ed. by P.K.R. Nair Dordrecht. The Netherlands, Kluwer Academic Publishers. p. 3-11.
- LUNDGREN, B.; RAIN TREE, J.B. 1982. Sustained agroforestry. *In: Agricultural research for development: potentials and challenges in Asia*. Ed. by B. Nestel. The Hague. The Netherlands, ISNAR. p. 37-49.
- NAIR, P.K.R. 1985. Classification of agroforestry systems. *Agroforestry Systems* (Holanda) 3: 97-128.
- NAIR, P.K.R. 1989. Agroforestry defined. *In: Agroforestry Systems in the tropics*. Ed by P.K.R. Nair. Dordrecht. The Netherlands, Kluwer Academic Publishers. p. 13-18.
- RAIN TREE, J.B.; WARNER, K. 1986. Agroforestry pathways for the intensification of shifting cultivation. *Agroforestry Systems* (Holanda) 4(1): 39-54.
- ROBINSON, P.J. 1985. Trees as fodder crops. *In: Cannell, M.G.R.; Jackson, J.E. Attributes of trees as crop plants*. G.B. Institute of Terrestrial Ecology. p. 281-300.
- SPEDDING, C.R.W. 1988. *An introduction to agricultural systems*. 2 ed. London, G.B., Elsevier Applied Science. 189 p.
- STEINER, K.G. 1984. *Intercropping in tropical smallholder agriculture with special reference to West Africa*. 2 ed. Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit (GTZ). Schriftenreihe no. 137. 304 p.
- WIERSUM, K.F. 1981. Outline of the agroforestry concept. *In: Viewpoints in agroforestry*. Ed by K.F. Wiersum. The Netherlands, Agricultural University of Wageningen. p. 1-21.

Interacciones ecológicas en los sistemas agroforestales*

**Lloyd S. Anderson
Fergus L. Sinclair**

- **Introducción**
- **Sección 1. Interacción entre especies**
- **Sección 2. Resumen del progreso de la investigación**
- **Sección 3. Tópicos claves en agroforestería**
- **Resumen y conclusiones**
- **Literatura citada**

***Traducido del inglés por A. Vargas de Agroforestry Abstracts 6: 57-91. 1993.
Publicado con permiso de los autores.**

Interacciones ecológicas en los sistemas agroforestales

Introducción

Prefacio

El Gobierno Británico, a través de la Administración del Desarrollo de Ultramar (ODA), ha venido financiando estudios en sistemas agroforestales, como parte de una estrategia para la investigación estratégica en forestería y agroforestería, como parte de una estrategia para la investigación en el campo en el campo de los recursos naturales renovables (ODA, 1990). Esto se realiza a través del programa de investigación estratégica en forestería y agroforestería. La selección de proyectos financiables ha tenido como enfoque, responder a la demanda y la investigación financiada se ha inclinado hacia sitios específicos. Consistente con la política establecida por la ODA, existe un evidente deseo para que la investigación tenga una significancia regional o global y que permita la integración con otras áreas estratégicas, particularmente con las ciencias de las plantas, la agronomía y los sistemas de cultivos.

Se ha reconocido la necesidad de diseñar un plan viable, de largo plazo, para apoyar la investigación agroforestal, en el que se incluyan iniciativas predeterminadas de amplia relevancia y que permita asistencia financiera para desarrollarlo de una manera sistemática. Este enfoque estructurado puede lograrse enfatizando en los procesos básicos que funcionan en los sistemas agroforestales y desarrollando los modelos de los procesos involucrados, con el eventual propósito de utilizar los modelos como herramientas en el manejo y la práctica agroforestal (Jarvis y Sinclair, 1990).

Como un paso inicial hacia la formulación de un programa coordinado de investigación para el desarrollo de modelos para sistemas agroforestales, es necesario evaluar el estado actual de conocimiento con relación a las interacciones ecológicas en tales sistemas. En este documento se presentan los avances en estos aspectos, con el objetivo de identificar áreas débiles en nuestro conocimiento de las interacciones y procesos involucrados en los sistemas agroforestales, para de esta forma, orientar donde deben ser dirigidos en el futuro, los fondos para investigación. Aspectos de modelación serán tratados en otra revisión de literatura (Muetzelfeld y Sinclair, 1993).

Antecedentes

El término "agroforestería" incluye un grupo muy diverso de prácticas integradas de uso de la tierra empleadas para una gran variedad de propósitos. Las definiciones que describen los componentes o conceptos involucrados (Lundgrer, 1987; Young, 1989a; Nair 1991) son muy útiles para la identificación (Figura 1), pero no ofrecen información relacionada con los mecanismos comunes de tales prácticas, los cuales son esenciales para su funcionamiento.

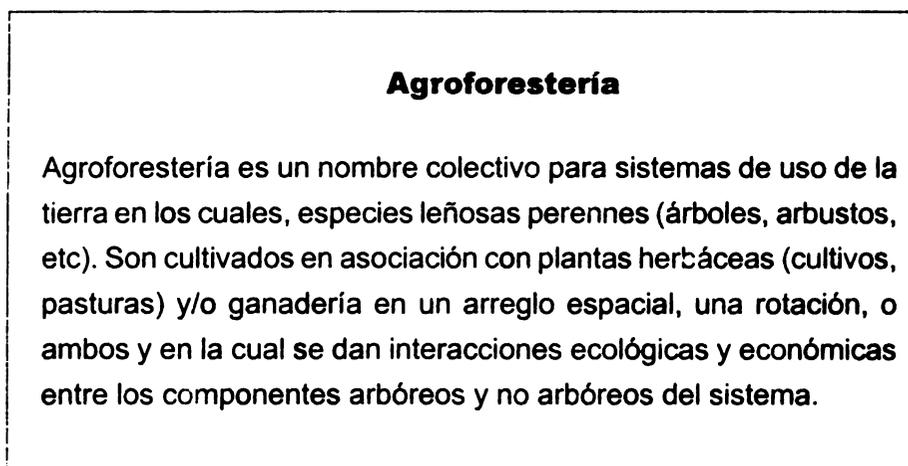


Figura 1. Una descripción de agroforestería (Fuente: Young, 1989a).

La agroforestería toma también el enfoque interdisciplinario del uso de la tierra, pues requiere de la combinación de factores sociales, ecológicos y económicos (Sinclair, 1992). En este sentido y quizás como es apropiado para un área de investigación relativamente nueva y una nueva vía de pensamiento, se han publicado gran número de revistas y bibliografías de este tema y particularmente sobre los beneficios que se pueden lograr con la adopción de tales prácticas. Una gran parte de esta literatura es especulativa en vez de evidencial y no está ligada a un marco teórico coherente que considere los procesos fundamentales involucrados.

Es fácil que las teorías se adelanten a la evidencia. El propósito de este artículo no es el de repetir, desde un nuevo enfoque, el proceso de revisión descriptiva, sino más bien, de utilizar las teorías desarrolladas sobre los procesos y las interacciones ecológicas, como base para interpretar los resultados de estudios experimentales de investigación agroforestal y de esta manera, adquirir un conocimiento profundo de los procesos comunes que determinan la productividad y la sostenibilidad de estos sistemas. Este enfoque también puede ayudar a destacar aquellas áreas en las que aún se requiere información.

Aunque los sistemas agroforestales son ambientes modificados o disturbados y no pueden describirse como naturales, representan un avance de los sistemas de producción tipo monocultivo,

marcadamente artificiales, hacia la imitación de los ecosistemas naturales, con un énfasis en la diversidad de especies y la conservación de los recursos. Más aún, actualmente existe un cambio en el enfoque, más allá de los sistemas agroforestales zonificados que utilizan leñosas perennes exóticas, hacia la utilización de combinaciones más íntimamente mezcladas, que incluyen especies nativas (Ong *et al.*, 1991a; Sinclair, 1992). Entonces, el uso de la teoría de la población y comunidad ecológica no es inapropiado, a pesar de que se debe aplicar con cautela en relación con los agroecosistemas.

La literatura sobre investigación agroforestal y el progreso logrado hacia un entendimiento global de estos sistemas de uso de la tierra, se revisará a continuación en tres secciones. La primera considera la agroforestería en el contexto de los principios ecológicos relacionados con las interacciones entre las especies y los mecanismos mediante los cuales, la presencia de una planta puede cambiar el ambiente de las plantas vecinas. La segunda sección utiliza el marco conceptual desarrollado para evaluar concisamente los avances de investigación publicados, y finalmente, en la tercera sección se desarrollan tres aspectos claves relacionados con los objetivos de la agroforestería.

Sección 1: Interacciones entre especies

La agroforestería abarca un grupo de prácticas de uso de la tierra, cuyo objetivo es la obtención de los beneficios de cultivar plantas leñosas y herbáceas simultáneamente, lo que se logra comúnmente con la incorporación de árboles en las tierras que ya se utilizan para pasturas o para la siembra de cultivos anuales. Aquellos beneficios u objetivos, que son percibidos por el agricultor que adopta el sistema agroforestal, se consideran en esta sección desde una perspectiva socioeconómica y ecológica y los resultados principales serán resaltados. Sin embargo, primero se hará un examen de lo que implica la agroforestería en términos de las interacciones entre las especies que forman parte como componentes del sistema.

Las interacciones entre especies son reguladas a través del ambiente mediante el principio de "respuesta y efecto" (Goldberg y Werner, 1983), el cual establece que la planta y su ambiente se modifican el uno al otro (Figura 2), de tal manera que el ambiente provoca una respuesta en el funcionamiento y crecimiento de la planta y que ésta a su vez, tiene un efecto sobre el ambiente a través de la modificación de uno o más de sus factores (Clements, 1928, Goldberg y Werner, 1983). De esta manera, la morfología y la vida de la planta son gobernadas por el ambiente, pero al mismo tiempo, la planta puede cambiar su ambiente. La naturaleza de las interacciones entre y dentro de las especies se refiere entonces, a los medios por los cuales una planta puede influir en sus vecinas, cambiando su ambiente, ya sea en forma directa por adición o sustracción (p.e. nutrimentos), o indirectamente (p.e. estimulando especies insectívoras) (Harper, 1977).

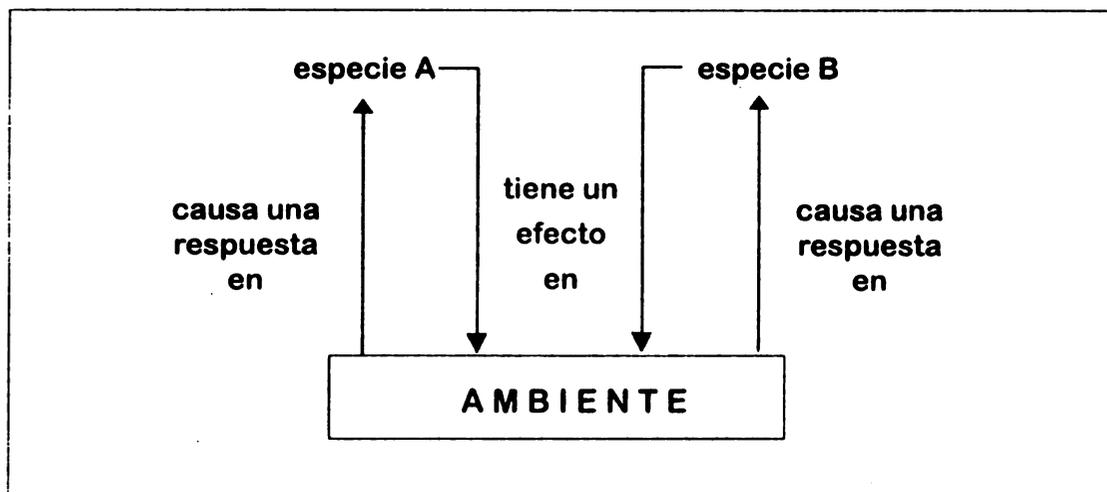


Figura 2. El principio de respuesta y efecto.

Fuente: Goldberg y Werner, 1983; adaptado de Vandermeer, 1989.

Interacciones ecológicas en agroforestería

Cuando los árboles son incorporados en tierras cultivadas, existe un número de posibles consecuencias de estas interacciones entre el árbol (especie A) y el cultivo (especie B). La especie A puede afectar el ambiente en forma negativa con respecto a la especie B, o también de manera positiva. De aquí que una especie A puede causar un incremento (+), una disminución (-) o no tener efecto (0) en el desarrollo de la especie B (Williamson, 1972). Las cinco interacciones resultantes (-,+), (-,0), (+,+), (+,0), (+,-), se han definido de varias maneras en la literatura ecológica (p.e. Schoener, 1988), con considerables argumentos semánticos, particularmente entre los autores británicos y estadounidenses. En vez de realizar aquí una revisión de estas definiciones, serán utilizadas las más comunes de ellas.

La competencia se define como una interacción entre dos plantas individuales que tiene consecuencias negativas en una o ambas plantas. En este sentido la definición se toma para cubrir tanto las interacciones mutuamente deletéreas (-,-), como las interacciones asimétricas (-,0), debido a que muchas de las interacciones entre las plantas son asimétricas y a menudo las consecuencias de las interacciones no son conocidas previamente (Crawley, 1986). Esta definición de competencia tiene la ventaja de no hacer suposiciones con respecto a los mecanismos involucrados, pero describe la competencia por un resultado neto, como por ejemplo, un efecto negativo sobre una o ambas especies y de esta forma, tiene un criterio flexible con el que se puede medir.

Con relación al mecanismo, la competencia puede dividirse en explotación e interferencia; la primera ocurre cuando las plantas compiten reduciendo la posibilidad de compartir, limitando los recursos como la luz, el agua y los nutrientes del suelo. La interferencia ocurre cuando la convivencia de las plantas

es reducida por mecanismos que derivan del comportamiento de las otras plantas, los cuales no involucran directamente limitaciones o recursos compartidos (Schoener, 1983; Crawley, 1986), como por ejemplo, la producción de sustancias tóxicas. La interferencia es normalmente muy asimétrica, mientras que la explotación puede o no serlo.

Debe notarse que el término "interferencia" puede tener un sentido más general (Harper, 1977), donde "la presencia de una planta cambia el ambiente de sus vecinas ... tales cambios ... surgidos por la proximidad de los individuos, pueden denominarse "interferencia", un término encubierto que no define de ninguna manera, la forma en la cual se producen las alteraciones en el ambiente".

Las interacciones entre dos plantas individuales que incrementan la convivencia de una de ellas o de ambas, como en el caso de las interacciones positivas, están separadas en la base de la reciprocidad. El mutualismo se define como una interacción simétrica en la cual existe un fortalecimiento de la convivencia recíproca (+, +), mientras que el comensalismo describe interacciones asimétricas (+, 0) en las cuales solo un individuo se beneficia de la asociación (May, 1976; Pierce, 1989). Ejemplos de mutualismo en agroforestería incluyen las micorrizas y los microorganismos fijadores de nitrógeno; ejemplos de comensalismo incluyen el mejoramiento microclimático y del suelo por parte de los árboles.

Regresando a la situación de las relaciones árbol-cultivo, si la especie A afecta el ambiente de una manera negativa con respecto a la especie B, ocurre competencia entre las plantas, mientras que, si la especie A afecta el ambiente de una manera positiva con respecto a la especie B y al mismo tiempo la especie A es afectada, ya sea positiva o negativamente, se está en presencia del mutualismo o comensalismo. "Facilitación" ha sido utilizado como un término simple para describir las interacciones entre plantas con un resultado positivo (Vandermeer, 1989).

La competencia asimétrica (0,-) y la facilitación asimétrica (+,0) pueden ocurrir simultáneamente y puede considerarse como una interacción entre plantas con un efecto neto (+,-), utilizando la notación antes mencionada. En este contexto debe enfatizarse que el resultado de una interacción entre plantas es altamente dependiente de la densidad. Por ejemplo, si las especies A y B están creciendo en monocultivo y en asocio pero manteniendo una alta densidad constante, la mayoría de los experimentos han mostrado que en la asociación una de las especies crece menos que en el monocultivo y que la otra no es afectada o crece más. No obstante, si la densidad de cada especie es la misma en la asociación y en el monocultivo, entonces lo más frecuente es que el crecimiento de ambas especies se reduzca. El mecanismo por el cual las plantas se afectan la una a la otra, es probablemente el mismo en ambos casos, pero el resultado puede ser ya sea (+,-) o (-,-).

Las interacciones entre plantas con un resultado (+,-) no han sido específicamente definidas, aunque quizás el término "oposición" podría utilizarse para describir un balance entre competencia y facilitación.

Por otra parte, las interacciones (+,-) entre dos animales individuales o entre un animal y una planta son denominadas como predación, la cual se define como una interacción que resulta en un fortalecimiento de la convivencia del predador a expensas del otro individuo, ya sea animal o planta. Las interacciones herbívoro-planta también tienen un resultado (+,-), aunque debe notarse que a través de varios mecanismos, el pastoreo de animales en comunidades de muchas plantas reduce la cantidad de algunas especies e incrementa la de otras.

También es importante notar que la competencia aparente puede ocurrir en los sistemas agroforestales (Holt, 1977; Lawton, 1989). Este término refiere a tres mecanismos de interacción sobre dos niveles tróficos, por ejemplo una fuente de recursos limitada, un herbívoro generalista o un patógeno y dos especies de plantas. Las dos especies de plantas A y B parecen competir debido a un incremento de la biomasa de la especie A, ligado a un incremento de la población del herbívoro o del patógeno, la cual, a su vez, se liga con una reducción de la biomasa de la especie B. En otras palabras, las interacciones de las especies A y B con el herbívoro son ambas (-,+), asociado a una aparente interacción(-,-) entre las especies A y B.

Utilizando estos conceptos ecológicos relativos a las interacciones, se puede crear una clasificación para la búsqueda de literatura y la finalidad inmediata definida de la agroforestería. Los estudios publicados pueden ser simplemente separados en términos de los resultados netos observados o del efecto de las interacciones ocurridas, tales como competencia (-,-), (-,0), predación (-,+), mutualismo (+,+) y comensalismo (+,0) y considerado como evidencia para sustentar la ventaja de la agroforestería, cuyo fin es crear un balance favorable entre los diferentes tipos de interacciones ecológicas que ocurren, minimizando las interacciones negativas (competencia y predación) y maximizando las positivas (mutualismo y comensalismo).

Los objetivos de la agroforestería

La adopción de la agroforestería se da comúnmente, como se indicó anteriormente, por la introducción de árboles en las tierras que ya están siendo cultivadas y la pregunta inmediata es simplemente ¿cuál es la ventaja, si existe alguna, de sembrar cultivos en un sistema agroforestal comparada con otros tipos de prácticas de uso de la tierra? Los objetivos del agricultor con relación a la adopción son: i) incrementar el rendimiento total de la tierra, ii) ampliar el rango de producción para de esa forma dispersar los riesgos y iii) preservar su modo de vida y supervivencia mediante la conservación de los recursos (Nair, 1991). Las agencias de desarrollo mantienen intereses estratégicos de largo plazo en la conservación y el mejoramiento ambiental que pueden lograrse y creen que la agroforestería sería rápidamente adoptada por los productores si ellos, los productores, perciben un beneficio real (Wood, 1989).

Los objetivos del agricultor (Cuadro 1) pueden ser establecidos en términos socioeconómicos (Conway, 1987) como: i) productividad (el valor de salida del producto por unidad de recurso invertido), ii) estabilidad (constancia de la productividad frente a pequeñas fuerzas perturbantes provenientes de las fluctuaciones normales y los ciclos en el ambiente) y iii) sostenibilidad (habilidad del sistema para mantener la productividad cuando está expuesto a fuerzas perturbadoras mayores, como en el caso de estrés o impacto.). El concepto de vulnerabilidad del sistema de uso de la tierra también puede ser usado donde la diversidad de producción se reduce a un grado en el cual el sistema es vulnerable a estrés e impactos o declina (su sensibilidad), e incrementa su habilidad para recuperarse.

Cuadro 1. Objetivos de los usuarios de la tierra que adoptan la agroforestería.

OBJETIVO	CONCEPTO SOCIOECONOMICO	CONCEPTO ECOLOGICO
Incremento del rendimiento total	Productividad	Sobrerendimiento
Productos múltiples	Estabilidad (vulnerabilidad reducida)	Reducción de la varianza del rendimiento
Preservación del modo de vida	Sostenibilidad	Mantenimiento de los recursos

Desde la perspectiva ecológica, un cambio de esta clase en las costumbres de cultivar está relacionado con las vías por las cuales una planta individual (especie arbórea) puede afectar a sus vecinos (las especies del cultivo asociado) por modificación del ambiente (Harper, 1977). Las modificaciones pueden tener una consecuencia positiva para las plantas vecinas, debido al mejoramiento del ambiente, o una consecuencia negativa, debida a efectos deletéreos sobre el ambiente. Claramente, el propósito de cambiarse hacia una práctica agroforestal es el de maximizar las consecuencias positivas, de tal manera que se incremente la productividad y la conservación de los recursos. Interpretando los conceptos socioeconómicos en términos ecológicos, los aspectos claves son: i) sobrerendimiento, ii) reducción de la varianza de los rendimientos y iii) mantenimiento de los recursos, todos los cuales pueden resultar de un incremento de la diversidad de las especies, tanto en el espacio, como en el tiempo.

Los tópicos clave

El sobrerendimiento o la ventaja en rendimiento, ha sido examinado con relación a los cultivos intercalados y ocurre donde se necesita una gran cantidad de tierra dedicada a monocultivos, para producir los mismos rendimientos que pueden producirse en una hectárea de policultivos (Willeey, 1979; Vandermeer, 1989). Existe buena evidencia del sobrerendimiento en los sistemas agroforestales y si es así, ¿cuáles son los mecanismos facilitadores en términos del balance entre las interacciones positivas y negativas?

Prácticas de uso de la tierra tales como la agroforestería, en las cuales se incrementa la diversidad de las especies mediante el policultivo, son igualados con la evitación o dispersión de riesgos, debido a que son más estables frente a las fluctuaciones económicas y ambientales de corto plazo, como resultado del incremento potencial de compensación de un componente cuando otro falla (Rao y Willey, 1980). Una vez más, ¿qué evidencia existe para que la varianza de los rendimientos sea reducida (i.e. incremento de la estabilidad) al cambiar de monocultivo a policultivos debida a las interacciones interespecíficas con una fuente de variación ambiental?

La reducción de la varianza del rendimiento, o el incremento de la estabilidad, está ligada al concepto de la sostenibilidad. Sin embargo, mientras que la "estabilidad" concierne a fluctuaciones de corto plazo, en la productividad, la "sostenibilidad" concierne a las fluctuaciones de largo plazo (Conway, 1987). Si las pérdidas de recursos de un agroecosistema por causa del cultivo no están balanceadas por los ingresos, tales sistemas se deteriorarán y de esta forma la sostenibilidad puede ser equiparada con el mantenimiento, o la protección de los recursos básicos. ¿Cómo puede alcanzarse el equilibrio, cuando la tasa de consumo de recursos iguala la tasa de recursos suministrados (Tilman, 1988), en una comunidad de plantas cuya dinámica nunca alcanza el estado de equilibrio?

La consideración de aspectos temporales es importante en estos tres aspectos. Casi todos los experimentos controlados de competencia han utilizado cultivos anuales (especialmente cultivos herbáceos) o herbáceas perennes (especialmente pasturas) y los experimentos han durado uno o muy pocos años. Sin embargo, la agroforestería involucra plantas de larga vida; si existe una sobreproducción entonces está implicada una mayor y quizás más eficiente explotación del ambiente, la cual solo es beneficiosa si puede ser sostenida. Sobrerendimiento y protección de los recursos básicos están entonces interrelacionados, porque el sobrerendimiento solo es deseable si puede ser sostenido y esto requiere un suministro continuo de recursos en el tiempo.

Factores espaciales

Las interacciones entre las plantas vecinas, tales como la explotación y la interferencia competitiva, o las influencias mutuas entre vecinos debido a la supresión de las actividades de los predadores, son

dependientes de la proximidad de los vecinos, p.e. son dependientes de la densidad y las relaciones espaciales de los individuos son, consecuentemente, críticas dentro de las poblaciones de plantas. Los vecinos inmediatos, los cuales pueden interferir con el crecimiento de una planta en el campo pueden dividirse en tres categorías: intraclonales, intergenotípicos e interespecíficos (Harper, 1977). Vecinos intraclonales son partes del mismo individuo, por ejemplo los brotes de un árbol que pueden diferir fenotípicamente en edad o tamaño y que pueden tener diferentes demandas de recursos ambientales. Vecinos intergenotípicos son individuos derivados de diferentes semillas y por tanto generalmente de diferentes genotipos, mientras que los vecinos interespecíficos son individuos de diferente taxa.

La mayoría de los estudios de las reacciones de las plantas a la densidad han sido realizados en áreas con una sola especie. Estudios experimentales de crecimiento de especies en mezclas involucran densidades variables de la mezcla y la composición proporcional. Los experimentos aditivos, cuando la densidad de la especie A se mantiene constante y la densidad de la especie B varía (Clatworthy, 1960), son difíciles de analizar debido a que la densidad total y las proporciones se confunden. Los experimentos substitutivos, en los cuales las dos especies A y B se siembran en proporciones variables mientras que se mantiene la densidad total constante, p.e. "series de reemplazo" (Wit, 1960), superan estos problemas y tales diseños son recomendables para el estudio de las interacciones planta-planta. Los resultados de los experimentos de series de reemplazo pueden tener una de cuatro formas, basado en la contribución de cada especie al rendimiento total de la mezcla, en el contexto de la composición proporcional.

Una medida de la agresividad de una especie con relación a otra puede determinarse por experimentos substitutivos y es denominado "coeficiente relativo de proximidad" (Wit, 1960). El concepto de "rendimiento relativo" es, sin embargo, preferido cuando los rendimientos combinados de las especies A y B en la mezcla no pueden predecirse de los rendimientos de las parcelas puras. El "rendimiento relativo" de la especie A es su rendimiento en una mezcla de especies A y B, comparado con su rendimiento en una siembra pura. La suma de los rendimientos relativos de A y B es llamado "rendimiento relativo total" (RRT) y es directamente comparable al "uso equivalente de tierra" (Land Equivalent Ratio) para cultivos intercalados y sistemas agroforestales, donde los valores mayores a 1.0 indican sobreproducción por el sistema. Valores de RRT iguales 1.0 indican que ambas especies tienen requerimientos similares de recursos limitados en el ambiente, mientras que los valores menores a 1.0 indican antagonismo mutuo por agotamiento del ambiente para la otra especie y valores mayores a 1.0 implica ya sea que las especies tienen diferentes fuentes de requerimientos, que evitan la competencia entre ellas (Figura 3) o que tienen una relación simbiótica.

Así por ejemplo, un cereal en monocultivo puede rendir 4 t/ha, disminuyendo a 3 t/ha cuando crece en medio de árboles, pero los árboles pueden adicionalmente rendir 2.5 t/ha de leña y una cantidad similar de forraje, resultando un total de 8 t/ha, el doble del rendimiento original del área (Dixon, 1992). La competencia entre las dos especies por los recursos limitantes en este ejemplo resulta en una reducción

del crecimiento de ambas especies y el objetivo de una buena práctica agroforestal es reducir la competencia por medio de la siembra de especies que permitan una diferenciación del nicho, p.e. sistemas radicales que exploten diferentes estratos del suelo y por consiguiente diferentes partes de los recursos básicos. Tal práctica, que evita la competencia, resulta en una mayor productividad por unidad de tierra en las mezclas de especies que en los cultivos puros.

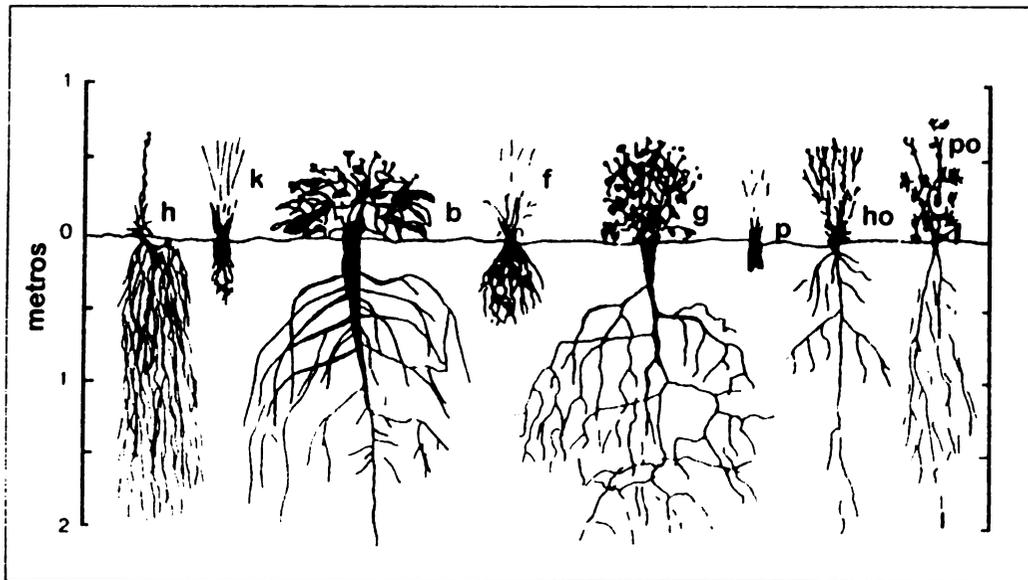


Figura 3. Evitación de la competencia por diferenciación del nicho bajo el suelo. Corte esquemático que muestra las relaciones de las raíces y tallos de las plantas importantes de pradera, dibujado de fotografías y datos obtenidos de una excavación y análisis de 325 sistemas radicales de ocho especies: (h) *Hieracium scouleri*; (k) *Koeleria cristata*; (b) *Balsamorhiza sagittata*; (f) *Festuca ovina ingrata*; (g) *Geranium viscosissimum*; (p) *Poa sandbergii*; (ho) *Hoorebekia racemosa*; (po) *Potentilla blaschkeana*.

(Fuente: Weaver, 1991; redibujado de Harper, 1977).

El concepto de seleccionar "buenas combinaciones" de especies es un componente importante en el uso del conocimiento tradicional, cuyo objetivo es capitalizar la experiencia de los productores (Walker *et al.*, 1991). El término "habilidad combinatoria ecológica" se ha utilizado (Harper, 1967) para describir las características de especies que tienen un mayor grado de separación en el nicho como resultado de su evolución natural o mejoramiento genético artificial. La habilidad de tales combinaciones de especies para coexistir y utilizar diferentes partes del mismo nicho puede ser favorable según el tipo de enfoque utilizado por Grime (1979) y Grime *et al.* (1988), donde las especies se clasifican con relación a su "estrategia ecológica primaria" en un modelo de tres estrategias: competencia (competidor), estrés (tolerante al estrés) y disturbancia ("ruderal"). Quizás las especies utilizadas por los agricultores locales

son claramente separadas en un modelo de este tipo (Figura 4), o en un diagrama similar de fase plana, utilizando como ejes, digamos, la eficiencia en el uso agua, la eficiencia en el uso de nutrientes u otros parámetros.

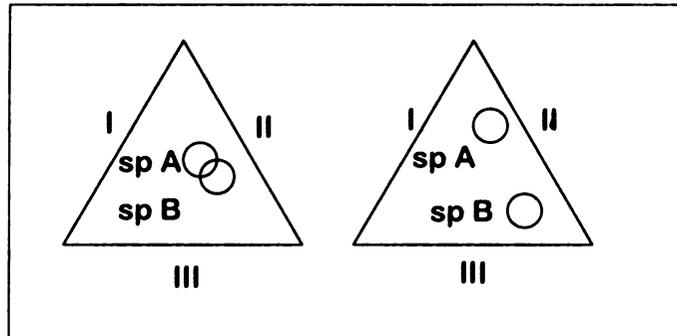


Figura 4. Representación de un modelo de estrategia triple para una combinación posiblemente "mala" (LHS) o una "buena" (RHS) de dos especies, A y B, separadas en tres ejes (I, II, III) en un diagrama de fase plana (de acuerdo con el enfoque utilizado por Grime *et al.*, 1988).

Interacciones y recursos limitantes

Las interacciones entre las especies han sido hasta ahora descritas por sus resultados, p.e. por la vía fenomenológica y cada exposición de los mecanismos actuales involucrados ha sido evitada. Sin embargo, si es necesario hacer un enfoque de los procedimientos fundamentales que operan en los sistemas agroforestales (ver prefacio), es necesario un nuevo marco de referencia que explícitamente enuncie el proceso mediante el cual, los individuos de una especie influyen los individuos de esta u otra especie (Tilman, 1988). La mayor ventaja del enfoque mecanístico es que puede ser inicialmente enfocado más estrechamente, pero después ensanchado para incluir otros mecanismos y una amplia visión del ecosistema. De aquí que, generalmente es útil para lograr la determinación de los mecanismos de interacción, como es el potencial para hacer predicciones explícitas.

Como se describió anteriormente, los dos mecanismos más probables de la competencia entre plantas son la explotación (competencia por recursos) y la interferencia (competencia alelopática). Las interacciones planta-planta no son efectos directos de una planta sobre otra, pero sí efectos del ambiente actuando como un intermediario, p.e. el axioma respuesta y efecto (Goldberg y Werner, 1983). Así, para la competencia interespecífica de recursos, los cambios en la densidad o la biomasa de una especie de planta son prometedores para afectar la disponibilidad de algunos recursos en el ambiente, tales como el nitrógeno, el agua, el fósforo y la luz y de esta manera influir indirectamente en el crecimiento de otras especies. A medida que la densidad de la población o la biomasa de las especies se incrementa, hay un incremento en la tasa de consumo de los recursos y su disponibilidad disminuye.

Para predecir con éxito el resultado de la competencia se requiere información de la dependencia de las tasas de crecimiento de cada especie y de la disponibilidad de recursos (Tilman, 1986); en otras palabras la tasa de consumo de los recursos para cada especie (cantidad de cada recurso por unidad de biomasa por unidad de tiempo), determinada por la tasa de crecimiento y la dinámica del suministro del recurso. Para los nutrientes minerales, los "niveles" o "disponibilidad" del recurso puede definirse como la concentración medible de la forma o formas utilizables del recurso en el suelo, mientras que la tasa de suministro del recurso es la tasa a la cual las formas utilizables del recurso son liberadas en el suelo (Tilman, 1988).

Tilman asume un enfoque de equilibrio para la competencia de las plantas por recursos limitados donde, en el equilibrio, la tasa reproductiva de las especies es igual a la tasa de muerte y las concentraciones del recurso son constantes, p.e. la tasa de consumo de cada recurso balancea la tasa de suministro. Los recursos limitados son aquellos que causan un incremento en la tasa de crecimiento cuando su disponibilidad se incrementa. El punto de equilibrio para una especie dada en un hábitat particular será entonces dependiente de la dinámica de la disponibilidad del recurso y la especie con los menores requerimientos del recurso limitante dado, sacará de competencia las otras especies con mayores requerimientos del recurso (Figura 5). Este concepto no es aplicable en un sistema agroforestal, donde la comunidad de plantas es manejada y el equilibrio nunca es alcanzado. Sin embargo, los conceptos mantienen su aplicación y el punto hasta el cual las especies de un sistema agroforestal compiten dependerá del tamaño de las reservas del recurso en el sistema y a la vez de los flujos del recurso a través del sistema.

Para predecir la consecuencia de la competencia de plantas para más de un recurso, es necesario conocer la dependencia del crecimiento de cada especie sobre la disponibilidad de todos los recursos limitantes. La tasa de crecimiento de una planta, está entonces determinada por la disponibilidad del recurso menos disponible con relación a las necesidades de la planta y en el equilibrio, las plantas pueden coexistir en hábitats donde el crecimiento de cada una está limitado por un recurso diferente. Debe notarse que los mecanismos de la competencia intraespecífica e interespecífica están complicados por el tamaño de las plantas y los procesos dependientes de la edad de las plantas y por el hecho que éstas son morfológica y fisiológicamente plásticas (Tilman, 1988).

Estudios mecanísticos, o basados en procesos que miran la agroforestería en términos de un flujo de recursos tales como la luz, el agua y nutrientes a través del sistema y la distribución de estos recursos entre los varios componentes del sistema, son entonces integrados para entender el mecanismo de las interacciones planta-planta. Los niveles de los recursos en el ambiente en la interfase árbol cultivo determinarán las respuestas de los componentes especies y estarán afectados por éstas.

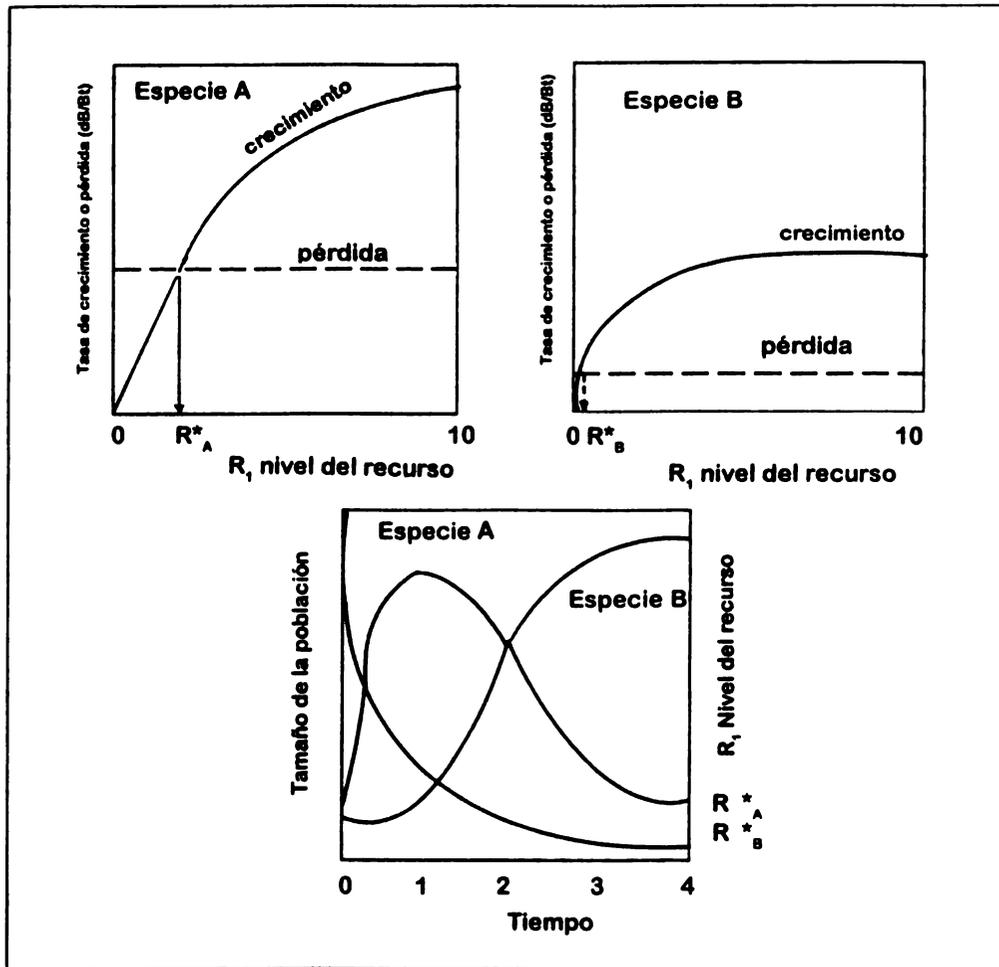


Figura 5. Curvas de crecimiento dependientes de los recursos para dos especies A y B. (A) Crecimiento (curva sólida) y pérdidas (línea punteada) recurso-dependiente para la especie A. R_A^* es la cantidad de recursos que la especie A necesita para sobrevivir en su hábitat. (B) curvas similares para la especie B. (c) Cuando dos especies compiten por un único recurso limitante (R), la especie B que tiene un menor requerimiento del recurso de equilibrio. (R^*) puede desplazar completamente la especie A una vez que se alcanza el equilibrio.

(Fuente: redibujado de Tilman, 1988)

Recursos y crecimiento

En los ecosistemas naturales, el suministro de recursos por medio del ambiente gobierna el crecimiento y la forma de las plantas. Se ha propuesto (Tilman, 1982; Tilman, 1988) que la separación física de los recursos esenciales requeridos por las plantas en recursos por encima (luz) y por debajo (agua y nutrientes) de la superficie del suelo, obedece a que las plantas se enfrentan a un compromiso inevitable al enfrentar tales limitantes. Para que una planta con limitaciones de luz pueda obtener más luz, debe destinar más de los productos de la fotosíntesis al crecimiento de brotes (Figura 6) y de esta

forma dedicar una menor proporción al crecimiento de sus raíces. De manera similar, una planta restringida de nutrientes debe asignar mayor cantidad de los productos de su fotosíntesis al crecimiento de las raíces y proporcionalmente menos al crecimiento de tallos y hojas si es para obtener más nutrientes. El patrón de asignación a las estructuras de encima *versus* debajo de la tierra, debe de esta forma influenciar la habilidad competitiva de una planta en un hábitat dado y también las habilidades competitivas relativas de las especies que son componentes de un sistema agroforestal.

Un modelo de competencia por nutrientes y luz entre poblaciones de plantas de tamaño estructurado que crecen continuamente ha sido desarrollado utilizando el concepto anterior (Tilman, 1988). La modelación será discutida en detalle en otra parte, pero aquí los aspectos conceptuales de los modelos serán considerados como medio de estructuración de ideas y pensamiento acerca de los mecanismos involucrados.

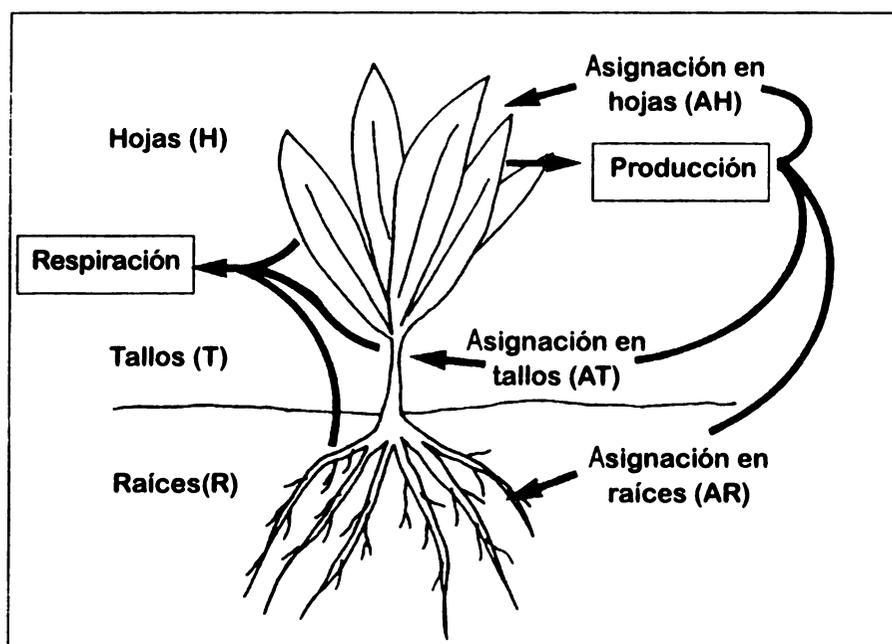


Figura 6. Un modelo de asignación del carbono durante el crecimiento. Representación diagramática del crecimiento de una planta que puede asignar su producción para biomasa adicional de hojas, tallos o raíces. (Fuente: redibujado de Tilman, 1988).

Factores temporales

La agroforestería involucra plantas de larga vida y/o habilidad para sostener una productividad creciente. La dimensión del tiempo es entonces importante, particularmente en lo concerniente a la dinámica a largo plazo de la disponibilidad de recursos. El sobrerendimiento involucra una mayor tasa de consumo de recursos (p.e. remoción de nutrientes) y por consiguiente ocurrirá un incremento de la tasa de declinación de la fertilidad del suelo, a menos que la tasa de suministro de recursos sea también

incrementada (p.e. el reemplazo de nutrientes). La producción solamente puede ser sostenida a altos niveles si el consumo y el suministro están balanceados y esto probablemente involucrará una intervención de manejo.

Las relaciones entre los componentes en una mezcla de dos especies han sido seguidas a través del tiempo y los cambios en las proporciones registrados y analizados, utilizando un parámetro llamado "tasa relativa de reemplazo" (Wit, 1960; Bergh, 1968). Los resultados de tales experimentos muestran que algunas combinaciones de especies son dependientes de las frecuencias y otras no lo son. Por ejemplo, muchas combinaciones de especies de pasturas muestran interacciones dependientes de frecuencias, mientras que para las mezclas de pastos y leguminosas, la dependencia de la frecuencia puede ser removida por la presencia de *Rhizobium*. Las situaciones de frecuencia-dependencia aparecen cuando cada especie es más afectada por su propia densidad que por aquella de sus vecinos, e implica alguna forma de diferenciación ecológica en la cual las dos especies tienen diferentes requerimientos, compiten por diferentes recursos o compiten en diferentes momentos, p.e. tienen diferente patrón de crecimiento estacional (Harper, 1977).

Los árboles desarrollados por semilla, antes de emerger en un dosel, tienen que pasar por etapas de crecimiento comparables a, primero, la capa vegetal del suelo, luego en la capa del campo y finalmente, la capa de arbustos. Así, la naturaleza de las interacciones árbol-cultivo en los sistemas agroforestales cambiará con el estado de vida del componente arbóreo. La selección de árboles con patrones de crecimiento estacional que evitan la competencia por recursos con el cultivo, será importante en el incremento de los rendimientos del cultivo. Adicionalmente, para los árboles leguminosos en la agroforestería, la interacción entre el árbol y el cultivo cambia con el tiempo, de una reducida competencia a una facilitación. En un año dado, cualquier beneficio de la fijación de nitrógeno por el árbol leguminoso es conferido al cultivo asociado para evitar la competencia por nitrógeno, mientras que en años subsiguientes, los árboles facilitan la adaptación del cultivo por la liberación del nitrógeno fijado en los años previos por la descomposición del mantillo.

Las etapas del desarrollo en sistemas agroforestales son análogas, en algunos aspectos, a las etapas de la sucesión en los ecosistemas (Giller, comunicación personal). La sucesión es el proceso mediante el cual una comunidad de plantas cambia a otra. Esta representa la dinámica de la comunidad que ocurre en una escala de tiempo en el orden de las etapas de vida de las plantas dominantes y ocurre porque la probabilidad de establecimiento cambia a través del tiempo para cada especie, conforme se alteran ambos en el ambiente abiótico (p.e. las condiciones del suelo) y en el ambiente biótico (p.e. la naturaleza y la habilidad competitiva de las plantas vecinas) (Crawley, 1986).

La mayoría de las sucesiones primarias están asociadas con la acumulación de nitrógeno en el suelo. Muchas de las plantas vasculares colonialistas tempranas son leguminosas u otras especies

fijadoras de nitrógeno que adicionan sustancialmente el nitrógeno a la reserva del suelo. Estudios de la colonización de plantas en los montones de desechos, después de la extracción de arcillas como la porcelana (Bradshaw y Chadwick, 1980), sugieren que la escasez de nutrimentos mayores de las plantas, especialmente nitrógeno, retardan la sucesión, de tal manera que, la aparición de leguminosas que pueden tolerar las condiciones ácidas y de baja concentración de nutrimentos, es un escalón crítico en el desarrollo de la vegetación de cobertura. Estas leguminosas son capaces de fijar entre 30 y 50 kg N/ha anualmente, mientras que los experimentos en sustratos vírgenes han mostrado que las plantas leñosas no pueden invadir comunidades sucesionales hasta que de 400 a 1200 kg N/ha se hayan acumulado en el suelo (Post *et al.*, 1985). Antes de la aparición de las leguminosas, la acumulación de nitrógeno es muy lenta, pero después de que éstas han invadido, un rodal bien establecido de arbustos leguminosos tomará 20 años para acumular suficiente nitrógeno para formar un ecosistema capaz de soportar una gran biomasa.

Las sucesiones secundarias se inician con un suelo más o menos maduro que contiene un banco de semillas y propágulos vegetativos de un tamaño apreciable. La sucesión observada de especies simples involucra el reemplazo de las pequeñas plantas de corta vida por otras grandes de larga vida (Crawley, 1986), alterando, cada una de las especies invasoras, las condiciones ambientales para la siguiente.

El desarrollo de un sistema agroforestal abarca un número de estos elementos sucesionales. Los cultivos pueden ser soportados por la tierra debido a la alteración de las condiciones ambientales provocadas por las especies fijadoras de nitrógeno, las cuales mejoran el estado de la materia orgánica del suelo e incrementan la reserva de nitrógeno en éste. En estados más avanzados de desarrollo, las prácticas de manejo determinarán el grado de madurez del agroecosistema, influenciando el resultado final de la sucesión.

Sección 2: Resumen del progreso de la investigación

Clasificación de las interacciones en los sistemas agroforestales

El Cuadro 2 presenta un marco conceptual construido para examinar, de manera sistemática, los resultados de la investigación publicados, utilizando conceptos existentes de la ecología de poblaciones y comunidades, poniendo énfasis en las interacciones ecológicas. Una descripción de la clasificación se presenta a continuación.

Cuadro 2. Un sistema de clasificación de las interacciones ecológicas en los sistemas agroforestales.

A. Componentes

1. Ambiente físico
 - i. sobre la superficie del suelo
 - ii. bajo la superficie del suelo
2. Ambiente biológico
 - i. planta
 - ii. animal
 - iii. microbio

B. Interrelaciones

1. Interacciones abióticas-bióticas
 - a. ambiente físico que afecta el ambiente biológico
 - b. ambiente biológico que afecta el ambiente físico
 2. Interacciones biológicas (intra e interespecíficas)
 - a. competencia
 - consumptiva
 - preventiva (aprovechamiento previo)
 - interferencia
 - b. predación
 - predación propia
 - herbívora
 - parasitismo
 - c. mutualismo
 - facultativo
 - obligatorio
 - d. comensalismo
-

Las interacciones ecológicas pueden ser separadas en (i) procesos físicos y (ii) procesos biológicos (intraespecíficos e interespecíficos) (Schoener, 1988); siendo éstos análogos a los componentes abióticos y bióticos de un ecosistema. El componente biológico encierra los principales tipos de interacciones que ocurren entre las especies, denominadas (i) competencia (-,-), (-,0), (ii) predación (+,-),

(iii) mutualismo (+,+) y (iv) comensalismo (+,0), donde el resultado neto para cada una de las dos especies está dado entre paréntesis (Watkinson, 1986; Schoener, 1988)

Existen varias taxonomías para la competencia en la literatura americana, distinguiendo entre competencia explotativa y la interferencia (Park, 1962) o competencia comsumptiva, la preventiva y la interferencia (Schoener, 1983). Aquí no es necesario subdividir el término, el cual es tomado como una interacción negativa, ya sea simétrica o asimétrica. Igualmente, la predación puede ser dividida en (i) predación propia, (ii) herbívora y (iii) parasitismo (Toft, 1986). Aquí se utiliza un sentido restrictivo de la palabra por considerarse solo las interacciones planta-herbívoro, donde la predación es de nuevo una interacción negativa para las especies vegetales.

Dos tipos de mutualismo ocurren: (i) facultativo y (ii) obligatorio, dependiendo si las otras especies son necesarias o no para su persistencia (Schoener, 1988). El mutualismo es, de esta manera, una interacción positiva, aún cuando en agroforestería quizás los únicos mutualismos genuinos son solo aquellos que involucran los microbios fijadores de nitrógeno o las micorrizas y sus hospederos. Un término general utilizado para describir el proceso en el cual dos individuos o poblaciones de plantas interactúan de tal forma que al menos uno ejerce un efecto positivo en la capacidad del otro, es la facilitación (Vandermeer, 1989). De esta manera, el comensalismo es equivalente a la simple facilitación y el mutualismo es equivalente a la facilitación recíproca.

Para los sistemas de cultivos intercalados se ha propuesto una clasificación dicotómica (Vandermeer, 1989) basada en (i) competencia reducida y (ii) facilitación. Los componentes de las interacciones entre el cultivo (biológico) y el ambiente (físico) de un sistema ocurren a través del axioma de respuesta y efecto (Goldberg y Werner, 1983) y de esta forma son contemplados por esta clasificación dicotómica. Sin embargo, tal taxonomía no está destinada para los efectos monoespecíficos en el ambiente, p.e. mejoramiento temporal.

La clasificación usada en esta revisión parte de un enfoque diferente, paralelo a la separación con base en procesos y los tipos de interacción (Schoener, 1988), mediante división del ecosistema en (A) componentes y (B) interrelaciones. En esta taxonomía, los componentes del sistema son considerados separándolos en (A1) el ambiente físico, dividido en los componentes por encima y por debajo de la superficie del suelo, y (A2) el ambiente biológico, dividido en los componentes planta, animal y microbio. El ambiente físico concierne a los recursos (luz, agua, nutrientes), e incluye factores del paisaje tales como la topografía y el clima, mientras que el ambiente biológico es definido por el arreglo agroforestal, o la arquitectura del ecosistema, e incorpora la captura de recursos. Las "interrelaciones" cubren las interacciones (B1) entre los componentes físico y biótico, y (B2) entre componentes bióticos (intraespecíficos e interespecíficos). La primera subdivisión incluye el control del flujo de recursos, en términos de los efectos de recursos limitantes en el crecimiento y desarrollo de la planta (B1a) y

mecanismos relacionados con el consumo de los recursos por las plantas (B1b). De esta manera, las interacciones biológicas (B2) representan el resultado neto de los procesos planta-ambiente (B1).

Utilizando este tipo de categorización, la agroforestería constituye un conjunto de prácticas de uso de la tierra que busca estimular una combinación favorable de interacciones ecológicas, competencia, predación, comensalismo y mutualismo, para incrementar la productividad de la tierra y la conservación de los recursos. Los resultados de los estudios de investigación en agroforestería son considerados a la luz de este enfoque teórico.

La revisión de literatura

Introducción

A pesar de que anteriormente se ha utilizado como punto de partida para la discusión (Tilman, 1988), la siguiente afirmación es provocativa: 'existe una amplia literatura en la cual reiteradamente es demostrado que el balance (competitivo) entre un par de especies en una mezcla es cambiado por la adición de un nutrimento particular, la alteración del pH, un cambio en el nivel freático, (y) la aplicación de un estrés hídrico o por el sombreado. Estos experimentos tienen una importante significancia histórica, al enfatizar que la interacción entre un par de especies fue una función del ambiente en el cual la interacción ocurrió y un valor anecdótico en definir, para una condición especializada de ambiente y especie, los efectos de un cambio particular. Es muy dudoso que tales experimentos hayan contribuido significativamente ya sea para entender el mecanismo de competencia o a generalizar acerca de sus efectos" (Harper, 1977).

Indudablemente para llegar a algunas conclusiones generales, se necesitan estudios en los mecanismos de interacción entre especies. Harper (1977) menciona las siguientes vías por las cuales la presencia de una planta puede afectar el crecimiento de otra:

- Reduciendo la intensidad de la luz
- Cambiando la calidad de la luz
- Transpirando el agua limitada
- Cambiando el perfil de humedad
- Absorbiendo nutrimentos limitantes
- Proveyendo limitado nitrógeno
- Protegiendo o excluyendo predadores (o encubriendo los predadores de predadores)
- Favoreciendo o reduciendo la actividad patogénica
- ✕ Estimulando la defecación o la orina en su entorno
- < Proveyendo postes de sombra y estimulando así el pisoteo local
- Incrementando el nivel del suelo (acumulación de materia orgánica)
- Liberando toxinas selectivas
- Cambiando las reacciones del suelo

Como se discutió anteriormente, una planta puede así influenciar sus vecinos cambiando su ambiente, ya sea directamente (por ejemplo por efectos en los niveles de recursos o por toxinas) o indirectamente (por ejemplo afectando las condiciones microclimáticas o atrayendo animales). Sin embargo, como Harper (1977) apuntó, "el análisis de cuál factor en particular actúa en cualquier efecto de vecino a vecino está destinado a ser extremadamente difícil de delimitar y ha sido raramente logrado en poblaciones experimentales; este análisis es infinitamente más difícil en la naturaleza". En la práctica, el investigador debe aceptar las correlaciones debido a que con frecuencia, el establecimiento de las causas no es posible, por ejemplo en la tarea de separar las interacciones sobre y bajo la superficie del suelo (Donald, 1988; Aspinall, 1960; Snaydon, 1971). Tales problemas deben tenerse en consideración cuando los estudios de la investigación agroforestal son analizados en forma crítica.

Una breve revisión de los resultados de la investigación y las interrelaciones observadas en los sistemas agroforestales se presenta a continuación, tomando en consideración el marco conceptual de la clasificación ya descrita. Aquellos estudios que de manera *per se* no concuerdan con las interacciones entre especies (por ejemplo, el análisis de procesos dentro del ecosistema) han sido agrupados bajo la interacción biótica más relevante que los encabeza.

Competencia

La competencia ha sido revisada en términos generales (por ejemplo, Ranco y Harper, 1988; Schoener, 1988; Tilman, 1988), así como con relación a los cultivos intercalados (Vandemeer, 1989) y la agroforestería (Ong *et al.*, 1991a; Van den Beldt *et al.*, 1990; Ong y Black, en prensa). La investigación reciente en las interacciones competitivas en los sistemas agroforestales ha tendido a concentrarse en el establecimiento de la importancia relativa de la competencia por recursos por encima y por debajo del suelo (Snaydon y Harris, 1981; Corlett *et al.*, 1992a, b) y en la reducción de la competencia, también descrita por los términos "complementariedad" y "compartir recursos" (Ong y Black, en prensa).

Competencia por luz sobre la superficie del suelo. Muchos experimentos de campo han sido conducidos para determinar cómo una especie, puede afectar la productividad de otra, por efecto de la reducción de la intensidad de luz. Por ejemplo, en estudios en los que se examina el recurso de habilidad de sombreado de los árboles de uso múltiple en los sistemas de cultivos intercalados, se encontró que el rendimiento del cultivo es deprimido por la competencia de los árboles por la luz (Srinivasan *et al.*, 1990), un hallazgo que había sido previamente observado en estudios del efecto del dosel (Kira y Kumura, 1983). Estudios en Nigeria (Kang *et al.*, 1981) utilizando *Leucaena leucocephala* intercalada con maíz, mostró de manera similar, que la competencia por luz fue más importante que la competencia por nutrientes bajo el suelo, mientras que, una investigación realizada en Sierra Leona para estudiar los efectos sobre la productividad de maíz, caupí y camote (Karim *et al.*, 1991) reveló una reducción de los rendimientos de maíz y camote en las filas inmediatamente adyacentes a los árboles y el efecto fue más notorio en

aquellas parcelas donde se adicionó fertilización nitrogenada para remover la posible limitante del nutrimento.

Experimentos en "cultivos en callejones" realizados en el ICRISAT, en India y por ICRAF en Kenia, en los cuales, los cultivos anuales se sembraron entre los setos leñosos de *Leucaena leucocephala*, han producido hallazgos contradictorios. A pesar de que se observó una marcada pérdida de rendimiento del cultivo cuando el ancho del callejón se redujo a menos de 5 m (Singh *et al.*, 1989; Rao *et al.*, 1990), los resultados sugirieron que los cambios en el crecimiento del cultivo fueron predominantemente debidos a la competencia bajo el suelo, por agua, nutrimentos o ambos entre los árboles y el cultivo (Ong *et al.*, 1991b). Estos autores concluyen que en ambas zonas (semiáridas y subhúmedas), la presencia de los árboles en una plantación de maíz o sorgo, no tuvo efecto perjudicial ni benéfico a través de las interacciones por encima del suelo. Sin embargo, los resultados de tales estudios dependerían en gran medida, de los factores geográficos que determinan el recurso limitante más importante, p.e. la luz en el trópico subhúmedo y el agua en el trópico semiárido.

Competencia sobre el suelo versus competencia bajo el suelo. La determinación de la importancia relativa de las interacciones sobre y bajo el suelo es difícil (Donald, 1958). Los métodos han incluido la separación de raíces y la alteración en los niveles de los recursos limitantes. Por ejemplo, se han utilizado barreras verticales de polietileno y zanjas para separar las raíces del cultivo de sorgo blanco (mijo) y el maní en un sistema de cultivo intercalado (Marshall y Willey, 1983), aunque el efecto observado en la productividad de ambos cultivos fue muy pequeño. Experimentos similares que incluyeron hileras de *Leucaena leucocephala* y cultivos anuales mostraron que los rendimientos de caupí y sorgo, muy cerca de la especie leñosa, no fueron afectados por la presencia de las barreras en las raíces.

Experimentos más recientes se han realizado en el ICRISAT (India), utilizando *Leucaena leucocephala* y mijo en un arreglo de cultivos en callejones con diferentes dimensiones en el ancho del callejón y con la presencia o ausencia de barreras a las raíces (Corlett *et al.*, 1992a,b). La proximidad del mijo a la hilera de leucaena, la forma de la hilera y el tamaño relativo de las dos especies fueron factores que modificaron el microclima circundante al mijo, en términos de la velocidad del viento, el nivel de radiación incidente y la temperatura del suelo. La reducción del rendimiento del mijo, cuando se comparó la producción de las especies intercaladas con el monocultivo, se debió principalmente al efecto de la sombra sobre el cultivo. Cuando la competencia de las raíces se redujo por la presencia de una barreras, el mijo creció más alto y eventualmente alcanzó la altura del seto de *Leucaena*, evitándose parcialmente el efecto de la sombra. El incremento de la intensidad de competencia con el desarrollo del tamaño asimétrico entre los componentes árbol y cultivo en los sistemas agroforestales ha sido poco estudiado (Goldberg y Werner, 1983).

Un modelo de competencia por radiación, agua y nutrimentos entre árboles y pastos ha sido construido (McMurtrie y Wolf, 1983), pero, como fue indicado por los autores, este modelo no toma en

consideración el parcheo espacial de los recursos. Cuando se investigan los efectos de más de un recurso, el ahora abandonado concepto de los múltiples factores limitantes (Blackman, 1905) que establece - que las plantas responden de manera proporcional, únicamente a los incrementos del factor más limitante hasta que otro se convierta en limitante - pudiera ser reconsiderado. En ambientes áridos, la disponibilidad de agua puede establecer un límite superior a la productividad, aunque la co-limitación por varios otros factores al mismo tiempo, ha sido reportada (Caemmerer y Farquhar, 1984).

Competencia de las raíces por agua y nutrientes. La adsorción de nutrientes por las plantas es proporcional a las concentraciones de los nutrientes en la solución del suelo en la superficie de la raíz y es determinada por el abastecimiento al suelo, el cual a su vez es determinado, para cada nutriente, por las interacciones entre los nutrientes y las propiedades del suelo. La movilidad de un ion en el suelo ha sido señalada como un factor importante en gobernar la magnitud del agotamiento de la solución adyacente a la raíz (Barber, 1984). Modelos detallados del transporte de nutrientes en el ambiente inmediato a la raíz sugieren que las tasas efectivas de transporte de nutrientes están dominadas por la "constante de adsorción aparente" y que para N, P y K diferentes aspectos de los sistemas radicales son los factores más importantes (Willigen y Noordwijk, 1987).

Un modelo para calcular la profundidad de enraizamiento de un cultivo o de una combinación de cultivos necesaria para interceptar la lixiviación de nutrientes para diferentes condiciones de suelo y clima fue elaborado (Noordwijk, 1989). En sistemas de agricultura migratoria, una vegetación de barbecho de raíces profundas puede recuperar nutrientes lixiviados al subsuelo durante la fase del cultivo. El modelo puede indicar las combinaciones de la zona climática y la constante de adsorción aparente para la cual, tal intercepción es posible. Utilizando ese enfoque, la profundidad del enraizamiento de varias leguminosas de cobertura han sido descritas (Hairiah y Noordwijk, 1989).

La adaptación de las plantas depende de optimizaciones complejas; la profundidad de los sistemas radicales, podría ser adaptativa; depende de los beneficios ganados en términos de la adquisición de agua y nutrientes y su influencia en el funcionamiento de las plantas, así como de los costos para las plantas de desarrollar y mantener el sistema radical (Passioura, 1982).

Las interacciones de raíces entre especies han recibido hasta hace poco tiempo menor atención, debido, parcialmente, a la predominancia de los experimentos de laboratorio que involucran crecimiento en macetas y plantas saturadas de recursos y parcialmente como resultado de las dificultades técnicas del estudio del crecimiento de las raíces. Recientes avances en la tecnología, tales como la miniaturización de las cámaras de vídeo para permitir el análisis de imágenes y el uso de imágenes por resonancia magnética nuclear (NMR) (Brown *et al.*, 1991) son ayudas muy útiles que superan algunas de las limitantes de los rizotrones, pero que no remueven la necesidad de las excavaciones y muestreos destructivos de las raíces.

No obstante, las interacciones de las raíces han sido estudiadas (por ejemplo, Campbell, 1989) y los flujos de nutrientes y la competencia interespecífica de las raíces han sido investigadas utilizando modelos mecanísticos (Gillespie, 1989), con el fin de lograr la manipulación de la competencia por nutrientes y agua bajo el suelo y para la selección de árboles y cultivos con diferentes profundidades de enraizamiento. El último trabajo concluyó que altas densidades de enraizamiento promueven la competencia por nutrientes debido a la disminución de las distancias entre raíces.

Competencia, factores espaciales y captura de recursos. La competencia intraespecífica y los efectos dependientes de la densidad han sido poco estudiados en el contexto de la productividad en prácticas agroforestales. Diseños sistemáticos para cuantificar las relaciones entre el rendimiento y la densidad de población de los cultivos han sido sugeridos (Bleasdale, 1967; Nelder, 1962; Huxley y Maingu, 1978; Willey y Rao, 1981) y las densidades de población han sido estudiadas (Natarajan y Willey, 1980; Upadhyay *et al.*, 1990), particularmente los efectos de la densidad de plantación en la eficiencia del uso del agua (Eastham *et al.*, 1990), en la materia orgánica y en las reservas de nutrientes del suelo (Sparling *et al.*, 1989). El mijo a bajas densidades de población ha demostrado ser compensable por la labranza, de tal manera que la productividad y la intercepción de luz son inalteradas por incrementos en densidad (Azam-Ali *et al.*, 1984).

La captura de recursos por los árboles en relación con la densidad, ha sido objeto de un trabajo de investigación extenso. Muchos de los trabajos y esfuerzos de modelación para examinar la intercepción de la luz y la lluvia, el flujo del viento, la transferencia de masas, etc., ha tratado las poblaciones de árboles como una entidad simple, la cobertura forestal, con una distribución horizontal homogénea. Los estudios de Rutter *et al.* sobre la intercepción de la lluvia por las copas de los árboles demuestran que la evaporación del agua interceptada fue la mayor causa de las diferencias en el rendimiento de agua de cuencas con árboles (Rutter *et al.*, 1971 y 1975). Un modelo para las pérdidas de intercepción de lluvia fue construido (Rutter y Molton, 1977; Gash y Morton, 1978), el cual ha sido recientemente reevaluado con respecto al espaciamiento de los árboles (Teklehaimanot y Jarvis, 1991a; Teklehaimanot *et al.*, 1991). La evaporación del agua interceptada por doseles forestales incluyendo grupos de árboles ampliamente espaciados, como en el caso de los sistemas agroforestales (Teklehaimanot y Jarvis, 1991b) ha sido estudiada, con la conclusión que la pérdida por intercepción por unidad de área de las hojas cambia conforme se incrementa el espaciamiento de los árboles y de esta forma, la extrapolación de los resultados de los bosques es inapropiada, ya que las copas de los árboles deben ser consideradas como individuales. Presumiblemente también es necesario considerar individualmente los sistemas radicales de los árboles para entender los procesos bajo el suelo.

Se ha estimado la distribución completa de la precipitación incidente, en agua que llega al suelo en forma directa y por goteo, en escorrentía por los tallos y en pérdidas por intercepción, con relación a la estructura del dosel en una plantación de coníferas en zona templada (Ford y Deans, 1978). Se observó

una correlación positiva entre el patrón espacial de agua que llegó al suelo por goteo y en forma directa y la distribución de raíces finas (Ford y Deans, 1977). En la India fue analizado el impacto ambiental de plantaciones forestales utilizando especies de árboles de rápido crecimiento (Calder *et al.*, 1986; Harding y Rosier, 1989; Newson y Calder 1989; Calder, 1991; Calder *et al.*, 1991) en conexión con las relaciones entre el uso del agua y el área de crecimiento, basado en las mediciones diarias de la tasa de transpiración y del área transversal (Calder *et al.*, 1992). Basado en estos estudios, se desarrolló un modelo (Calder, 1992) para calcular la transpiración y el crecimiento de plantaciones de *Eucalyptus* en condiciones limitantes de agua.

La intercepción de la luz por las copas de los árboles en los bosques también ha sido examinada en detalle, particularmente para las especies de zona templada, mientras que la transmisión de la luz a través de los árboles muy espaciados ha recibido menos atención. Estudios en plantas tropicales incluyen el efecto de la sombra (Murray y Nichols, 1966; Huxley, 1967; Mathai y Chandu, 1988), respuesta de las herbáceas del sotobosque a cambios en la cobertura de las copas (Anderson *et al.*, 1969; Lee, 1989), las relaciones entre el área de la hoja y la transmisión de luz (Ewel *et al.*, 1992) y los efectos de la luz y la temperatura en la productividad del mijo (Ong y Monteith, 1985).

Mediciones y modelajes de la intercepción de la luz por doseles discontinuos en relación a la productividad se han llevado a cabo, especialmente en cultivos sembrados en hileras (Allen, 1974; Mann *et al.*, 1980), en huertos (Jackson y Palmer, 1979; Charles-Edwards y Thorpe, 1976) y en bosques (Norman y Jarvis, 1975). La distribución del área foliar en el espacio entre y dentro de las copas de árboles individuales determina primariamente la fracción de la luz incidente interceptada por los árboles (Wang y Jarvis, 1990) y consecuentemente, la productividad del árbol (Russell *et al.*, 1989). Modelos tridimensionales se han construido para árboles aislados (Charles-Edwards y Thornley, 1973; Mann *et al.*, 1979) y para árboles con espaciamientos regulares y ampliamente separados (Jackson y Middleton, 1988) y han incluido el análisis de heterogeneidad espacial de transmisión para la vegetación del sotobosque (Anderson, 1991). A pesar de que tales modelos pueden predecir la intercepción estacional de la luz y las ganancias de carbono para una configuración dada de un dosel en un sistema agroforestal, para predecir el comportamiento a través del tiempo se requiere un mayor entendimiento de la separación del carbono y del desarrollo de doseles en árboles muy separados.

Con relación a los sistemas de cultivos intercalados, el índice de área foliar y la producción de materia seca han sido estudiados para los sistemas de yuca - caupí y yuca - maní en Colombia (Mason *et al.*, 1986). Debe resaltarse que la estimación del área foliar para cultivos, doseles y árboles individuales han sido difíciles y sus estimaciones contienen un considerable error. El desarrollo reciente de técnicas para mediciones no destructivas del área foliar (Lang *et al.*, 1985; Lang y Xiang, 1986) que pueden utilizarse para copas de árboles individuales (Lang y McMurtrie, 1991) pueden facilitar el monitoreo del desarrollo del área foliar estacional para diferentes componentes de sistemas agroforestales.

La alteración en la calidad de la luz ha sido poco estudiada con relación a la agroforestería, sin embargo, se conoce que la reducción de la relación rojo/rojo lejano de la luz que penetra un dosel y asociado al índice de área foliar, es detectada por los fitocromos en las plantas del sotobosque y afecta su crecimiento y desarrollo, principalmente por la aparición de brotes laterales y la tasa de expansión de hojas, internudos y macollamientos (Morgan y Smith, 1981; Grace, 1983a,b,c; Kronenberg y Kendrick, 1986). La detección por las plantas de vecinos cercanos vía cambios en la relación entre luz roja y rojo lejano puede también ocurrir (Ballare *et al.*, 1987; Casal y Smith, 1988) y es concebible que la calidad de luz afecte la arquitectura radical, reduciendo la competencia bajo el suelo.

Competencia con una tercera especie. El control de malezas puede ser considerado para este efecto, ya que éste puede ser visto como un ejemplo de competencia entre tres especies (Levine, 1976), en el cual, una especie secundaria controla las malezas y libera al cultivo principal de una fuerte competencia con la maleza (Vandermeer, 1989). El control de maleza puede ser considerado alternativamente como una competencia preventiva según nuestra clasificación, en la cual un segundo cultivo de cobertura es utilizado entre las líneas del cultivo principal para excluir las malezas (Liebman, 1986).

En Nigeria se encontró que una combinación de maíz y caupi falló en suprimir malezas en el estadio temprano de la época de crecimiento, pero tuvo un efecto significativo posteriormente (Ayeni *et al.*, 1984), mientras que una combinación de yuca y maíz no controló las malezas en ningún estadio de crecimiento (Unamma y Ene, 1984). En Costa Rica, sin embargo, la combinación yuca - maíz fue exitosa en suprimir la invasión y el crecimiento de las malezas (Soria *et al.*, 1975). La supresión de malezas es frecuentemente lograda por el uso de la biomasa podada de los árboles como mantillo sobre la superficie del suelo.

Reducción de la competencia por la diferenciación de nichos: La productividad puede ser aumentada a través del mecanismo de reducir la competencia, algunas veces denominado "principio de la producción competitiva" (Vandermeer, 1989). El mecanismo se refiere a situaciones donde dos especies pueden utilizar más eficientemente los recursos necesarios cuando están en combinación que cuando están en monocultivo, a pesar de que una de las especies tenga un efecto en el ambiente que resulte en una respuesta negativa en otras especies. El término "complementariedad" ha sido utilizado para describir la repartición espacial o temporal de los recursos (Monteith *et al.*, 1991), pero no diferencia entre la reducción de competencia y el resultado neto de competencia y facilitación que ocurren simultáneamente. Más recientemente, la complementariedad ha sido definida como "la eficiencia con la cual las mezclas de especies capturan y utilizan los recursos limitantes para el crecimiento" (Ong y Black, en prensa).

La repartición de recursos puede ocurrir de ambas formas, espacial y temporalmente. Con relación a la repartición espacial, la intercepción de radiación por los cultivos intercalados ha sido medida en diferentes puntos dentro del cultivo y expresada como la cantidad interceptada por hilera de cada cultivo con relación a cada cultivo en monocultivo y se denomina "relación de captura de recursos" (Marshall

y Willey, 1983; Stirling *et al.*, 1990; Ong *et al.*, 1991c). Este es análogo al "uso equivalente de tierra" utilizado para determinar el sobrerrendimiento (Mead y Willey, 1980). La repartición temporal de recursos concierne a mecanismos fenológicos y lleva a aumentar la productividad debido a la captura de más recursos, más que a cambios en la eficiencia de utilización de los recursos (Willey *et al.*, 1986; Ong y Black, en prensa). Ejemplos incluyen el incremento en la intercepción de la luz y uso del agua por la combinación de cultivos de rápido y lento crecimiento, por ejemplo, sorgo y gandul (Willey *et al.*, 1986) y maíz y gandul (Sivakumar y Virmani, 1980) y la sincronización del desarrollo del dosel en las combinaciones de árboles y cultivos, por ejemplo, *Faidherbia (Acacia) albida* y mijo (Brener, 1991).

La diferenciación de nichos con base en la arquitectura radical ha sido considerada en los cultivos en callejones (Noordwijk, 1989), por la selección de árboles tales como *Leucaena leucocephala*, *Glicicidia sepium* y *Acioa barteri*. Se ha concebido que una distribución espacial óptima requiere de un desarrollo radical profundo para "bombear nutrientes" y un desarrollo horizontal limitado para reducir la competencia con las raíces del cultivo (Hairiah y Noordwijk, 1986; Noordwijk, 1989).

Estudios de la distribución de las raíces finas también se han conducido para examinar si algunos árboles (*Cassia siamea*, *Eucalyptus camaldulensis*, *E. tereticornis*, *Leucaena leucocephala* y *Prosopis chilensis*) compiten con los cultivos por nutrientes y agua (Jonsson *et al.*, 1988). Se observó que la distribución de la raíz vertical de estas especies fue similar a la del *Zea mays*, implicando una fuerte competencia entre el cultivo y el árbol. También se ha sugerido que tales hallazgos tienden a contradecir la idea de que las raíces profundas de los árboles actúan como bombas de nutrientes en los sistemas agroforestales. En sistemas silvopastoriles de zonas templadas, la asignación de biomasa a las raíces de *Prunus avium* ha mostrado incrementarse y la distribución vertical de raíces en *Fraxinus excelsior* ser desplazada hacia abajo, por la competencia con pastos agresivos (Tomlinson y Eason, 1990; Campbell y Dawson, 1991). Tales cambios en el patrón de enraizamiento de los árboles indican una respuesta a la disponibilidad reducida de agua y nutrientes en las capas superiores del suelo como resultado del consumo de recursos por el pasto. Las mezclas de árboles y cultivos pueden entonces exhibir una diferenciación del nicho más extensa que la esperada de la observación de la arquitectura de la raíz en el monocultivo.

Predación

Aunque las interacciones que involucran animales están fuera del alcance de esta revisión, es meritorio destacar que los estudios concernientes a las interacciones planta-herbívoro parecen haber considerado casos en los que el herbívoro es una parte integrada del sistema, por ejemplo, ovejas, cabras, ganado vacuno (Grace, 1983b; Goto *et al.*, 1986; Gill y Wood, 1992; Toit *et al.*, 1990; Maxwell, 1990; Hawke, 1991). Las pérdidas debidas a la predación por pestes pueden llegar hasta una tercera parte de los rendimientos de los cultivos en Africa, pero parece haber poca información sobre las interacciones planta-herbívoro en términos de la reducción de pérdidas por pestes y por cambios en las poblaciones de éstas en los sistemas agroforestales. Los experimentos de exclusión pueden permitir la determinación de la importancia de las pestes de vertebrados (herbívoros o granívoros), por ejemplo, qué sucede con la competencia y los rendimientos cuando una exclusión se pone alrededor de un sistema agroforestal? De igual manera, cuál es la diferencia en rendimiento cuando se aplican pesticidas, por ejemplo, a una plantación de mijo en monocultivo comparado con una plantación de mijo creciendo en un sistema agroforestal; ¿cuál es la importancia relativa de las pestes en estas dos prácticas de uso de la tierra y existen menos o más pestes presentes en éste último caso?

Las plagas de los cultivos han sido descritas en el contexto de los sistemas agroforestales (Epila, 1988), al igual que se ha examinado el potencial de las pestes de insectos en los cultivos intercalados para infectar la palma aceitera en un sistema agroforestal (Dhileepan, 1991). Sin embargo, la habilidad de estos sistemas para atraer predadores, por ejemplo, pájaros y aunque tales predadores son insectívoros (y de beneficio) o granívoros (y perjudiciales), han sido poco estudiados. La importancia de la agroforestería para controlar insectos predadores del ganado tampoco está clara.

En contraste, la reducción en las pérdidas por pestes en los sistemas de cultivos intercalados está bien documentada y existe un número de revisiones (por ejemplo, Perrin, 1977; Kass, 1978; Risch *et al.*, 1983) de las cuales es claro que los agroecosistemas diversificados frecuentemente muestran un reducido ataque de herbívoros, comparados con los monocultivos. Hipótesis sobre esta protección observada han sido presentadas (Aiyer, 1949; Root, 1973) e incorporadas por Vandermeer (1989) en tres categorías: (i) la hipótesis del cultivo interruptor (una segunda especie de planta quiebra la habilidad de la peste especializada para atacar eficientemente al hospedero propio), (ii) la hipótesis del cultivo trampa (una segunda especie de planta atrae una peste generalista que puede ser normalmente detrimental para la especie del cultivo principal) y (iii) la hipótesis de los enemigos (el sistema de cultivo intercalado atrae más predadores y parásitos que el monocultivo, reduciendo así las pestes por predación o parasitismo).

Mutualismo

A pesar del pequeño número de interacciones mutualísticas que ocurren en los sistemas agroforestales, dos de ellas son consideradas aquí: la fijación de nitrógeno por microbios y por micorrizas, cuya importancia es inmensa y un considerable esfuerzo de investigación se realiza actualmente para ganar un mejor entendimiento de los procesos involucrados. Ambas son mutualísticas debido a que operan en la base a la transferencia de recursos (Fitter, 1986), con la planta dando carbono en retorno por el nitrógeno en el caso de los nódulos radicales que contienen microbios fijadores de nitrógeno (Sprent, 1970) y fosfatos más otros iones y agua en el caso de las micorrizas (Harley y Smith, 1983). Los costos en carbono de la fijación de nitrógeno pueden ser altos (Minchin y Pate, 1974), pero la omnipresencia de las micorrizas sugiere que el carbón es menos limitante que el fosfato en muchas situaciones (Fitter, 1986).

Micorrizas. Considerando primero las micorrizas, la mayoría de ellas cae en los dos mayores tipos morfológicos que son las micorrizas vesiculares-arbusculares (VAM) y las ectomicorrizas (ECM). Las VAM infectan la mayoría de las especies herbáceas y algunas especies leñosas, mientras que las ECM están generalmente confinadas a las especies leñosas (Eason *et al.*, 1991). Las hifas de las micorrizas actúan como una especie de sistema radical secundario, facilitando la absorción de nutrientes por el hospedero, particularmente fosfatos.

Las micorrizas tienden a no exhibir un alto grado de especificidad con el hospedero y sus ligámenes por medio de hifas pueden unir plantas de la misma o de diferentes especies (Newman, 1988). Tales ligámenes directos pueden, de esta forma, ofrecer rutas posibles para el ciclo parcialmente cerrado de nutrientes y asimilados entre plantas (Finlay y Read, 1986; Eason *et al.*, 1991), con implicaciones atendibles para el funcionamiento de los ecosistemas. Por ejemplo, la infestación con VAM ha mostrado incrementar la transferencia de ^{32}P de las raíces moribundas de *Lolium perenne* a las plantas vivas de *Plantago lanceolata* (Ritz y Newman, 1985) y de *Lolium perenne* a *Acer pseudoplatanus* y *Fraxinus excelsior* (Eason *et al.*, 1991). Existe también evidencia de la toma directa de fósforo de hojarasca vía hifas micorrizales, de tal forma que la transferencia a través del suelo es evitada y existe un ciclo completamente cerrado (Herrera *et al.*, 1978).

Fijación del nitrógeno. La fijación de nitrógeno por las cianobacterias procaríóticas y bacterias tiene consecuencias económicas considerables (Hamilton, 1988). La taxonomía de los organismos fijadores de nitrógeno es difícil y continuamente está poniéndose al día con los microorganismos simbióticos fijadores de nitrógeno que están divididos en muchos grupos, los cuales incluyen las asociaciones con hojas y nódulos radicales del *Alnus*, *Cycas*, *Parasponia* y del tipo leguminosas (Bezdicsek y Kennedy, 1988). Estimados globales de ingresos de fijación de nitrógeno y pérdidas por lixiviación y desnitrificación son difíciles de obtener (aunque se han producido figuras, ver Hardy, 1975), que son estimados para cultivos e individuos. Métodos serológicos tales como la aglutinación, la inmunodifusión, ELISA,

inmunofluorescencia y anticuerpos monoclonales son utilizados para identificar organismos fijadores de nitrógeno (Vincent, 1970; Dudman, 1977), con la diferenciación de razas que involucran el uso de pruebas de ADN y resistencia antibiótica.

Varios factores tales como el tipo de suelo, el pH, la temperatura y el contenido de agua afectan la sobrevivencia y el funcionamiento de los organismos fijadores de nitrógeno (Marshall, 1964; Weber y Miller, 1972; Rice *et al.*, 1977) y otros organismos que incluyen los actinomicetos, bacterias y hongos que son antagonistas de algunos rizobium (Pugashetti *et al.*, 1982). En suelos donde las raíces están ausentes, los rizobium crecen pobremente a menos que sean suplementados con carbono (Bezdicsek y Kennedy, 1988). La competencia, en la forma de interacción entre razas similares de rizobium, es importante debido a que determina la proporción de nódulos ocupados por una raza dada; la inoculación es de esta forma llevada a cabo en niveles altos para saturar el sistema (Weaver y Frederick, 1974).

Se han publicado revisiones concenientes a los presupuestos de nitrógeno en el suelo (Legg y Meisinger, 1982) y de la transferencia de nitrógeno entre leguminosas y otros cultivos (Henzell y Vallis, 1977; Whitney, 1977). En Asia, cultivos de leguminosas de grano como el *Arachis hypogaea* (mani) y *Glycine max* (soja) son cultivados en rotación con arroz, maíz y yuca, en donde las leguminosas proveen una parte sustancial del ingreso de nitrógeno por medio de la fijación biológica del nitrógeno atmosférico (Cadisch *et al.*, 1989; Giller y Wilson, 1991). La contribución del nitrógeno de *Sesbania sesban* y *Leucaena diversifolia* al maíz, en sistemas de cultivos en callejones, en las tierras altas de Ruanda, también se han examinado utilizando técnicas con ^{15}N .

Los beneficios posibles de la fijación de N_2 de las leguminosas de grano para los cereales intercalados han sido examinados para determinar si la leguminosa, por fijar N_2 para su propio uso, compite débilmente con el cereal por el nitrógeno del suelo, o si la leguminosa contribuye con nitrógeno directamente para con el cereal intercalado (Morris, 1986; Giller *et al.*, 1991). Estudios previos de transferencia de nitrógeno entre leguminosas y cereales en un sistema de cultivo intercalado han producido resultados conflictivos, en los que algunos no han encontrado evidencia de la transferencia (Wahua y Miller, 1978; Ofori *et al.*, 1987; Kessel y Roskowski, 1988), mientras que otros lo contrario (Eaglesham *et al.*, 1981; Heichel y Barnes, 1984). Giller *et al.* (1991) observaron que menos del 5% del ^{15}N marcado en una leguminosa (*Phaseolus*) fue transferido al maíz en un experimento en macetas.

Comensalismo

El trabajo de investigación que directa o indirectamente se refiere al comensalismo como una interacción positiva en los sistemas de cultivos intercalados y en la agroforestería ha sido revisado (Young, 1989a; Monteith *et al.*, 1991; VanDenBelt *et al.*, 1991; Ong y Black, en prensa). El incremento en la productividad debido a la interacción positiva entre las especies ha sido llamado el "principio de producción facilitativa" (Vandermeer, 1989), donde el ambiente de una especie es modificado positivamente por otra especie, de tal forma que la primera se beneficia por la presencia de la segunda especie.

Sin embargo, competencia y facilitación muy a menudo ocurren en forma conjunta. Por ejemplo, los árboles pueden competir con un cultivo por la luz, conduciendo a una reducción en el rendimiento del cultivo por la sombra, mientras que al mismo tiempo, se incrementa la materia orgánica en el suelo y de ahí el contenido de humedad y la disponibilidad de nutrientes para el cultivo a través del mantillo de hojarasca. Esto es la suma de las interacciones positivas y negativas, o efecto neto, que se observa y requiere un estudio detallado para separar los dos efectos.

En la literatura de la investigación se encuentran dos áreas principales de investigación bajo el título de comensalismo: (i) mejoramiento del microclima por el uso de árboles como bandas protectoras y (ii) mejoramiento del suelo y ciclaje de nutrientes. Mucho del trabajo en esta última área se ha referido a los efectos mejoradores de los árboles sobre los componentes del suelo de los agroecosistemas (Sánchez, 1987; Anderson, 1987; Lal, 1989; Young, 1989a) y específicamente la importancia de la producción de mantillo, calidad, descomposición y liberación de nutrientes (Ingestad, 1987; Harrison *et al.*, 1990; Szott *et al.* 1991) y la acumulación de materia orgánica (Goh, 1980; Paul, 1984; Fassbender *et al.*, 1991). Las interacciones entre el microclima y la vegetación han sido revisadas (Grace, 1977; Monteith, 1981; Jarvis 1989; Monteith, 1990).

Protección y barreras protectoras. El uso de árboles como barreras protectoras es una vieja práctica que ha sido muy bien documentada y examinada (Zohar y Brandler, 1978; Mozheiko y Semyakin, 1984). Estudios concernientes a barreras protectoras inicialmente utilizadas como cortinas rompevientos se han llevado a cabo, particularmente en el contexto de los efectos sobre la eficiencia de uso del agua por las plantas (Greb y Black, 1961; Eimern *et al.*, 1964; Kort, 1988; Davis y Norman, 1988). La protección aérea de árboles espaciados en oposición a las barreras protectoras, ha sido analizada (Green *et al.*, 1991), considerando la aerodinámica del dosel de las plantas y el flujo del viento a través de una parcela de árboles ampliamente espaciados, utilizando un modelo de dinámica de fluidos. La investigación con este modelo sugiere que los resultados de la investigación en barreras protectoras no pueden ser aplicados a los diseños agroforestales que involucran árboles dispersos.

Modificaciones microclimáticas benéficas se han reportado para cultivos de mijo y maní sembrados en forma intercalada con setos de *Leucaena* (Corlett *et al.*, 1989), especialmente donde los últimos proveen protección contra el viento. La interacción positiva debida al mejoramiento microclimático fue, sin embargo, balanceada por el efecto negativo de competencia por el agua. La estimulación del crecimiento del cultivo por efecto de la sombra también ha sido observada (Wilson *et al.*, 1986) y el sombreado con relación a la poda discutido (Russo y Budowski, 1986).

Ciclaje de nutrientes. El trabajo de investigación en esta área ha incluido estudios de la composición de las hojarascas (mantillos) (Rout y Gupta, 1987; Sharma y Pande, 1989; Cameron y Spencer, 1989) y la liberación de nutrientes de la hojarasca de árboles (Carlisle *et al.*, 1967; Glover y Beer, 1984; Beer,

1988; Dunham, 1989; Eason, 1991; Okeke y Omaliko, 1991). La acumulación de materia orgánica a través del reemplazo de raíces ha recibido alguna atención (Kummerow, 1981; Shparik, 1988; Fahey *et al.*, 1988), pero la cuantificación, particularmente del reemplazo de raíces finas, ha sido problemática. La acumulación de materia orgánica en el suelo es importante para el mejoramiento de la capacidad de retención de agua y el laboreo del suelo.

La influencia de la fauna del suelo, particularmente de las lombrices, termitas y hormigas en sus propiedades físicas, químicas y biológicas ha sido destacada (Lal, 1988; Neelam Saharan y Singh, 1988). Las técnicas de manejo del suelo y los cultivos en agroforestería se considera que favorecen e incrementan la actividad de la fauna del suelo (Lal *et al.*, 1978; Kang *et al.*, 1985), lo cual afecta las tasas de reemplazo del suelo (Nye, 1955; Lal, 1987), la mineralización y humificación de la materia orgánica, la textura y consistencia del suelo, la porosidad (Wilkinson, 1975), la tasa de infiltración y las características de retención de agua (Lal, 1987). La contribución de las defecaciones de pájaros y ganado al ciclaje de nutrientes también ha sido investigada (Gill y Wood, 1992).

Anderson (1987) destaca que "la selección de especies de árboles particulares adaptadas a las condiciones locales del suelo pueden utilizarse para (i) cambiar el balance de los cationes devueltos a la superficie del suelo en la hojarasca, (ii) acumular materia orgánica en el suelo, (iii) proveer mantillos (mulch) de descomposición rápida o lenta para controlar la liberación de nutrientes a los cultivos e (iv) incrementar la actividad de la fauna del suelo". Considerable investigación se ha llevado a cabo en la selección y mejoramiento de los árboles para la conservación ambiental (Leakey y Last, 1980; Burley *et al.*, 1986; Leakey, 1987; Leakey y Ladipo, 1987).

Ciclaje de nutrientes y sincronización. Ligado a la descomposición de la hojarasca, el ciclaje de nutrientes y la productividad están las restricciones de la sincronización (Anderson, 1987; Swift, 1977; Anderson y Spencer, 1991). La descomposición de la hojarasca conduce con el tiempo a la liberación de nutrientes en una forma disponible para las plantas; la tasa de descomposición y de esta forma la liberación de nutrientes, esta controlada por el clima y la calidad del recurso, de tal forma que la eficiencia de transferencia del nutriente dependerá del momento de liberación en relación con la tasa de máximo crecimiento del cultivo y a la demanda de nutrientes por la planta (Swift, 1987). Un trabajo experimental esta siendo llevado a cabo bajo el programa TSBF para determinar las relaciones entre el clima, la calidad de la hojarasca y los requerimientos de la planta y para estudiar el papel de la materia orgánica del suelo, actuando como un sumidero de descomposición de nutrientes y como una fuente, regulando los patrones temporales y espaciales de la disponibilidad de nutrientes.

Ciclaje de nutrientes y prácticas de manejo. Prácticas de cultivo tales como el laboreo mecánico causan una declinación del contenido de humus en el suelo como resultado de los cambios en el régimen térmico de éste, debido al rompimiento de los agregados del suelo y los cambios en calidad y cantidad de residuos de plantas retomados al suelo (Swift y Sánchez, 1984). El efecto neto de estas perturbaciones

sobre los componentes integrados del ecosistema forestal es un cambio súbito y rápido de un sistema con una alta eficiencia de nutrientes a uno de baja eficiencia y de masiva pérdida de las reservas de nutrientes.

El barbecho forestal tiene un valor restaurativo, ligado al rebrote de árboles y arbustos de raíces profundas que reciclan nutrientes para las plantas desde profundidades considerables del perfil del suelo y acumulan materia orgánica en el suelo (Anderson, 1987). El manejo del material proveniente de podas de árboles como mantillo han sido practicado extensivamente, con el fin de obtener nutrientes para el crecimiento de los cultivos (Kass y Jiménez, 1986; Budelman, 1989).

Evidencia de interacciones positivas. Muchos estudios concernientes a los efectos benéficos del ciclaje de nutrientes han sido reportados (p.e. Gurbachan Singh *et al.*, 1988; Cuevas y Medina, 1986), incluyendo cambios en las propiedades químicas del suelo asociadas con la producción de hojarasca y el mejoramiento de la productividad (Singh *et al.*, 1989), la transferencia de nutrientes de *Eucalyptus* al trigo vía hojarasca (Sidhu y Hans, 1988), efectos de la hojarasca en la producción de pastos en climas templados (Eason, 1988) y el involucramiento de la materia orgánica del suelo (Fassbender y Alpizar, 1987).

Se ha reportado que rendimientos sostenidos de cultivos pueden obtenerse incorporando las podas de setos perennes (Kang *et al.*, 1985) y que los rendimientos del maíz sin aplicación de fertilizantes puede duplicarse mediante el uso de mantillos de hojas de árboles fijadores de nitrógeno, manteniendo los rendimientos durante las sequías (Anderson, 1987).

La presencia de hojarasca en la superficie del suelo mejora la infiltración de agua y reduce el escurrimiento y la evaporación, por lo que la hojarasca superficial y la materia orgánica del suelo influyen el flujo de agua en el suelo y los regímenes de humedad (Swift, 1987). Las interacciones positivas entre árboles y cultivos debidas al mejoramiento del agua del suelo, vía intercepción de los árboles, escurrimiento por los tallos e incremento de la infiltración de agua han sido consideradas, (Lal, 1989; Jiménez Otárola, 1989) como lo ha sido la conservación de la humedad del suelo por reducción de la evaporación debida a la cobertura vegetal (Penman, 1948; Calder, 1977; Easthen y Rose, 1988; Grewal y Abrol, 1989; Calder *et al.*, 1991).

Sección 3: Tópicos clave en Agroforestería

Ha sido descrito que la agroforestería posee "potencial para incrementar la productividad y proveer múltiples productos mientras conserva los recursos" (Corlet *et al.*, 1992b). Los factores claves explorados más adelante, en la última sección de esta publicación, son precisamente estas tres ventajas potenciales denominadas: (i) sobrerendimiento, (ii) reducción de la variabilidad del rendimiento y (iii) mantenimiento de los recursos.

Sobrerendimientos

La determinación de sobrerendimientos involucra la comparación de la producción de un cultivo en el sistema de uso de la tierra de interés contra un estándar, que se considera es el comportamiento en monocultivo. Si la producción es mayor que la que se puede obtener en monocultivo, se dice que hay sobrerendimiento y si es menor, entonces se presenta un subrendimiento (Figura 7). Sobrerendimiento puede describirse también como el "rendimiento ventajoso".

En los cultivos intercalados, el "uso equivalente de tierra" (UET) es frecuentemente utilizado como medida de eficiencia del cultivo intercalado (Mead y Willey, 1980) y es idéntico al rendimiento total relativo (RTR) ya que está basado en los requerimientos relativos de tierra para producir cultivos intercalados versus monocultivos. Se puede definir UET como la cantidad de tierra necesaria para producir en monocultivo tanto como puede producirse en una hectárea de policultivos (Vandermeer, 1989).

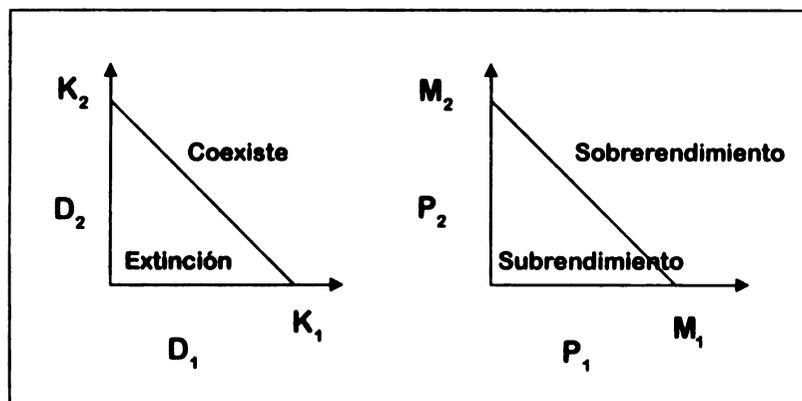


Figura 7. Representaciones diagramáticas de los principios de exclusión competitiva y de producción competitiva. En (i) D es la densidad de población de las especies 1 y 2 y K es la capacidad de carga; en (ii) P es la productividad de las especies 1 y 2 y M es el rendimiento en monocultivo. (Fuente: redibujado de Vandermeer, 1989).

UET = (rendimiento de la especie A por hectárea en policultivos / rendimiento de la especie A por hectárea en monocultivo) + (rendimiento de la especie B por hectárea en policultivos / rendimiento de la especie B por hectárea en monocultivo), donde los valores > 1,0 indican sobrerendimiento (i.e. el policultivo es más productivo).

Existen dos vías generales por las cuales el crecimiento de especies en combinación puede resultar en un rendimiento aventajado: por disminución de las interacciones negativas que ocurren cuando las especies crecen en monocultivo y por incremento de las interacciones positivas que ocurren cuando las especies crecen juntas. Las interacciones negativas encierran la predación (herbívoros) al igual que la competencia y un rendimiento aventajado puede obtenerse si el enfoque del policultivo conlleva una reducción de las pérdidas por plagas.

Las interacciones competitivas de las plantas en un monocultivo son totalmente intraespecíficas, donde los individuos de la especie dada ocuparán la misma porción en el espacio disponible del nicho y tendrán requerimientos similares de los recursos base. Una especie no puede ocupar todas las partes del espacio disponible y es así como otras especies pueden introducirse se pueden ocupar una parte diferente del mismo nicho (p.e. diferenciación de nichos). De esta forma, una mezcla de especies podrá estar ligada a una reducción de la competencia intraespecífica por disminución de la densidad de población y la introducción de competencia interespecífica. El éxito de los sistemas de especies mezcladas dependerá entonces de la intensidad de la competencia interespecífica; por maximización de la diferenciación del nicho (p.e. la habilidad para repartir recursos en el nicho), la intensidad de la competencia interespecífica será minimizada y las diferentes especies podrán coexistir con una menor declinación de la productividad. El sobrerrendimiento estará entonces correlacionado con una competencia reducida.

La optimización del "rendimiento ventajoso" puede también obtenerse de la combinación de especies por explotación adicional de las interacciones interespecíficas positivas que pueden ocurrir (Figura 8), donde una especie provee alguna clase de beneficios para otras especies por alterar su ambiente en una manera positiva. La revisión de la literatura ha revelado muchas instancias donde una especie, generalmente el componente arbóreo en los sistemas agroforestales, mejora el ambiente para otras especies, generalmente cultivos herbáceos, por incremento de la cantidad de un recurso limitante (agua, nitrógeno y otros nutrientes) o modificando el microclima. Ya se ha destacado que las interacciones positivas y negativas a menudo ocurren en forma simultánea en las mezclas de especies y el término "contracción" se ha utilizado para describir un efecto neto (+, -) de una competencia asimétrica corriente y una facilitación asimétrica. Valores relativos de rendimiento < 1 pueden sugerir una competencia fuerte con una facilitación débil y valores > 1 débil competencia con fuerte facilitación.

Una parcela de terreno puede disponerse de muchas configuraciones distintas para un sistema agroforestal (Young, 1989b) y un experimento elemental puede determinar las diferencias en el rendimiento de las especies que lo componen en cada configuración (Figura 9), donde el efecto neto de la competencia y facilitación puede variar. Alternativamente, experimentos específicos pueden llevarse a cabo (Mead, 1979; Goldberg y Werner, 1983), en los cuales el objetivo es un individuo, con otros individuos colocados sistemáticamente o al azar a su alrededor a distancias variables. El rendimiento del cultivo objetivo es así

reducido como una función de la distancia de sus competidores y un "coeficiente de competencia" puede ser calculado, el cual que describe la pérdida de rendimiento del cultivo objetivo por unidad de biomasa de los competidores que le rodean. El coeficiente de competencia puede entonces ser graficado contra la distancia entre plantas y la ocurrencia de la facilitación neta detectada (Vandemeer, 1989).

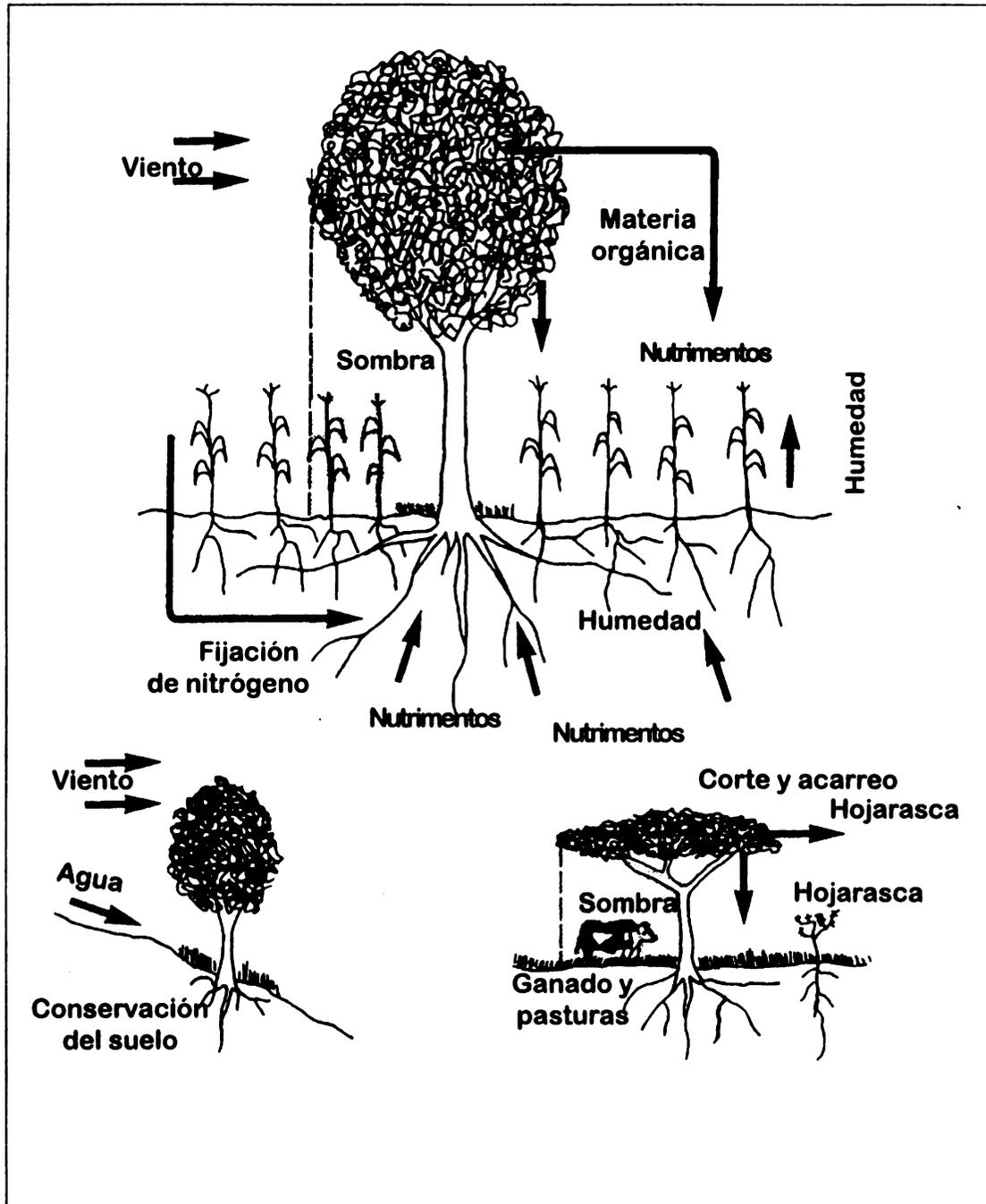


Figura 8. Interacciones positivas en los sistemas agroforestales, mediados a través del mejoramiento del ambiente. (Fuente: redibujado de Young, 1989).

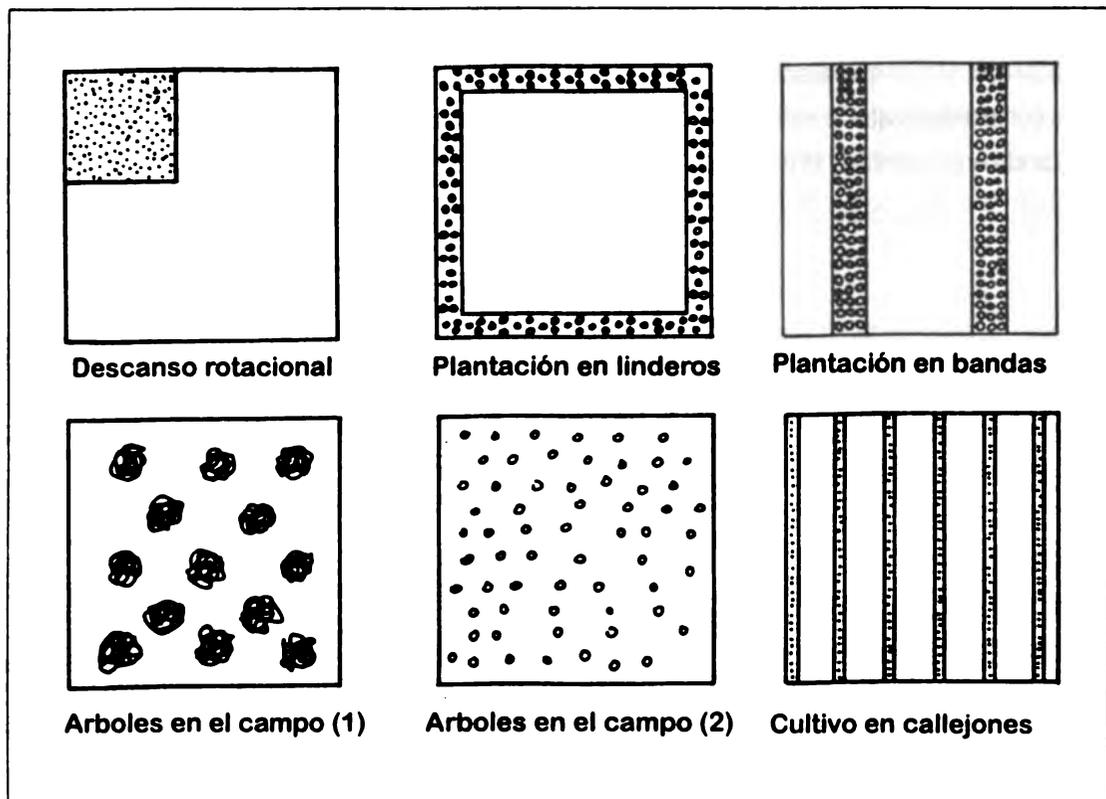


Figura 9. Posibles diseños agroforestales con un 25% de cobertura arbórea. Seis maneras de arreglar una cobertura de árboles del 25% en una hectárea. Las líneas dentro del cuadrado son las interfaces entre los cultivos y los árboles. Basado en los conceptos desarrollados por Huxley (1985). (Fuente: redibujado de Young, 1989b).

Como comentario final con relación a la habilidad de diferentes especies para coexistir, para una combinación de dos especies, la biomasa o productividad de una especie puede ser graficada contra la de la otra (Figura 7). La capacidad de acarreo (K) de cada especie es entonces la biomasa que puede obtenerse en la ausencia de las otras especies y la competencia interespecífica causa una reducción de las capacidades de consecución. Si el punto que representa la biomasa de cada especie en competencia cayera debajo de una línea imaginaria que conecte la capacidad de consecución de cada especie, entonces las dos especies no pueden coexistir (MacArthur, 1972; Colwell y Fuentes, 1975; Harper, 1977).

Reducción de la varianza de los rendimientos

La suposición sobre la cual se basa la reducción de la variabilidad de rendimientos (llamada en la literatura agronómica "estabilidad de rendimientos") es que, a una mayor diversidad de especies en el sistema, tiene una mayor capacidad de enfrentar la variación ambiental, relacionada con la evasión o dispersión de los riesgos a través de la diversificación y consecuentemente los sistemas diversos serán

inherentemente más estables (Vandermeer, 1989). Esta premisa no es aceptada universalmente y ha sido mencionado que un sistema más diversificado debe ser menos estable (May, 1974). La variabilidad del rendimiento ha sido examinada en relación con los cultivos intercalados, donde el cambio en la variabilidad al cambiar de un monocultivo a otro intercalado ha sido tratado como un producto de las interacciones interespecíficas positivas o negativas (Rao y Willey, 1980; Rao *et al.*, 1981; Faris *et al.*, 1983). En los sistemas agroforestales frecuentemente existe una mayor diversidad de especies que en un sistema simple de cultivos intercalados, pero el número de especies involucradas puede aún ser muy bajo y así poner en duda el concepto de estabilidad.

Sin embargo, la variabilidad en los cultivos intercalados puede determinarse utilizando cinco variables: el rendimiento en monocultivo de las especies A y B, el rendimiento de las especies A y B en el cultivo intercalado y el rendimiento combinado del cultivo intercalado. La varianza asociada con cada variable puede entonces utilizarse para comparar la variabilidad de cada especie en un sistema de cultivos intercalados con aquella del monocultivo y estimar la variabilidad del sistema, comparando la combinación de especies en el cultivo intercalado con aquellas de ambos monocultivos (Vandermeer, 1989). El coeficiente de variación ha sido utilizado como la medida aceptable de variabilidad, aunque medidas alternativas han sido sugeridas (Rao y Willey, 1980).

De esta forma, la varianza de la suma de los rendimientos del cultivo intercalado se ha comparado con la varianza de la suma de rendimientos del monocultivo para sorgo y gandul, donde la proporción del rendimiento total atribuido al sorgo fue igual en el intercultivo y en el monocultivo (Rao y Willey, 1980). Se encontró que el intercalado fue más estable que el monocultivo. Sin embargo, un tratamiento teórico basado en el trabajo de Schultz (1984), Vandermeer (1989) concluye que "los cultivos intercalados tenderán a ser menos variables que los monocultivos si la competencia es operativa, que ellos pueden ser más o menos variables cuando la facilitación es operativa y que pueden tender a ser más variables en casos donde el mutualismo opera".

El productor puede entonces enfrentar la selección cuando considera las opciones de uso de la tierra: ya sea evitando el riesgo o maximizando el rendimiento. Tal escogencia debe ser considerada como un problema de optimización en el cual el rendimiento es maximizado y el riesgo minimizado y la probabilidad de permanecer por encima del valor del umbral del rendimiento calculado. De nuevo, esto ha sido valorado teóricamente, con la conclusión que un cultivo secundario el cual sea altamente competitivo debe combinarse únicamente con el cultivo principal solo si puede proveer un ambiente facilitativo fuerte (Vandermeer, 1989).

"Agroforestería" es un término difuso que cubre numerosos diseños de uso de la tierra, desde arreglos análogos a arreglos de jardinería, pasando por ordenamientos donde las especies se distribuyen mezcladas unas con otras. Ambos extremos de este espectro pueden tener igual diversidad de especies

y de esta forma, basando en la suposición anterior, tales sistemas serán igualmente estables, pero la marcada diferencia en la arquitectura de los ecosistemas, podría tener efectos debidos a los cambios en el grado en que ocurren las diferentes interacciones.

Un experimento relativamente simple puede diseñarse (Figura 10) para examinar las ventajas y desventajas de plantar diferentes especies en unidades discretas o mezcladas en forma conjunta en una gran unidad. Por ejemplo, dos especies pueden ocupar una parcela de una hectárea en dos bloques, divididos a la mitad, colocando una especie en la parte izquierda y la otra en la derecha. La competencia interespecifica estará restringida a la línea limítrofe entre los dos bloques, donde la competencia intraespecifica es la interacción predominante entre las especies.

Rearreglando esta configuración para que ambas especies estén dispersas a través de la parcela de una hectárea, la competencia intraespecifica se reducirá debido a que la densidad es reducida (p.e. de 10.000 individuos en 0,5 ha a 10.000 en 1,0 ha), mientras que la competencia interespecifica será marcadamente incrementada por la mezcla de las especies. Un diseño similar se ha utilizado en el estudio de la interferencia entre dos pastos anuales, *Bromus rigidus* y *B. madritensis* (Harper, 1961). Las especies fueron sembradas a una densidad constante y en iguales proporciones, pero los arreglos de los individuos fueron tales como para maximizar contactos ya fuera entre o dentro de las especies. Al final de la estación de crecimiento, el rendimiento de las dos especies fue marcadamente diferente entre los arreglos.

Debido a que dos individuos de una misma especie tendrán un requerimiento similar de recursos y por el contrario, dos individuos de diferentes especies pueden no tenerlos, debido a la diferenciación del nicho ("repartición de recursos"), el cambio de interacción de intraespecifica a interespecifica puede resultar en un debilitamiento neto de la competencia. Tal rearreglo puede ser más ventajoso cuando los recursos de base, en una escala fina, están en parches. Cuando el arreglo es para dos monocultivos uno al lado del otro y como se ha establecido, los individuos de una especie dada tienen similares requerimientos de recursos, el recurso base necesitará ser uniforme en cada lado de la parcela si se quiere asegurar la productividad máxima de todos los individuos.

En realidad puede decirse que esto es precisamente lo que la agricultura moderna se esfuerza por alcanzar mediante el uso de agroquímicos; el desarrollo de monocultivos requiere que el productor ponga su base de recursos tan uniforme como sea posible, de tal forma que la variabilidad en el rendimiento a través de toda la cosecha sea mantenida al mínimo. La aplicación de agroquímicos puede concebirse como el crear una homogeneidad en la base de recursos. Donde los agroquímicos no están disponibles, ya sea porque no se produzcan o sean costosos, el productor debe hacer uso de la tierra con una base de recursos en parches. El desarrollo de monocultivos en tales tierras mostrará una considerable

variabilidad en el crecimiento a través del campo y así será beneficioso incrementar la diversidad de las especies por medio de combinaciones de cultivos, que tienen el potencial para una mejor utilización del ambiente "parchado".

El concepto de "veta ambiental" (MacArthur y Levins, 1964) puede de esta forma ser importante en el diseño espacial de un sistema agroforestal. Si una planta de la especie A interfiere o "experimenta" la vegetación en proporciones en las cuales las especies componentes (B, C, D, etc.) ocurren, se dice que está comportándose a manera de veta fina, mientras que si la distribución de individuos está ordenada en alguna manera que las plantas de la especie A tengan muchos vecinos de la especie B y algunos pocos de las especies C, D, E, etc., se dice que el comportamiento es de veta gruesa. En un ecosistema natural, el ordenamiento debe ser causado por alguna heterogeneidad de las condiciones físicas del ambiente (Harper, 1977). La variación local de las tasas de suministro de recursos por el suelo puede ser causada por una variedad de factores incluyendo diferencias en la permeabilidad del suelo al agua, sitios de intercambio de nitrógeno y fósforo, efectos de las excretas de los herbívoros, la erosión del suelo, la variabilidad topográfica y la retroalimentación de las plantas (Jenny, 1980).

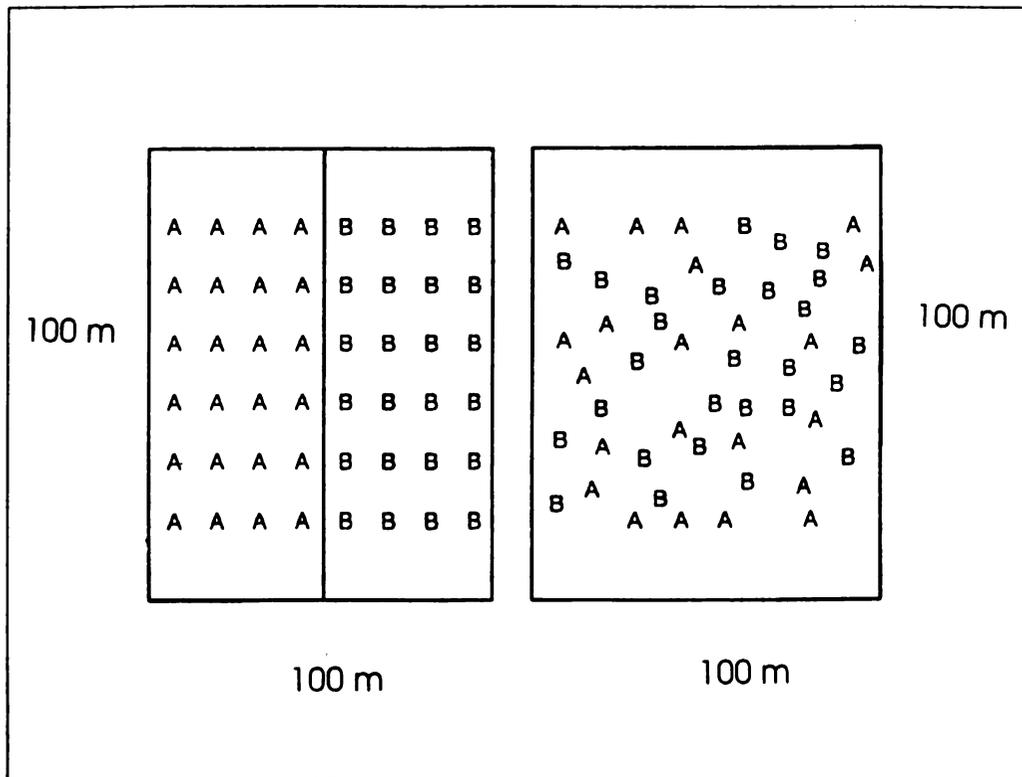


Figura 10. Arreglos alternativos para dos especies (A y B) mezcladas en 1 ha, minimizando (LHS) o maximizando (RHS) las interacciones interespecíficas.

En un sentido, el ordenamiento del agricultor es un punto artificial entre alguna parte del huerto casero, con su complejidad de interacciones de especies y la uniformidad de los monocultivos a gran escala en Europa y América. Es posible visualizar (Figura 11) un continuum desde los bosques lluviosos al monocultivo, con huertos caseros, tumba y quema, agroforestería y cultivos intercalados como puntos sucesivos en el medio de estos dos extremos. El patrón ecológico va de derecha a izquierda, reflejando incrementos en la diversidad de especies (número de especies arbóreas en particular) y, en términos de reciclaje de nutrientes, un movimiento desde sistemas abiertos, con grandes pérdidas, hacia sistemas cerrados. El patrón socioeconómico ocurre en la dirección inversa (de izquierda a derecha) y refleja un movimiento de ocupaciones "cazador-presa" a través de la agricultura de subsistencia hacia las complejidades de los mercados económicos donde las cosechas son vendidas por dinero con el cual se pueden adquirir otros bienes. El cambio socioeconómico está ligado al incremento de la densidad de población, de nuevo de izquierda a derecha, con urbanización como consecuencia de las grandes poblaciones en el extremo, resultando en dependencia de otros para la provisión de productos agrícolas.

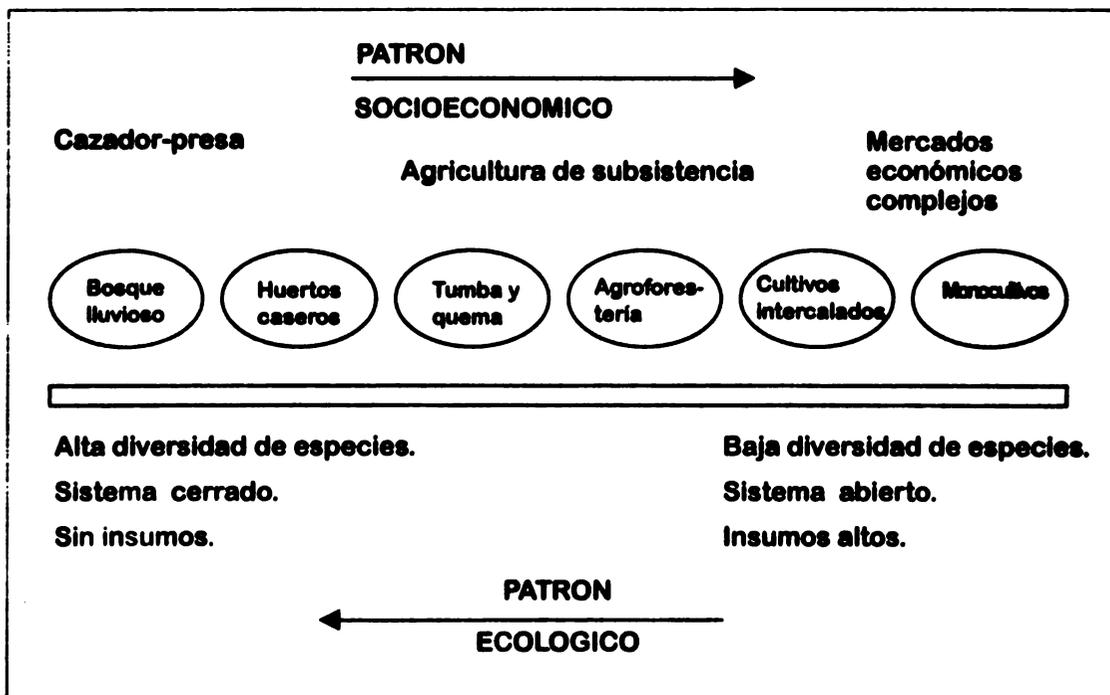


Figura 11. Continuum en la diversidad de especies y la ocupación de la tierra.

El ordenamiento del agricultor involucra la siembra de cosechas como una serie de monocultivos; este es un sistema que es considerablemente más fácil de manejar que un huerto casero, donde las especies cultivadas están dispersas por todo el espacio de terreno y también requiere menos mano de obra. El ordenamiento de las parcelas es también flexible debido a la dispersión temporal de tiempos de cosecha que permiten maximizar la utilización de la tierra, con el mismo pedazo de tierra que se utiliza

para producir más de una cosecha por estación, posiblemente adyacente a un cultivo perenne de crecimiento lento. También permite una rotación continua de cultivos de crecimiento rápido. En conclusión, ambos sistemas de uso de la tierra tienen diversidad de especies y de esa manera son potencialmente más estables (menos variables) que un sistema de una o dos especies, pero el huerto casero, siendo más intensivo en el uso de la mano de obra y temporalmente menos flexible, puede mostrar una ventaja en términos de facilitar la diferenciación de nichos, particularmente cuando la distribución de recursos en el ambiente está en parches en una escala fina.

Mantenimiento de recursos

Mientras que la estabilidad puede ser igualada con fluctuaciones ambientales o económicas de corto plazo, la sostenibilidad está referida a la habilidad de los agroecosistemas para mantener la productividad (Figura 12) con las fluctuaciones o estreses de largo plazo. Cualquier agroecosistema puede ser sostenible en el tanto en que las salidas y entradas (agua, nutrientes, energía) estén balanceadas; en el tanto en que más se remueva recursos por los cultivos, se requieren mayores insumos para mantener el balance. En los ecosistemas naturales, tales como el bosque lluvioso tropical, la dinámica de la comunidad de plantas ha alcanzado un estado de equilibrio y de esta manera la tasa de consumo de recursos es igual a la tasa de reposición (Tilman, 1988). Para examinar la cuestión de sostenibilidad, debe hacerse primero un análisis de cuál es el conocimiento de tales sistemas y los efectos de la perturbación sobre su funcionamiento.

El ciclo de nutrientes y el ciclo hidrológico en los bosques tropicales han sido extensamente revisados (Jordan, 1985; Vitousek y Sanford, 1986; Proctor, 1987; Bruijnzeel, 1990), así como se tienen las respuestas hidrológicas y de la química del suelo a las perturbaciones (deforestación) en los bosques tropicales húmedos (Bruijnzeel, 1990). Los métodos de campo y las aplicaciones para el ciclado de nutrientes en los ecosistemas terrestres también han sido revisados (Harrison *et al.*, 1990)

Un resumen muy útil de las principales vías de enlace entre los depósitos acumulados de varios nutrientes en los bosques tropicales ha sido elaborado por Proctor (1987), mencionado por Bruijnzeel (1990): "los nutrientes entran en el ecosistema con la lluvia, la deposición de polvo y aerosoles, por fijación (en el caso de nitrógeno) de los microorganismos sobre y bajo del suelo y por la meteorización (salvo para el nitrógeno) de la roca subyacente. El mayor depósito de nutrientes por encima del suelo es el dosel (definido como el total de plantas de la comunidad) y existe un flujo de nutrientes desde éste hacia el piso del bosque en forma de hojarasca pequeña y grande y a través del flujo de agua de lluvia que atraviesa el dosel y escurre por los tallos, el cual, con frecuencia va enriquecido con nutrientes de las hojas y la corteza. Una parte de los nutrientes por encima del suelo se encuentran en la materia orgánica muerta, tales como árboles muertos en pie y hojarasca pequeña y grande en el piso del bosque. Los nutrientes son paulatinamente liberados de la materia muerta por descomposición mediada por los

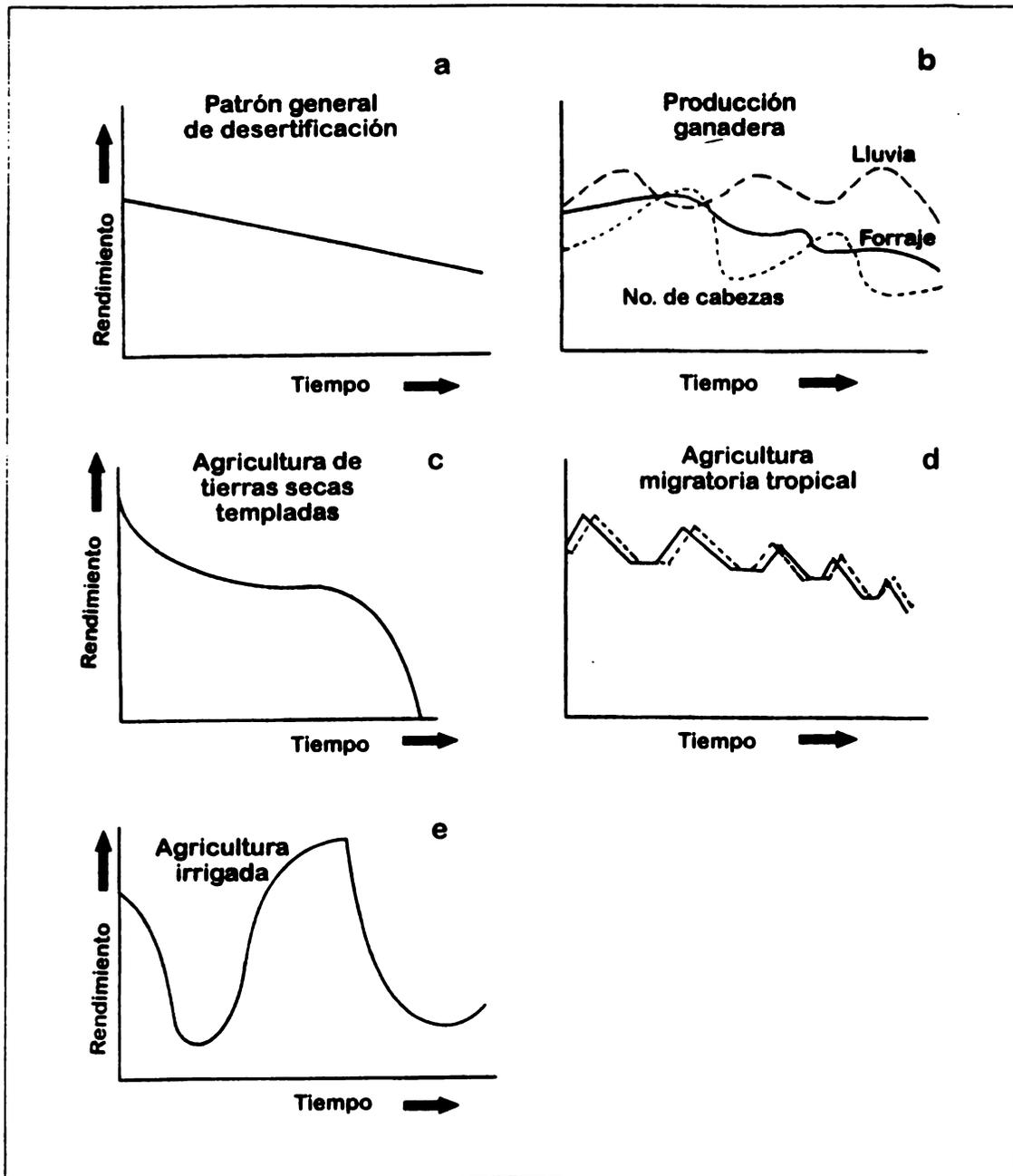


Figura 12. Cambios en la productividad con tiempo asociado con la degradación de tierras. Cambios en el rendimiento durante la desertificación para diferentes usos de la tierra: a) patrón general; b) aproximación a la situación bajo la producción ganadera; c) aproximación al patrón de tierras secas donde el cultivo continuo sobreutiliza los nutrientes del suelo, reduce el contenido de la materia orgánica y causa la erosión; d) patrón donde la agricultura migratoria en tierras secas se ha degenerado y e) Una generalización que ocurre en proyectos de irrigación, un patrón de incrementos de rendimientos, degradación, posible rehabilitación, etc.

(Fuente: UN, 1977; redibujado de Barrow, 1991).

animales del suelo y los microorganismos. La descomposición es compleja y puede involucrar la inmovilización de nutrientes al igual que su liberación. Los nutrientes son absorbidos del complejo de intercambio del suelo por las raíces (probablemente en asociación con hongos y micorrizas), las cuales proveen una reserva viviente bajo del suelo, la cual exportan luego al dosel. Las raíces liberan nutrientes al suelo en forma de secreciones y por la muerte y descomposición de sus partes. Una pérdida permanente de nutrientes ocurre por medio de la erosión de la superficie, fuego, pérdidas en el drenaje del agua y en el caso del nitrógeno por la desnitrificación abiótica o microbial. Algunos nutrientes, particularmente el fósforo, pueden efectivamente dejar el sistema por conversión a formas inorgánicas insolubles en el suelo.

Con relación a la dinámica del ciclaje de nutrientes y el mantenimiento de la productividad forestal, los mecanismos de la conservación de nutrientes son un carácter distintivo de los bosques tropicales que crecen en un sustrato pobre de nutrientes y que mantienen un alto nivel de biomasa (Bruijnzeel, 1990). Estos mecanismos permiten un ciclaje de nutrientes relativamente "impermeable" o "cerrado" con un mínimo de pérdida de nutrientes desde el sistema (Herrera *et al.*, 1978; Brinkmann, 1985). Recíprocamente, los bosques que crecen en sustratos más fértiles muestran un tipo de ciclaje de nutrientes más "abierto" (Baillie, 1989).

Se debe realizar una distinción entre bosques que han alcanzado un estado de equilibrio dinámico y bosques jóvenes o plantaciones. Estos últimos rápidamente incorporan grandes cantidades de nutrientes en su biomasa. Para los árboles jóvenes las tasas netas de absorción exceden el aprovisionamiento a partir del mantillo y del lavado de los doseles y los nutrientes adicionales deben ser proveídos por el suelo (Bruijnzeel, 1990). Como la demanda de nutrientes declina con la edad, puede presentarse un incremento gradual de las pérdidas de nutrientes conforme los requerimientos de los árboles caen por debajo de la tasa de suministro de nutrientes desde el suelo (Vitousek y Reiners, 1975). De esta forma, en el corto plazo, "la disponibilidad de nutrientes está regulada por el balance entre los procesos que liberan los nutrientes en formas disponibles y aquellos que los remueven. En el largo plazo, el estatus de los nutrientes de un ecosistema forestal depende del balance, a nivel del paisaje, entre las entradas de nutrientes (deposiciones húmedas y secas, minerales meteorizados, absorción y fijación de gases) y de las salidas (mayoritariamente lixiviación y volatilización) (Bruijnzeel, 1990).

Un modelo de reciclaje de nutrientes que simula el crecimiento de la vegetación, la caída de hojarasca y su descomposición, los procesos biogeoquímicos del suelo y las vías para el humedecimiento ha sido descrito (Gherini *et al.*, 1989). Los nutrientes disponibles en el suelo y en la vegetación, y los flujos entre las reservas, son rastreados y la interacción de los procesos que ocurren en estas reservas son utilizados para resolver el estatus de los nutrientes y consecuentemente la salud y productividad del bosque (Liu *et al.*, 1992).

Las sociedades cazador-presa han vivido en los bosques húmedos tropicales por miles de años sin destruir el bosque (Lea, 1975), mientras que la agricultura migratoria o la agricultura de tumba y quema (Whitmore, 1990) como sistemas agrícolas de los bosques húmedos de los trópicos se dice que son los responsables del 35% de la deforestación en América Latina, el 70% en África y del 50% en Asia (Bruijnzeel, 1990). Este sistema de agricultura está caracterizado por limpiar y quemar la vegetación forestal, siembra de cultivos en las cenizas durante una o dos cosechas y luego el abandono del área para la regeneración del bosque o un barbecho de arbustos. Este es sostenible bajo las condiciones climáticas y edáficas de los trópicos húmedos siempre que el periodo de cultivo no sea demasiado largo o que el periodo de descanso no sea muy corto, en cuyo caso el sistema se degradará debido a que la sucesión del bosque es postergada y se deja un tiempo insuficiente para la acumulación de nutrientes en la vegetación (Sánchez, 1976; Scott, 1987). La declinación de rendimientos durante el periodo de cosecha se debe a múltiples factores, incluyendo el agotamiento de la fertilidad del suelo, el incremento de la infestación de malezas, el deterioro de las propiedades físicas del suelo y el incremento del ataque de insectos y enfermedades (Sánchez, 1976). El periodo de descanso requerido para restaurar la fertilidad es largo en áreas de alta erosión y lixiviación potencial (Bruijnzeel, 1990).

En un estudio que se comparó la dinámica de los nutrientes y la productividad en un bosque natural virgen y en una pastura nueva en Venezuela (Buschbacher, 1984) se observó que la corta y quema produce, inicialmente, grandes incrementos en la disponibilidad de nutrientes en la superficie del suelo, los cuales rápidamente declinan durante el primer año de uso de la pastura y luego subsecuentemente más despacio. Se concluyó que una vez que todo el material leñoso fue descompuesto, las reservas de nutrientes en el suelo probablemente no pueden ser mantenidas y el sitio entonces debe ser fertilizado o abandonado.

¿Qué se puede concluir acerca de la sostenibilidad de un agroecosistema dado el estado de conocimientos concernientes al bosque y los sistemas de pasturas (Figura 13) y los efectos de las perturbaciones para la conversión en tierras agrícolas? El reciclaje biogeoquímico, el reciclaje continuo de elementos dentro del ecosistema, de componentes no vivos a organismos vivos y viceversa (Odum, 1971), es importante. En este contexto, las escalas (factores paisajísticos) llegan a ser importantes: ¿Dónde están los límites del sistema? Si, como ha sido sugerido (Calder *et al.*, 1992), los árboles pueden extraer reservas de aguas subterráneas, entonces estudios a la escala de cuenca son necesarios con relación al sostenimiento de la productividad de los árboles. Existe poca información sobre los ingresos y salidas absolutas en la escala de cuenca para los ambientes tropicales, sin embargo, es vital conocer si la acumulación de recursos está ocurriendo o no si el objetivo es "utilizar las ganancias" en términos de los niveles de cultivo.

En cualquier sistema de cultivo en que los recursos son sacados, éstos deben ser reemplazados par que el rendimiento sea sostenido. Nuevamente esto puede ser considerado como un problema de

optimización donde la cantidad que debe ser cosechada se maximiza por ingresos mínimos mientras se mantienen las reservas de recursos. La rotación de cultivos que permite compartir recursos en tiempo más que en el espacio, puede explotar eficientemente los recursos disponibles si se provee el uso de combinaciones deseables de cultivos. Esto extiende el tiempo requerido antes de que sea necesario adicionar recursos. Este no puede, *per se*, mantener o restaurar los niveles de todos los recursos, al menos que uno de los componentes de la rotación sea un período de barbecho durante el cual agua y nutrimentos puedan acumularse, recargando la reserva del sistema a los volúmenes de precultivo.

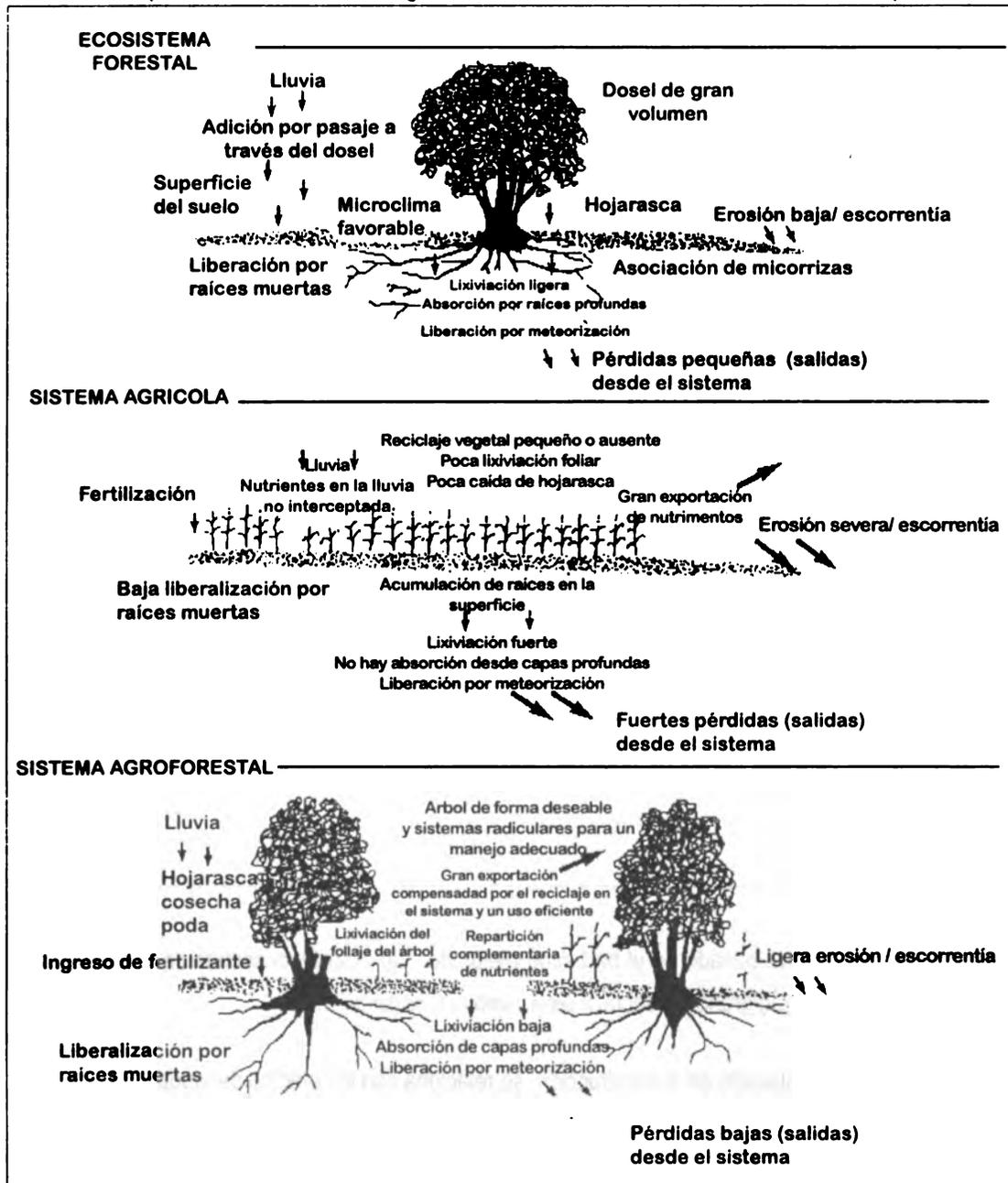


Figura 13. La Agroforestería como un sistema combinado de beneficios de los ecosistemas forestales con prácticas agrícolas (Fuente: rediseñado de Mainguet, 1991.)

Así, el barbecho mejorado (Figura 14) es quizás, la opción de manejo más realística para la sostenibilidad de los sistemas agroforestales, cuando los niveles deseados de cosecha exceden los niveles de insumos y conducen al agotamiento de la base de los recursos. El barbecho proporciona restablecimientos periódicos de los niveles de los recursos, siempre que la fase de cultivo no sea muy larga y conlleve cambios ambientales irreversibles. Estudios biogeoquímicos pueden ser esenciales en la determinación de los periodos óptimos relativos para las fases de barbecho y de cultivo en el ciclo de uso de la tierra.

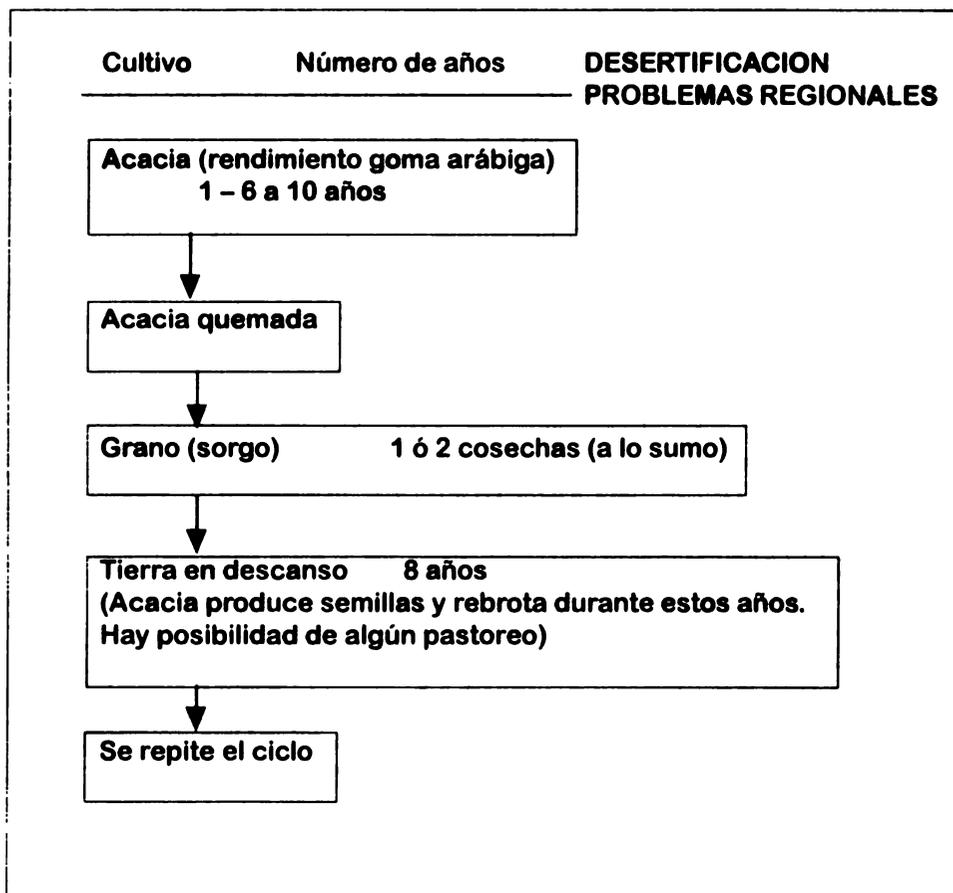


Figura 14. Uso de la tierra basado en el barbecho mejorado: un ciclo de cosechas de goma arábica (*Acacia senegal*)/grano/barbecho (Fuente: redibujado de Barrow, 1991).

Un punto final, destacado en la introducción, se relaciona con los efectos del agotamiento de los recursos sobre las interacciones de las especies que ocurren en un sistema agroforestal y la competencia por los recursos limitados en particular. Es razonable, basándose en el argumento introducido antes por Tilman (1988), que la especie que está en capacidad para mantener la tasa más alta de crecimiento, al nivel más bajo de un recurso limitante será superior para competir con otras especies que tienen mayores requerimientos. La intensidad de la competencia se incrementará en el tanto en que el recurso devenga

progresivamente más escaso (p.e. las plantas deben competir fuertemente en hábitats con bajos niveles de recursos; c.f. Grime, 1979) y no es posible visualizar ya sea los flujos de recursos a través del ambiente o la competencia entre las especies en aislamiento.

Las propuestas de Tilman se refieren a poblaciones de plantas cuya dinámica se encuentra en equilibrio, donde el tamaño de la población puede ser expresado como biomasa por unidad de área y la tasa de crecimiento para una especie dada es dependiente del nivel de los recursos. El nivel de los recursos al cual las ganancias (del crecimiento vegetativo y reproductivo) son iguales a las pérdidas (de la disturbancia, predación y otras fuentes de mortalidad) y de esta forma tiene un cero como tasa neta de cambios de población para las especies, es denotado como R^* . Este nivel de recursos puede ser resuelto, ya sea permitiendo a las especies ganar su biomasa de equilibrio en una plantación monoespecífica y fijando el nivel al cual se reducen los recursos limitantes al equilibrio (p.e. donde la tasa de provisión de recursos y consumo se igualan), o determinando la dependencia de las tasas de crecimiento de las especies de los niveles de los recursos, p.e. construyendo curvas de crecimiento dependientes de los recursos. Si el nivel de recursos en el nicho es $> R^*$ el tamaño de la población puede incrementarse, reduciendo así el nivel de recurso hacia R^* , mientras que si el nivel de recursos es $< R^*$, el tamaño de la población disminuirá, permitiendo al nivel de los recursos incrementarse debido a la reducción de las tasas de consumo. Utilizando este enfoque del equilibrio (Figura 15), la competencia entre dos especies por dos recursos limitantes pueden tener uno de cuatro posibles resultados: (i) la especie A gana y desplaza la especie B; (ii) la especie B gana y desplaza la especie A; (iii) hay una coexistencia estable y (iv) hay una coexistencia inestable. Dos factores influyen fuertemente la disponibilidad de recursos en el equilibrio, (1) la tasa de pérdida de las especies y (2) la tasa de suministro del recurso limitante. La tasa máxima de crecimiento vegetativo de la especie es entonces la mayor tasa de crecimiento en el hábitat que no está limitado por ningún recurso.

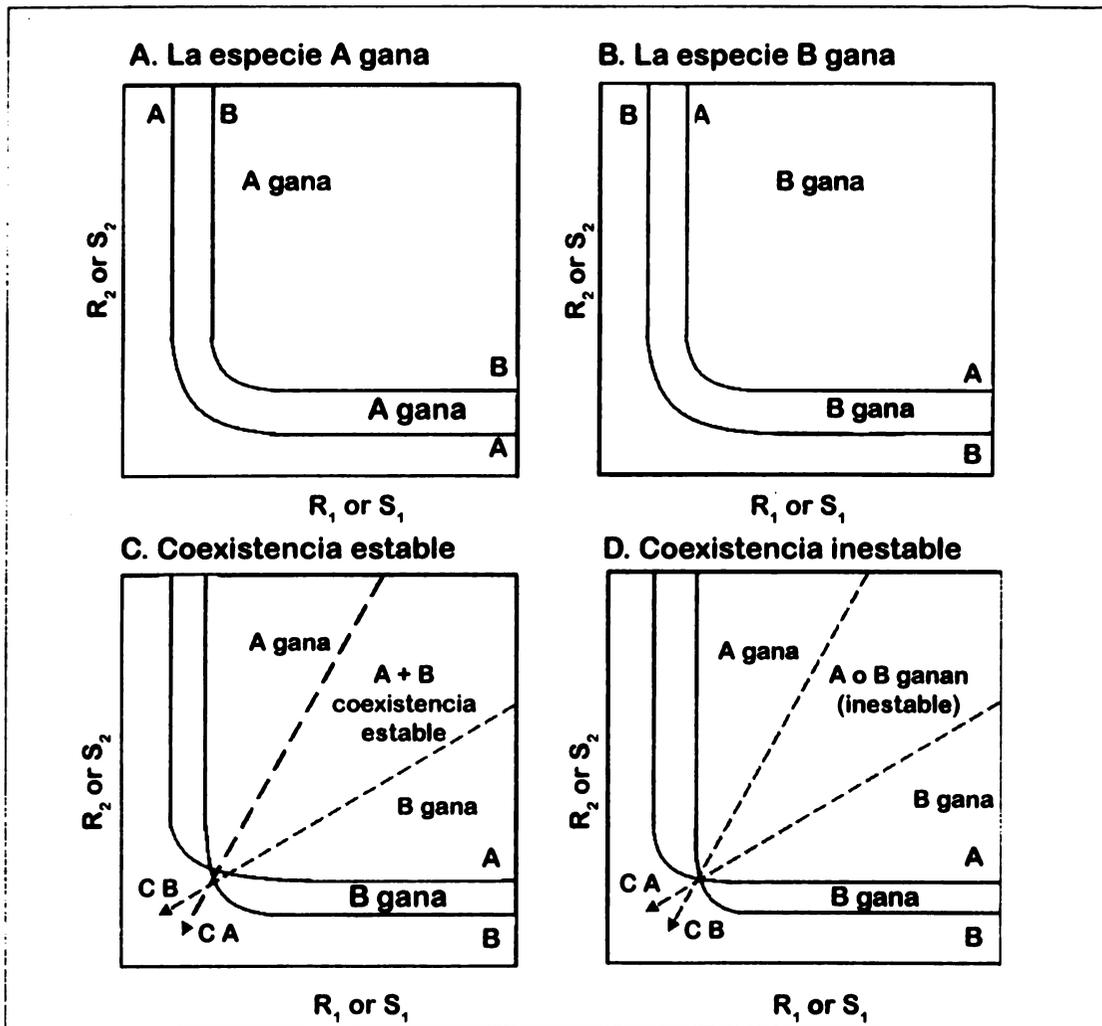


Figura 15. Cuatro posibles resultados de la competencia entre dos especies por dos recursos limitantes. Las líneas sólidas marcadas con A y B son isoclinas de cero crecimiento neto, dependientes de recursos (R_1 y R_2), para las especies A y B. Las posiciones de estas isoclinas y de los vectores de consumo de recursos (líneas débiles y punteadas C_A y C_B) determinan el resultado en equilibrio de competencia en cada hábitat. (A) La especie A es un competidor superior para ambos recursos en todos los hábitats (puntos de suministro de recursos) en los cuales cualquiera de las especies puede sobrevivir y esta desplaza a B. (B) La especie B es un competidor superior para ambos recursos y desplaza a A. (C) Las isoclinas se cruzan en el punto de equilibrio de las dos especies. En combinación con los vectores de consumo de recursos de las dos especies, estas isoclinas determinan las condiciones hábitat en las que la especie A gana, ambas especies coexisten o la especie B gana. Cada hábitat está definido por su punto de suministro de recursos (S_1 , S_2). La región marcada muestra el producto de la competencia esperada para los puntos de suministro que caen en cada región. Para este caso el punto de equilibrio es estable. (D) Aquí, los vectores de consumo están invertidos. Esto causa que el punto de equilibrio de las dos especies sea inestable. Tanto A o B ganan en esta región, con el ganador determinado por las condiciones iniciales.

(Fuente: redibujado de Tilman, 1988).

Resumen y conclusiones

1. La Agroforestería es considerada primariamente como un conjunto de prácticas de uso de la tierra que pretende hacer real el beneficio del crecimiento conjunto de especies leñosas y herbáceas, comúnmente con la adición de árboles a los terrenos que ya están siendo utilizados en ganadería o en la producción de cultivos.
2. La mayoría de los estudios experimentales de campo en agroforestería realizados hasta la fecha han reportado efectos netos en la productividad, por lo que el resultado de las interacciones planta-planta pueden describirse como positivas, negativas o sin efecto sobre cada una de las especies en la combinación. Estos estudios fenomenológicos no establecen los mecanismos involucrados y son altamente específicos para un sitio determinado.
3. Con el propósito de enfocarse en los procesos fundamentales que operan en los sistemas agroforestales, se requiere una aproximación mecanística. La planta y su ambiente se modifican uno al otro por lo que el ambiente causa respuesta en las funciones y crecimiento de la planta y la planta entonces tiene un efecto sobre el ambiente cambiando uno o más de sus factores. La agroforestería se ocupa entonces de las formas en las cuales una planta puede influenciar a sus vecinas por cambiar su ambiente. Estudios mecanísticos, los cuales establecen explícitamente los procesos por los cuales los individuos de una especie influyen individuos de esa misma o de otras especies, producen resultados que son factibles de modelar y son de aplicabilidad más general.
4. Las interacciones de las especies pueden ser ventajosas, llevando a un incremento en el rendimiento total, a una reducida variabilidad del rendimiento y a la protección de los recursos base. Estas consecuencias ecológicas son análogas a los conceptos socioeconómicos que tienen que ver con productividad, vulnerabilidad y sostenibilidad en los sistemas marginales de uso de la tierra.
5. La investigación futura debe concentrarse en la interfase árbol-cultivo y específicamente considerar: (i) estudios bajo la superficie del suelo; (ii) ciclaje de nutrimentos y agua y (iii) prácticas agroforestales tradicionales. Los modelos basados en procesos deben tener un papel central en la investigación y debe construirse una base de conocimientos para ayudar en el esfuerzo de investigación.

LITERATURA CITADA

- AIYER, A.K.Y.N. 1949. Mixed cropping in India. *Indian Journal of Agricultural Sciences* 19: 439-543.
- ALLEN J.H. Jr. 1974. Model of light penetration into a wide-row crop. *Agronomy Journal* 66: 41-47.
- ANDERSON, J.M. 1987. Plant nutrient-use efficiencies and soil processes in natural and agricultural ecosystems. *In: Amelioration of soil by trees: a review of current concepts and practices.* R.T Prinsley, M.J Swift (Eds.). London, UK: Commonwealth Secretariat, Commonwealth Science Council. p. 20-29.
- ANDERSON, J.M.; SPENCER, T. 1991. Carbon, nutrient and water balances of tropical rain forest ecosystems subject to disturbance: management implications and research proposals. *MAB Digest No. 7:* 95.
- ANDERSON, R.C.; LOUCKS, O.L.; SWAIN, A.M. 1969. Herbaceous response to canopy cover, light intensity and throughfall precipitation in coniferous forests. *Ecology* 50: 255-263.
- ANDERSON, T.R. 1991. Computer modelling of agroforestry systems. Ph.D. Thesis. University of Edinburgh, UK.
- ASPINALL, D. 1960. An analysis of competition between barley and white persicaria. II. Factors determining the course of competition. *Annals of Applied Biology* 48: 637-654.
- AYENI, A.O.; DUKE, W.B.; AKOBUNDU, I.O. 1984. Weed interference in maize, cowpea and maize/cowpea intercrop in a subhumid tropical environment. I. Influence of cropping season. *Weed Research (Oxford)* 24: 269-279.
- AZAM-ALI, S.N.; GREGORY, P.J.; MONTEITH, J.L. 1984. Effects of planting density on water use and productivity of pearl millet (*Pennisetum typhoides*) grown on stored water. II. Water use, light interception and dry matter production. *Experimental Agriculture* 20: 215-224.
- BAILLIE, I.C. 1989. Soil characteristics and classification in relation to the mineral nutrition of tropical wooded ecosystems. *In: Mineral nutrients in tropical forest and savanna ecosystems.* J. Proctor (Ed.). Oxford, UK; Blackwell Scientific Publications. p. 15-26.
- BALLARE, C.L.; SANCHEZ, R.A.; SCOPEL, A.L.; CASAL, J.J.; GHERSA, C.M. 1987. Early detection of neighbour plants by phytochrome perception of spectral change in reflected sunlight. *Plant, Cell and Environment* 10: 551-558.
- BARBER, S.A. 1984. Soil nutrient bioavailability: a mechanistic approach. New York, USA; John Wiley & Sons, Inc.
- BARROW, C.J. 1991. Land degradation: development and breakdown of terrestrial environments. Cambridge, UK; Cambridge University Press.
- BEER, J. 1988. Litter production and nutrient cycling in coffee (*Coffea arabica*) or cacao (*Theobroma cacao*) plantations with shade trees. *Agroforestry Systems* 7: 103-114.

- BERGH, J.P. van den. 1968. An analysis of yields of grasses in mixed and pure stands. Verslagen van Landbouwkundige Onderzoekingen 714: 1-71.
- BEZDICEK, D.F.; KENNEDY, A.C. 1988. Symbiotic nitrogen fixation and nitrogen cycling in terrestrial environments. *In: Micro-organisms in action: concepts and applications in microbial ecology.* J.M. Lynch, J.E. Hobbie (Eds.). Oxford, UK; Blackwell Scientific Publications. p. 241-260.
- BLACKMAN, F.F. 1905. Optima and limiting factors. *Annals of Botany* 19: 281-295.
- BLEASDALE, J.K.A. 1967. Systematic designs for spacing experiments. *Experimental Agriculture* 3: 73-85.
- BRADSHAW, A.D.; CHADWICK, M.J. 1980. The restoration of land: the ecology and reclamation of derelict and degraded land. Oxford, UK; Blackwell Scientific Publications.
- BRENNER, A. 1991. Millet growth behind shelter in the Sahel. *Agroforestry in the UK* 2: 30-38.
- BRINKMANN, W.L.F. 1985. Studies on hydrobiogeochemistry of a tropical lowland forest system. *GeoJournal* 11: 89-101.
- BROWN, D.P.; PRATUM, T.K.; BLEDSOE, C.; FORD, E.D.; COTHERN, J.S.; PERRY, D. 1991. Non-invasive studies of conifer roots: nuclear magnetic resonance, (NMR) imaging of Douglas-fir seedlings. *Canadian Journal of Forest Research* 21: 1559-1566.
- BRUIJNZEEL, L.A. 1990. Hydrology of moist tropical forests and effects of conversion: a state of knowledge review. Amsterdam, Netherlands; Free University Press.
- BUDELMAN, A. 1989. Effect of the application of the leaf mulch of *Gliricidia sepium* on early development, leaf nutrient contents and tuber yields of water yam (*Dioscorea alata*). *Agroforestry Systems* 8: 243-256.
- BURLEY, J.; HUGHES, C.E.; STYLES, B.T. 1986. Genetic systems of tree species for arid and semiarid regions. *Forest Ecology and Management* 16: 317-344.
- BUSCHBACHER, R.J. 1984. Changes in productivity and nutrient cycling following conversion of Amazonian rain forest to pasture. Ph.D. Thesis, University of Georgia, Athens, USA.
- CADISCH, G.; SYLVESTER-BRADLEY, R.; NOSBERGER, J. 1989. ¹⁵N based estimation of nitrogen fixation of eight tropical forage legumes at two levels of P:K supply. *Field Crops Research* 22: 181-194.
- CAEMMERER, S. von; FARQUHAR, G.D. 1984. Effects of partial defoliation, changes of irradiance during growth, short-term water stress and growth at enhanced p(CO₂) on the photosynthetic capacity of leaves of *Phaseolus vulgaris* L. *Planta* 160: 320-329.
- CALDER, I.R. 1977. A model of transpiration and interception loss from a spruce forest in Plynlimon, central Wales. *Journal of Hydrology (Amsterdam)* 33: 247-265.

- CALDER, I.R. 1991. Deuterium tracing for the estimation of transpiration from trees. Part 2. Estimation of transpiration rates and transpiration parameters using a time-averaged deuterium tracing method. *Journal of Hydrology (Amsterdam)* 130: 27-35.
- CALDER, I.R. 1992. A model of transpiration and growth of *Eucalyptus* plantation in water-limited conditions. *Journal of Hydrology (Amsterdam)* 130: 1-15.
- CALDER, I.R.; NARAYANSWAMY, M.N.; SRINIVASALU, N.V.; DARLING, W.G.; LARDNER, A.J. 1986. Investigation into the use of deuterium as a tracer for measuring transpiration from eucalyptus. *Journal of Hydrology (Amsterdam)* 84: 345-351.
- CALDER, I.R.; KARIYAPPA, G.S.; SRINIVASALU, N.V.; MURTHY, K.V.S. 1991. Deuterium tracing for the estimation of transpiration from trees. Part 1. Field calibration. *Journal of Hydrology (Amsterdam)* 130: 17-25.
- CALDER, I.R.; SWAMINATH, M.H.; KARIYAPPA, G.S.; SRINIVASALU, N.V.; MURTHY, K.V.S.; MUMTAZ, J. 1992. Deuterium tracing for the estimation of transpiration from trees. Part 3. Measurements of transpiration from *Eucalyptus* plantation, India. *Journal of Hydrology (Amsterdam)* 130: 37-48.
- CAMERON, G.N.; SPENCER, S.R. 1989. Rapid leaf decay and nutrient release in a Chinese tallow forest. *Oecologia* 80: 222-228.
- CAMPBELL, C.D. 1989. The importance of root interactions for grass and trees in a silvopastoral system. *Aspects of Applied Biology* 22: 255-261.
- CAMPBELL, C.D.; DAWSON, L.A.M. 1991. Below-ground competition between trees and grass in a silvopastoral system. *Agroforestry in the UK* 2: 39-43.
- CARLISLE, A.; BROWN, A.H.F.; WHITE, E.J. 1967. The nutrient content of tree stem flow and ground flora litter and leachates in a sessile oak (*Quercus petraea*) woodland. *Journal of Ecology (Oxford)* 55: 615-627.
- CASAL, J.J.; SMITH, H. 1988. Persistent effects of changes in phytochrome status on internode growth in light-grown mustard: occurrence, kinetics and locus of perception. *Planta* 175: 214-220.
- CHARLES-EDWARDS, D.A.; THORNLEY, J.H.M. 1973. Light interception by an isolated plant, a simple model. *Annals of Botany* 37: 919-928.
- CHARLES-EDWARDS, D.A.; THORPE, M.R. 1976. Interception of diffuse and direct-beam radiation by a hedgerow apple orchard. *Annals of Botany* 40: 603-613.
- CLATWORTHY, J.N. 1960. Studies on the nature of competition between closely related species. D. Phil. Thesis, University of Oxford, UK.
- CLEMENTS, F.E. 1928. Plant succession and indicators. New York, USA; H. W. Wilson Co.
- COLWELL, R.K.; FUENTES, E.R. 1975. Experimental studies on the niche. *Annual Review of Ecology and Systematics* 6: 281-310.

- CONWAY, G.R. 1987. The properties of agroecosystems. *Agricultural Systems* 24: 95-117.
- CORLETT, J.E.; ONG, C.K.; BLACK, C.R. 1989. Microclimate modification in intercropping and alley-cropping. *In: Meteorology and agroforestry. Proceedings of an international workshop on the application of meteorology to agroforestry systems planning and management, Nairobi 9-13 February 1987.* W.S. Reifsnnyder, T.O Darnhofer (Eds.). Nairobi, Kenya; ICRAF. p. 419-430.
- CORLETT, J.E.; ONG, C.K.; BLACK, C.R.; MONTEITH, J.L. 1992^a. Above- and below-ground interactions in a leucaena/millet alley cropping system. 1. Experimental design, instrumentation and diurnal trends. *Agricultural and Forest Meteorology* 60: 53-72.
- CORLETT, J.E.; BLACK, C.R.; ONG, C.K.; MONTEITH, J.L. 1992^b. Above- and below-ground interactions in a leucaena/millet alley cropping system. II. Light interception and dry matter production. *Agricultural and Forest Meteorology* 60: 73-91.
- CRAWLEY, M.J. 1986. *Plant ecology.* Oxford, UK; Blackwell Scientific Publications.
- CUEVAS, E.; MEDINA, E. 1986. Nutrient dynamics in Amazonian forest ecosystems. I. Nutrient flux in fine litter fall and efficiency of nutrient utilisation. *Oecologia* 68: 466-472.
- DAVIS, J.E.; NORMAN, J.M. 1988. Effects of shelter on plant water use. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 22-23: 393-402.
- DHILEEPAN, K. 1991. Insect pests of intercrops and their potential to infest oil palm in an oil palm based agroforestry system in India. *Tropical Pest Management* 37: 57-58.
- DIXON, D. 1992. Can agroforestry meet Indias needs? *Farming World*, BBC World Service broadcast.
- DONALD, C.M. 1958. The interaction of competition for light and for nutrients. *Australian Journal of Agricultural Research* 9: 421-435.
- DUDMAN, W.F. 1977. Serological methods and their application to dinitrogen-fixing organisms. *In: A treatise on dinitrogen fixation. Section IV: agronomy and ecology.* R. Hardy, A. Gibson (Eds.). New York, USA; John Wiley. p. 487.
- DUNHAM, K.M. 1989. Litterfall, nutrient fall and production in an *Acacia albida* woodland in Zimbabwe. *Journal of Tropical Ecology* 5: 227-238.
- EAGLESHAM, A.R.J.; ANYANABA A.; RAO, V.R.; ESKEW, D.L. 1981. Improving the nitrogen nutrition of maize by intercropping with cowpea. *Soil Biology & Biochemistry* 13: 169- 171.
- EASON, W.R. 1988. Effect of tree litter on sward botanical composition and growth. *In: Proceedings of a Research Meeting held at the Welsh Agricultural College, Aberystwyth, 13-15 September 1988.* Hurley, UK; British Grassland Society.

- EASON, W.R. 1991. The effect of tree leaf litter on sward botanical composition and growth. *In: Agroforestry: principles and practices. Proceedings of an international conference 23-28 July 1989 at the University of Edinburgh, UK. P.G Jarvis (Ed.). Amsterdam, Netherlands; Elsevier. pp. 165-172. Also: Forestry Ecology and Management 45: 165-172.*
- EASON, W.R.; NEWMAN, E.I.; CHUBA, P.N. 1991. Specificity of interplant cycling of phosphorus: the role of mycorrhizas. *Plant and Soil 137: 267-274.*
- EASTHAM, J.; ROSE, C.W. 1988. Pasture evaporation under varying tree planting density in an agroforestry experiment. *Agricultural Water Management 15: 87-105.*
- EASTHAM, J.; ROSE, C.W.; CHARLES-EDWARDS, D.A.; CAMERON, D.M.; RANCE, S.J. 1990. Planting density effects on water use efficiency of trees and pasture in an agroforestry experiment. *New Zealand Journal of Forestry Science 20: 39-53.*
- EIMERN J. van; KARSCHON, R.; RAZUMOVA, L.A.; ROBERTSON, G.W. 1964. Windbreaks and shelterbelts. *WMO Technical Note No. 59.*
- EPILA, J.S.O. 1988. Wind, crop pests and agroforest design. *Agricultural Systems 26: 99-110.*
- EWEL, J.; BENEDICT, F.; BERISH, C.; BROWN, B.; GLIESSMAN, S.; AMADOR, M.; BERMUDEZ, R.; MARTINEZ, A.; MIRANDA, R.; PRICE, R. 1982. Leaf area, light transmission, roots and leaf damage in nine tropical plant communities. *Agro-Ecosystems 7: 305-326.*
- FAHEY, T.J.; HUGHES, J.W.; PU, M.; ARTHUR, M.A. 1988. Root decomposition and nutrient flux following whole-tree harvesting of northern hardwood forest. *Forest Science 34: 744-768.*
- FARIS, M.A.; ARAUJO, M.R.A. de; LIRA, M. de A.; ARCOVERE, A.S.S. 1983. Yield stability in intercropping studies of sorghum or maize with cowpea or common beans under different fertility levels in northeastern Brazil. *Canadian Journal of Plant Science 63: 789-799.*
- FASSBENDER, H.W.; ALPÍZAR, L. 1987. Criteria for the evaluation of organic matter and nutrient cycling in agroforestry systems. *In: Advances in agroforestry research. Proceedings of a seminar held in CATIE, Turrialba, Costa Rica from September 1-11 th, 1985. and sponsored by CATIE and GTZ. J. W. Beer, H. W. Fassbender, J. Heuvelodop (Eds.). Serie Técnica: Informe Técnico - Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza No. 117. p. 91-103.*
- FASSBENDER, H.W.; BEER, J.W.; HEUVELDOP, J.; IMBACH, A.; ENRIQUEZ, G.; BONNEMANN, A. 1991. Ten year balances of organic matter and nutrients in agroforestry systems at CATIE, Costa Rica. *In: Agroforestry: principles and practice. Proceedings of an international conference 23-28 July 1989 at the University of Edinburgh, UK. P.G Jarvis (Ed.). Amsterdam, Netherlands; Elsevier. p. 173-183. Also: Forest Ecology and Management 45: 173-183.*
- FINLAY, R.D.; READ, D. J. 1986. The structure and function of the vegetative mycelium of ectomycorrhizal plants. I. Translocation of ¹⁴C-labelled carbon between plants interconnected by a common mycelium. *New Phytologist 103: 143-156.*

- FITTER, A.H. 1986. Acquisition and utilisation of resources. *In: Plant ecology*. M.J. Crawley (Ed.) Oxford, UK, Blackwell Scientific Publications. p. 375-405.
- FORD, E.D.; DEANS, J.D. 1977. Growth of a Sitka spruce plantation: spatial distribution and seasonal fluctuations of lengths, weights and carbohydrate concentrations of fine roots. *Plant and Soil* 47: 463-486.
- FORD, E.D.; DEANS, J.D. 1978. The effects of canopy structure on stemflow, throughfall and interception loss in a young Sitka spruce plantation. *Journal of Applied Ecology* 15: 905-917.
- FRANCO, M.; HARPER, J.L. 1988. Competition and the formation of spatial pattern in spacing gradients: an example using *Kochia scoparia*. *Journal of Ecology (Oxford)* 76: 959-974.
- GASH, J.H.C.; MORTON, A.J. 1978. An application of the Rutter model to the estimation of the interception loss from Thetford Forest. *Journal of Hydrology (Amsterdam)* 38: 49-58.
- GHERINI, S.; MUNSON, R.; ALTWICKER, E.; APRIL, R.; CHEN, C.; CLESCERI, N.; CRONAN, C.; DRISCOLL, C.; JOHANNES, A.; NEWTON, R.; PETERS, N.; SCHOFIELD, C. 1989. Regional Integrated Lake-Watershed Acidification Study (RILWAS): summary of major findings. EPRI Report - Electric Power Research Institute. Palo Alto, California No. EN-6641.
- GILL, M.; WOOD, C.D. 1992. Animal production in developing countries. *Proceedings - British Society of Animal Production* No. 16.
- GILLER, K.E.; OMMESHER, J.; AWAH, F.M. 1991. Nitrogen transfer from *Phaseolus* bean to intercropped maize measured using ¹⁵N-enrichment and ¹⁵N- isotope dilution methods. *Soil Biology and Biochemistry* 23: 339-346.
- GILLER, K.E.; WILSON, K. J. 1991. Nitrogen fixation in tropical cropping systems. Wallingford, UK; CAB International.
- GILLESPIE, A.R. 1989. Modelling nutrient flux and interspecies root competition in agroforestry interplantings. *Agroforestry Systems* 8: 257-265.
- GLOVER, N.L.; BEER, J.W. 1984. Spatial and temporal fluctuations of litterfall in the agroforestry associations *Coffea arabica* / *Erythrina poeppigiana* and *C. arabica* / *E. poeppigiana* / *Cordia alliodora*. *In: CATIE/UN University Agroforestry Project*. Turrialba, Costa Rica, CATIE.
- GOH, K.M. 1980. Dynamics and stability of organic matter. *In: Soils with variable charge*. B.K.B. Theng (Ed.). New Zealand Society of Soil Science Proceedings.
- GOLDBERG, D.E.; WEMER, P.A. 1983. Equivalence of competitors in plant communities: a null hypothesis and a field experiment approach. *American Journal of Botany* 70: 1098- 1104.
- GOTO, M.; SIMADA, E., SUGAWARA, K. 1986. The relation between palatability and chemical composition of herbage cultivated in the shading condition. *Bulletin of the Faculty of Agriculture, Mie University* No. 72: 81-85.

- GRACE, J. 1977. Plant responses to wind. London, UK; Academic Press.
- GRACE, J. 1983a. Plant-atmosphere relationships. *In: Outline studies in ecology*. G.M. Dunnett, C.H. Gimingham (Eds.) London, UK; Chapman and Hall. p. 92.
- GRACE, J. 1983b. Plant-animal relationships. London, UK; Chapman and Hall.
- GREB, B.W.; BLACK, A.L. 1961. Effects of windbreak plantings on adjacent crops. *Journal of Soil & Water Conservation* 16: 223-227.
- GREEN, S.R.; HUTCBINGS, N.J.; GRACE, J.; GREATED, C. 1991. Shelter effects in agroforestry. *Agroforestry in the UK* 2: 14-17.
- GREWAL, S.S.; ABROL, I. P. 1986. Agroforestry on alkali soils: effects of some management practices on initial growth, biomass accumulation and chemical composition of selected tree species. *Agroforestry Systems* 4: 221-232.
- GRIME, J.P. 1979. Plant strategies and vegetation processes. London, UK; John Wiley.
- GRIME, J.P.; HODGSON, J.G.; HUNT, R. 1988. Comparative plant ecology: a functional approach to common British species. London, UK; Unwin Hyman Ltd. 742 p.
- GURBACHAN SINGH; ABROL, I.P.; CHEEMA, S.S. 1988. Forage production and nutrient cycling through Karnal (*Diplachne fusca*) grass planted with mesquite (*Prosopis juliflora*) in a highly sodic soil. *In: Rangelands resource and management. Proceedings of the National Rangeland Symposium, IGFRI, Jhansi, November 9-12, 1987.* [Panjab Singh; P.S. Patnak (Eds.). p. 322-332.
- HAIRIAH, K.; NOORDWIJK, M. van. 1986. Root studies on a tropical ultisol in relation to nitrogen management. Report of field work at IITAs high rainfall substation at Onne (Port Harcourt Nigeria) in 1985. Rapport - Instituut voor Bodemvruchtbaarheid, Netherlands No. 7. p. 121.
- HAIRIAH, K.; NOORDWIJK, M. van. 1989. Root distribution of leguminous cover crops in the humid tropics and effects on a subsequent maize crop. *In: Nutrient management for food crop production in tropical farming systems.* J. van der Heide (Ed.). Haren, Netherlands; Institute for Soil Fertility. p. 157-169.
- HAMILTON, W.A. 1988. Microbial energetics and metabolism. *In: Microorganisms in action: concepts and applications in microbial ecology.* J.M. Lynch, J.E. Hobbie (Eds.). Oxford, UK; Blackwell Scientific Publications. pp. 75-100.
- HARDING, R.J.; ROSIER, P.T.W. 1989. Water use of fast growing tree species. *Journal of Applied Hydrology* 2: 9-25.
- HARDY, R.W.F. 1975. Fertiliser research with emphasis on nitrogen fixation. *In: Proceedings of 24th Annual Meeting of Agriculture Research Institute.* Washington, DC, USA; National Academy of Sciences.
- HARLEY, J.L.; SMITH, S.E. 1983. Mycorrhizal symbioses. London, UK; Academic Press.

- HARPER, J.L. 1961. Approaches to the study of plant competition. *In: Mechanisms in biological competition*. F.L. Milthorpe (Ed.). Symposia of the Society of Experimental Biology 15: 1-39.
- HARPER, J.L. 1967. A Darwinian approach to plant ecology. *Journal of Ecology (Oxford)* 55: 247-270.
- HARPER, J.L. 1977. *Population biology of plants*. London, UK; Academic Press.
- HARRISON, A.F.; INESON, P.; HEAL, O.W. 1990. Nutrient cycling in terrestrial ecosystems: field methods, application and interpretation. Barking, UK; Elsevier Applied Science Publishers Ltd. 454 p.
- HAWKE, M.F. 1991. Pasture production and animal performance under pine agroforestry in New Zealand. *Forest Ecology and Management* 45: 109-118.
- HEICHEL, G.H.; BARNES, D.R. 1984. Opportunities for meeting crop nitrogen needs from symbiotic nitrogen fixation. *In: Organic farming: current technology and its role in a sustainable agriculture*. D.F. Bezdicek, J.F. Powers, D.R. Keeney, M.J. Wright (Eds.). Madison, Wisconsin, USA; American Society of Agronomy. ASA Special Publication No. 46: 49-59.
- HENZELL, E.F.; VALLIS, I. 1977. Transfer of nitrogen between legumes and other crops. *In: Biological nitrogen fixation in farming systems in the tropics*. A. Ayanaba, P.J. Dan (Eds.). New York, USA; John Wiley. 73 p.
- HERRERA, R.; JORDAN, C.F.; KLINGE, H.; MEDINA, E. 1978. Amazon ecosystems: their structure and functioning with particular emphasis on nutrients. *Interciencia* 3: 223-232.
- HOLT, R.D. 1977. Predation, apparent competition and the structure of prey communities. *Theoretical Population Biology* 11: 197-229.
- HUXLEY, P.A. 1967. The effects of artificial shading on some growth characteristics of arabica and robusta coffee seedlings: I. The effects of shading on dry weight, leaf area and derived growth data. *Journal of Applied Ecology* 4: 291-308.
- HUXLEY, P.A.; MAINGU, Z. 1978. Use of a systematic design as an aid to the study of intercropping: some general considerations. *Experimental Agriculture* 14: 49-56.
- INGESTAD, T. 1987. New concepts on soil fertility and plant nutrition as illustrated by research on forest trees and stands. *Geoderma* 40: 237-252.
- JACKSON, J.E.; PALMER, J.W. 1979. A simple model of light transmission and interception by discontinuous canopies. *Annals of Botany* 44: 381-383.
- JACKSON, J.E.; MIDDLETON, S.G. 1988. Modelling of orchards for maximum productivity and fruit quality. [Progettazione del frutteto per la massima produttività e qualità]. *In: Coltura del melo verso gli anni '90*. Conference, Cordenons, Italy, 18-20 December 1986 [co-ordinated by Youssef, J.]. Florence, Italy; Società Onicola Italiana. p. 309-320.

- JARVIS, P.G. 1989. Atmospheric carbon dioxide and forests. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Series B, Biological Sciences* 324: 369-392.
- JARVIS, P.G.; SINCLAIR, F.L. 1990. Priorities in farm forestry research. *In: Marginal agricultural land and efficient afforestation. Proceedings of a workshop in the CEC land and water use research programme, held in Gembloux (Belgium), 20 and 21 October 1988.* L. Bock, J. Rondeux (Eds.). Luxembourg; Office for Official Publications of the European Communities No. EUR 10841
- JENNY, H. 1980. Soil genesis with ecological perspectives. *Ecological Studies* 37. New York, USA; Springer - Verlag.
- JIMENEZ OTAROLA, F. 1989. Water balance with an emphasis on infiltration in two agroforestry systems in Turrialba, Costa Rica: coffee/poró and coffee/laurel. Mag. Sc. Thesis. Universidad de Costa Rica/Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza. 104 p.
- JONSSON, K.; FIDJELAND, L.; MAGHEMBE, J.A.; HOGBERG, P. 1988. The vertical distribution of fine roots of five tree species and maize in Morogoro, Tanzania. *Agroforestry Systems* 6: 63-69.
- JORDAN, C.F. 1985. Nutrient cycling in tropical forest ecosystems. Chichester, UK; John Wiley & Sons. 190 p.
- KANG, B.T.; WILSON, G.F.; SIPKENS, L. 1981. Alley cropping maize (*Zea mays* L.) and leucaena (*Leucaena leucocephala* Lam.) in southern Nigeria. *Plant and Soil* 63: 165-179.
- KANG, B.T.; GRIMME, H.; LAWSON, T.L. 1985. Alley cropping sequentially cropped maize and cowpea with leucaena on a sandy soil in southern Nigeria. *Plant and Soil* 85: 267-277.
- KARIM, A.B.; SAVILL, P.S.; RHODES, E.R. 1991. The effect of young *Leucaena leucocephala* (Lam.) de Wit hedges on the growth and yield of maize, sweet potato and cowpea in an agroforestry system in Sierra Leone. *Agroforestry Systems* 16: 203-211.
- KASS, D.C. 1978. Polyculture cropping systems: review and analysis. Cornell Institute Agricultural Bulletin No. 32. 69 p.
- KASS, D.C.; JIMENEZ, M. 1986. Effects of applying prunings of *Gliricidia sepium* to maize and beans on an oxic dystropept in San Carlos, Costa Rica. *Nitrogen Fixing Tree Research Reports* 4: 11-12.
- KESSEL, C. van; ROSKOSKI, J.P. 1988. Row spacing effects on N₂ - fixation, N - yield and soil N uptake of intercropped cowpea and maize. *Plant and Soil* 111: 17-23.
- KIRA, T.; KUMURA, A. 1983. Dry matter production and efficiency in various types of plant canopies. *In: Plant research and agroforestry.* P.A. Huxley (Ed.). Nairobi, Kenya; ICRAF. p. 347-363.
- KON, J. 1988. Benefits of windbreaks to field and forage crops. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 22-23: 165-190.

- KRONENBERG, G.H.M.; KENDRICK, R.E. 1986. The physiology of action. *In: Photomorphogenesis in plants.* R.E. Kendrick, G.H.M. Kronenberg (Eds.). Dordrecht, Netherlands; Martinus Nijhoff. p. 99-114.
- KUMMEROW, J. 1981. Carbon allocation to root systems in Mediterranean evergreen sclerophylls. *In: Tasks for vegetation science. Volume 4. Components of productivity of Mediterranean-climate regions: basic and applied aspects.* N.S Margaris, N.S. Mooney (Eds.). The Hague, Netherlands; Dr. W. Junk Publishers. p. 115-120.
- LAL, R. 1987. Earthworms; Termites; Ants. *In: Tropical ecology and physical edaphology.* Chichester, UK; John Wiley. p. 285-336; 340-422; 423-441.
- LAL, R. 1988. Effects of macrofauna on soil properties in tropical ecosystems. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 24: 101-116.
- LAL R. 1989. Agroforestry systems and soil surface management of a tropical alfisol. *Agroforestry Systems* 8: 1-6.
- LAL, R.; WILSON, G.F.; OKIGBO, B.N. 1978. No-till farming after various grasses and leguminous cover crops in a tropical Alfisol. I. Crop performance. *Field Crops Research* 1: 71-84.
- LANG, A.R.G.; XIANG, Y.Q. 1986. Estimation of leaf area index from transmission of direct sunlight in discontinuous canopies. *Agricultural and Forest Meteorology* 37: 229-243.
- LANG, A.R.G.; XIANG, Y.Q.; NORMAN, J.M. 1985. Crop structure and the penetration of direct sunlight. *Agricultural and Forest Meteorology* 35: 83-101.
- LANG, A.R.G.; McMURTRIE, R. 1991. Total leaf areas of single trees of *Eucalyptus grandis* estimated from transmittances of the sun's beam in discontinuous canopies. *Agricultural and Forest Meteorology* 58: 79-92.
- LAWTON, J.H. 1989. Food webs. *In: Ecological concepts: the contribution of ecology to an understanding of the natural world.* J.M. Cherrett (Ed.). Oxford, UK; Blackwell Scientific Publications. p. 43-78.
- LEA, D.A.M. 1975. Human sustenance and the tropical forest. *In: Ecological effect of increasing human activities on tropical and subtropical forest ecosystems.* Canberra, Australia; Australian UNESCO/MAB Committee. p. 141-151.
- LEAKEY, R.R.B. 1987. Clonal forestry in the tropics - a review of developments, strategies and opportunities. *Commonwealth Forestry Review* 66: 61 -75.
- LEAKEY, R.R.B.; LAST, F.T. 1980. Biology and potential of *Prosopis* species in arid environments, with particular reference to *P. cineraria*. *Journal of Arid Environments* 3: 9-24.
- LEAKEY, R.R.B.; LADIPO, D.O. 1987. Selection for improvement in vegetatively -propagated tropical hardwoods. *In: Improvement of vegetatively propagated plants.* London, UK; Academic Press. p. 324-336.

- LEE, D.W. 1989. Canopy dynamics and light climates in a tropical moist deciduous forest in India. *Journal of Tropical Ecology* 5: 65-79.
- LEGG, J.O.; MEISINGER, J.J. 1982. Soil N budgets. *In: Nitrogen in agricultural soils*. F.J. Stevenson (Ed.). Madison, Wisconsin, USA; American Society of Agronomy. 503 p.
- LEVINE, S.H. 1976. Competitive interactions in ecosystems. *American Naturalist* 110: 903-910.
- LEIBMAN, M.Z. 1986. Ecological suppression of weeds in intercropping systems: experiments with barley, pea, and mustard. Ph.D. Thesis. University of California, Berkeley, USA.
- LIU, S.; MUNSON, R.; JOHNSON, D.W.; GHERINI, S.; SUMMERS, K.; HUDSON, R.; WILKINSON, K.; PITELKA, L.F. 1992. The nutrient cycling model (NuCM): overview and application. *In: Atmospheric deposition and forest nutrient cycling*. D.J. Johnson, S. Lindberg (Eds.). New York, USA; Springer - Verlag. p. 583-609.
- LUNDGREN, B.O. 1987. Institutional aspects of agroforestry research and development. *In: Agroforestry: a decade of development*. H. A. Stepieler, P.K.R. Nair (Ed.). Nairobi, Kenya; ICRAF. p. 43-51.
- MacARTHUR, R.H. 1972. *Geographical ecology*. New York, USA; Harper & Row.
- MacARTHUR, R.H.; LEVINS, R. 1964. Competition, habitat selection, and character displacement in a patchy environment. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 51: 1207-1210.
- McMURTRIE, R.; WOLF, L. 1983. A model of competition between trees and grass for radiation, water and nutrients. *Annals of Botany* 52: 449-458.
- MAINGUET, M. 1991. *Desertification: natural background and human mismanagement*. Berlin, Germany; Springer - Verlag. 306 p.
- MANN, J.E.; CURRY, G.L.; SHARPE, P.H. 1979. Light interception by isolated plants. *Agricultural Meteorology* 20: 205-214.
- MANN, J.E.; CURRY, G.L.; MICHELE, D.W. de; BAKER, D.N. 1980. Light penetration in a row-crop with random plant spacing. *Agronomy Journal* 72: 131-142.
- MARSHALL, B.; WILLEY, R.W. 1983. Radiation interception and growth in an intercrop of pearl millet/groundnut. *Field Crops Research* 7: 141-160.
- MARSHALL, K.C. 1964. Survival of root-nodule bacteria in dry soils exposed to high temperatures. *Australian Journal of Agricultural Research* 15: 273-281.
- MASON, S.C.; LEIHNER, D.E.; VORST, J.J. 1986. Cassava-cowpea and cassava-peanut intercropping. III. Nutrient concentrations and removal. *Agronomy Journal* 78: 441-444.

- MATHAI, C.K.; CHANDY, K.C. 1988. Yield response of black pepper varieties to varying growth light regimes. *Indian Cocoa, Arecanut and Spices Journal* 11: 85-88.
- MAXWELL, T.J. 1990. Plant-animal interactions in northern temperate sown grasslands and semi-natural vegetation. *In: Systems theory applied to agriculture and the food chain*. G.W. Jones, P.R. Street (Eds.). Amsterdam, Netherlands; Elsevier Applied Science Publishers. p. 23-60.
- MAY, R.M. 1974. *Stability and complexity in model ecosystems*. Princeton, New Jersey, USA; Princeton University Press.
- MAY, R.M. 1976. Models for two interacting populations. *In: Theoretical ecology: principles and applications*. R.M. May (Ed.). Oxford, UK; Blackwell Scientific Publications. p. 78-104.
- MEAD, R. 1979. Competition experiments. *Biometrics* 35: 41-54.
- MEAD, R.; WILLEY, R.W. 1980. The concept of a 'Land Equivalent Ratio' and advantages in yields from intercropping. *Experimental Agriculture* 16: 217-228.
- MINCHIN, F.R.; PATE, J.S. 1974. Diurnal functioning of the legume root nodule. *Journal of Experimental Botany* 14: 483-495.
- MONTEITH, J.L. 1981. Does light limit crop production? *In: Physiological processes limiting plant productivity*. C. B. Johnson (Ed.). London, UK: Butterworths. p. 23-28.
- MONTEITH, J.L. 1990. Conservative behaviour in the response of crops to water and light. *In: Theoretical production ecology: reflections and prospects*. R. Rabbinge (Ed.). Wageningen, Netherlands; PUDOC. Simulation Monographs 34: 3-14.
- MONTEITH, J.L.; ONG, C.K.; CORLEN, J.E. 1991. Microclimatic interactions in agroforestry systems. *In: Agroforestry: principles and practices. Proceedings of an international conference 23-28 July 1989 at the University of Edinburgh, UK*. P. Jarvis (Ed.). Amsterdam, Netherlands; Elsevier. p. 31-44. Also: *Forestry Ecology and Management* 45: 31-44.
- MORGAN, D.C.; SMITH, H. 1981. Non-photosynthetic responses to light quality. *In: Encyclopaedia of plant physiology, Volume 12a: Physiological plant ecology. I. responses to the physical environment*. O.L. Lange, P.S. Nobel, C.B. Osmond, H. Zeigler (Eds.). Berlin, Germany; Springer - Verlag. p. 109- 134.
- MORRIS, D.R. 1986. Studies on competition for N between arrowleaf clover and Gulf ryegrass by using ¹⁵N depleted ammonium nitrate. *Dissertation Abstracts International. B, Sciences and Engineering* 46: 3275B.
- MOZHELKO, G.A.; SEMYAKIN, V.A. 1984. Effect of protective shelterbelts and type of soil cultivation on the yield of agricultural crops in southern Ukraine. *Lesovodstvo i Agrolesomelioratsiya* No. 69, p. 23-28.
- MURRAY, D.B.; NICHOLS, R. 1966. Light, shade and growth in some tropical plants. *In: Light as an ecological factor*. Bainbridge *et al.* (Eds.). Oxford, UK; Blackwell Scientific Publications. p. 249-263.

- MUETZELFELDT, R. I.; SINCLAIR, F. L. 1993. Ecological modelling of agroforestry systems. *Agroforestry Abstracts* 6: 207-247.
- NAIR, P.K.R. 1991. State-of-the-art of agroforestry systems. *In: Agroforestry: principles and practices. Proceedings of an international conference 23-28 July 1989 at the University of Edinburgh, UK.* P.G. Jarvis (Ed.). Amsterdam, Netherlands; Elsevier. pp. 5-29. Also: *Forest Ecology and Management* 45: 5-29.
- NATARAJAN M.; WILLEY, R.W. 1980. Sorghum-pigeonpea intercropping and the effects of plant population density. *Journal of Agricultural Science (UK)* 95: 59-65.
- NEELAM S.; SINGH, R.P. 1988. Influence of earthworm activity on soil fertility in agroforestry systems. *Annals of Arid Zone* 27: 81-85.
- NELDER, J. A. 1962. New kinds of systematic spacing designs for spacing experiments. *Biometrics* 18: 283-307.
- NEWMAN, E.I. 1988. Mycorrhizal links between plants: their functioning and ecological significance. *Advances in Ecological Research* 18: 243-270.
- NEWSON, M.D.; CALDER, I.R. 1989. Forests and water resources: problems of prediction on a regional scale. *Philosophical Transactions at the Royal Society of London. Series B, Biological Sciences* 324: 283-298.
- NOORDWIJK, M. van. 1989. Rooting depth in cropping systems in the humid tropics in relation to nutrient use efficiency. *In: Nutrient management for food crop production in tropical farming system.* J. van der Heide (Ed.). Haren, Netherlands; Institute for Soil Fertility. p. 129-144.
- NORMAN, J.M.; JARVIS, P.G. 1975. Photosynthesis in Sitka spruce (*Picea sitchensis* (Bong.) Carr.). IV. Radiation penetration theory and a test case. *Journal of Applied Ecology* 12: 839-878.
- NYE, P.H. 1955. Some soil-forming processes in the humid tropics. IV. The actions of soil fauna. *Journal of Soil Science* 6: 73-83.
- ODUM, E.P. 1971. *Fundamentals of ecology* (3rd edition). Philadelphia, USA; W.B. Saunders.
- OFORI, F.; PATE, J.S.; STEM, W.R. 1987. Evaluation of N₂-fixation and nitrogen economy of a maize/cowpea intercrop system using ¹⁵N dilution methods. *Plant and Soil* 102: 149-160.
- OKEKE, A.J.; OMALIKO, C.P.E. 1991. Nutrient accretion to the soil via litterfall and throughfall in *Acioa barteri* stands at Ozala, Nigena. *Agroforestry Systems* 16: 223-229.
- ONG, C.K.; MONTEITH, J.L. 1985. Response of pearl millet to light and temperature. *Field Crops Research* 11: 141-160.
- ONG, C.K.; CORLETT, J.E.; SINGH, R.P.; BLACK, C.R. 1991a. Above and below ground interactions in agroforestry systems. *In: Agroforestry: principles and practices. Proceedings of an international conference 23-28 July 1989 at the University of Edinburgh, UK.* P.G. Jarvis (Ed.). Amsterdam, Netherlands; Elsevier. 45-57. Also: *Forest Ecology and Management* 45: 45-57.

- ONG, C.K.; ODONGO, J.C.W.; MARSHALL, F.; BLACK, C.R. 1991b. Water use by trees and crops: five hypotheses. *Agroforestry Today* 3: 7-10.
- ONG, C.K.; SUBRAHMANYAM, P.; KHAN, A.A.H. 1991c. The microclimate and productivity of a groundnut/millet intercrop during the rainy season. *Agricultural and Forest Meteorology* 56: 49-66.
- ONG, C.K.; BLACK, C.R. s.f. Complementarity in resource use in intercropping and agroforestry systems. (in press).
- PARK, T. 1962. Beetles, competition and populations. *Science (Washington)* 138: 1369-1375.
- PASSIOURA, J.B. 1982. The role of root system characteristics in the drought resistance of crop plants. *In: Symposium on drought resistance in crops with emphasis on rice. Manila, Philippines; International Rice Research Institute.* p. 71-82
- PAUL, E. A. 1984. Dynamics of organic matter in soil. *Plant and Soil* 76: 275-285.
- PENMAN, H.C. 1948. Natural evaporation from open water, bare soil and grass. *Proceedings of the Royal Society of London. Series A* 193: 120-146.
- PERRIN, R.M. 1977. Pest management in multiple cropping systems. *Agro-Ecosystems* 3: 93-118.
- PIERCE, N.E. 1989. Butterfly-ant mutualisms. *In: Towards a more exact ecology. P.J. Grubb, J.B. Whittaker (Eds.). Oxford, UK: Blackwell Scientific Publications.* p. 299-324.
- POST, W.M.; PASTOR, J.; ZINKE, P.J.; STANGENBERGER, A.G. 1985. Global patterns of soil nitrogen store. *Nature (London)* 317: 613-616.
- PROCTOR, J. 1987. Nutrient cycling in primary and old secondary rain forests. *Applied Geography* 7: 135-152.
- PUGASHETTI, B.K.; ANGLE, J.S.; WAGNER, G.H. 1982. Soil micro-organisms antagonistic towards *Rhizobium japonicum*. *Soil Biology & Biochemistry* 14: 45-49.
- RAO, M.R.; WILLEY, R.W. 1980. Evaluation of yield stability in intercropping: studies on sorghum/pigeonpea. *Experimental Agriculture* 16: 105-116.
- RAO, M.R.; SHATMA, M.M.; ONG, C.K. 1990. A study of the potential of hedgerow intercropping in semiarid India using a two-way systematic design. *Agroforestry Systems* 11: 243-258.
- RAO, N.G.P.; RANA, B.S.; TARHALKER, P.P. 1981. Stability, productivity, and profitability of some intercropping systems in dryland agriculture. *In: Proceedings of the international workshop on intercropping. R.W. Willey (Ed.). Hyderabad, India; ICRISAT.* p. 292-298.
- RICE, W.A.; PENNEY, D.C.; NYBORG, M. 1977. Effects of soil acidity on rhizobia numbers, nodulation and nitrogen fixation by alfalfa and red clover. *Canadian Journal of Soil Science* 57: 197-203.

- RISCH, S.J.; ANDOW, D.; ALTIEN, M.A. 1983. Agroecosystem diversity and pest control: data, tentative conclusions, and new research directions. *Environmental Entomology* 12: 625-629.
- RITZ, K.; NEWMAN, E.I. 1985. Evidence for rapid cycling of phosphorus from dying roots to living plants. *Oikos* 45: 174-180.
- ROOT, R. 1973. Organisation of a plant-arthropod association in simple and diverse habitats: The fauna of collards (*Brassica oleracea*). *Ecological Monographs* 43: 95-124.
- ROUT, S.K.; GUPTA, S.R. 1987. Effect of chemical composition on leaf litter decomposition in forest soil. *Proceedings of the Indian Academy of Sciences, Plant Sciences* 97: 399-400.
- RUSSELL, G.; MARSHALL, B.; JARVIS, P.G. (Eds.). 1989. *Plant canopies: their growth, form and function*. Cambridge, UK; Cambridge University Press. Society for Experimental Biology Series No. 31, 178 p.
- RUSSO, R.O.; BUDOWSKI, G. 1986. Effect of pollarding frequency on biomass of *Erythrina poeppigiana* as a coffee shade tree. *Agroforestry Systems* 4: 145-162.
- RUTTER, A.J.; KERSHAW, K.A.; ROBINS, P.C.; MORTON, A.J. 1971. A predictive model of rainfall interception in forests. I. Derivation of the model from observations in a plantation of Corsican pine. *Agricultural Meteorology* 9: 367-383.
- RUTTER, A.J.; MORTON, A.J.; ROBINS, P.C. 1975. A predictive model of interception loss in forests. II. Generalisation of the model and comparison with observations in some coniferous and hardwood stands. *Journal of Applied Ecology* 12: 367-380.
- RUTTER, A.J.; MONON, A.J. 1977. A predictive model of rainfall interception in forests. III. Sensitivity of the model to stand parameters and meteorological variables. *Journal of Applied Ecology* 14: 567-588.
- SANCHEZ, P.A. 1976. *Properties and management of soils in the tropics*. New York, USA; John Wiley.
- SANCHEZ, P.A. 1987. Soil productivity and sustainability in agroforestry systems. *In: Agroforestry: a decade of development*. H. A. Steppeler, P.K.R. Nair (Eds.). Nairobi, Kenya; ICRAF. p. 205-233.
- SCHOENER, T.W. 1983. Field experiments on Interspecific competition. *American Naturalist* 122: 240-285.
- SCHOENER, T.W. 1988. Ecological interactions and biogeographic patterns. *In: Analytical biogeography: an integrated approach to the study of animal and plant distribution*. A.A. Myers, P.S. Giller (Eds.). London, UK; Chapman & Hall. p. 255-297.
- SCHULTZ, B.B. 1984. *Ecological aspects of stability in polycultures versus sets of monocultures of annual crops*. Ph.D. Thesis, University of Michigan, USA.

- SCOTT, G.A.J. 1987. Shifting cultivation where land is limited. Case study no.3: Campa Indian agriculture in the Gran Pajonal of Peru. *In: Amazonian rain forests. Ecosystem disturbance and recovery. Case studies of ecosystem dynamics under a spectrum of land-use intensities.* C.F. Jordan (Ed.). New York, USA; Springer. p. 34-35.
- SHARMA, S.C.; PANDE, P.K. 1989. Patterns of litter nutrient concentration in some plantation ecosystems. *Forest Ecology and Management* 29: 151-163.
- SHPARIK, Yu. S. 1988. Biomass in the roots and litter in protection forest stands in the upper reaches of the river Dnestr basin. *Lesovodstvo i Agrolesomeliioratsiya* No. 77: 26-31.
- SIDHU, D.S.; HANS, A.S. 1988. Preliminary studies on the effect of Eucalyptus leaf-litter on accumulation of biomass in wheat. *Journal of Tropical Forestry*: 328-333.
- SINCLAIR, F.L. 1992. Advances in agroforestry: project design, selection and management of components, and system evaluation. British Council short course, 29 March - 10 April 1992.
- SINGH, R.P.; ONG, C.K.; SAHARAN, N. 1989. Above and below ground interactions in alley cropping in semi-arid India. *Agroforestry Systems* 9: 259-274.
- SIVAKUMAR, M.V.K.; VIRMANI, S.M. 1980. Growth and resource use of maize, pigeonpea and maize/pigeonpea intercrop in an operational research watershed. *Experimental Agriculture* 16: 377-386.
- SNAYDON, R.W. 1971. An analysis of competition between plants of *Trifolium repens* L. populations collected from contrasting soils. *Journal of Applied Ecology* 8: 687-697.
- SNAYDON, R.W.; HARRIS, P.M. 1981. Interactions below ground - the use of nutrients and water. *In: Proceedings of an international workshop on intercropping.* Hyderabad, India; ICRISAT. p. 188-201.
- SORIA, J.R.; BAZAN, J.R.; PINCBINAT, A.M.; PAEZ, G.; MATEO, N.; MORENO, R.; FARGAS, J.; FORSYTHE, W. 1975. Investigación sobre sistemas de producción agrícola para el pequeño agricultor del trópico. *Turrialba* 25: 283-293.
- SPARLING, G.P.; HART, P.B.S.; HAWKE, M.F. 1989. Influence of *Pinus radiata* stocking density on organic matter pools and mineralizable nitrogen in an agroforestry system. *In: Nitrogen in New Zealand agriculture and horticulture.* Palmerston North, New Zealand; Massey University. p. 186- 195.
- SPRENT, J.I. 1979. The biology of nitrogen-fixing organisms. New York, USA; McGraw Hill.
- SRINIVASAN, V.M.; SUBRAMANIAN, S.; RAI, R.S.V. 1990. Studies on intercropping with multipurpose trees-resource sharing ability of the trees. *In: Advances in casuarina research and utilisation. Proceedings of the Second International Casuarina Workshop.* Cairo. Egypt, January 15-20,1990. M.H. El-Lakany, J.W. Turnbull, J.L. Brewbaker (Eds.). Cairo, Egypt; Desert Development Centre, American University in Cairo.

- STIRLING, C.M.; WILLIAMS, J.H.; BLACK, C.R.; ONG, C.K. 1990. The effect of timing of shade on development, dry matter production and light use efficiency in groundnut (*Arachis hypogaea* L.) under field conditions. *Australian Journal of Agricultural Research* 41: 633-644.
- SWIFT, M.J. 1977. The roles of fungi and animals in the immobilisation and release of nutrient elements from decomposing branchwood. *In: Soil organisms as components of ecosystems*. U. Lohm.; T. Persson (Eds.). *Ecological Bulletin (Sweden)* No. 25: 193-202.
- SWIFT, J.M., SANCHEZ, P.A. 1984. biological management of tropical soil fertility for sustained productivity. *Nature and Resources* 20: 2-10.
- SZOTT, L.T.; FERNANDES, E.C.M.; SANCHEZ, P.A. 1991. Soil-plant interactions in agroforestry systems. *In: Agroforestry: principles and practices. Proceedings of an international conference 23-28 July 1989 at the University of Edinburgh, UK*. P.G. Jarvis (Ed.). Amsterdam, Netherlands; Elsevier. pp. 127-152. Also: *Forest Ecology and Management* 45: 127-152.
- TEKLEHAIMANOT, Z.; JARVIS, P.G. 1991a. Modelling of rainfall interception loss in agroforestry systems. *Agroforestry Systems* 14: 65-80.
- TEKLEHAIMANOT, Z.; JARVIS, P.G. 1991b. Direct measurement of evaporation of intercepted water from forest canopies. *Journal of Applied Ecology* 28: 603-618.
- TEKLEHAIMANOT, Z.; JARVIS, P.G.; LEDGER, D.C. 1991. Rainfall interception and boundary layer conductance in relation to tree spacing. *Journal of Hydrology (Amsterdam)* 123: 261-278.
- TILMAN, D. 1982. Resource competition and community structure. Princetown, New Jersey, USA; Princeton University Press.
- TILMAN, D. 1986. Resources, competition and the dynamics of plant communities. *In: Plant ecology*. M.J. Crawley (Ed.). Oxford, UK; Blackwell Scientific Publications. p. 51 -75.
- TILMAN, D. 1988. Plant strategies and the dynamics and structure of plant communities. New Jersey, USA; Princeton University Press. 360 p.
- TOFT, C.A. 1986. Communities of species with parasitic lifestyles. *In: Community ecology*. J. Diamond, T.J. Case (Eds.). New York, USA; Harper & Row. p. 445-463
- TOIT, J.J. du; BRYANT, J.P.; FRISBY, K. 1990. Regrowth and palatability of Acacia shoots following pruning by African savanna browsers. *Ecology, (USA)* 71: 149-154.
- TOMLINSON, H.F.; EASON, W.R. 1990. Sward type affects tree root distribution. *Agroforestry in the UK* 1: 17-18.
- UK, OVERSEAS DEVELOPMENT ADMINISTRATION (ODA). 1990. A strategy for research on renewable natural resources. London, UK; Overseas Development Administration.

- UNAMMA, R.P.A.; ENE, L.S.O. 1984. Weed interference in cassava-maize intercrop in the rain forest of Nigeria. *In: Tropical root crops production and uses in Africa*. E.R. Terry, E.V. Doku, O.B. Arene, N.M. Mahungu (Eds.). Ottawa, Canada; IDRC. p. 59-62.
- UPADHYAY, M.S.; SHARMA, R.A.; YADAV, S.; GUPTA, R.K.; BILLORE, S. 1990. Studies on population densities of component crops in sorghum/pigeonpea intercropping. *Indian Journal of Agronomy* 35: 60-66.
- VANDENBELDT, R.J.; BRENNER, A.J.; SINCLAIR, F.L. 1990. Tree/crop interactions in agroforestry systems. *In: Congress report: Volume B. Proceedings, 19th IUFRO World Congress, Montreal, Canada, 5-11 August 1990*. Montreal, Canada; Canadian IUFRO World Congress Organising Committee. p. 292-303.
- VANDERMEER, J. 1989. *The ecology of intercropping*. Cambridge, UK; Cambridge University Press. 237 p.
- VINCENT, J.B. 1970. *A manual for the practical study of root-nodule bacteria*. Oxford, UK; Blackwell Scientific Publications. IBP Handbook No. 15.
- VITOUSEK, P.M.; REINERS, W.A. 1975. Ecosystem succession and nutrient retention: a hypothesis. *Ecology (USA)* 65: 285-298.
- VITOUSEK, P.M.; SANFORD, R.L. Jr. 1986. Nutrient cycling in moist tropical forest. *Annual Review of Ecology and Systematics* 17: 137-167.
- WAHUA, T.A.T.; MILLER, D.A. 1978. Effects of intercropping on soybean N₂-fixation and plant composition on associated sorghum and soybeans. *Agronomy Journal* 70: 292-295.
- WALKER, D.H.; SINCLAIR, F.L.; MUETZELFELDT, R. I. 1991. Formal representation and use of indigenous ecological knowledge about agroforestry: pilot phase report. Bangor, UK; University of Wales. 111 p.
- WANG, Y.P.; JARVIS, P.G. 1990. Description and validation of an array model-MAESTRO. *Agricultural and Forest Meteorology* 51: 257-280.
- WATKINSON, A.R. 1986. Plant population dynamics. *In: Plant ecology*. M.J. Crawley (Ed.). Oxford, UK; Blackwell Scientific Publications. p. 137-184.
- WEAVER, R.W.; FREDERICK, L.F. 1974. Effect of inoculum rate on competitive nodulation of *Glycine max* (L.) Merr. II. Field studies. *Agronomy Journal* 66: 233-236.
- WEBER, D.F.; MILLER, V.L. 1972. Effect of soil temperature on *Rhizobium japonicum* serogroup distribution in soybean nodules. *Agronomy Journal* 64: 796-798.
- WHITMORE, T.C. 1990. *An introduction to tropical rain forests*. Oxford, UK; Clarendon Press. 226 p.
- WHITNEY, A.S. 1977. Contribution of forage legumes to the nitrogen economy of mixed swards. A review of the relevant Hawaiian research. *In: Biological nitrogen fixation in farming systems in the tropics*. A. Ayanaba, P.J. Dart (Eds.). New York, USA; John Wiley. 89 p.

- WILKINSON, G.E. 1975. Effects of grass fallow rotations on the infiltration of water into a savanna zone soil of northern Nigeria. *Tropical Agriculture* 52: 97-103.
- WILLEY, R.W. 1979. Intercropping-its importance and research needs. Part I. Competition and yield advantages. *Field Crop Abstracts* 32: 1-10.
- WILLEY, R.W.; RAO, M.R. 1981. A systematic design to examine effects of plant populations and spatial arrangements in intercropping, illustrated by an experiment on chickpea/safflower. *Experimental Agriculture* 17: 63-73.
- WILLEY, R.W.; NATARAJAN, M.; REDDY, M.S.; RAO, M.R. 1986. Cropping systems with groundnut: resource use and productivity. *In: Agrometeorology of groundnut. Proceedings of an international symposium, ICRISAT Sahelian Center, 21-26 August 1985. Patancheru, Andhra Pradesh, India; ICRISAT.* p. 193-205.
- WILLIAMSON, M. H. 1972. *The analysis of biological populations.* London, UK; Arnold.
- WILLIGEN, P. de; NOORDWIJK, M. van. 1987. *Roots, plant production and nutrient use efficiency.* Ph.D. Thesis, Wageningen Agricultural University, Netherlands.
- WILSON, J.R.; CATCHPOOL, V.R.; WEIR, K.L. 1986. Stimulation of growth and nitrogen uptake by shading a rundown green panic pasture in Brigalow clay soil. *Tropical Grasslands* 20: 134-144.
- WIT, C.T. de. 1960. On competition. *Verlagen van Landbouwkundige Onderzoekingen* 66: 1-82.
- WOOD, P. 1989. Planning and the potential of agroforestry. *In: Agroforestry. Potential, current UK expertise, and research needs: a guide to ODA strategy. Papers and proceedings of expert seminar for the UK Government's Overseas Development Administration. J. Burley, N. Wilson (Comps.). Oxford, UK; Oxford Forestry Institute, University of Oxford.* p. 1.
- YOUNG, A. 1989a. *Agroforestry for soil conservation.* Wallingford, UK; CAB International. *Science and Practice of Agroforestry* No. 4. 276 p.
- YOUNG, A. 1989b. The environmental basis of agroforestry. *In: Meteorology and agroforestry. Proceedings of an international workshop on the application of meteorology to agroforestry systems planning and management, Nairobi 9-13 February 1987. W.S. Reifsnyder, T.O. Darnhofer (Eds.). Nairobi, Kenya; ICRAF.* p. 29-48.
- ZOHAR, Y.; BRANDLE, J.R. 1978. Shelter effects on growth and yield of corn in Nebraska. *La-Yaaran* 28: 11-20.

Conocimientos básicos sobre suelos y agua para el manejo de sistemas agroforestales

**Donald Kass
Arturo Vargas**

- **Introducción**
- **Determinación de las propiedades de los suelos más utilizadas en la investigación agroforestal**
- **El agua en el suelo**
- **Manejo del suelo para el uso eficiente del agua**
- **Bibliografía**

Conocimientos básicos sobre suelos y agua para el manejo de sistemas agroforestales

Introducción

El suelo es uno de los ambientes en que ocurren las interacciones entre los componentes arbóreos y no arbóreos de un sistema agroforestal. Al hablar de interacciones en los sistemas agroforestales, frecuentemente se hace referencia a las interacciones que ocurren bajo la superficie del suelo y las que ocurren sobre la superficie del suelo (Ong *et al.*, 1991).

La medición de las propiedades de los suelos, antes y después del uso en un sistema agroforestal, ha sido un tema que ha generado considerable investigación dentro de la agroforestería (Sánchez, 1987), por lo que es importante conocer cuáles de esas propiedades son las más relevantes y cuál es su forma de medirlas. Sánchez (1987) ha formulado lo que llama la hipótesis de suelos y agroforestería, la cual indica que "los sistemas agroforestales apropiados mejoran las propiedades físicas, mantienen la materia orgánica del suelo y promueven el reciclaje de nutrimentos".

Sin embargo, es necesario conocer las propiedades del suelo para determinar el sistema agroforestal más apropiado para un ambiente determinado (Szott *et al.*, 1991). El funcionamiento eficiente de los sistemas agroforestales en ciertos suelos puede ser limitado por diferentes factores, tales como:

- Barreras químicas y físicas a la expansión de raíces, como la presencia de niveles altos de aluminio, niveles bajos de calcio y fósforo o capas impermeables.
- Falta de nutrimentos para el crecimiento de los árboles y para la fijación de nitrógeno.
- Limitaciones al crecimiento debido a la falta de agua.
- Pérdida excesiva de nutrimentos por lixiviación y escorrentía.
- Alta retención de fósforo.
- El tipo de materia orgánica presente, considerando las reservas activas (biomasa microbiana y material metabólico de las plantas), lentas (material entre los agregados) y pasivas (material dentro de los agregados).
- Suelos con limitaciones; el crecimiento de las plantas, la producción de residuos y el ciclaje de nutrimentos es menor que en suelos sin limitaciones.

Este capítulo tiene tres secciones: la determinación de las propiedades del suelo más utilizadas en la investigación agroforestal, la caracterización del agua del suelo y el manejo del suelo para el uso eficiente del agua. El mismo es un resumen de las notas de clase sobre el tema conocimientos básicos sobre suelos y aguas para el manejo de sistemas agroforestales ofrecidos en el curso "Desarrollo de sistemas agroforestales" impartido por el CATIE.

Determinación de las propiedades de los suelos más utilizadas en la investigación agroforestal.

Para facilitar la presentación y comprensión de la exposición, se hará la siguiente convención de signos:

C: indica que el análisis es utilizado en la caracterización del suelo.

E: indica que el análisis es utilizado en la evaluación de los efectos del sistema agroforestal.

Las propiedades de los suelos se clasifican en físicas, químicas y biológicas.

Propiedades físicas.

Textura: principalmente C; E para los efectos de escorrentía. En ciertos suelos el pre-tratamiento puede afectar los resultados, en otros, principalmente suelos volcánicos, es aconsejable no secar la muestra antes del análisis.

Estructura: C y E. Puede ser visual en el campo (tamaño, grado, forma); tamizado seco y húmedo para determinar la estabilidad de los agregados (E); tamaño de los poros para la aplicación de la ecuación de Kelvin (E) y la porosidad total determinada por la ecuación: $1 - \rho_b / \rho_s$, donde ρ_b es la densidad aparente y ρ_s es la densidad de partículas.

Contenido de agua: E. Debe ser gravimétrica y volumétrica, esta última puede determinarse con la sonda de neutrones, TDR (Time Domain Reflectometry), o por conversión a partir de la humedad gravimétrica con la densidad aparente.

Retención de agua: C y E (Danielson y Sutherland, 1986). Puede calcularse por medio de curvas de cantidades de agua retenida a diferentes tensiones, por determinación de la densidad aparente a diferentes tensiones para calcular los coeficientes de expansión, por la ecuación de Kelvin con el tamaño de los poros o considerando la capacidad de campo y el punto de marchitez.

Penetración: C y E.

Permeabilidad: C y E. Puede determinarse por infiltración, por conductividad hidráulica saturada y no saturada en el campo y laboratorio o por movimiento del agua en espacios grandes.

Pérdida de suelo por erosión: E. Puede determinarse por parcelas de escorrentía, mediante el uso del simulador de la lluvia, por cambios en la textura o por cambios en la materia orgánica y el fósforo total.

Propiedades químicas

Capacidad total de intercambio: C. Puede determinarse por los métodos de BaCl_2 - triethanolamina a pH 8,3, del NH_4OAc a pH 7,0 o el método efectivo considerando la suma de cationes extraídos por una solución no tamponada.

Cantidad de bases (Ca, Mg, K y Na): En C y E. Se utiliza principalmente las cantidades intercambiables de estos elementos. En algunos estudios de ciclaje de nutrientes y en suelos donde hay cantidades considerables de bases no intercambiables se utilizan valores totales.

Niveles de aluminio: C y E. Para C comúnmente se utiliza la acidez intercambiable en lugar del nivel de aluminio. Se considera de mayor importancia el grado de saturación de aluminio que la cantidad total.

Micronutrientes: (C y E). Las deficiencias o cantidades altas de Mn, Cu, B, Fe y Zn pueden afectar el potencial de sitios para ciertos sistemas agroforestales. En algunos casos, los aumentos en la materia orgánica pueden afectar la disponibilidad de Mn y Cu.

pH: C. A pesar de que no sea una indicación absoluta de la existencia de problemas de aluminio y otras deficiencias de nutrientes, un pH abajo de 5,5 o arriba de 7,0 puede indicar la posibilidad de algunos problemas como baja disponibilidad de ciertos nutrientes. La medición se realiza fácilmente en el campo. El pH en NaF es también indicador, aunque no muy seguro, de propiedades ácidas.

Nitrógeno: E. Los cambios efectuados por los sistemas agroforestales normalmente son muy pequeños y difícilmente se detectan por determinación de nitrógeno total (Kjeldahl). Las mediciones de nitratos y amoníaco o su liberación durante incubaciones de tiempo determinado pueden ser afectadas por los sistemas agroforestales.

Materia orgánica: C y E. Las adiciones de materia orgánica a través de los sistemas agroforestales afectan la materia orgánica del suelo en una forma lenta. La vegetación original puede tener más efecto.

Hay defectos en la determinación por el método de Walkley-Black y menos por el de Nelson y Sommers (Nelson y Sommers, 1982). Las mediciones de diferentes reservas de materia orgánica son más complicadas. La materia orgánica también afecta las propiedades físicas y biológicas del suelo.

Fósforo: C y E. El fósforo es frecuentemente considerado el elemento más limitante en los sistemas agroforestales (Palm *et al.*, 1989) por su efecto en la fijación de nitrógeno atmosférico y por ser frecuentemente de poca disponibilidad en los suelos del trópico. Hay gran diferencia entre la cantidad total de fósforo y las fracciones que no están disponibles para la planta. En los últimos años existe una tendencia a reemplazar las pruebas tradicionales de disponibilidad de P (Bray I, Bray II, Carolina del Norte, Olsen) por la identificación de fracciones específicas (orgánicas y no orgánicas, lábiles y no lábiles, P en la biomasa microbiana) pero estas fracciones no han sido bien correlacionadas con la respuesta de las plantas. El uso de sistemas agroforestales afecta las reservas orgánicas de P y su liberación. Para la caracterización de los Molisoles, se utiliza el fósforo soluble en citrato.

Propiedades biológicas y microbiológicas

- La fauna del suelo es frecuentemente afectada por los sistemas agroforestales. El conteo de lombrices es una buena medición de los efectos de los sistemas agroforestales y también un predictor del comportamiento de las plantas.
- La actividad microbiana, especialmente la de fijadores de nitrógeno y micorrizas puede ser significativa en los sistemas agroforestales.
- Recientemente se ha dado mucha importancia a la medición de las cantidades de nutrimentos en la masa microbiana.
- La distribución y cantidad de raíces en los suelos de los sistemas agroforestales, especialmente las raíces finas (menores de 5 mm de diámetro).

El agua en el suelo

En el ciclo hidrológico, al igual que en otros sistemas, se distinguen tres componentes principales: entradas, almacenamiento y salidas. Las entradas están constituidas, principalmente por la precipitación y el riego, en tanto que en el almacenamiento se puede consignar el agua que permanece en el suelo, los lagos naturales y los reservorios construidos por el hombre. En cuanto a las salidas, la evaporación, la transpiración, la escorrentía y el drenaje constituyen las principales vías de pérdida del agua en los sistemas.

La capacidad de almacenamiento de agua en el suelo es de gran importancia para la producción de los cultivos. La situación ideal se presenta cuando durante mucho tiempo, las salidas son iguales a las entradas. Sin embargo, con frecuencia se presentan situaciones en las que, por periodos cortos, las entradas son menores que las salidas y entonces el almacenamiento es importante. De igual manera, cuando por periodos cortos las entradas son mayores que las salidas, cobran importancia los sistemas de drenaje.

Estas circunstancias dependen de las características físicas del suelo, las cuales se relacionan directamente con la masa y el volumen. En efecto, el contenido de agua en el suelo depende de estas dos características, pues las partículas sólidas que adoptan diversas formas y tamaños son las que conforman la matriz del suelo.

Entre las partículas sólidas se encuentran espacios (poros) que están interligados y varían continuamente de forma y tamaño. En un suelo seco, todo el espacio poroso está lleno de aire, mientras que en un suelo saturado, todo el espacio poroso estaría lleno de agua. Normalmente, el espacio poroso se encuentra ocupado por una mezcla de aire y agua.

Las propiedades físicas del suelo, incluyendo la capacidad de almacenar agua, están directamente relacionados a la fracción del volumen total que constituye el espacio poroso y a la fracción que es ocupada por los sólidos. Para el desarrollo de las plantas, la fracción del espacio poroso que está ocupada por agua y aire es de gran importancia.

El contenido de agua, el espacio poroso y la cantidad de sólidos pueden expresarse en función de la masa, el volumen o fracciones. Estas últimas son las más utilizadas. Entre ellas están:

Densidad aparente: es la relación entre la masa (peso seco) del suelo y el volumen total de suelo (sólido, agua y aire). Antiguamente se expresaba en g/cm^3 ; actualmente se prefiere usar t/m^3 o kg/l .

Densidad de partículas: es la relación entre la masa (peso seco del suelo) y el volumen de sólidos. Tiene las mismas unidades de la densidad aparente.

Humedad gravimétrica: es la relación entre la masa de agua y la masa sólida (peso seco) del suelo. Antes se expresaba en porcentaje; actualmente se expresa en g/g o kg/kg .

Humedad volumétrica: es la relación entre el volumen de agua y el volumen total de suelo. Anteriormente se expresaba en porcentaje; actualmente en cm^3/cm^3 , l/l o m^3/m^3 . También se puede calcular como el producto de la gravedad gravimétrica por la densidad aparente, asumiendo una densidad del agua igual a 1.

Porosidad: expresa la relación entre el volumen de aire más el volumen de agua y el volumen total del suelo.

Cabe ahora mencionar algunos indicadores de contenido de agua en el suelo frecuentemente utilizados:

Punto de marchitez

El punto de marchitez es el contenido de agua que un suelo tiene cuando la extracción de agua por las plantas ha terminado. Este es un concepto ideal, basado en la suposición de que por debajo de un cierto contenido de agua, las plantas se marchitan y no logran recuperarse.

El contenido de agua a la humedad de punto de marchitez varía mucho entre los diferentes suelos. En la práctica se determina utilizando maíz, girasol o frijol como planta indicadora (método biológico) o por el método del laboratorio sometiendo muestras de suelo indisturbadas y previamente saturadas a una succión de 15 bares. En la realidad, el punto de marchitez es una función del suelo, la planta y el tiempo.

Capacidad de campo

Se define como el contenido de agua de un suelo después de ser completamente mojado (al punto de saturación) y se ha dejado drenar libremente por uno o dos días. Se puede determinar tomando muestras de suelo luego que el agua gravitacional ha drenado o sometiendo muestras indisturbadas y previamente saturadas a una succión entre 0,2 y 0,33 bares. La mayor parte de los suelos no drenan una determinada cantidad de agua, la cual queda contenida indefinidamente en este, como se aprecia en la figura 1.

Se considera que si se adiciona suficiente agua, a una determinada profundidad del suelo, el exceso drenará hasta que el contenido de agua en esta parte del perfil sea equivalente a la capacidad de campo.

La cantidad del exceso de agua determinará hasta cual profundidad el suelo de abajo se humedecerá hasta la capacidad de campo. Así, si se conoce la capacidad de campo de un suelo y su contenido inicial de agua, se puede calcular la profundidad de mojadura para una cantidad de agua aplicada o la cantidad de agua necesaria para mojar el suelo hasta una profundidad determinada.

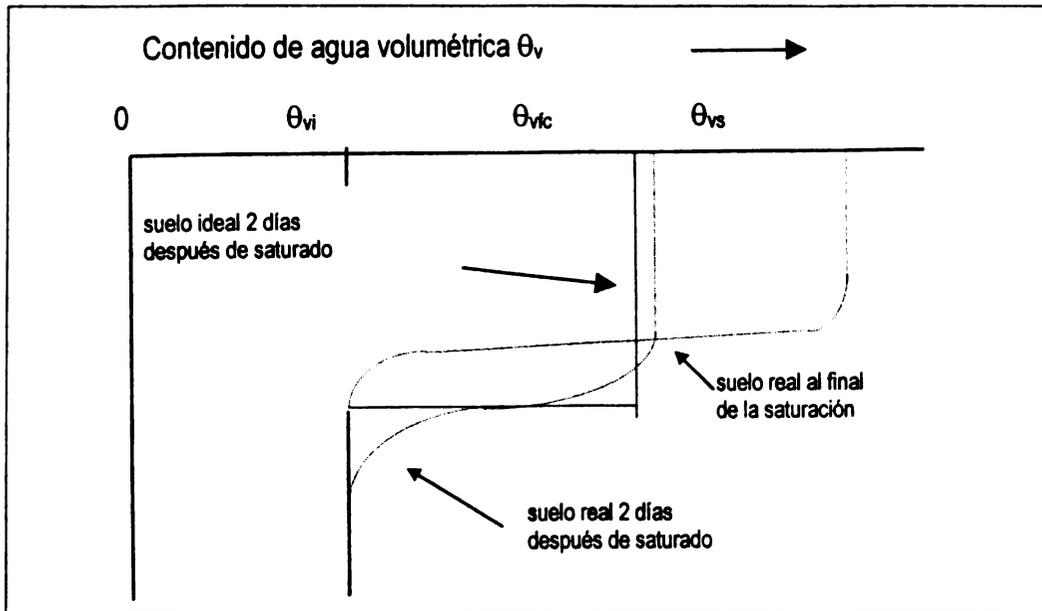


Figura 1. Perfiles de contenido de agua en un suelo actual y otro idealizado, inmediatamente y dos días después de recibir un riego.

En la realidad, el contenido inicial de agua no es uniforme con la profundidad y en muchos casos, se mide el agua gravimétricamente en vez de volumétricamente. Para un suelo con contenido de agua no uniforme, se divide el suelo en segmentos verticales. Estos principios se aplican con dificultad en suelos que se expanden al mojarse, pues estos suelos se hinchan al secarse y dejan grandes grietas y al mojarse no lo hacen uniformemente porque el agua entra por las grietas y como resultado, al mojarse se expanden y cierran las grietas. Así, el suelo puede quedar mojado a una profundidad considerable con un contenido de agua variable que puede ser bastante inferior a la capacidad de campo en la parte mojada.

El agua volumétrica puede medirse utilizando una sonda de neutrones. Este aparato, desarrollado en la década de los 50 utiliza el método de "dispersión de neutrones" y ha sido ampliamente utilizada para medir el contenido de humedad del suelo en un sitio a través del tiempo. Sus ventajas principales sobre el método gravimétrico son que permite mediciones repetibles periódicamente en los mismo sitios y profundidades en un volumen representativo del suelo, siendo menos onerosas, más rápidas y no destructivas. El método es casi independiente de la temperatura y la presión. También se puede calibrar el instrumento por leer el agua volumétrica directamente.

Las desventajas principales son el alto costo inicial del instrumento, el bajo grado de resolución espacial, las dificultades de medir la humedad cerca de la superficie y el peligro a la salud por la exposición

a la radiación de neutrones y rayos gamma.

La medición del agua gravimétrica puede hacerse también por medio de absorción de rayos gamma, mediante el instrumento conocido como "Gamma Ray Scanner", método que es utilizado principalmente en el laboratorio, donde se puede controlar las dimensiones y la densidad de la muestra de suelo y la temperatura del ambiente que tienen gran incidencia en la determinación. El método ha sido adaptado para su utilización en el campo, pero persisten dificultades en cuanto el aparato es muy grande, los tubos de acceso tienen que ser exactamente paralelos, la determinación de la densidad aparente del suelo tiene que ser muy precisa y persiste el peligro de las radiaciones.

Otro método de medición del agua del suelo fue desarrollado durante la década de los 80 y se conoce con el nombre de TDR por sus siglas en inglés (Time Domain Reflectometry) y en español se denomina reflectometría de dominios en tiempo. Por este método se puede medir la constante dieléctrica y la conductividad del suelo para determinar el tiempo de viaje y la disipación de un impulso electromagnético a lo largo de sondas metálicas paralelas puestas en el suelo.

El análisis teórico y las correlaciones experimentales demuestran que el tiempo de tránsito del pulso es proporcional a la constante dieléctrica aparente del suelo y que la disipación de la señal es proporcional a la conductividad eléctrica total del suelo. La constante aparente se puede correlacionar con el contenido de agua del suelo y la conductividad eléctrica total del suelo es proporcional a la salinidad del agua contenida en los poros.

El lisímetro es otro de los métodos utilizados para la determinación del agua en el suelo. Este método está basado en la ecuación de balance hídrico:

$$P + R = ET + ESC + D + \Delta H$$

donde:

P : es la precipitación como lluvia o nieve.

R : es el riego o irrigación.

ET: es la evapotranspiración (evaporación del suelo, E más la transpiración por las plantas, T).

ESC: son las salidas o entradas de agua por la escorrentía.

ΔH : es el cambio en el contenido de agua almacenada en el suelo.

D es el drenaje o percolación abajo del perfil.

La ecuación tiene las entradas de agua del reservorio del suelo en el lado izquierdo y las salidas o cantidades almacenadas en el lado derecho. Se debe notar que los ingresos de agua por escorrentía y el flujo hacia arriba llamado ascenso capilar serían contabilizadas como entradas. En el cuadro 1 se ilustra el balance hídrico de tres sitios en la parte oeste de los Estados Unidos.

Cuadro 1. Componentes del ciclo hidrológico (mm) para tratamientos en secano y bajo riego relacionados con el rendimiento de maíz (t/ha).

Lugar	Trat.	R	P	ET	ΔH	D	ESC	Rend.
Davis, California	seco	3	4	409	-402	0	0	15,4
Davis, California	hum.	406	4	611	-243	42	0	22,0
Ft. Collins, Colorado	seco	11	186	365	-233	65	0	10,7
Ft. Collins, Colorado	hum.	346	186	526	-104	110	0	15,8
Logan, Utah	seco	64	81	366	-222	1	0	8,8
Logan, Utah	hum.	334	81	543	-142	14	0	15,6

Fuente: Hanks, 1992.

En el cuadro anterior, puede observarse que en Davis, sin riego ni precipitación (línea 1), el valor de ET fue de 409 mm, agua que fue extraída de la almacenada en el suelo (ΔH). En los otros dos sitios, también el suelo perdió agua almacenada, pero fue menos porque hubo más entradas por riego o precipitación.

El suelo se comporta como un gran reservorio de agua. La cantidad de agua suplida por el suelo al cultivo, dependerá de la textura, profundidad del enraizamiento y del clima. En el ejemplo del cuadro anterior, la textura de los suelos en las tres localidades fue más o menos la misma, pero la profundidad del suelo y la temperatura del suelo fueron mayores en Davis.

Expresando el agua en equivalentes de profundidad (mm) no se ilustra claramente la gran cantidad de agua que puede almacenar el suelo, lo que sí es posible visualizar si se expresa en términos reales. Así por ejemplo, el suelo con 260 mm de agua en el primer metro tiene un contenido de agua volumétrica de 26% o 0,26, correspondiendo a 260.000.000 litros de agua por hectárea, la que sería suficiente para suplir las necesidades de una persona con 200 l de agua por día durante 35 años.

Las plantas también utilizan grandes cantidades de agua: en condiciones calientes pueden utilizar hasta 10 mm por día, lo que equivale a 100.000 kg /ha por día.

Frecuentemente se utilizan los lisímetros para estimar la evapotranspiración porque es posible controlar el drenaje y la escorrentía y se puede medir la pérdida de agua por peso en lugar de medir el contenido de agua en el suelo.

Si se conoce el contenido promedio de agua en el lisímetro, se puede deducir el contenido promedio de agua del suelo con el lisímetro en cualquier momento. Si se sabe la cantidad de agua aplicada por riego, se puede también determinar la evapotranspiración.

La principal desventaja de los lisímetros es la dificultad de duplicar las condiciones de campo dentro del aparato, principalmente cuando son suelos disturbados o de poca profundidad.

Existe otra variedad de métodos para determinar la humedad del suelo, utilizando propiedades termales, ondas ultrasónicas e incluyen aparatos medidores de capacitancia, tomografía computarizada por rayos X, resonancia de magnetismo nuclear, adsorción de microondas, entre otros. Estos métodos están todavía en el proceso de desarrollo pero así fue el caso del TDR hace 10 años.

Manejo del suelo para un uso eficiente del agua.

Hay cuatro maneras generales de aumentar la disponibilidad y eficiencia del uso del agua en los diferentes sistemas de producción, a saber:

- Aumentando la retención de agua sobre la superficie del suelo, disminuyendo la escorrentía y aumentando el tiempo de disponibilidad para la infiltración.
- Aumentando la infiltración para mejorar la condición del suelo.
- Aumentando la retención del agua en el perfil por medio del aumento del volumen disponible para la retención de agua, la parte del perfil disponible para las plantas y la reducción de la evaporación por la superficie.
- Aumentando la eficiencia del uso del agua por las plantas, a través de un manejo de fertilidad y utilización de tipos de plantas más eficientes.

A continuación se detallará cada uno de los métodos mencionados.

Métodos para aumentar la retención de agua sobre la superficie del suelo

Cuando la tasa de riego o precipitación es mayor que la tasa de infiltración, el exceso de agua se acumula en depresiones en la superficie, se mueve lateralmente sobre la superficie y, eventualmente, entra en el sistema de drenaje superficial. Esta escorrentía potencialmente puede ser conservada para la producción futura de cultivos.

Efecto de las prácticas de labranza

- Aumentan la irregularidad de la superficie y el número de depresiones superficiales. Para controlar la escorrentía, la labranza debe producir una superficie irregular con muchas depresiones no conectadas que almacenan temporalmente el agua de escorrentía potencial. La efectividad de una superficie irregular depende de la intensidad y cantidad de la precipitación y de la estabilidad del suelo superficial. La precipitación de alta intensidad dispersa agregados de baja estabilidad, haciendo un sello a la superficie del suelo, disminuyendo así la tasa de infiltración y permitiendo

acumulaciones de agua en la superficie. Si la precipitación es adecuada, las depresiones se llenan de agua y quedan interconectadas, aumentando el potencial para la escorrentía. La misma cantidad de precipitación con menor intensidad es menos destructiva de la estructura de la superficie y causa menos escorrentía.

- **Prácticas de labranza que difieren en su efecto sobre la condición superficial del suelo:**
 - Los sistemas de labranza mínima efectivamente causan y mantienen condiciones favorables en el surco (zona del ambiente de la plántula) y entre surcos (zona de manejo del agua).
 - Una labranza primaria, con arado, también forma depresiones que almacenan agua por períodos cortos.
 - La labranza secundaria en general disminuye el almacenamiento en depresiones. Si la precipitación previa ha formado una costra, la labranza secundaria reduce la escorrentía por quiebra de la costra.
- **Aumentar la porosidad por hacer el suelo más suelto:**

La labranza en general disminuye la densidad aparente, aumentando así la porosidad total y aumentando la capacidad de almacenar agua. El aumento de la capacidad de almacenar agua es generalmente de muy poca duración, porque el suelo que se ha disgregado retorna a su condición original después de la lluvia y además el suelo más suelto tiene más superficie para la evaporación. La investigación ha demostrado mayor efecto de la irregularidad de la superficie que de la porosidad sobre la infiltración acumulativa.
- **Surcos en contorno aumentan la infiltración y reducen la escorrentía:** los surcos en contorno, en general, tienen más efecto que las terrazas en reducir la escorrentía porque los surcos son efectivos sobre una área mayor. Los cultivos sembrados en surcos responden más a la práctica de arar en contorno que a los cultivos sembrados al voleo.
- **Labranza de conservación:** el mayor efecto que se ha logrado con la labranza de conservación es debido a los residuos dejados sobre la superficie, ya que ellos disipan la energía de las gotas de lluvia, protegiendo el suelo en la superficie de dispersión, disminuyendo la formación de sellos y aumentando la infiltración. Incluso, cantidades pequeñas de residuos (2 t/ha) pueden reducir la erosión, no así la escorrentía, porque se pueden formar pequeños surcos debajo de los residuos dejados en pequeñas cantidades.

Efecto de estructuras:

- Terrazas: la cantidad y distribución de la precipitación influyen mucho el tipo de terrazas más adecuado para una región dada. Terrazas en gradadas, diseñadas para evacuar escorrentía pueden no reducirla suficientemente. Terrazas diseñadas para la conservación de agua son a nivel y son cerradas. Terrazas que incluyen áreas grandes que abarcan agua que entra de cuencas, almacenan agua de escorrentía potencial. Muchas experiencias en los Estados Unidos han demostrado aumentos en el rendimiento de los cultivos con el aumento de las cantidades de agua almacenada. Pero no funcionan tan bien en suelos de texturas livianas, con altas tasas de infiltración.
- Diques de surco: mediante esta práctica se conserva agua y se reduce la escorrentía; se recomiendan donde existe el equipo para construirlos económicamente.
- Microcuencas y coberturas verticales: estas dos prácticas sirven para distintas finalidades, pero frecuentemente son utilizadas en combinación. Las microcuencas aumentan la escorrentía en una parte de un campo y concentran el agua en una área relativamente pequeña para aumentar la profundidad de penetración del agua. En las coberturas verticales, se llena una zanja con residuos, resultando en una entrada rápida del agua al suelo. Hay diversos experimentos en los Estados Unidos para demostrar las ventajas de estas prácticas.
- Cosecha de agua ("water harvesting"). Esta práctica se conoce también como "agricultura de escorrentía" o "desparramamiento del agua" ("water spreading"). Estas prácticas implican un tratamiento de una cuenca para aumentar la escorrentía en un sitio de donde se llevará el agua a otro lugar donde será utilizada. Esto se hace cubriendo el suelo con un material impermeable, lo que resulta en una recuperación casi total del agua, pero los materiales son caros y fácilmente son dañados por los animales. También se hace rociando un repelente de agua en el suelo, sacando las piedras, pero es mucho menos efectivo.
- Camellones ligados: esta es una práctica antigua que actualmente ha recibido nuevas consideraciones. Se ha desarrollado maquinaria para hacerlos en dos direcciones. En África se ha modificado, usando maquinaria tirada con burros. Estos camellones ligados funcionan bien donde el agua es muy deficiente, pues cuando llueve mucho, el exceso de agua puede destruir los camellones, causando problemas.

Métodos para aumentar la infiltración.

Es muy difícil separar las prácticas que reducen la escorrentía de las que aumentan la infiltración. La infiltración es afectada por condiciones de la superficie del suelo, en la cama de labranza y las

características del perfil. Estas condiciones son la agregación del suelo, las irregularidades y la presencia en la superficie de terrones, surfactantes y repelentes de agua y residuos de cultivos. Los factores que en el perfil afectan la infiltración son la profundidad de las capas de permeabilidad reducida, la textura y tipo de arcilla, el tipo y profundidad del enraizamiento y el contenido de agua residual de los cultivos anteriores.

Agregación

En general, la agregación es estable en los suelos del trópico debido a la cimentación causada por los óxidos de hierro presentes, lo que resulta en tasas de infiltración semejantes a las arenas y estas tasas se mantienen altas durante lluvias de larga duración.

Las sustancias orgánicas que confieren estabilidad a los agregados son materiales gelatinosos producidos por las lombrices, plantas, bacterias y otros organismos. Las acciones intensivas de labranza no favorecen la actividad de las lombrices, no obstante, es frecuente que sí favorezca la actividad de otros organismos del suelo. Las prácticas de cero labranza favorecen entonces la actividad de las lombrices; por eso cuando se practica la labranza, se debe devolver al suelo cantidades adecuadas de residuos que permitan disponibilidad de materia orgánica como sustrato para estos anélidos.

Recientemente se están utilizando algunos polímeros orgánicos para aumentar la agregación del suelo. Los más utilizados son el HPAN (poliacrylnitril hidrolizado) y el VAMA (compuesto modificado del acetato de vinil y del ácido maleico). Al aplicar estas sustancias al suelo resultan agregados más grandes, pero por su elevado costo es posible utilizarlos solamente en cultivos de alto valor económico.

Surfactantes y sustancia hidrofóbicas

Algunos suelos se mojan naturalmente con dificultad. La hidrofobia de agregados es buena cuando se quiere cosechar el agua para otra finalidad, pero reduce el almacenamiento de agua para los cultivos y puede resultar en una erosión severa. La aplicación de agentes de mojadura ha disminuido la escorrentía y la erosión en ciertas situaciones (después del fuego y en pomares antiguos).

Labranza profunda y modificación del perfil

Cuando hay condiciones superficiales que restringen o impiden la infiltración y almacenamiento del agua, el crecimiento de raíces, la labranza profunda y la modificación del perfil pueden resultar en un uso más eficiente del agua.

Las prácticas más comunes son las de romper las capas restrictivas como "fragipans", capas de arado, capas duras, capas de arcilla, horizontes con alto contenido de arcilla y capas salinas o sódicas.

Los beneficios dependen de la severidad y naturaleza del problema, de las condiciones climáticas y de manejo y del crecimiento de los cultivos.

En general hay que combinar la acción mecánica de romper capas duras, capas de arado, "fragipans", etc., con la incorporación de materiales que impiden su formación. Si únicamente se rompen las capas, los efectos son en general de poca duración porque las capas se vuelven a formar. Las capas de arado se desarrollan más comúnmente en los suelos franco arenosos y otros que no se expanden con respecto a los suelos arcillosos que sí lo hacen. La presencia de capas de arado no necesariamente disminuyen los rendimientos de los cultivos, pero su ruptura no siempre acarrea beneficios por mucho tiempo.

Los horizontes densos de arcilla, por ejemplo capas gruesas y densas de arcillas montmorilonitas restringen el drenaje, la penetración del agua, la aireación y el desarrollo de los cultivos anuales, principalmente. Mezclando esos suelos a profundidades de 120 cm mejora mucho estas restricciones. Un arado de cincel frecuentemente mejora la infiltración en suelos con estas capas densas.

Otro caso son los suelos afectados por sales. Estos suelos generalmente tienen una capa superficial densa que tiene altos contenidos de Na intercambiable o adsorbido. Debajo de esta capa puede haber una capa salina que puede también contener yeso (CaSO_4). Arar estos suelos profundamente y la adición de yeso o azufre, frecuentemente aumenta la disponibilidad de agua, lixivia el sodio y aumenta los rendimientos de los cultivos. El arado de cincel puede aumentar la penetración del agua abajo de las capas impermeables.

Efecto de otros cultivos

Rotaciones de cultivos que incluyen gramíneas y leguminosas mejoran la agregación y mantienen los niveles de materia orgánica más altos que los cultivos continuos en surcos. Este efecto favorece la infiltración del agua y obviamente también su almacenamiento en el suelo.

Las fechas de cosecha, periodo de descanso, y la profundidad y tipo de enraizamiento del cultivo anterior afectan la infiltración y el contenido de agua en el perfil. Los residuos de cultivos y los cultivos en crecimiento protegen las superficies del suelo de la dispersión debida al impacto de las gotas de agua de la precipitación y del agua en flujo.

La protección de una superficie contra la dispersión es, en gran parte, una función del tipo de cobertura ofrecida por los materiales que se empleen para ello. Debido a diferencias en las densidades y diámetro de los materiales, cantidades similares de ellos, pueden proveer una cobertura que afecta la infiltración de manera muy diferente. La protección ofrecida por los cultivos en crecimiento depende del grado de cobertura de la superficie.

El efecto de los residuos de cosechas sobre la infiltración depende en alto grado de la condición de la superficie cuando la cobertura fue aplicada.

Métodos de aumentar la cantidad de agua almacenada en el perfil.

Aumentar el volumen disponible para el almacenamiento

Los suelos arcillosos, frecuentemente llenan su capacidad de almacenamiento muy lentamente. Reducir la compactación del suelo a una gran profundidad solamente tiene valor si las raíces pueden penetrar a profundidades mayores. La economía de hacer un suelo más suelto a gran profundidad, depende del valor de los cultivos sembrados, la cantidad de agua disponible y el tipo de la capa restrictiva existente.

Aumentar la retención del agua

Los suelos arenosos tienen baja capacidad de retener agua, pero los rendimientos frecuentemente son buenos porque tienen altas tasas de infiltración y se recargan de agua más rápidamente que los suelos de textura más fina.

La mezcla de materiales de textura fina de otras fuentes o de perfiles más bajos, puede aumentar la capacidad de retener agua en la superficie arenosa. En general, las cantidades necesarias y el costo de transporte hace antieconómica la incorporación de materiales, salvo en algunas situaciones excepcionales. La mezcla de materiales de un perfil más bajo es en muchos casos una práctica factible. En todo caso, los beneficios serán solamente para el horizonte superficial. Estas prácticas pueden reducir los efectos de la erosión eólica.

La distribución de arena, limo y arcilla en el perfil, después de arar profundamente, depende de la distribución inicial y del tipo de implemento utilizado.

Adición de materiales orgánicos

Aumentando el contenido de materia orgánica de un suelo, generalmente aumenta su capacidad de retener agua; sin embargo, el efecto es mayor en suelos arenosos que arcillosos.

En los suelos arcillosos, el aumento del contenido de materia orgánica puede resultar en una mejor estructura que disminuye la formación de costras y sellos, permitiendo una mayor infiltración de agua y aumentando la proliferación de raíces en todo el perfil. Así, las plantas pueden utilizar el agua más eficientemente, aunque la capacidad del perfil para almacenar agua realmente no se incrementa.

El aumento de la capacidad de retención de agua por la incorporación de materia orgánica en los suelos arenosos frecuentemente es pequeño, pero significativa, porque la capacidad de estos suelos para retener agua es originalmente muy limitada. En general, el mejoramiento de la capacidad de retención de agua en los suelos arenosos es proporcional a la cantidad de materia orgánica adicionadas, aunque las cantidades necesarias para el logro de los beneficios son altas. Es preciso recordar también que no todos los materiales adicionado se convierten en materia orgánica estable en el suelo.

Disminución de la percolación profunda

La retención de agua en suelos arenosos y profundos puede ser aumentada mediante la colocación de barreras que restringen el movimiento del agua hacia abajo.

El agua cercana a los límites de las barreras percola profunda y muy rápidamente, causando discontinuidades capilares que retardan más el drenaje del agua por causa de bajas tensiones en la parte superior a la barrera. Las barreras de asfalto aumentan el contenido de agua por encima de la barrera, pero no necesariamente en el suelo superficial. Este tipo de barreras ha sido utilizada en suelos arenosos de la Florida y se ha comprobado que después de cuatro años han continuado con eficiencia su trabajo de incrementar la retención del agua.

Control de la evaporación

En algunos sitios, la evaporación es la principal fuente de pérdida de agua de diversos suelos cultivados. Con el desarrollo del dosel del cultivo disminuye la evaporación y aumenta la transpiración. La evaporación del agua ocurre en tres fases:

En la primera fase, la pérdida de agua es rápida y constante y depende de los efectos netos de transmisión de agua a la superficie del suelo y de las condiciones ambientales como la velocidad del viento, la temperatura, la humedad relativa y la energía de la radiación solar.

En la segunda fase, la tasa de pérdida disminuye rápidamente con la disminución de la cantidad de agua almacenada en el suelo, siendo más importantes los factores del suelo que controlan la tasa de movimiento del agua hacia la superficie, que los factores ambientales los cuales tienen poca influencia en este punto.

En la tercera fase, la evaporación es muy lenta y controlada por las fuerzas de adsorción en la interfase sólido-líquido.

Según Lemon (1956), las mayores posibilidades para controlar la evaporación del agua del suelo ocurren en las dos primeras fases y estas pueden incluir la disminución de transferencia turbulenta de vapor de agua a la superficie del suelo, disminuciones en la continuidad capilar, del flujo capilar y de la capacidad de retención de agua de las capas superficiales del suelo. El uso de coberturas y surfactantes son alternativas para reducir la evaporación.

Uso de coberturas (mulch)

Materiales como residuos de cultivos, películas plásticas, productos derivados de petróleo, grava y suelo mismo han sido ampliamente estudiados como materiales potenciales para disminuir la evaporación.

El efecto de las coberturas es, sin embargo, difícil de establecer por causa de las influencias interactivas de las coberturas sobre la infiltración de agua del suelo, la distribución del agua y la evaporación subsecuente. En consecuencia, los aumentos en el contenido del agua del suelo como resultado del uso de coberturas, pueden ser debidos a una menor evaporación, pero pueden ser atribuidos también a cambios en la infiltración y distribución del agua, principalmente cuando en los estudios de campo hay poco control del humedecimiento del suelo por la precipitación.

A pesar de ello, existen diversos estudios que demuestran que las coberturas o mantillos pueden aumentar el almacenamiento del agua precipitada y consecuentemente los rendimientos de los cultivos.

Materiales como piedrín (partículas de suelo cubiertas con petróleo) y hasta cierto punto los residuos de cultivos, transfieren la zona de retención de agua de la interfase aire-cobertura, a la interfase suelo-cobertura y resultan en una condición favorable para disminuir la evaporación. En el caso del piedrín retiene poca agua y ésta penetra fácilmente al suelo, aunque su uso en grandes extensiones no es práctico.

Los residuos de cultivos absorben mucha agua y pueden ser menos efectivos que las coberturas de piedrín, especialmente cuando el agua adicionada son cantidades pequeñas como en el caso de lluvias ligeras. Sin embargo, los residuos de cultivos son más abundantes y consecuentemente más prácticos que otros materiales, aunque por su mayor espesor, las diferencias de efectividad pueden ser compensadas.

Las películas plásticas son muy efectivas para la reducción de la evaporación porque se bloquea el camino del flujo de vapor de agua al aire. Sin embargo, crean problemas de entrada de agua al suelo si no se toman medidas específicas. Estas películas son caras y difíciles de manejar, siendo económicamente posibles en cultivos de alta rentabilidad.

Para lograr la máxima efectividad, las coberturas deben ser establecidas antes de que el suelo se seque considerablemente. En general esto no es práctico en condiciones de campo y hay que restablecer el mantillo de suelo cada vez que llueve. Sin embargo, esta práctica es muy utilizada en la agricultura tradicional de América Central, donde se establece el mantillo al inicio del período seco y se le mantiene durante cinco o seis meses en los cuales no hay lluvias.

La efectividad de un mantillo en reducir la evaporación aumenta con su espesor. Debido a que la densidad del material incide sobre el espesor del mantillo, los materiales menos densos como la paja de trigo reducen la evaporación más efectivamente que los materiales más densos como los residuos de tallos de sorgo o algodón. Se necesita dos veces más tallos de sorgo y cuatro veces más tallos de algodón que paja de trigo para obtener la misma reducción en la evaporación.

Los mantillos de residuos de cultivos reducen la evaporación efectivamente durante la primera fase explicada anteriormente. Sin embargo, para lograr una efectividad a largo plazo, se debe adicionar suficiente agua para penetrar profundamente en el perfil del suelo o se debe tener grandes cantidades de residuos. Debido a las diferencias de contenido de agua en la superficie de los suelos con y sin cobertura, los mantillos son especialmente útiles en el establecimiento de plántulas.

Otra consecuencia que se deriva del uso de mantillos de residuos de cultivos y otros materiales es la reducción de la temperatura del suelo, comparada con la que alcanzan los suelos descubiertos. En este caso los factores involucrados son la reflexión de la radiación y la humedad del suelo. Las temperaturas más bajas deben resultar en una menor evaporación, pero algunos investigadores no han encontrado ninguna relación directa entre las temperaturas del suelo y la evaporación, ya que encontraron que el movimiento del agua dentro del suelo, después de secarse la superficie, tenía mayor efecto que la temperatura del suelo sobre la evaporación. Sin embargo, aunque la temperatura del suelo no afecte la evaporación, ésta sí influye sobre el crecimiento de partes aéreas y raíces de las plantas, el cual se beneficia en los suelos más cálidos.

El uso de surfactantes

Los surfactantes pueden disminuir el ascenso capilar del agua hacia la superficie. Probablemente estos aditivos causan una disminución en la tensión superficial en la interfase sólido-líquido, provocando de esta forma, una disminución del flujo capilar y la formación de una barrera seca de difusión. Los materiales utilizados frecuentemente como surfactantes son alcoholes grasos y compuestos no iónicos.

Trabajos experimentales han demostrado que el uso de surfactantes para lograr un uso más eficiente del agua tiene un potencial limitado, debido a que por una parte aunque se disminuyó la tasa de evaporación, el uso total de agua por los cultivos no fue diferente y por otra parte, su estabilidad en el

suelo es limitada y requiere aplicaciones periódicas, después de cada operación de labranza.

Finalmente, se ha mencionado que la evaporación disminuye cuando aumenta el dosel del cultivo, lo cual merece algunos comentarios. La disminución de la evaporación ocurre por una disminución en el movimiento del viento sobre la superficie del suelo, por reducción de la turbulencia y porque el cultivo intercepta la energía radiativa. Otros doseles, como los establecidos por medio de cortinas rompevientos, disminuyen el movimiento del aire y la turbulencia, pero su efecto sobre la evaporación es complicado porque pueden interceptar la precipitación y la radiación. Estas consideraciones afectan el uso del agua por los sistemas agroforestales.

Manejo de la fertilidad y utilización de plantas de mayor eficiencia en el uso del agua.

Se define la eficiencia en el uso del agua (EUA) como la cantidad de biomasa producida por unidad de agua utilizada, o sea:

$$EUA = B / ET$$

donde B es la cantidad de producto de planta producida (biomasa, por ejemplo granos, hojas, tallo, etc.) en una unidad de superficie en un período de tiempo y ET es la evapotranspiración de la misma superficie, en el mismo intervalo de tiempo. Es evidente que se puede aumentar la eficiencia del uso del agua aumentando la fertilización para producir más producto de planta con la misma cantidad de agua.

La máxima EUA se obtiene frecuentemente con tasas de fertilización inferiores a las que producen los rendimientos máximos del cultivo. Las plantas que se producen con un suministro adecuado de nutrientes, extienden sus raíces a profundidades mayores que las mismas plantas en suelos que son deficientes en uno o más nutrientes (la presencia de elementos tóxicos pueden tener el mismo efecto).

Esta reacción al mejoramiento de la fertilidad del suelo aumenta también el volumen de agua disponible en el suelo para las plantas, reduciendo la posibilidad que el crecimiento de las plantas sea menor debido a periodos intermitentes de sequía.

La fertilidad también puede afectar la densidad de las raíces, factor que puede ser significativo en el uso del agua en suelos con propiedades físicas que limitan el movimiento interno del agua. También la fertilidad puede influenciar la tasa de crecimiento y la penetración de las raíces. De esta forma, cuando el suministro de agua en la parte superior del suelo es limitado, la mayor penetración de las raíces puede ayudar a mantener un estado adecuado de agua en la planta.

Frecuentemente se presentan los síntomas de deficiencia de P que limitan el desarrollo radical, lo que a su vez puede afectar la disponibilidad de otros nutrientes relativamente inmóviles en el suelo.

En la mayor parte de las zonas áridas o semiáridas, los cultivos frecuentemente secan la mayor parte del suelo dentro de la zona de enraizamiento máximo, hasta un punto cercano al punto de marchitez permanente durante el periodo del cultivo. De esta forma, cualquier práctica que aumente la profundidad de enraizamiento, la tasa de desarrollo de las raíces o la densidad de éstas, especialmente en las mayores profundidades, pueden, potencialmente, aumentar la cantidad de agua disponible y estimular el crecimiento del cultivo por reducción del estrés hídrico.

Sin embargo, en la agricultura sin riego, la profundidad potencial de enraizamiento no es frecuentemente recargada con agua durante el periodo del cultivo, de tal forma que mejorando la fertilidad solamente se aumenta el uso de agua hasta el momento en que las plantas han utilizado el agua almacenada en la zona de enraizamiento.

En general, la eficiencia en la utilización del agua aumenta la disponibilidad de nutrientes, si hay agua suficiente para producir tasas de crecimiento razonables. Cuando la disponibilidad de agua es limitada, los valores máximos de la eficiencia ocurren a niveles de fertilidad por debajo de los que producen rendimientos máximos. El aumentar la disponibilidad de nutrientes, puede aumentar los rendimientos y el uso del agua por el cultivo; sin embargo, tales aumentos en el uso del agua son normalmente menores al 25%.

Las temperaturas del suelo pueden alterar las relaciones entre los niveles de nutrientes y el uso del agua.

Son pocos los principios que apoyan las prácticas de cultivo que resultan en el uso eficiente del agua. Una porción máxima del agua debe ser utilizada en la transpiración, con pérdidas mínimas en evaporación, escorrentía y drenaje.

Sería entonces necesario aumentar la cobertura vegetal lo más rápidamente posible para reducir la evaporación, mantener las características del suelo favorables a la infiltración rápida y tener un periodo de cultivo y una intensidad de enraizamiento que aproveche al máximo el agua de drenaje. Sería también necesaria una buena correspondencia entre transpiración y el suministro de agua. Con esto se infiere que se debería tener cultivos en los periodos fríos, evitar una cobertura incompleta y obtener una madurez temprana en el cultivo.

Una relación favorable entre la asimilación de CO₂ y la transpiración (alta EUA) puede obtenerse mediante la selección de especies, proceso que actualmente ha adquirido dimensiones muy prometedoras

a través de la ingeniería genética. La selección de especies de sistemas radicales complementarios que ocupen zonas diferentes del suelo, puede aumentar considerablemente la eficiencia de uso del agua en los sistemas agroforestales.

Bibliografía

- DALTON, F. N. 1992. Development of time - domain reflectometry for measuring soil water content and bulk soil electrical conductivity. *In: G. C. Topp, D. Reynolds and R. E. Green (eds.) Advances in measurement of soil physical properties. Bringing theory into practice.* Madison, USA. SSSA Special Publication No. 30. ASA. p. 143-167.
- DANIELSON, R. E.; SUTHERLAND, P. L. 1986. Porosity. *In: Klute (ed.). Methods of soil analysis. Monograph 9.* Madison. American Society of Agronomy. p. 443-462.
- FAO-UNESCO. 1989 Map of the world, revised legend. Technical Paper No. 20. Wageningen, The Netherlands. ISRIC. 138 p.
- GARDNER, W. H. 1965. Water content. *In: Klute, de. Methods of soil analysis. Monograph 9.* Madison. American Society of Agronomy. p. 82-127.
- GEE, G. W.; STIVER, J. F.; BOECHERT, H. R. 1976. Radiation hazard from Americium-beryllium neutron moisture probes. *Soil Science Society of American Journal* 40: 492-494.
- HANKS, R. J. 1992. *Applied Soil Physics.* 2nd edition. Hiedelberg, Germany. Springer. 210 p.
- HANKS, R. J.; ASHCROFT, G.L. 1980. *Applied soil physics.* Chapter 1. Water quantities. Heidelberg, Germany. Springer. p. 1-20.
- HILLEL, D. 1980. *Fundamentals of soil physics.* Chap. 7: soil water content and potential. New York. Academic Press. p. 125-134.
- LEMON, E. R. 1956. The potentialities for decreasing soil moisture evaporation loss. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.* 20: 120-125.
- LOOMIS, R.S. 1983. Crop manipulations for efficient use of water: an overview. *In: H. Taylor, W. R. Jordan and T. Sinclair, eds. Limitations to efficient water use in crop production.* Madison, USA. American Society of Agronomy. p. 345-374.
- NELSON, D. W.; SOMMERS, L. E. 1982. Total carbon, organic carbon and organic matter. *In: Page, ed. Methods of soil analysis. Monograph 9. Part 2.* Madison. American Society of Agronomy. p. 539-580.
- ONG, C. K.; CORETT, J. E.; SINGH, R. P.; BLACK, C. R. 1991. Above and below ground interactions in agronomy systems. *Forest Ecology and Management* 45: 45-57.

- PALM, C. A.; MCKERROW, A.J.; GLASENER, K. M.; SZOTT, L. T. 1989. Agroforestry in the lowland tropics: Is phosphorus important? *In*: Tiessen, Lopez-Hernández and Salcedo, eds. Phosphorus cycles in terrestrial and aquatic ecosystems. Regional Workshop No. 3. South and Central America. Maracay, Venezuela. Scientific Committee on Problems of the Environment (SCOPE) and United Nations Environmental Program. p. 134-141.
- POWER, J. F. 1983. Soil management for efficient water use: soil fertility. *In*: H. Taylor, W. R. Jordan and T. Sinclair, eds. Limitations to efficient water use in crop production. Madison, USA. American Society of Agronomy. p. 461-470.
- ROTH, K. R.; SCHULIN, R.; FLUHLER, H.; ATTINGER, W. 1990. Calibration of time domain reflectometry for water content measurements using a composite dielectric approach. *Water Resources Research* 26: 2267-2273.
- SANCHEZ, P. A. 1987. Soil productivity and sustainability in agroforestry systems. *In*: H. A. Steppeler and P. K. R. Nair, eds. Agroforestry, a decade of development. Nairobi, Kenya. ICRAF. p. 206-223.
- SOIL SURVEY STAFF. 1990. Keys to soil taxonomy. Blacksburg, USA. SMSS Technical Monograph No. 19. Virginia Polytechnic Institute and State University.
- SZOTT, L. T.; FERNADES, E. C. M.; SANCHEZ, P. A. 1991. Soil-plant interactions in agroforestry systems. *Forest Ecology and Management*. 45: 127-152.
- TOPP, G. C.; DAVIS, J. L.; ANNAN, A. P. 1980. Electromagnetic determination of soil water content: measurement in coaxial transmission lines. *Water Resources Research* 16: 574-582.
- UNGER, P. W.; STEWART, B. A. 1983. Soil management for efficient water use: an overview. *In*: H. Taylor, W. R. Jordan and T. Sinclair, eds. Limitations to efficient water use in crop production. Madison, USA. American Society of Agronomy. p. 419-459.

Clima y agroforestería

Francisco Jiménez

- **Introducción**
- **Interacciones árbol-cultivo en sistemas agroforestales**
- **Clima y diseño de sistemas agroforestales**
- **Bibliografía**

Clima y agroforestería

Introducción

El clima, caracterizado por los diferentes elementos meteorológicos como la lluvia, la radiación, la temperatura y la humedad, constituye, por mucho, el conjunto de factores ambientales de mayor variabilidad espacial y temporal. Debido a que este conjunto de factores modifica el crecimiento y ocasiona “estreses” físicos y biológicos que frecuentemente son perjudiciales para la producción, tanto a corto como a largo plazo, el conocimiento del clima se convierte en una guía imprescindible para la organización de las intervenciones técnicas necesarias para el manejo adecuado de los cultivos y otras empresas agrícolas.

Bajo cualquiera de sus diferentes factores, el clima ha sido siempre percibido por el hombre como uno de los grandes motores de la producción. El clima (tiempo) real que tiene lugar durante el transcurso del ciclo de cultivo o de producción, permite definir los estados del medio (balance hídrico, estado de desarrollo del cultivo, balance de radiación, etc.) y por consecuencia optimizar las decisiones de gestión y operación de la explotación agrícola, así como de situar las potencialidades actuales de producción. Teniendo en cuenta estos estados, la previsión meteorológica a corto plazo es un medio suplementario para decidir, luego de su análisis, intervenciones inmediatas, eventualmente necesarias (un tratamiento fitosanitario, una poda, un raleo, un riego, por ejemplo).

El conocimiento del clima bajo su forma clásica, con el estudio de la frecuencia de aparición de un fenómeno (análisis frecuencial basado en series largas), abre el camino para la estimación de un futuro probable; este conduce a prever los efectos que pueden resultar de una situación dada y en consecuencia permite elaborar una estrategia posible de intervención a más largo plazo. Este modelo estratégico podrá entonces basarse en los porcentajes de aparición (ocurrencia) de fenómenos que un análisis agroclimático detallado puede suministrar.

En resumen, la Agrometeorología propone un conjunto de métodos conducentes a una buena descripción del estado de un cultivo en un instante dado (análisis de diagnóstico); este conocimiento debe ser prolongado, preferiblemente, por estudios sobre las evoluciones próximas y futuras (análisis de pronóstico), a partir de previsiones meteorológicas en lo que se refiere a corto plazo y a partir de análisis agroclimático, en lo concerniente al conocimiento de situaciones probables a más largo plazo.

Desde el punto de vista de los sistemas agroforestales, ambos enfoques son necesarios. La planificación y determinación de los sistemas a investigar o establecer deben estar estrechamente vinculadas al conocimiento de los requerimientos climáticos de las especies (lluvia, humedad, temperatura, radiación, viento, etc.) y a las características climáticas propias de la zona donde se pretende establecer el sistema agroforestal. Es necesario conocer su comportamiento en el tiempo y en el espacio, basado principalmente en análisis frecuenciales para periodos cortos (por ejemplo 10 días). Por otra parte, la respuesta y variaciones reales del sistema en términos de productividad, conservación y sostenibilidad en cada ciclo de producción, dependen en gran parte de las variaciones continuas, de las variables meteorológicas y su interrelación con las especies vegetales que componen el sistema.

El objetivo de este documento es presentar algunas de las relaciones entre las condiciones meteorológicas y los sistemas agroforestales que fueron discutidas con los participantes del curso "Desarrollo de Sistemas Agroforestales" realizado por el CATIE. Las limitaciones de tiempo (2 horas) no permitieron un análisis más completo y profundo de la temática, así que este artículo representa las notas de clase de la charla denominada "Clima y sistemas agroforestales"..

Interacciones árbol-cultivo en sistemas agroforestales

Debido a que todos los componentes de una comunidad vegetal requieren de los mismos recursos: radiación, nutrientes, agua, dióxido de carbono y oxígeno del suelo, cuando se asocian dos o más especies ocurren diferentes formas de interacción, de las cuales una de las más comunes es la competencia (Etherington, 1985). Aún para un sistema con solo dos especies, el crecimiento y producción de cada una de ellas es determinado por un balance de interacciones que ocurren bajo y sobre la superficie del suelo. Las principales interacciones que se esperan del asocio árbol-cultivo son:

- Modificación del microclima debido al sombreado;
- Aporte mutuo de nutrientes;
- Posibles interacciones sinérgicas (ej. menos plagas);
- Posible competencia de las hojas por CO₂ y radiación solar;
- Posible competencia de las raíces por nutrientes y agua;
- Posibles interacciones alelopáticas.

La importancia relativa de cada interacción depende de las condiciones ambientales específicas, de las características de las plantas que se asocian (sistema radical, vía y eficiencia fotosintética, eficiencia en el uso de agua, características de crecimiento, etc.) y del suelo mismo. En adelante se considerarán solamente los aspectos climáticos.

Modificaciones del microclima

Muchos de los sistemas agroforestales, por su estructura (altura, estratos diferentes) y su elevado índice de área foliar, tienen un contacto muy intenso con la atmósfera. La estructura de un sistema agroforestal, principalmente las combinaciones permanentes en las cuales los componentes coexisten en el tiempo y en el espacio, es bastante semejante a la de un bosque manejado. Por ejemplo, la figura 1 muestra el perfil vertical y horizontal de un sistema agroforestal café con sombra típico del pequeño agricultor en la región de Acosta y Puriscal, en Costa Rica. En ella se observa la presencia de tres estratos más o menos definidos: uno inferior de plantas de café; uno intermedio de frutales y banano y uno superior de árboles maderables.

Los sistemas agroforestales son coberturas muy activas que pueden modificar de manera muy fuerte los procesos meteorológicos, particularmente a escala microclimática, tales como el balance de radiación y la distribución de la radiación solar dentro de la cobertura, el balance de energía, la intercepción y redistribución del agua y la circulación de dióxido de carbono. Así por ejemplo, en sistemas agroforestales densos prevalece un microclima caracterizado por humedad relativa alta, poca variación de la temperatura del aire, velocidad del viento baja y poca evaporación del suelo.

Bajo el efecto de la copa de los árboles se desarrolla un microclima muy variable. Entre los factores que intervienen en la variación están la radiación solar, el viento, las características arquitectónicas del árbol y del cultivo (altura, diámetro de la copa, forma, inclinación, densidad del follaje), el ciclo de producción y pérdida de hojas (de forma natural o forzada mediante podas) que difieren entre especies y con la edad. La interacción continua de todos estos elementos, en el tiempo y en el espacio, dificulta el análisis y estudio del microclima bajo sistemas agroforestales.

La arquitectura y la posición de todos los árboles y plantas forman una estructura compuesta que determinan el microclima y con ello gran parte de la actividad biológica del sistema agroforestal. Los procesos de intercambio con la atmósfera dependen de esa estructura; cuanto más irregular es la superficie del dosel, más intensivos son los procesos debido a que las turbulencias de las masas de aire que ocurren en el momento en que ellas pasan sobre obstáculos y superficies, son también más fuertes. Cuanto mayores son esas turbulencias, mayor es el intercambio de materia (CO₂, agua) y energía entre el sistema agroforestal y la atmósfera. Esto significa que en zonas áridas y semiáridas se deben buscar sistemas agroforestales que sean estructuralmente lo más homogéneos posibles, con el fin de reducir significativamente las pérdidas de agua por evapotranspiración.

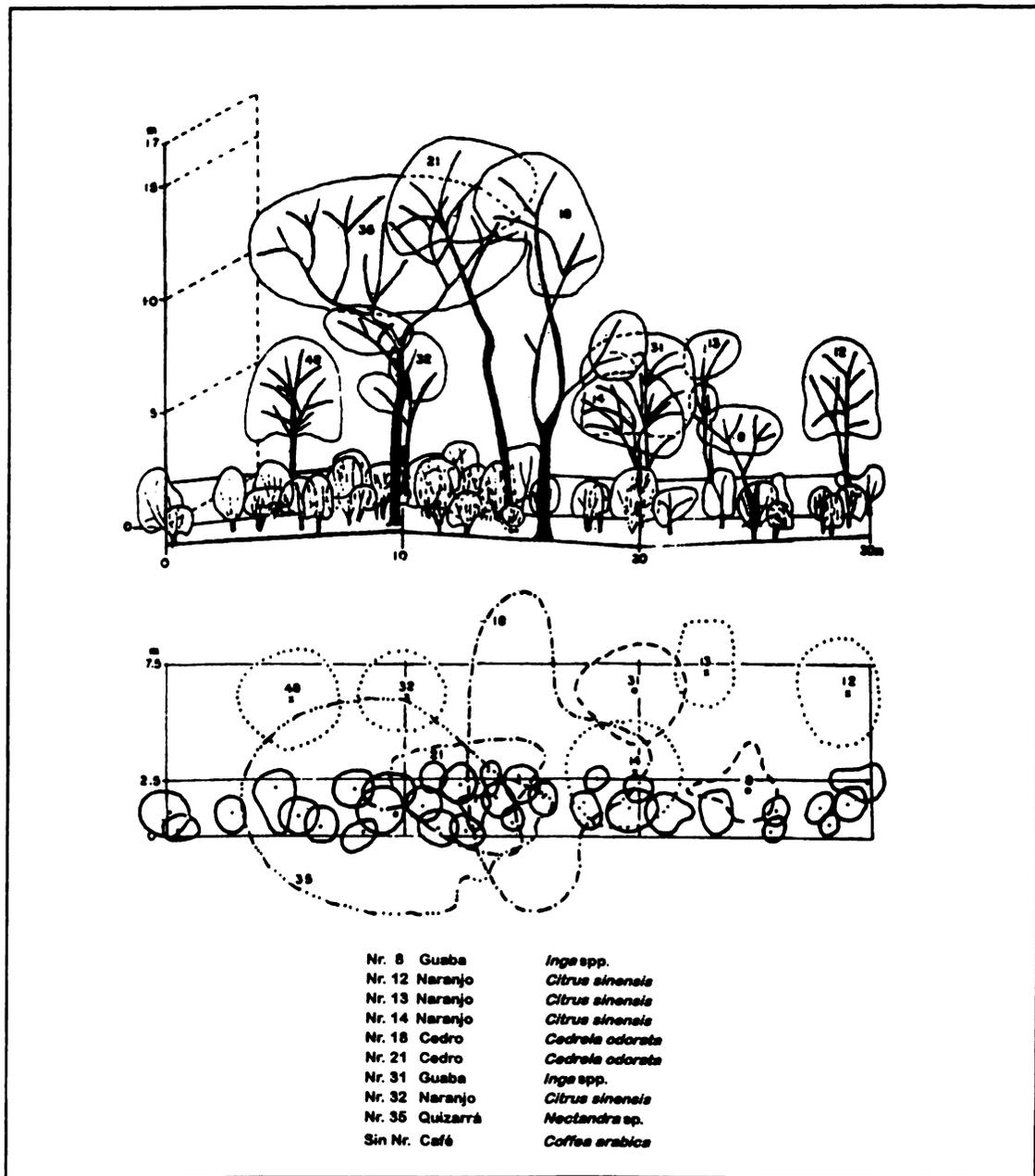


Figura 1. Perfil vertical y horizontal de un cafetal típico del pequeño productor en la región de Acosta y Puriscal, Costa Rica. (Espinoza, 1983).

La disponibilidad de la radiación solar es muy diferente en los distintos estratos del sistema. Los estratos superiores interceptan, absorben y utilizan gran parte de la radiación solar total incidente, lo que ocasiona que los estratos inferiores reciban mucho menos radiación. La calidad de la radiación también es afectada: cerca del suelo predomina la radiación difusa y la proporción de radiación infrarroja es mucho mayor que la visible ya que esta última en mayoritariamente absorbida por las capas superiores

del dosel para activar el proceso fotosintético. En condiciones de coeficiente de intercambio bajo (velocidad del viento baja), la concentración de dióxido de carbono disminuye drásticamente durante el periodo diurno en las zonas de mayor actividad fotosintética (estratos superiores del cultivo y de los árboles).

Debido a que durante el periodo diurno, la radiación solar es el factor dominante del balance de radiación, la reducción de la radiación solar bajo la copa del árbol, reduce la energía disponible para el proceso de evapotranspiración, el calentamiento del aire (flujo de calor sensible), el calentamiento del suelo y el almacenamiento de energía en el dosel.

La amplitud de temperatura (diferencia entre máxima y mínima), generalmente se reduce bajo el efecto de sombreado de los árboles por la reducción de la radiación y porque buena parte de la radiación de onda larga, emitida por el suelo, es atrapada por el dosel inferior.

La reducción de la temperatura causa un aumento de la humedad relativa debido a que la presión de vapor es una función exponencial de la temperatura. Barradas y Fanjul (1986) obtuvieron que el promedio de temperatura máxima fue 5,4 °C y la mínima 1,5 °C, menor en una plantación de café bajo sombra de *Inga jinicuil* (205 árboles/ha, 14 m de altura promedio) que a plena exposición. Así mismo, el déficit de presión de vapor fue sustancialmente reducido. Resultados similares, indicando un efecto amortiguador de los árboles sobre el microclima bajo ellos, fue también reportado para una asociación de coco con cacao en la India (Nair y Balakrisha, 1977).

Los efectos microclimáticos ocasionados por los árboles en los sistemas agroforestales no solamente son importantes por sus efectos físicos (balance de energía) y fisiológicos (fotosíntesis, transpiración, etc.), sino también porque juegan un papel importante como modificadores del ambiente para otros organismos. Por ejemplo, la mayoría de los hongos fitopatógenos que tienen una fuerte dependencia del factor hídrico, el ambiente más húmedo que ocurre bajo la sombra de los árboles favorece principalmente la germinación, el crecimiento del tubo germinativo y la penetración en el hospedante. De manera similar, la mayoría de las bacterias que causan enfermedades fitopatógenas se ven favorecidas por esas condiciones. Otras fases del ciclo de las enfermedades como la diseminación y la colonización (infección) del tejido hospedante podrían verse afectados de manera negativa por el microclima que se genera bajo los árboles.

En los sistemas agroforestales también ocurren modificaciones muy importantes en las transferencias de agua. De la lluvia que llega a la parte superior del sistema agroforestal, parte es interceptada por los árboles que constituyen el estrato superior; de ésta una porción permanece en el dosel hasta que es evaporada y la otra gotea hacia el estrato inferior (cultivos) y el suelo, o escurre a través de los tallos. También parte de la lluvia puede alcanzar el suelo directamente, sin ser interferida por la cobertura vegetal.

Se debe tener presente que las condiciones microclimáticas también están ligadas a varios factores geográficos como la latitud, la altitud, el relieve, la inclinación y la exposición.

La posición latitudinal define el ángulo de incidencia de los rayos solares y la cantidad de radiación solar que se recibe a través del año en función del movimiento de traslación de la tierra alrededor del sol. Esto condiciona otras características como la temperatura, humedad del aire, y circulación de la atmósfera (vientos, agua).

El aumento de la altitud ocasiona generalmente una disminución de la temperatura debido a la menor densidad del aire (menos moléculas que absorben la radiación) y a que la radiación solar reflejada por la tierra y la radiación terrestre calientan el aire a partir de las capas de aire más cercanas al suelo (más cerca de donde fueron reflejadas o emitidas).

El relieve y la inclinación tienen implicaciones específicas en la distribución y movimiento del agua en una área determinada. En las superficies planas la escorrentía superficial es baja, mientras que en las laderas, se origina un movimiento de agua de las zonas altas hacia las bajas, provocando frecuentemente sequedad en las colinas y abundancia de agua en las zonas bajas.

La exposición también es un factor importante, principalmente en zonas fuera de los trópicos. Así por ejemplo en el Hemisferio Norte, las áreas o pendientes expuestas hacia el Sur reciben más radiación, presentan temperaturas más altas y tasas de evapotranspiración mayores.

Competencia por agua

La competencia por humedad del suelo entre árboles y cultivos en los sistemas agroforestales está muy relacionada con la profundidad del sistema radical. El diseño de muchos de estos sistemas se realiza considerando las diferencias en la profundidad radical del cultivo y el árbol, suponiendo que toman el agua de profundidades diferentes, minimizando así la competencia por este recurso. Sin embargo, la profundidad de raíces no está determinada solo genéticamente, sino que muchas veces es afectada por las condiciones de suelo y clima (Leyton 1981). En todo caso, es casi imposible que no haya, al menos una zona del suelo, de presencia común de raíces de las especies que componen el sistema, lo que hace suponer que bajo condiciones limitantes, en este caso de agua, se establezca un grado importante de competencia. Se puede esperar entonces que bajo estas condiciones, el cultivo sea el más afectado, por tener un sistema radical más superficial y menos extendido y porque la deficiencia hídrica en algunos estados fenológicos, tales como la floración y el llenado del fruto, puede causar pérdidas enormes en los rendimientos.

Así, en sitios donde no ocurren estados hídricos deficitarios o se presentan excesos de agua con relación a la evapotranspiración máxima de los cultivos, las ventajas agronómicas y económicas de la siembra simultánea de árboles y cultivos parece indiscutible. A pesar de ello, en condiciones de suministro limitado de agua (zonas semiáridas por ejemplo), las interacciones bajo la superficie del suelo entre el árbol y el cultivo, en particular la competencia por agua, es de gran relevancia y más importante que los efectos de sombreamiento, como lo indican los resultados obtenidos por Singh *et al.* (1989) en la India en experimentos de cultivo en callejones de leucaena con caupí (*Vigna sinensis*) y sorgo (*Sorghum bicolor*).

Desde este punto de vista, una consideración adicional necesaria es la de seleccionar combinaciones de árbol-cultivo que completen al menos parte de su ciclo de crecimiento, durante el periodo cuando la humedad del suelo es suficiente para el crecimiento y desarrollo normal. La poda de raíces de los árboles que puede reducir parcialmente la competencia por agua es otro factor importante a tomar en cuenta. Aunque con muchas especies leñosas perennes se puede asumir que extraen agua de regiones más profundas del suelo que el cultivo agrícola, sus efectos sobre el balance hídrico general son mucho más complejas, principalmente por la intercepción y redistribución del agua, como se indicó antes.

A continuación se analizan algunos posibles efectos de los sistemas agroforestales sobre algunos procesos hidrometeorológicos. Obviamente son indicaciones generales, que pueden por lo tanto, variar para sistemas, combinaciones y otros arreglos específicos.

Precipitación incidente

La precipitación incidente se define como la precipitación que llega a la parte superior de la vegetación. Aunque existen algunos mitos en este respecto es importante aclarar que los procesos atmosféricos que condicionan y causan la lluvia generalmente no dependen de la cobertura vegetal sobre la cual precipita el agua, lo que significa que una determinada superficie agroforestal no influye sobre la ocurrencia, cantidad y duración de eventos de lluvia a los cuales está expuesta. Así, los sistemas agroforestales generalmente no incrementan la precipitación incidente.

Precipitación neta

La precipitación neta es la cantidad de lluvia que llega al suelo por goteo directo, goteo desde el follaje y escorrentía por los tallos. Bajo un mismo régimen de lluvias, la precipitación neta en sistemas agroforestales puede ser considerablemente menor que en otras coberturas vegetales, debido a la intercepción de buena parte de la lluvia por el dosel de los árboles y del cultivo, lo que impide que una parte importante de la precipitación bruta llegue hasta el suelo. En esto juega un papel muy importante los componentes biológicos del sistema (especies) y su manejo. En un estudio realizado en Turrialba, Costa Rica, en un sistema agroforestal de café con sombra de *Erythrina poeppigiana* (555 árboles/ha,

con dos podas por año) y café con sombra de *Cordia alliodora* (135 árboles/ha), Jiménez (1986) encontró la precipitación neta fue de 84% para el primer sistema mencionado y 92,5% para el segundo.

Intercepción, evaporación, transpiración y evapotranspiración

Intercepción: es definida como la cantidad de agua proveniente de la lluvia retenida por el dosel de la cobertura vegetal y luego evaporada. Se pueden distinguir dos tipos de intercepción: absoluta y relativa.

La intercepción absoluta es la cantidad de agua que puede ser retenida por la cobertura vegetal, en función de su estructura, densidad e índice de área foliar. Corresponde a lo que se denomina capacidad de almacenamiento de la cobertura. Por su parte, la intercepción relativa depende de las características del evento de lluvia y disminuye porcentualmente conforme aumenta la cantidad de lluvia por evento.

Así, una determinada cantidad de lluvia sobre la misma cobertura puede causar diferentes niveles de intercepción dependiendo de la cantidad y duración de los eventos. La mayoría de reportes de la literatura sobre intercepción de lluvia corresponden a coberturas forestales, para las cuales los valores de intercepción relativa son del orden de 10 a 30% y los absolutos de 2 a 4 mm. Jiménez (1986) obtuvo una intercepción relativa de 16% para el sistema agroforestal café con sombra de *Erythrina poeppigiana* y 7,5% para café con sombra de *Cordia alliodora*, en el estudio antes mencionado.

Evaporación: la evaporación se refiere en este caso a la vaporización de agua desde el suelo. La cantidad de agua evaporada desde suelos bajo sistemas agroforestales es baja por las condiciones microclimáticas que predominan bajo ellos, en la superficie del suelo: poca radiación solar, poco viento, humedad relativa alta, poca oscilación térmica. A esto hay que agregar que en muchos casos el manejo del sistema agroforestal incluye la poda de los árboles, obteniéndose una cobertura vegetal (mulch) sobre el suelo que limita las pérdidas de agua.

Transpi. acción: la transpiración es el mecanismo fisiológico de pérdida de agua de las plantas a través de los estomas, principalmente. Aunque la demanda y consumo de agua por las plantas depende de las características climáticas y varía por lo tanto entre zonas, se puede afirmar que los sistemas agroforestales tienen tasas de transpiración muy altas debido a sus índices foliares. Casualmente la estrategia de podar los árboles de sombra durante periodos de "estrés" hídrico, tiene como objetivo reducir las pérdidas de agua por ese medio.

Evapotranspiración: la evapotranspiración incluye el total de agua vaporizada por la cobertura vegetal (evaporación desde el suelo, evaporación del agua interceptada y transpiración). Los sistemas agroforestales tienen altas tasas de evapotranspiración, debido a su alta capacidad de almacenamiento de agua, a los valores elevados de transpiración y a los sistemas radicales extensos, densos y profundos.

Infiltración y escorrentía

El efecto que pueden tener los sistemas agroforestales sobre las características hidrodinámicas del suelo depende en gran medida del tipo de sistema y su manejo. En sistemas como cacao, café y té con sombras forestales, con frecuencia existe una capa de materia orgánica en descomposición y la ausencia de un uso intensivo, situaciones que favorecen el proceso de infiltración y evitan la destrucción de los agregados y desecamiento del suelo. Los suelos secos o con falta de agregación, tienen poca capacidad de infiltración y favorecen la escorrentía superficial, lo que a su vez ocasiona procesos de erosión. En general, los suelos bajo los sistemas agroforestales tienen buena estructura y altas capacidades de infiltración; incluso es frecuente que esta capacidad supere la intensidad de las lluvias, indicando que la mayor parte del agua que llega al suelo bajo la cobertura agroforestal perenne se infiltra.

La alta capacidad de infiltración de los suelos bajo los sistemas agroforestales con perennes se debe principalmente a factores tales como: densidades del suelo relativamente bajas y estructura favorable del suelo, uso poco intensivo, intercepción parcial de la precipitación incidente, cobertura del suelo por material orgánico y ausencia de golpeteo directo de las gotas de lluvia en el suelo mineral. Además las raíces de los árboles y los cultivos forman canales que favorecen la infiltración y percolación del agua.

En resumen se puede afirmar que muchos sistemas agroforestales con perennes contribuyen a aumentar la capacidad de infiltración de los suelos y por lo tanto a reducir la escorrentía superficial.

Impacto de las gotas de lluvia

La estratificación del dosel en los sistemas agroforestales y el mulch que se acumula, son factores importantes en reducir la energía cinética de la lluvia, contribuyendo así a la conservación del suelo al reducir la escorrentía superficial que es el principal causante de la erosión de los suelos tropicales. Las gotas de lluvia al impactar en el dosel de los árboles se dividen en gotas más pequeñas, reduciendo así su masa y velocidad. La cobertura vegetal inferior (cultivos) amortigua el impacto de las gotas de lluvia que llegan directamente a ella y del agua que gotea desde la copa de los árboles reduciendo su poder erosivo.

Producción de agua

Por analogía con los bosques, donde los resultados de varias investigaciones en cuencas experimentales, particularmente las realizadas para probar la hipótesis de que la cobertura vegetal afecta la producción de agua, han mostrado que las cuencas cubiertas por bosques producen menos agua que cuando están en barbecho, pasto o cultivos pequeños (Hewlett, 1970; Bosch y Hewlett, 1982; Hamilton

et al., 1985), se puede esperar que los terrenos bajo sistemas agroforestales con elevados índices de área foliar producen también menos agua. En bosques de zonas húmedas tropicales, la reducción en la producción de agua es de aproximadamente 10% (Bruijnzeel et al., 1987). La menor producción de agua en bosques en comparación con otras coberturas vegetales se debe principalmente a su elevada tasa de interceptación y evapotranspiración.

Competencia por radiación solar

La competencia por luz parece ser la más frecuentemente observada, al menos en sistemas de cultivo en callejones (Ssekabembe, 1985) y también la que ha sido más documentada. A pesar de ello, gran parte de esa información es indirecta como lo muestran los resultados publicados por el IITA (1983), según los cuales en callejones de 2 m de ancho de *Gliricidia sepium* se produjo la mayor reducción en el rendimiento de *Vigna unguiculata*, seguida por *Leucaena leucocephala*, *Alchornea cordifolia* y *Acio barberii*, siguiendo un orden más o menos decreciente del tamaño y densidad de la copa de los árboles. En el mismo estudio, pero usando callejones de 4 m de ancho no hubo diferencias grandes en el rendimiento de viga, excepto en callejones de *L. leucocephala* que redujo el rendimiento en 30% con respecto a las otras especies arbóreas.

En Nigeria, Verinumbe y Okali (1985) mostraron que la competencia por luz fue más crítica que la competencia radical para maíz cultivado entre árboles de teca (*Tectona grandis*). Kang et al. (1981) encontraron una reducción significativa en el rendimiento de maíz cerca de los surcos de leucaena con respecto al rendimiento en el centro de callejón. Otros ejemplos donde el sombreado resultó en una reducción del rendimiento de ñame y yuca son citados por Ssekabembe (1985).

La estrecha relación entre radiación, fotosíntesis y producción de biomasa hace que la disponibilidad de energía luminica sea un factor fundamental cuando se analizan interacciones en sistemas de cultivo con varias especies. La más alta producción fotosintética en asociaciones de plantas se alcanza cuando cada planta es provista con la cantidad mínima de luz que requiere para una fotosíntesis máxima. En algunas especies adaptadas a la sombra, el punto de saturación de la luz para fotosíntesis puede ser alcanzado con menos de 100 mmoles/m²s (Jones, 1983), esto es cerca del 5% de la alcanzada a pleno sol al mediodía. Sin embargo, la mayoría de las más importantes plantas cultivadas tienen altos requerimientos de luz y los valores típicos del punto de saturación, en cultivos C3, está en el rango de 540-1440 mmoles/m²s (McCree, 1981). También Nobel (1991) indica que un flujo energético de cerca de 600 mmoles/m²s es necesario para la saturación lumínica en la mayoría de las plantas C3.

Transmisión de la radiación solar a través de la copa de los árboles.

La cantidad de radiación que pasa a través del dosel vegetal depende de varios factores, principalmente de la estructura, caracterizada por la cantidad de follaje (índice de área foliar), de la

distribución en el espacio y de la inclinación de las hojas. El índice de área foliar (IAF) es el factor dominante en la determinación de la intercepción de radiación solar en doseles continuos (Palmer y Jackson, 1977). La inclinación tiene también una fuerte influencia en la intercepción de luz y con ello en la transmisión (Campbell, 1977, Ross, 1981). A valores altos de IAF, los doseles en los que las hojas superiores son más erectas que las hojas bajas, tienden a tener una productividad total más alta, debido a que una cantidad dada de radiación genera más fotosíntesis cuando se distribuye sobre una área foliar mayor (Pearce *et al.*, 1967, Campbell, 1977, Nobel, 1991).

En algunos sistemas agroforestales, el objetivo del manejo de la cobertura vegetal aérea es reducir al máximo posible la competencia por radiación. Desde este punto de vista, el uso de árboles con hojas bastante erectas, pequeñas y de alta eficiencia en el uso de la radiación solar, serían los ideales para maximizar el aprovechamiento de este recurso por parte del sistema. Especies que reúnan estas características son difíciles de escoger, debido a que ya otras especies han sido establecidas o porque los objetivos de producción favorecen la selección de otras especies. Sin embargo, queda la alternativa de manejar la copa o dosel mediante podas que favorezcan una mejor distribución y aprovechamiento de la energía solar.

Varios estudios han sido publicados sobre la transmisión de radiación en sistemas agroforestales. Por ejemplo Kang *et al.* (1985) midieron el porcentaje de radiación solar global incidente sobre los cultivos de maíz y vigna antes y después de la poda de *Leucaena leucocephala*, en callejones de 4 m de ancho. En el caso del maíz el porcentaje varió de 51% cerca de los árboles a 81% en el centro del callejón antes de la poda y entre 89% y 99%, respectivamente, después de la poda. En el caso de vigna, el porcentaje varió de 45% a 90% antes de la poda y 76% a 98% después de esta práctica de cultivo.

Yamoah *et al.* (1986) midieron la radiación fotosintéticamente activa (RFA) incidente sobre malezas que crecían entre los callejones de *Gliricidia sepium*, *Flemingia congesta* y *Cassia siamea* durante el período de barbecho. El porcentaje de RFA bajo los árboles con relación a la incidente sobre los mismos varió, de 17% a 1 m del surco hasta 55% a 2 m para *G. sepium*; de 43% a 56% en *F. congesta* y fue solo del 8% a 2 m en el caso de *C. siamea*.

Muschler (1991) estudió el área de suelo sombreada y la transmisión de la radiación fotosintética en tres especies leguminosas (*Erythrina fusca*, *E. berteroana* y *G. sepium*) usadas como soporte vivo para el cultivo de la pimienta negra, en la región Atlántica de Costa Rica. Seis meses después de la poda de los árboles, en un día claro, a las 7:30 y 11:30 horas, *G. sepium* sombreó el 45,7% y 29,9% del suelo; *E. fusca* el 64,8% y 44,6% y *E. berteroana* el 81,2% y 56,6%, respectivamente. La transmisión de RFA bajo la copa de los árboles varió de 27% después de dos meses, a menos de 5% luego de seis meses de la poda. En este último caso, en días claros, cerca del mediodía y bajo la copa de los árboles, la RFA transmitida fue 14,6%, 9,7% y 6,9% para *G. sepium*, *E. fusca* y *E. berteroana*, respectivamente. Integrand

para todo el dosel (áreas sombreadas y no sombreadas; con espaciamiento de 2,5 m x 2,5 m) y promediando para las diferentes horas del día, después de seis meses de la poda de los árboles, la RFA transmitida fue 69%, 52% y 35% de la radiación a pleno sol, para *G. sepium*, *E. fusca* y *E. berteriana*, respectivamente.

Modelación de la radiación solar en sistemas agroforestales

La intercepción de la radiación solar por parte de la planta depende de su arquitectura y características ópticas. Para extender el análisis de plantas individuales a coberturas vegetales se debe tomar en cuenta el arreglo espacial de ellas en la cobertura (Ross, 1981).

La modelación de la distribución de la radiación solar dentro de la cobertura vegetal, tomando en cuenta todas las características estructurales y ópticas, es muy compleja y requiere gran número de mediciones. La complejidad es aún mayor cuando se trata de coberturas heterogéneas, como son los sistemas agroforestales. Por ello, la mayoría de esfuerzos en modelación de la radiación solar en sistemas agroforestales son bastante simplificados y se refieren principalmente al modelaje de los patrones de sombra de los árboles, los cuales definen la cantidad y calidad de radiación que es transmitida hasta el cultivo. Nygren (1990) presentó un esquema de los principales factores que podrían tomarse en cuenta en este tipo de modelación (figura 2).

Varios autores han propuesto modelos de intercepción de la radiación solar en sistemas agroforestales. sin embargo, la mayoría de ellos presentan importantes limitaciones operativas y principalmente de «universalidad» de aplicación.

Debido a la discontinuidad del dosel en muchos de los sistemas agroforestales, la penetración de la luz no puede ser calculada a partir de la ley de Lamber-Beer desarrollada por Monsi y Saeki para coberturas vegetales homogéneas (Jackson, 1989). Este modelo fue modificado por Jackson y Palmer (1979) y Jackson (1983) para sistemas agroforestales. El mismo describe la fracción de radiación T que pasa las copas de los árboles y que estaría disponible para el cultivo:

$$T = T_r + (1 - T_r) e^{-kL'}$$

donde T_r representa la parte de la radiación difusa y directa que alcanza la superficie del suelo sin ser interceptada por las copas de los árboles; L' es el índice de área foliar de los árboles que interceptan luz: $L' = L / (1 - T_r)$ y k es el coeficiente de extinción de la luz.

Varios otros autores, entre ellos Quesada *et al.* (1987) y Nygren (1990), han desarrollado también modelos para determinar la transmisión de radiación solar en sistemas agroforestales.

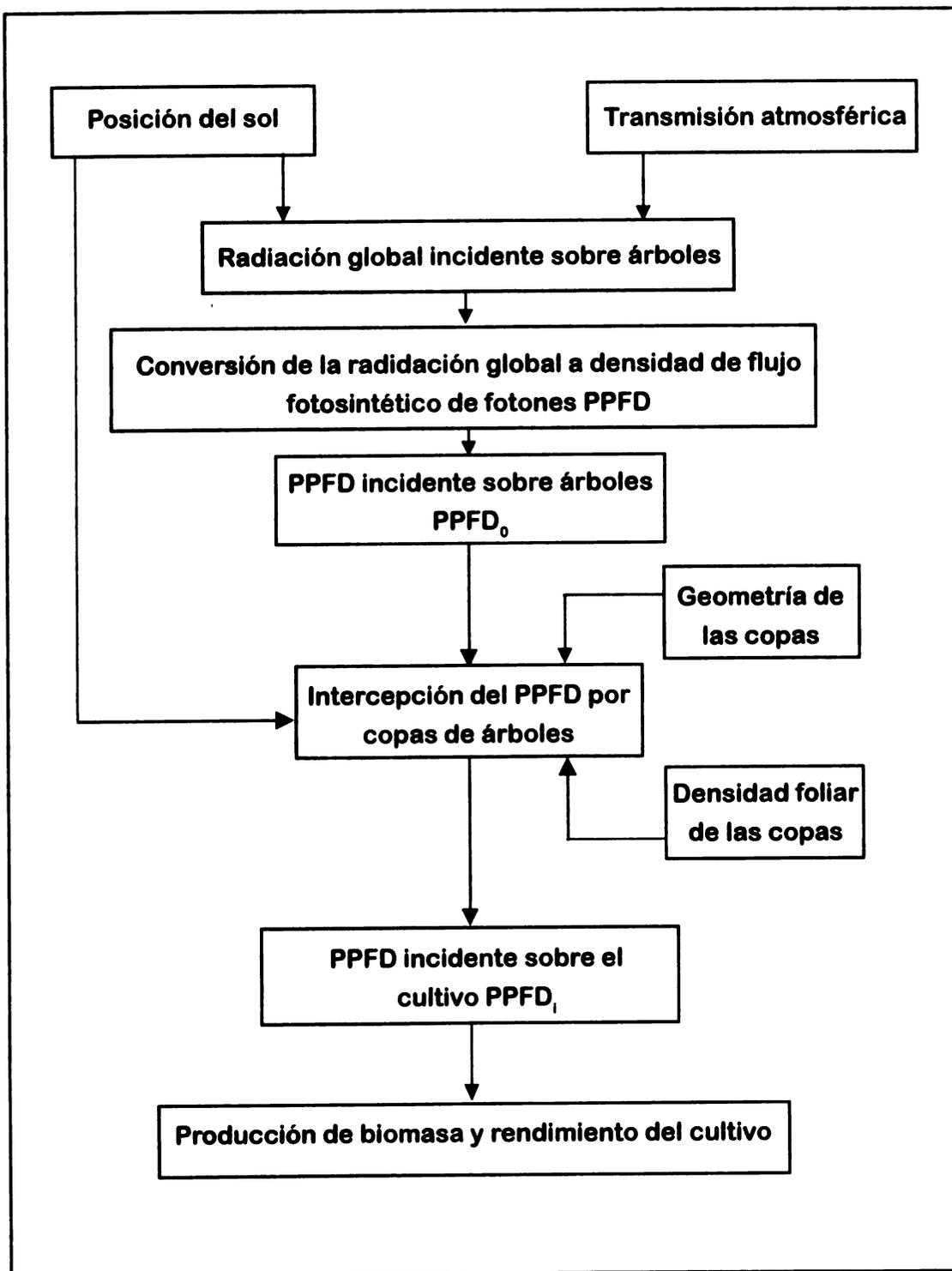


Figura 2. Esquema de los principales factores para tomar en cuenta en el modelaje de patrones de sombra de árboles en sistemas agroforestales. (Adaptado de Nygren, 1990).

Clima y diseño de sistemas agroforestales

El diseño de sistemas agroforestales es una estrategia de optimización que busca maximizar los efectos beneficiosos de los árboles y minimizar la competencia por radiación solar, CO₂, agua y nutrientes. Los efectos son más importantes en algunos sistemas como el cultivo en callejones, cultivos con soportes vivos y cultivos bajo sombra de árboles.

Aunque se habla de manera generalizada de la importancia de reducir la competencia entre el cultivo y los árboles, existe poca información cuantitativa al respecto, lo que limita la búsqueda de diseños óptimos del sistema. La alta variabilidad de los factores meteorológicos (ej. radiación solar) dentro de los sistemas agroforestales necesita una gran cantidad de sensores y repeticiones que tienen un elevado costo. Asimismo los diseños experimentales tradicionales tienen serias limitaciones debido al elevado número de tratamientos e equipo requeridos para evaluarlos.

Como posible solución a esta problemática, se pueden usar diseños sistemáticos. Su modificación agroforestal son los experimentos en que se maximiza la zona transitoria entre el cultivo y los árboles ("tree-crop interfase experiments"). Estos son especialmente aptos para estudios micrometeorológicos. Los mejores arreglos árbol-cultivos encontrados en esos experimentos deben ser comprobados con experimentos estadísticamente diseñados.

Otro enfoque posible es el uso de modelos de simulación para explorar un gran número de diseños y comprobar solo los mejores en el campo. Una vez que el modelo es validado, este sistema trae mucho ahorro de dinero, trabajo y tiempo y brinda entonces mucho más elementos para un mejor diseño.

Bibliografía

- BARRADAS, V. L.; FANJUL, L. 1986. Microclimatic characterization of shaded and open grown coffee (*Coffea arabica*) plantations in Mexico. *Agricultural and Forest Meteorology* 38: 101-112.
- BOSCH, J. M.; HEWLETT, J. D. 1982. A review of catchment experiments to determine the effect of vegetation change on water yield and evapotranspiration. *Journal of Hydrology* 55: 3-23.
- BRUIJNZEEL, G. W. 1990. Hydrology of moist forests and effects of conversion: a state of knowledge review. Paris, France. UNESCO. 224.
- CAMPBELL, G. S. 1977. *An Introduction to Environmental Biophysics*. New York, Springer. 159 p.
- ESPINOZA, L. 1983. Estructura general de cafetales de pequeños agricultores. In: J. Heuvelodp y L. Espinoza, eds. *El componente arboreo en Acosta y Puriscal, Costa Rica*. CATIE. p. 72-84.
- ETHERINGTON, J. R. 1985. *Environment and Plant Ecology*. London, Wiley. 347 p.
- HAMILTON, L. S.; BONELL, M.; CASSELLS, D. S; GILMOUR, D. A. 1985. The protective role of tropical forests-a state of knowledge review. s.n.t. Presentado en World Forestry Congress (9, 1985, México). 23 p.
- HEWLETT, J. D. 1970. Review of the catchment experiment to determine water yield. In: Joint FAO/USSR International Symposium on Forest Influences and Watershed Management . Moscow, USSR. Proceedings s.n.t. p. 145-155.
- IITA. 1983. Annual Report for 1982. Ibadan, Nigeria. p. 153-159.
- JACKSON, J. E. 1983. Climate and crop-tree mixtures. In: P. A. Huxley, ed. *Plant Research and Agroforestry*, ICRAF, Nairobi, Kenya. p. 365-377.
- JACKSON, J. E. 1989. Tree and crop selection and management to optimize overall system productivity, especially light utilization in agroforestry. In: W. S. Reifsnnyder; T. O. Darnhofer, Eds. *Meteorology and Agroforestry*. Nairobi, Kenya, ICRAF. p. 163-173.
- JACKSON, J. E.; PALMER, J. W. 1979. A simple model of light transmission and interception by discontinuous canopies. *Ann. Bot.* 44: 381-383.
- JIMENEZ, F. 1986. Balance hídrico con énfasis en percolación de dos sistemas agroforestales: café-poró y café-laurel, en Turrialba, Costa Rica. Tesis MSc., UCR-CATIE. 104 p.
- JONES, H. G. 1985. *Plants and Microclimate*. Oxford, Alden Press. p.152.
- KANG, B. T.; WILSON, G. F.; SIPKENS, L. 1981. Alley cropping maize (*Zea mays*) and *Leucaena* (*Leucaena leucocephala*) in Southern Nigeria. *Plant and Soil* 63: 165-179.
- KANG, B. T.; GRIMME, H.; LAWSON, T. 1985. Alley cropping sequentially cropped maize and cowpea with *Leucaena* on a dandy soil in Southern Nigeria. *Plant and Soil* 85: 267-277.

- LAWSON, T. L.; KANG, B. T. 1990. Yield of maize and cowpea in an alley cropping system in relation to available light. *Agricultural and Forest Meteorology* 52: 347-357.
- LEYTON, L. 1981. Crop water use: principles and some considerations for agroforestry. *In: P. A. Huxley, ed. Plant Research and Agroforestry. Proceedings of a consultative meeting held in Nairobi.* p. 377-399.
- MCCREE, K. J. 1981. Photosynthetically active radiation. *In: O. L. Lange, P. S. Nobel, C. B. Osmond y C. B. Ziegler, eds. Physiological Plant Ecology.* New York, Springer. p. 41-45.
- MONTEITH, J. L., ONG, C. K.; CORLETT, J. E. 1991. Microclimate interactions in agroforestry systems. *In: P.G. Jarvis, ed. Agroforestry: principles and practice.* Amsterdam, Elsevier. p. 31-44
- MURRAY, D. B.; NICHOLS, R. 1966. Light, shade and growth in some tropical plants. *In: R. Baimbridge, G. C. Evans y O. Rackham, eds. Light as an ecological factor.* Oxford, Blackwell. 452 p.
- MUSCHLER, R. 1991. Crown development and light transmission of three leguminous tree species in an agroforestry system in Costa Rica. Thesis Master of Science, University of Florida. 140 p.
- NAIR, P. K. R. ; BALAKRISHNAN, T. K. 1977. Ecoclimate of a coconut plus cacao crop combination on the west coast of India. *Agricultural and Forest Meteorology* 18: 455-462.
- NYGREN, P. 1990. Modelo de patrones de sombra de surcos de *Erythrina poeppigiana* en sistemas de cultivo en callejones. Tesis MSc., Turrialba, Costa Rica, CATIE. 142 p.
- NOBEL, P. S. 1991. *Physiochemical and Environmental Plant Physiology.* New York, Academic Press. 635 p.
- PALMER, J. W.; JACKSON, J. E. 1977. Seasonal light interception and canopy development in hedgerow and bed system apple orchards. *Journal of Applied Ecology* 14: 539-549.
- PEARCE, R. B.; BROWN, R. H.; BLASER, R. E. 1967. Photosynthesis in plant communities as influenced by leaf angle. *Crop Science* 7: 321-324.
- QUEDADA, F.; SOMARRIBA, E.; VARGAS, E. 1987. Modelo para la simulación de sombra de árboles. Turrialba, Costa Rica, CATIE. Informe técnico No. 118. 91 p.
- ROSS, J. 1981. *The radiation regime and architecture of plants stands.* The Hague, W. Junk. 391 p.
- SINGH, R. P.; ONG, C. K.; SAHARAN, N. 1989. Above and below ground interactions in alley cropping in semi-arid India. *Agroforestry Systems* 9: 259-274.
- SSEKABEMBE, C. K. 1985. Perspectives on hedgerow intercropping. *Agroforestry Systems* 3: 339-356.
- VERINUMBE, I.; OKALI, D. U. U. 1985. The influence of coppiced teak (*Tectona grandis*) regrowth and roots on intercropped maize (*Zea mays*). *Agroforestry Systems* 3: 381-386.
- YAMAOH, C. F.; AGBOOLA, A. A.; MULONGOY, K. 1986. Decomposition, nitrogen release and weed control by prunings of selected alley cropping shrubs. *Agroforestry Systems* 4: 236-246.

Economía y sistemas agroforestales

**Henning von Platen
Edgar Köpsell**

- **Introducción**
- **Principios del análisis agroeconómico para SAF**
- **La toma de decisiones en finca**
- **Obtención de datos para los cálculos**
- **La evaluación económica de SAF**
- **Ejemplos**
- **Definiciones**
- **Bibliografía**

Economía y sistemas agroforestales

Introducción

Objetivos

Con el presente material, los autores quieren contribuir a un mayor entendimiento del funcionamiento económico de Sistemas Agroforestales, tanto en si, como dentro de un sistema de finca y dentro del entorno socio-económico más amplio, como requisito para el desarrollo y la difusión de tecnologías. Se cubren los siguientes aspectos económicos teóricos y prácticos:

- Principios básicos de la economía que ayudan a entender las relaciones entre la producción agroforestal y su rendimiento económico;
- Funcionamiento económico de los sistemas agroforestales de la región;
- Herramientas básicas de la economía para el análisis de SAF;
- El uso correcto de las herramientas y los métodos para los cálculos económicos básicos;
- Concientizar sobre puntos críticos en los cálculos correspondientes;
- Señalar elementos de la política y sociología rural que influyen en el desarrollo y la introducción de tecnologías.

La función del análisis económico en el desarrollo y difusión de tecnologías

La función básica del análisis económico agrícola es la de formular recomendaciones sobre cuál o cuáles de las posibles producciones es la más ventajosa de realizar. Estas recomendaciones se formulan con base en el estudio de la rentabilidad o eficiencia de las actividades productivas, que reposa entre otros, en las estimaciones del desarrollo futuro de precios y mercados.

El análisis económico debe establecerse por medio de un estudio de factibilidad económica, si una producción, por sus características físicas en un lugar dado (requerimiento de insumos y trabajo, cantidad de producto) tiene el potencial de ser rentable. En este estudio deben incluirse los mismos parámetros que se usan en el estudio de factibilidad biológica (requerimientos de mano de obra e insumos, producción física) y además, parámetros de riesgo como ocurrencia de enfermedades, variaciones de tiempo y desde luego los parámetros no físicos, como los precios de los insumos y productos.

El análisis debe incluir una estimación realista sobre el desarrollo futuro de precios y mercados, para estimar, sobretodo en el caso de producciones perennes, la probabilidad de que los resultados mantengan su validez, aún en el futuro.

Una vez establecida la rentabilidad en si, actual y futura, el análisis debe incluir otros conjuntos de parámetros que determinan la factibilidad económica en una situación específica y por ende la decisión de realizarla. Entre ellos están:

- La rentabilidad relativa o ventaja comparativa. No importa que tan rentable sea una producción, pueden existir otras producciones aún más rentables. Para tomar la decisión sobre cuál de las producciones a realizar, se debe considerar el orden correspondiente.
- La disponibilidad de recursos en la finca. Como cualquier otra empresa, una finca tiene un conjunto limitado de recursos (tierra, mano de obra, capital, conocimientos y a veces limitantes como el agua de riego). Aunque estos limitantes no determinan la rentabilidad de una actividad específica, son decisivos para su realización, ya que la distribución de los recursos disponibles a las diversas actividades define la rentabilidad total de la finca.
- Objetivos de la empresa. Un objetivo importante de las actividades productivas de una finca es el de generar ganancias. Sin embargo, pueden existir otros objetivos que determinan la organización de la finca. Pueden incluir objetivos tan obvios como la seguridad alimenticia (producción de un mínimo de viveres), vivienda, mantenimiento de costumbres, minimización de riesgos, tiempo de ocio, gustos por ciertos cultivos o trabajos y hasta gustos indefinidos.

Obviamente, todos estos parámetros varían según el país, área, localidad e inclusive según la finca y sus dueños. Las tareas del análisis económico son establecer: (1) cuáles de todos estos parámetros aplican en una situación específica, (2) en qué magnitud y (3) aplicarlos, para llegar a conclusiones válidas sobre el valor real de las tecnologías de producción.

Consideraciones especiales en la economía de sistemas agroforestales

Los sistemas agroforestales pueden someterse al análisis económico como cualquier otra producción agrícola o pecuaria, aunque existen algunos factores específicos, que pueden hacer que la tarea sea más compleja.

En primer lugar, existe por definición una relación física entre dos o más especies de plantas. No importa si se trata de una asociación árboles/cultivo, por ejemplo café con sombra o un lindero con un cultivo alledaño, siempre existirá, por lo menos temporalmente, una área en la cual las especies compiten por nutrientes, agua y luz. Además, puede haber otros efectos de mutua influencia, por ejemplo:

- Los árboles pueden beneficiarse de la fertilización del cultivo asociado o aledaño.
- El cultivo puede beneficiarse con los residuos de la poda de los árboles, o también puede sufrir daños durante la poda por la caída de ramas.
- El tipo de manejo de la sombra tiene influencias sobre la incidencia de enfermedades en el cultivo agrícola (por ejemplo café y cacao).

En fin, existe un gran número de posibles influencias que de alguna manera deben ser considerados en el análisis económico. Mientras esta consideración es relativamente fácil en un SAF asociado, donde se analiza el sistema en conjunto (más adelante se señalarán algunos problemas especiales para asociaciones), SAF no asociados como son linderos y cortinas rompevientos requieren un análisis más profundo para determinar como distribuir los costos y beneficios resultado de la interacción entre los dos componentes.

En segundo lugar existe el factor tiempo, que no se presenta de la misma manera en el análisis económico de una producción agrícola anual, perenne y pecuaria. Aunque los sistemas de producción con un tiempo prolongado entre costos de inversión e ingresos son comunes (casi todos los cultivos perennes, en el caso de la macadamia, por ejemplo, unos ocho años), hay algunas formas de sistemas agroforestales en las cuales el tiempo entre la inversión y la obtención de beneficios es extremadamente prolongado y puede durar 30 años y más. Esta característica lo hace más similar a la producción forestal, y de hecho lo sería, si no hubiese de alguna manera una interacción con cultivos agrícolas.

En tercer lugar, existe la diferencia entre árboles de servicio y árboles maderables. Los árboles de servicio no tienen un beneficio propio, en contraste con los árboles maderables cuya madera puede venderse o usarse en la misma finca. Sin embargo, esta diferencia no presenta mayores problemas analíticos, si se evalúan los sistemas enteros.

Principios del análisis agroeconómico para SAF

Teoría de la producción

La función de producción y la función del rendimiento total monetario

Los campesinos en un pueblo remoto del departamento de Jinotega, Nicaragua, suelen sembrar sorgo. Un agrónomo que visita el pueblo está sorprendido por el bajo nivel del rendimiento, que los campesinos dicen obtener. Debidamente analiza la situación, el clima, suelos, variedades usadas, y propone algunos cambios. "Aquí," dice en una reunión, "fácilmente pueden cosechar una tonelada por manzana, 400 kg encima de su cosecha actual. Con 4 sacos de fertilizante por manzana y una densidad de siembra de 6.000 plantas por manzana lo alcanzarán." El hace un ensayo y comprueba lo dicho, pero nadie lo aplica. Un campesino le dice: "Vea, ingeniero, los cuatro sacos de fertilizante valen 48 \$, 36 \$ más de lo que normalmente uso. Más 5,50 \$ para la semilla, pago un total de 41,50 \$ más. Cosecho 8 quintales y medio más, que me pagan el quintal a 4,50 \$, son 38,25 \$... de ingresos más".

Experiencia en Nicaragua

Entre muchas personas existe todavía la creencia, que el máximo de producción resulta también en el máximo de ganancia. Sin embargo, no es siempre así. Con pocas excepciones, el máximo nivel de ganancia de una producción agropecuaria se encuentra en un nivel de producción por debajo del nivel máximo agronómico. A continuación, se explica por qué.

La función de la producción, más específicamente "el principio del rendimiento marginal creciente y decreciente" es un modelo general para describir la relación entre el gasto para una producción y su rendimiento. La función tiene la forma general como lo muestra la Figura 1. En general, la producción Y aumenta con el aumento del uso de los factores de producción g (por razones de simplificación se supone un conjunto de factores, aunque la función de producción describe originalmente la relación entre un factor de producción y el rendimiento). Inicialmente, cada unidad de g adicional genera más unidades de Y , lo que es el área del rendimiento marginal creciente. A partir de un cierto nivel (punto p en la Figura), los rendimientos marginales empiezan a bajar para culminar en cero (punto ac en la Figura 1), que es el punto de mayor producción. A partir de este punto, cada unidad adicional de g baja la producción total, lo que es entendible si se imagina por ejemplo un nivel de fertilización que alcanza niveles tóxicos.

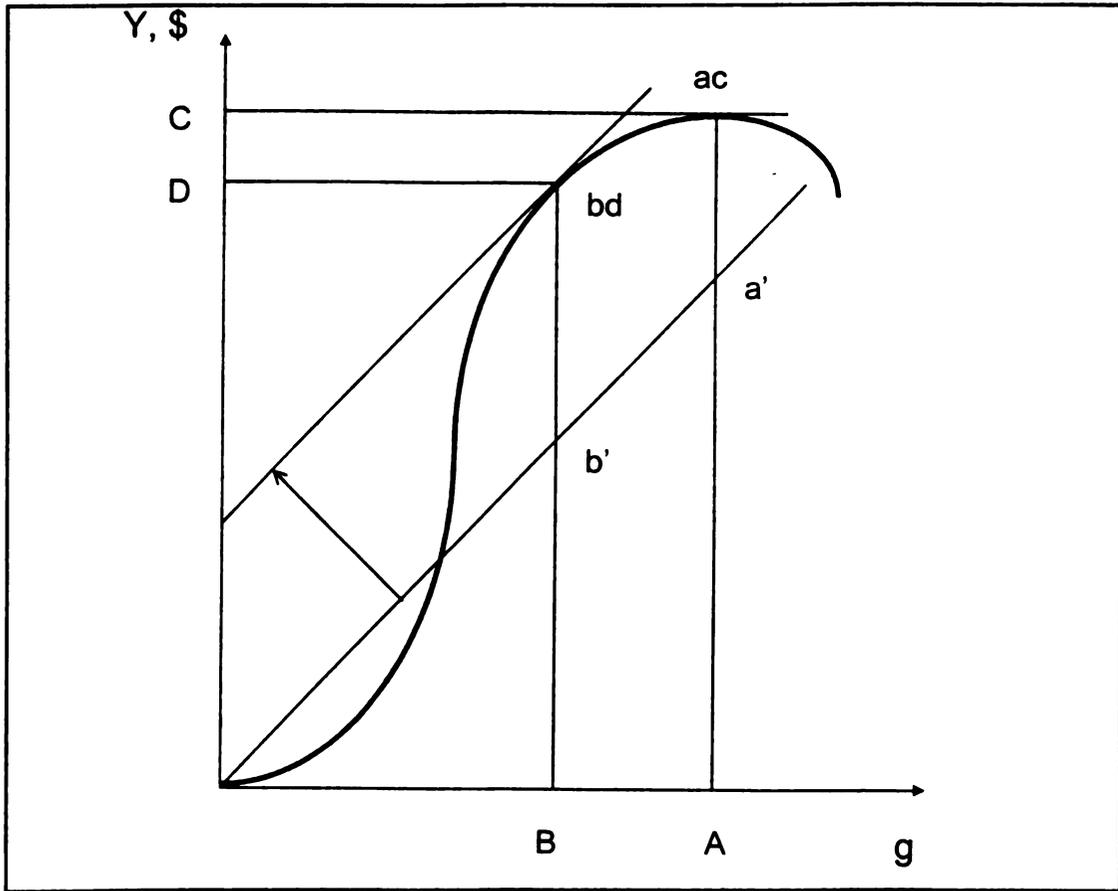


Figura 1. La función de rendimientos marginales crecientes y decrecientes.

Si se multiplica el rendimiento físico Y por el precio del producto, se obtiene la misma función para el rendimiento total monetario. Sin embargo, lo que interesa no es tanto el máximo del rendimiento total monetario (mejor: el máximo ingreso bruto), si no el máximo de ganancia, es decir la diferencia entre el rendimiento total monetario y los costos totales. Esta diferencia se puede presentar gráficamente con la recta de costos, que se da como resultado de la multiplicación de las cantidades de los insumos y mano de obra con sus respectivos precios. La ganancia total en el caso del máximo de la producción (punto ac) se representa por la línea $ac-a'$. Si se disminuye el costo de los insumos (por medio de una disminución de sus cantidades) desde A hacia el punto B , se nota que se reduce el rendimiento total monetario al punto D , pero que al mismo tiempo aumenta la distancia entre la línea de costos y la función del rendimiento total monetario (línea $bd-b'$) - en otras palabras, aumenta la ganancia total, representada por esta distancia. Esta ganancia alcanza su máximo en el punto sobre la función del rendimiento total monetario bd , en el cual la recta de costos es tangencial a la misma, lo que se puede lograr gráficamente por medio de un desplazamiento de la recta de costos hacia arriba. Esto es el nivel de insumos para una ganancia máxima.

Matemáticamente, se puede establecer este mismo punto bd por medio del cociente $\Delta \$ / \Delta g$: En un nivel de costos por debajo de bd , una unidad de insumos genera más beneficios que su costo y el cociente es mayor a 1. En la medida que se aumenta el nivel de costos, el cociente se acerca a uno, ya que nos encontramos en la parte de la función de los beneficios marginales decrecientes. Cuando la última unidad de insumos genera exactamente igual beneficios que tiene costos, el cociente $\Delta \$ / \Delta g$ es exactamente uno, lo que corresponde al máximo nivel de ganancias en el punto bd .

Finalmente, se observa que se obtiene la máxima ganancia con un nivel de insumos, que está por debajo de la producción máxima y prácticamente no existen excepciones en la producción natural, cuya función de producción siempre tendrá una forma como la que se muestra en la Figura 1 y cuya curva de costos siempre será una línea recta. De esta manera, la paralela de la recta de costos necesariamente corta la función de producción tangencialmente por debajo del máximo de rendimiento natural.

La producción acoplada

El término "producción acoplada" describe un sistema de producción, que genera dos o más productos. Ejemplos son el maíz (grano y heno, o rastrojo), ganadería de doble o triple propósito (carne, leche y cria) y sistemas agroforestales (cultivos agrícolas y madera), por ejemplo café o cacao con sombra maderable, árboles en pastos, cercas vivas maderables.

Dentro de ciertos límites, se puede influenciar la relación entre los productos que generan estos sistemas. Los límites dependen principalmente del sistema. En el caso de maíz, se obtiene mucho grano y poco heno con una baja densidad de siembra y más heno pero menos grano con una densidad alta de siembra, pero no será posible producir solamente grano o solamente heno. En café arbolado, hay toda la gama de posibilidades desde café sin sombra hasta reforestación pura. La pregunta para la economía es, ¿Cuál será la combinación óptima de los dos productos para una mayor ganancia?

En los sistemas agroforestales asociados existen combinaciones de: complementariedad, indiferencia y competencia.

Una situación de complementariedad está dada, cuando el aumento de una unidad del producto A aumenta el rendimiento del otro producto B (Figura 2). Esto se da, por ejemplo, cuando se introduce unos 20 árboles de laurel por hectárea en un cafetal manejado con una intensidad mediana y la sombra ayuda a aumentar el rendimiento del café.

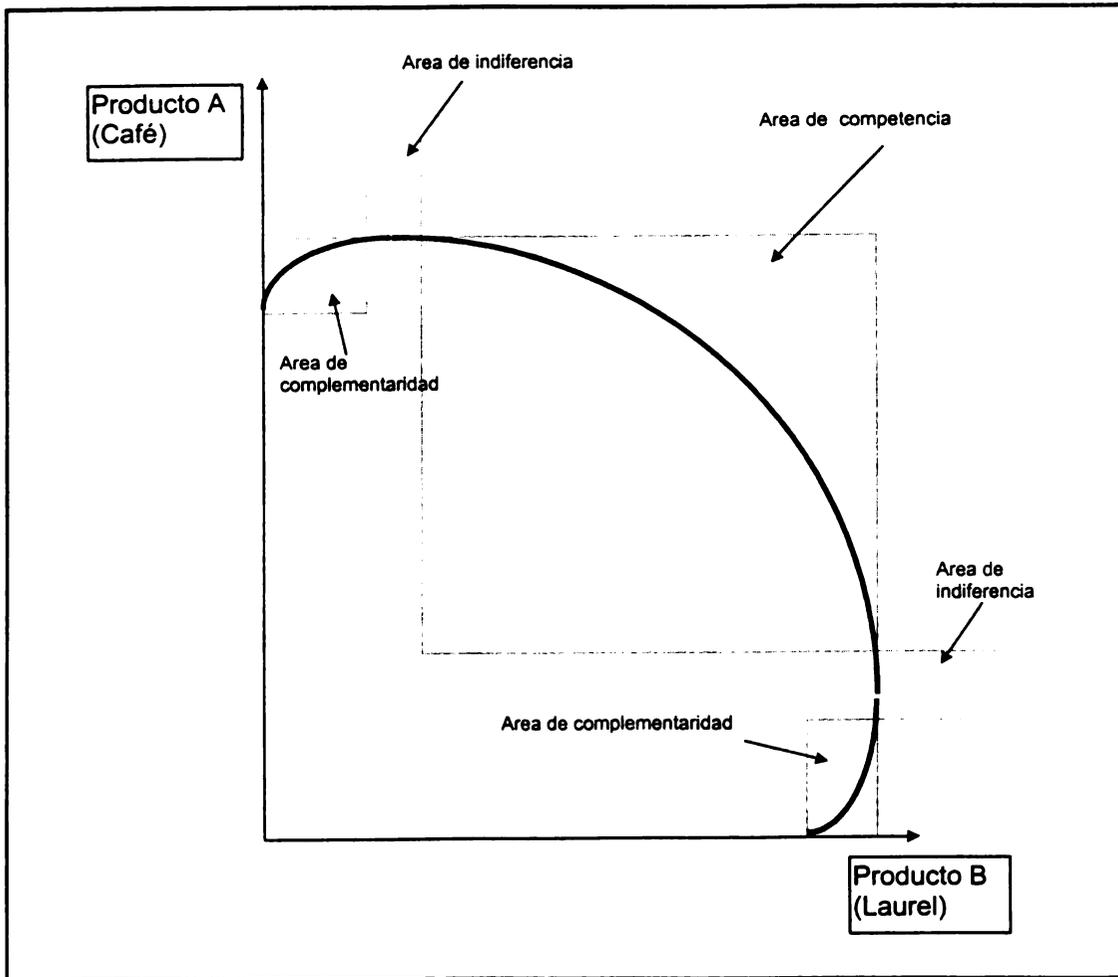


Figura 2. La producción acoplada: complementariedad-indiferencia-competencia

Una situación de indiferencia está dada, cuando el aumento de una unidad del producto A no tiene ningún efecto sobre el rendimiento del producto B. Manteniendo el ejemplo del café y laurel, este caso se presenta cuando se agregan a los 20 laureles otras 10 unidades por hectárea. Estos 10 árboles adicionales de laurel no tendrán ningún efecto sobre el rendimiento del café.

La situación de competencia está dada, cuando el aumento de una unidad del producto A tiene un efecto negativo sobre el rendimiento del producto B. Esta situación se puede imaginar cuando se siguen agregando laureles en el cafetal hasta que la densidad de la sombra empieza reducir el rendimiento del café.

Teoría de la inversión

La teoría de inversión se ocupa de la pregunta de las ventajas de aumentar el potencial productivo, es decir gastar en bienes de inversión. Estos son, en la agricultura, normalmente tierra, edificios, maquinaria, ganado y cultivos perennes, que tienen una vida productiva de varios años, incluidos los sistemas agroforestales. Aunque los SAF no tengan la característica de una inversión convencional que rinde beneficios anuales después de una inversión inicial, sino que rinden beneficios a lo largo de todo el ciclo de producción.

Los cálculos de inversión deben dar respuesta a las siguientes preguntas:

- ¿Genera la inversión beneficios, que superan los gastos (es la inversión rentable)?
- ¿Es la inversión factible en un caso específico?
- ¿Cuál de las posibles opciones de inversión genera más ganancias?
- ¿Qué magnitud de inversión es recomendable realizar en un caso específico?

Valoración del tiempo

El tiempo en el análisis económico. “*Más vale pájaro en mano que cien volando*” (Refrán popular). Este antiguo refrán popular expresa que la gente aprecia los beneficios inmediatos más que los mismos beneficios en el futuro. Se puede ilustrar esta apreciación con una persona que tiene sed y que aprecia una bebida ahora mucho más, que dos bebidas en un par de horas. Esta persona inclusive estaría dispuesta a pagar más para la bebida inmediata que para la misma bebida en un par de horas. En otras palabras, los beneficios (en el ejemplo de calmar la sed) no solo tienen un valor intrínseco, sino también existe un valor adicional por el tiempo en que ocurren.

Este valor de tiempo se explica, en el fondo, con que existen necesidades básicas de alimentación, bebida y protección, que deben ser satisfechas inmediatamente. En este sentido, mil dólares a recibir en un año no significan nada para una persona que en el presente no tiene comida ni recursos para comprar o producir alimentos y posiblemente morirá de hambre antes de recibir el dinero. Esta persona estaría dispuesta a cambiar el derecho de los mil dólares por una comida inmediata. Aún si no hay tal presión extrema por las necesidades básicas, todos conocemos el deseo de satisfacer un deseo entre antes mejor y más de una persona está dispuesta a pagar un premio (sobreprecio) para un bien si lo recibe inmediatamente.

¿Cuánto debe ser este premio? Para la persona en peligro de morir de hambre, el premio es obviamente infinitamente alto. Pero, para la persona con sed, ¿Le vale una bebida ahora igual que tres bebidas en cinco horas? ¿O dos bebidas en una hora? ¿Cuánto más estaría dispuesta la persona a pagar por la gaseosa ahora que para la misma gaseosa en dos horas?

Obviamente, el premio por el tiempo depende de muchos factores, entre ellos la urgencia que existe en adquirir un beneficio y los recursos disponibles para adquirirlo. Se pueden establecer las siguientes reglas generales en cuanto al premio de tiempo:

- Entre más necesidad por el bien o producto, más alto es el premio.
- Entre menos recursos requiere el bien o producto en relación a los recursos disponibles, más alto es el premio en relación a su precio.

En la práctica, se acostumbra a usar el precio para el capital en el tiempo - el interés - como premio. Este precio es adecuado en una situación en la cual los interesados tienen acceso a los mercados de capital, lo que significa que pueden satisfacer sus necesidades de dinero por medio de capital prestado al precio de mercado (interés). El interés puede ser una medida totalmente inadecuada para el premio al tiempo en situaciones en que los involucrados no tienen este acceso, o solo en forma muy limitada. Cada análisis económico debe, por lo tanto, incluir un análisis debido de la situación económica de la clientela.

Para el caso concreto de la agroforestería, esto significa que una producción agroforestal podría ser altamente rentable. Sin embargo, si el usuario potencial de la tecnología está obligado a invertir todos sus recursos, o la gran parte de ellos, en actividades que generan beneficios constantes para llenar sus necesidades vitales a corto plazo, el premio al tiempo podría alcanzar dimensiones que hagan que la producción no sea rentable.

Como es prácticamente imposible estimar para cada persona o grupo de clientes su propio premio al tiempo, un buen análisis debe incluir un análisis de flujo de caja en períodos adecuados (hasta semanales) que comprenda las otras actividades de la finca, las necesidades en cuanto a recursos financieros para estas actividades y el consumo de la familia. Mantener un estado de liquidez (flujo de caja positivo) en cualquier momento, se convierte en una condición sin la cual la actividad propuesta no es realizable.

Las reflexiones anteriores acerca del premio por el tiempo se refirieron a la obtención de beneficios, bienes o productos. Sin embargo, el principio aplica de igual manera para el pago de los mismos. Entre más prolongado es el tiempo para pagar una cuenta, menos nos molesta que el precio sea un poco más alto. A la vista del vendedor esto significa, que entre más tiempo pasa entre la entrega del bien o producto

y el pago, más alto será el premio al tiempo, porque el mismo tiene que esperar en este caso a satisfacer sus necesidades - lo que aumenta el premio al tiempo.

La inflación y la tasa de interés. El aumento de los precios de bienes y servicios, sin que exista un aumento en la calidad o cantidad de los mismos, suele llamarse inflación. Esta inflación debe considerarse de alguna manera en los análisis económicos de actividades de larga duración. Existen dos formas de tratar con la inflación:

1. Se calcula con precios corrientes, es decir, se estima una cierta tasa de inflación para el futuro e inflaciona (capitaliza) los precios futuros de acuerdo a esta tasa. Este procedimiento es oportuno para los cálculos que incluyen un crédito, y donde se requiere establecer la capacidad de pago por medio del análisis de flujo de caja.
2. Se calcula con precios fijos, es decir, se aplican los precios actuales también para el futuro. Este procedimiento supone que los precios de los insumos y precios de productos están afectados de la misma manera por la inflación, y es recomendable en los casos que no incluyen créditos. La tasa de interés en este método debe ser libre de inflación (interés real), lo que se obtiene al restar la tasa de inflación de la tasa de interés vigente en el mercado.

Capitalización. El premio al capital en el tiempo es el interés. El uso de intereses permite llevar costos y beneficios futuros a valores presentes, comparar flujos de dinero que ocurren en diferentes años y comparar actividades con diferentes flujos de fondos en el tiempo y diferentes duraciones de la producción. En esta sección, se presentan brevemente las herramientas matemáticas correspondientes.

Capitalización significa llevar valores actuales (a veces llamados valores presentes) a valores futuros, es decir llevarlos adelante en el tiempo. Corresponde a la pregunta ¿10 dólares hoy, a 5% de interés por año, significan cuantos dólares en un año? O, más general, ¿Una cantidad P_v de dinero hoy a una tasa de interés de $p\%$, significa cuánto dinero F_v en n periodos?

Para calcular el valor futuro F_v se usa la fórmula:

$$F_v = P_v \times (1 + p/100)$$

o, si se sustituye $(1 + p/100)$ por el usual factor de interés q ,

$$F_v = P_v \times q$$

Se reemplazan las variables con los valores del ejemplo y se obtiene

$$F_v = 10\$ \times (1 + 5/100) \approx F_v = 10\$ \times 1,05 \text{ igual } 10,50\$$$

Entonces, 10 dólares hoy, a 5% de interés por año, significan 10,50 dólares dentro de un año.

Esta fórmula es apta para calcular el capital con el interés generado en un período (año). Para calcular el capital con los intereses para varios períodos (años) bajo la hipótesis que los intereses ganados en un año son agregados al capital y generan intereses propios (interés compuesto) y que la tasa de interés no cambia, puede multiplicarse simplemente P_v tantas veces como hay n número de períodos:

$$F_v = P_v \times q_1 \times q_2 \times q_3 \dots q_n \text{ o, usando la potencia de } q,$$

$$F_v = P_v \times q^n$$

Esta es la fórmula general para calcular intereses compuestos con el capital inicial. Para seguir con el ejemplo de los 10 \$, la pregunta podría ser ¿10 dólares a 5% por año, cuanto sería en 4 años?. Al reemplazar las variables, se obtiene:

$$\begin{aligned} F_v &= 10 \$ \times 1,05 \times 1,05 \times 1,05 \times 1,05 \approx F_v = 10 \$ \times 1,05^4 \\ &\approx F_v = 10 \$ \times 1,21551 \\ &\approx F_v = 12,16 \$ \end{aligned}$$

Entonces, 10 dólares hoy, a 5% de interés por año, significan 12,16 dólares dentro de cuatro años.

Descuento. Descontar significa llevar valores futuros a sus valores presentes. Corresponde a la pregunta: ¿Para tener 10 dólar en un año, cuantos dólares se debe depositar hoy día a 5% de interés por año? O, más general, ¿Una cantidad F_v de dinero dentro de n períodos, significan cuanto dinero hoy a una tasa de interés de $p\%$? Se usa la misma fórmula de la capitalización, resolviendo a P_v :

$$P_v = F_v / q^n$$

Se reemplazan las variables con los valores y se obtiene:

$$P_v = \$10 / (1,05)^1 = \$9,52$$

Se debe depositar \$9,52 hoy día, para tener \$10 dentro de un año si la tasa de interés es de 5%. Para un lapso de depósito de varios años, cuatro por ejemplo, se calcula de la siguiente manera:

$$P_v = \$10 / (1,05)^4 \approx \$10 / 1,2155 = \$8,23$$

Métodos

Para contestar las preguntas iniciales de ésta sección, existen métodos que permiten comparar costos y beneficios que ocurren en diferentes momentos de la vida productiva de una inversión, que permiten comparar inversiones entre sí. En los siguientes acápite, se presenta una panorámica de estos métodos.

Presupuesto parcial y requerimiento de mano de obra. Un presupuesto parcial es la compilación detallada de todos los costos variables de una actividad por hectárea u otra medida adecuada (en caso de linderos, por ejemplo, por 100 m lineales), por año (o inclusive periodo menor) y tipo de costos (insumos: semillas, plántulas, fertilizantes, agroquímicos etc.; mano de obra por actividad) y los beneficios. Aunque por definición el presupuesto parcial común (por ejemplo para calcular el rendimiento económico de la producción anual) incluye un interés al capital invertido, no se deben incluir tales intereses para los cálculos de las inversiones, para permitir los cálculos posteriores. La diferencia entre los costos y los beneficios determinados de esta manera se conocen como el margen bruto (ver más adelante ejemplo 2, cuadro 6).

Con la elaboración del presupuesto parcial, se recopila también el requerimiento de la mano de obra por año o inclusive por mes en unidades físicas. Esta información permite definir, si es necesario emplear mano de obra contratada (que tiene su influencia sobre el flujo de caja) y cuánta de esta actividad se puede realizar, sin entrar en conflicto por la mano de obra con las otras actividades dentro y fuera de la finca.

Una mención especial merece la estimación del costo de la mano de obra, que frecuentemente consiste de mano de obra familiar. La aplicación de un costo a la mano de obra familiar, que corresponde al salario mínimo establecido, las cargas sociales y un premio para la labor administrativa, puede ser adecuada y correcta desde el punto de vista social y académico. Si las oportunidades reales del agricultor de ganar dinero trabajando fuera de su propia finca son reducidas o no existen, sus costos de oportunidad son reducidos o nulos. En este caso, puede ser que una producción que le genera por ejemplo 50% de un salario mínimo, todavía es altamente rentable para él, porque el uso alternativo de su fuerza laboral le generará menos o ningún dinero.

Inclusive en el caso de existir la oportunidad de trabajar asalariado, el costo de oportunidad no es necesariamente este mismo sueldo; el trabajo fuera de la finca puede implicar costos adicionales (transporte, tiempo para el desplazamiento, gastos adicionales para alimentación etc.), que deben ser rebajados del sueldo para obtener el costo de oportunidad real de su mano de obra.

Flujo de fondos. Un derivado, que por razones prácticas se realiza junto con el presupuesto parcial, es el flujo de caja o flujo de fondos, que considera solamente aquellos costos y beneficios que requieren desembolsos (cualquier medio de pago en dinero en efectivo o cheque) y generan ingresos en efectivo. Entre los costos, la única diferencia entre el presupuesto parcial y el flujo de caja es frecuentemente la mano de obra familiar y el valor de la semilla propia.

Para los beneficios, se debe hacer una estimación sobre cuánto de la producción será consumida en la finca y cuánto será destinado al mercado. La diferencia entre los desembolsos e ingresos en efectivo en un período determinado (semana, mes) es el flujo neto de fondos, comúnmente llamado solo flujo de fondos o flujo de caja. El flujo de caja positivo, es decir la existencia de dinero en efectivo, es igual a la liquidez.

Requerimiento de capital. Las inversiones requieren capital, normalmente durante varios años antes que rindan beneficios. Inclusive, es normal que los primeros beneficios no alcancen para cubrir los costos de los primeros años. Es imprescindible saber, cuánto capital se requiere, y cuándo, para estimar si un potencial usuario de la tecnología es capaz de cubrir estos costos o no, o si requiere un crédito y de que manera la inversión genera los beneficios suficientes para pagar un crédito.

Para calcular el capital requerido, se usan principalmente los datos del flujo de fondos. Para la mano de obra familiar es necesario estimar, si por usarla en la actividad nueva, deja de ganar dinero en efectivo en otra actividad. Esta pérdida de ingreso (costo de oportunidad en efectivo) debe sumarse a los desembolsos ya que representan un costo real.

Una vez obtenido el flujo de fondos, se realiza el cálculo acumulativo de período a período, que consiste en sumar el flujo de fondos de cada período al del período siguiente. De esta manera, se obtiene para cada período el flujo de fondos total de la inversión. Como es normal que en los primeros periodos los costos superan a los ingresos, este flujo será negativo y aumentará en lo negativo, hasta el primer período en el cual los beneficios superan a los costos. El monto negativo máximo obtenido en cualquier de los períodos es el requerimiento total del capital (Figura 3, año 3).

Se usó la palabra "período" en vez de año. En cálculos de inversiones es común trabajar con años como períodos, pero puede haber la necesidad de usar períodos más cortos. Un flujo de fondo anual puede ocultar el hecho que una inversión requiere de un desembolso al inicio de un año, ya que está cubierto por un ingreso al final del mismo año. Sin embargo, en este caso se requieren fondos para unos meses, lo cual no se descubre usando períodos anuales.

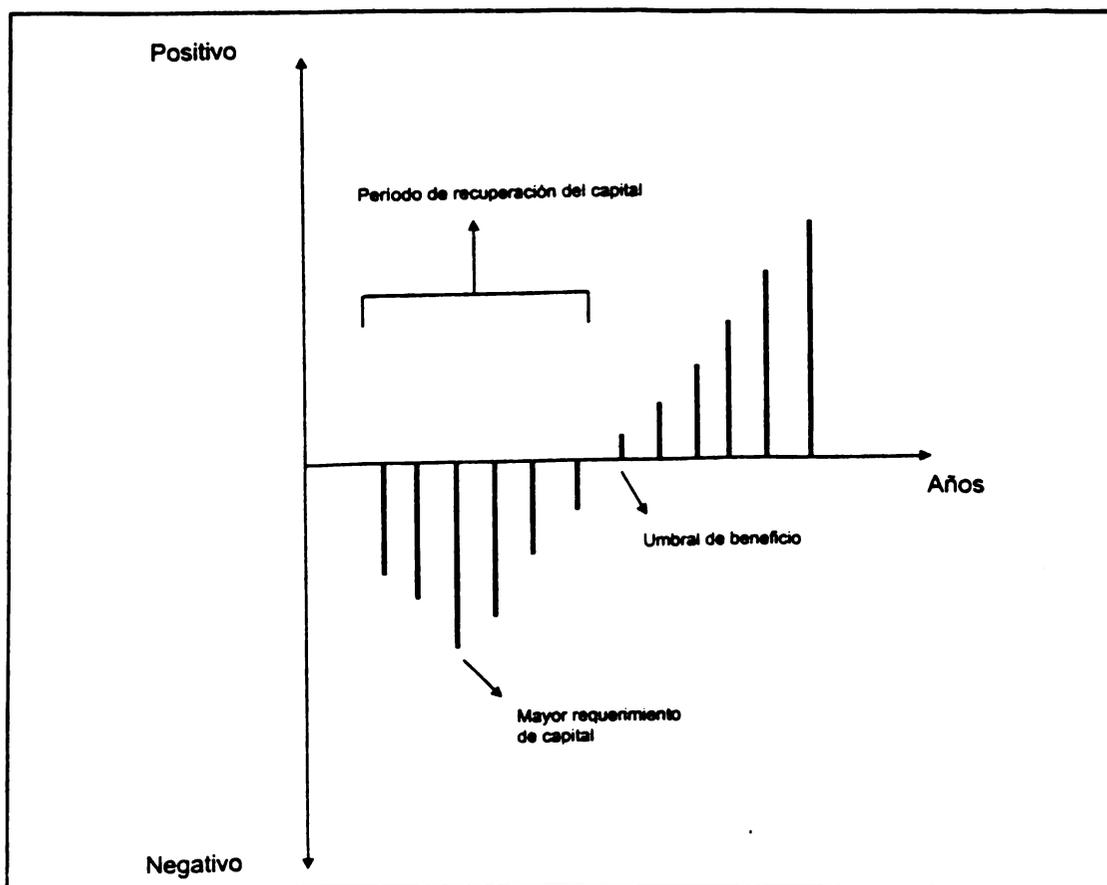


Figura 3. Flujo de fondos acumulados

Período de amortización. El período de amortización es el tiempo necesario desde el inicio de una inversión hasta que el flujo neto acumulado de fondos como fue calculado en el acápite anterior se vuelve positivo (Figura 3, año 7). Este indicador ha perdido importancia en empresas comerciales, pero puede ser de importancia trascendental en fincas familiares de recursos limitados.

Depreciación. Este método parte del principio que no es correcto considerar en el primer año el total de los gastos de una inversión y en los años siguientes solo los costos corrientes y los beneficios. De esta manera, se reparten los costos iniciales de la inversión a todos los años de la vida útil de la inversión para distribuirlos sobre el periodo productivo de la inversión. Es un método creado para el cálculo de ganancia-pérdida de una empresa y por razones fiscales (cálculo de impuestos) y para los fines de los análisis aquí presentados es un método de poca utilidad.

Anualidades. El cálculo de anualidades (flujo de fondo igual en todos los años) tiene un efecto similar a las depreciaciones. Consiste básicamente en calcular la suma de los valores actuales de una serie de flujos de fondos por el método de descuentos y después redistribuir el resultado a pagos iguales para

todos los años de la vida útil de la inversión por el método de capitalización. Similar al método de depreciaciones, el cálculo de anualidades sirve más para el cálculo de ganancia-pérdida de una empresa y es de poca utilidad aquí.

La toma de decisiones en finca

Factores internos de decisión

Una finca es un sistema complejo con uno o más propósitos. Según la situación del dueño o de la familia dueña de la finca, se puede diferenciar los siguientes tipos:

A. Finca familiar de subsistencia. Es una finca, cuyos dueños consumen exclusivamente los productos de la finca y otros productos resultado de sus propias fuerzas de trabajo (por ejemplo pesca y casería), sin relación de trueque o monetaria ninguna con el resto del mundo. Este tipo de finca prácticamente ya no existe en el mundo.

B. Finca familiar de subsistencia parcial. Los dueños viven parcialmente del consumo de los productos que generan con su propio trabajo en la finca y producen otros productos para el mercado. Algunos miembros de la familia contribuyen al sustento familiar con dinero ganado en trabajos fuera de la finca. Dentro de este rubro, se pueden diferenciar tres diferentes subtipos según la proporción en la cual los productos de autoconsumo participan en el costo total familiar:

B.1 Autoconsumo predominante. El objetivo es generar suficientes alimentos para la familia. Excedentes de la producción alimenticia se venden en el mercado, pero el objetivo de la producción no es la venta.

B.2 Autoconsumo importante. Al igual que en el grupo anterior, el objetivo principal es generar suficientes alimentos para la familia, pero el sistema incluye una o dos producciones exclusivamente para el mercado. A partir de un cierto tamaño (que varía según las condiciones naturales), se encuentra ganado mayor, desde una vaca para la producción de leche hasta todo un hato ganadero.

B.3 Autoconsumo de apoyo. La lógica de objetivos se invierte con respecto a los dos tipos de fincas anteriores: El objetivo principal es la producción de productos para la venta. La producción de alimentos para el autoconsumo se realiza sea por costumbre o porque se considera que la producción propia sale más económica que la compra respectiva.

C. Finca familiar de mercado. La producción es exclusivamente para el mercado, todos los alimentos, con la excepción de algunos productos de un huerto familiar como hortalizas y frutas, se compran en el mercado. La mano de obra proviene en una buena parte de la familia dueña de la finca, que se dedica exclusivamente a las labores agrícolas. También es común encontrar trabajadores asalariados en la finca. Este es el tipo de finca más común en economías desarrolladas. En Latinoamérica, son relativamente pocas.

D. Hacienda. Su objetivo es el de generar los recursos para la vida de la familia dueña de la hacienda. La contribución laboral de la familia consiste solamente en la administración, aunque frecuentemente también este trabajo se entrega a personal asalariado (administrador). A menudo, los dueños ni siquiera viven en la finca.

E. Finca de inversión o finca comercial. La actividad agrícola está completamente desligada de la vida de la familia y frecuentemente constituye solamente una fuente entre otras para el ingreso familiar. La producción está organizada en forma industrial, por ejemplo granjas avícolas, o son unidades grandes y mecanizadas. La constitución legal es frecuentemente la de una personería jurídica (S.A., Ltda.).

Es obvio que para cada tipo de finca aplican diferentes criterios en cuanto a la decisión sobre la ubicación de los recursos, dado que los objetivos económicos son diferentes. Para las fincas del tipo A y B, los que más interesan en este contexto son los que se describen a continuación.

Seguridad alimenticia. Para las fincas A hasta B.2, la producción alimenticia es la prioridad absoluta en la finca. Cualquier cambio respeta este objetivo y solo "sobrantes" de recursos, tanto de mano de obra como financieros, pueden ser destinados a otras actividades. Como se trata de los estratos más pobres, con fincas pequeñas, la liberación de recursos para nuevas actividades es sumamente difícil.

Manejo de riesgo. Cada decisión acerca de una acción con consecuencias en el futuro incluye un riesgo. Lo importante en este sentido es, que (a) la percepción del riesgo es subjetiva y (b) las consecuencias de una falla dependen de la situación específica de cada persona o familia.

La percepción subjetiva del riesgo se manifiesta sobre todo en dudas sobre el éxito del cambio. El asesor puede tener pruebas científicas, ensayos exitosos, hasta pruebas en el terreno de un vecino y estar absolutamente seguro que la tecnología no falla. Aún en esta situación, un agricultor tiende a dudar si la actividad le resultará similar y los argumentos son notorios: "Claro que le funciona a mi vecino, pero él tiene mejor terreno..." o "...sabe más de árboles" o "... tiene un hijo en el colegio...". El argumento mismo no tiene tanta importancia como la expresión de la percepción del riesgo.

Las consecuencias de una falla deben medirse acorde con la situación económica del agricultor o la familia. Una pérdida de 100 dólares y 20 jornales pueden significar muy poco para una familia con un ingreso anual de varios miles de dólares, pero puede significar la quiebra para una familia cuyo flujo de fondos anual apenas alcanza esta suma y que requiere la mayoría de su fuerza laboral para la generación de alimentos.

Igual que en el caso de la seguridad alimentaria, es importante que se puedan dividir las nuevas actividades propuestas en porciones pequeñas, para minimizar los posibles efectos de una falla con relación a la situación económica del agricultor.

Carga de trabajo total y en épocas del año. Los límites de la carga de trabajo dependen de muchos factores, tales como condiciones del trabajo, condiciones climáticas, estado nutricional de la persona, motivación personal y hasta tradiciones y costumbres. Existen límites diarios, semanales, mensuales y anuales. Se pueden exceder los límites en períodos cortos y medianos con relativa facilidad, por ejemplo, en épocas de cosecha, pero existen límites bien definidos para períodos largos. Excesos en un período se compensan con reposo en otro. Este tiempo de compensación no se debe confundir con subempleo y la conclusión errónea que una actividad productiva adicional sea bienvenida.

Repartición del trabajo entre los miembros de la familia. Otra condición a observarse en el trabajo es la distribución del mismo entre los miembros de la familia. Por ejemplo, si la mujer es la responsable para conseguir la leña, el hombre posiblemente tiene poco interés en sembrar árboles para ese fin. En este caso, se deberían dirigir las recomendaciones directamente a la mujer, si las costumbres lo permiten. La pregunta a quien dirigirse puede ser difícil, si una actividad involucra tanto al hombre como a la mujer, o si hay una repartición de la toma de decisión (por ejemplo: la mujer decide cual cultivo alimenticio se siembra, el hombre decide como se cultiva). Frecuentemente es aconsejable un asesoramiento familiar, si las circunstancias lo permiten.

Factores externos de decisión

Las condiciones de clima, topografía y el tipo de suelo, por ejemplo, definen en gran parte qué tipo de cultivos se pueden producir en una finca. Similar a estas condiciones naturales, a las cuales el agricultor está sometido incondicionalmente porque no puede cambiarlas, existen otras condiciones de iguales características creadas por el hombre. Estas son las condiciones socioeconómicas que definen en gran parte la rentabilidad de las actividades en la finca y restringen aún más el marco general dentro del cual cada agricultor puede tomar sus decisiones.

En detalle, estas condiciones pueden dividirse en cinco grupos:

- Mercados
- Infraestructura
- Leyes
- Seguridad y estabilidad
- Tradiciones y costumbres

Mercados

Los mercados definen la disponibilidad de insumos, mano de obra y capital en cantidad y tiempo y los precios de los mismos y la demanda por los productos y sus precios. Normalmente, el mercado está fuera de la influencia de un agricultor.

Desde luego, los mercados no son estáticos y cambian en el tiempo y están sujetos a intervenciones políticas-macroeconómicas. Son conocidos los cambios de precios a corto plazo, la no disponibilidad de ciertos insumos en un tiempo dado, la escasez de la mano de obra en ciertos periodos, etc. A largo plazo, aparecen nuevos insumos en los mercados y otros desaparecen. De igual manera, puede iniciarse la demanda por un producto antes no requerido y otros productos pueden salir del mercado.

Las intervenciones influyen en el análisis económico debido a su influencia errática (por estar sujetas a manipulaciones políticas) sobre los precios. Es importante considerar que un precio que es afectado por intervenciones puede cambiar abruptamente por cambios políticos. Dos ejemplos de intentos de usar intervenciones en el mercado para obtener ciertos objetivos de la política económica y social y sus resultados pueden servir para ilustrar tales efectos.

Retomamos al ejemplo de la producción de sorgo, donde un aumento en la producción por medio de un incremento de la densidad de siembra y aplicación de fertilizante no es económico para el agricultor. En este caso, el gobierno de entonces trataba de mantener artificialmente bajo el precio de los granos básicos para que la población pobre urbana pudiera alimentarse. Por medio de importaciones de granos y su venta a precios subencionados, se obtuvo inicialmente el efecto esperado (alimento barato en las ciudades), pero la estrategia resultaba deficiente a mediano plazo ya que la producción nacional bajaba porque los productores producían de acuerdo al óptimo económico, considerablemente por debajo del máximo agronómico. En efecto, esta medida política tenía que detenerse, ya que el presupuesto del gobierno no alcanzaba para las necesidades de importación y la cantidad de subvenciones, con el efecto final de un alza enorme en el precio del sorgo en un lapso después de la detención de la medida.

El otro ejemplo de intervenciones en el mercado empieza con un fenómeno conocido como el ciclo de los cerdos y consiste en un altibajo cíclico de la producción de un bien y un altibajo consecuente en sus precios en el mercado. Fue primeramente reconocido y descrito en Alemania en el siglo pasado en el mercado de cerdos: en un momento dado, el precio del cerdo es alto, lo que hace que muchos agricultores se decidan a producir cerdos. Cuando éstos llegan al mercado, a los 7-8 meses aproximados, hay una sobreoferta y una caída en el precio. Esta caída hace que muchos agricultores reduzcan la producción de cerdo por la falta de rentabilidad, lo que resulta en una escasez a los 7-8 meses. La escasez produce una alza en el precio, lo que hace que muchos agricultores se decidan nuevamente a producir cerdos... (sorprendentemente, estos ciclos no tienden a equilibrarse de acuerdo al teorema de la telaraña para todos los productos). En el Mercado Común Europeo, se trató de quebrar este ciclo (y otros) por medio de intervenciones en el mercado. La comunidad empezó a comprar carne de cerdo en los tiempos de sobreoferta, para evitar la caída del precio, y con la intención de venderla 7-8 meses después en el ciclo de escasez. La idea era buena, pero no respetó las leyes económicas de la producción: al fijar el precio de la intervención (es decir, el precio a partir del cual la Comunidad empezó a comprar en el mercado) considerablemente por encima del precio promedio del ciclo completo, se indujo una sobreproducción permanente. Por consecuencia, se acumuló la famosa "montaña del cerdo" en las bodegas estatales, hasta que la única solución era la de liberar completamente el mercado, con una consecuente caída drástica en el precio para la carne de cerdo y un nuevo arranque del ciclo. Ejemplos similares se pueden observar para productos como el cacao, café, etc.

Otro fenómeno importante en el contexto del tema es la introducción de nuevos productos, como la madera en una producción agroforestal. Cuando se trata de establecer un nuevo producto en el mercado, se encuentra con frecuencia el problema que no se presentan compradores, es decir no hay un mercado. Para que un mercado empiece a tener demanda, se requiere de una cierta cantidad mínima de producto, generalmente superior a la producción de un agricultor pequeño o mediano. Por otro lado, si no hay un mercado seguro, ningún agricultor se atreve a producir un producto, porque no tiene la certeza de venderlo posteriormente. Debido a que no hay producto, no hay tampoco mercado. Aún cuando se trate de un producto que se puede comercializar en pequeñas cantidades, se presenta el problema de que los costos unitarios de la comercialización son generalmente tan altos en pequeñas cantidades, que frecuentemente reduce la ganancia del agricultor y por ende su interés en la producción.

Infraestructura

La infraestructura de más interés aquí es la infraestructura vial (caminos) y la infraestructura de procesamiento de productos.

En cuanto a los caminos, es obvio que donde no existen, casi no hay mercados ni tampoco producción rentable salvo para el autoconsumo. El hecho que todavía hoy en día se queman muchas

maderas de alto valor en las fronteras agrícolas, no se debe a que el dueño ignore el valor de las mismas, sino que, por la falta de carreteras, el costo del transporte supera al precio que se puede obtener en el mercado.

Aun si la situación no fuera tan drástica, cada análisis económico debe considerar debidamente el costo de transporte si se pretende en un futuro vender la madera en los mercados. Unos pocos cientos de metros de un camino no transitable por camiones pueden reducir, para el dueño, el valor de un árbol a la mitad por los costos de transporte manual o animal. Las carreteras en mal estado, las distancias largas al aserradero etc., también aumentan el costo del transporte y reducen los beneficios para el agricultor.

En cuanto a otros tipos de infraestructura, sobresale la importancia de las facilidades del aserrío para los productos maderables de SAF. En los países de América Central, la industria del aserrío está diseñada para trozas de grandes dimensiones. Estas sierras son poco eficientes y no son adecuadas para diámetros menores a 50 cm, que son justamente los diámetros más frecuentes de cosecha de árboles en SAF.

Esto no quiere decir que se deba abandonar la idea de SAF en áreas con condiciones actuales adversas. La red vial puede cambiar y en cuanto a la infraestructura del aserrío una producción suficientemente alta puede despertar el interés en el procesamiento y atraer capital de inversión; se espera que el autoregulamiento del mercado tendrá su efecto, cuando el agotamiento de las maderas haga subir el precio hasta que las pérdidas en el aserrío sean más altas que el capital requerido para maquinaria nueva y eficiente. El riesgo, sin embargo, debe ser mencionado y es una buena práctica buscar usos alternos para los productos.

Leyes

En los últimos años ha habido un auge de leyes forestales que tratan de regular el sector forestal y maderero. Este documento no es el lugar para discutir la utilidad de cada una de estas leyes, sencillamente existen, influyen sobre todas las decisiones de inversiones en SAF y deben ser observadas por los involucrados.

Lo más importante para los análisis económicos de SAF son las regulaciones de corte, transporte y aserrío de la madera, que frecuentemente requieren trámites costosos y difíciles. Estos costos deben ser incluidos en los costos de la producción de SAF con árboles maderables, normalmente en el año de la cosecha de madera. Un problema específico para los SAF de pequeños agricultores consiste en que los trámites llevan un costo fijo relativamente alto, que inhibe la comercialización de unos pocos árboles. En 1997, la ley cambió y se requieren permisos de corte para árboles de SAF, éstos no tiene costo.

Por otra parte, existen ocasionalmente incentivos forestales que subsidian no solo la reforestación en bloque, sino también los SAF. Estos subsidios deben ser considerados al momento de preparar el análisis como la reducción de costos (¡no como beneficios!) tal y como son desembolsados (frecuentemente escalonados en varios años), considerando también los costos para su obtención.

Sin embargo, el costo o beneficio adicional que significa este tipo de ley es solo un aspecto de los efectos de la legislación. Otro aspecto de considerable importancia es el ambiente de inseguridad, que por sus frecuentes cambios y sus formulaciones en algunos casos extremadamente rígidos crean para las personas que piensan invertir en la producción agroforestal. En Honduras, por ejemplo, se declaró en algún momento cada árbol como propiedad pública, privando al dueño de todos sus derechos sobre su producto. Aunque actualmente se revocó esta ley, persiste un ambiente de inseguridad entre los agricultores por el riesgo de que en algún momento se pudiese restablecer una ley similar.

Seguridad y estabilidad política-social

“Lo bailado y lo comido, nadie me lo puede quitar”

Dicho popular boliviano

Inversiones a largo plazo, como son las inversiones en árboles, requieren un ambiente de seguridad política y social, que proporcionan la seguridad a aquellos, que invierten, que pueden cosechar en el futuro el fruto de sus esfuerzos del presente. Si no existe este ambiente de seguridad, la gente se comporta racionalmente cuando prefiere inversiones de corto y muy corto plazo para disfrutar los frutos de su trabajo, mientras puede.

En secciones anteriores, se han mencionado varios ejemplos de falta de esta seguridad (intervenciones en el mercado, leyes cambiantes). Otro factor que puede afectar es la continuidad y estabilidad en la política fiscal, además ejemplos en el pasado cercano de un ambiente social hostil e inseguro, que frena inversiones a largo plazo. Guerras civiles (El Salvador, Nicaragua), inseguridad sobre la propiedad de la tierra (la gente no tiene la seguridad de permanecer en el lugar por mucho tiempo), extrema pobreza rural, no inspiran una visión futurística, necesaria para inversiones. Estos factores deben ser considerados en el diseño de los SAF para lugares específicos, para diseñar SAF adaptados al lugar (por ejemplo, árboles de rápido crecimiento y corta rotación).

Un aspecto fuera del alcance del humano, pero de mucha importancia, es el clima. Áreas de frecuentes inundaciones, como la costa atlántica de Costa Rica, o zonas afectadas por huracanes, son zonas, en las cuales la gente no acostumbra realizar inversiones de largo plazo.

Costumbres y tradiciones

Las costumbres y tradiciones pueden ser fuerzas de mayor magnitud que las fuerzas económicas, convencimiento por parte de los técnicos y cualquier otra fuerza que juegue un papel en la toma de decisiones en la finca. Sin embargo, es la fuerza más subestimada tanto en su magnitud como en su valor.

En su mayoría, las costumbres y tradiciones son conocimientos adquiridos a través de la experiencia de generaciones y transmitidas en el núcleo familiar, sin razonamiento ni explicación científica, aunque la tengan. Son conocimientos que se probaron durante mucho tiempo y que se comprobaron basados en prueba y error. Estos conocimientos han garantizado la sobrevivencia de la gente durante generaciones.

Si bien los conocimientos de los científicos y son probados en campos experimentales y laboratorios y se transmiten rápidamente, no sucede lo mismo con el saber de la población rural, el cual se transmite más lentamente. Esto reduce la velocidad de transmisión del conocimiento "moderno" a los agricultores, sino que también significa que muchas tecnologías han sido desarrolladas principalmente para un sector moderno con conocimiento y capital en la agricultura.

Con esta lógica, es entendible que las costumbres y tradiciones que probaron ser garantes seguros de la sobrevivencia, aunque en un nivel bajo, frecuentemente son preferidas y preferibles a un avance inseguro, hasta que este mismo avance se comprueba con las mismas características de las tradiciones. En esencia, hay que considerar que:

- Las tradiciones y costumbres son una forma de garantía para la sobrevivencia;
- Las innovaciones tienen que comprobar su superioridad a las tecnologías tradicionales y que impliquen igual o menor riesgo para todos los posibles usuarios.

Obtención de datos para los cálculos

"Es preferible una estimación cruda y aproximada con buenos datos, que un cálculo exacto y sofisticado con malos datos."

Se diferencian dos tipos de análisis económico, dependiendo de si son realizados antes o después de poner en práctica la producción. El análisis después de realizar la actividad, el *análisis ex-post*, tiene la función de evaluar la producción realizada. La información recolectada y calculada sirve también para el *análisis ex-ante* que es un análisis realizado antes de poner en práctica una producción con fines de estimar su factibilidad y rentabilidad para tomar decisiones sobre sí o no recomendarlo. Cada uno de estos análisis tiene su propia problemática en cuanto a los datos que se deben usar y como obtenerlos.

En el análisis ex-post

Para el análisis de una actividad ya realizada, se requieren registros de los detalles de la actividad, las cantidades de insumos, mano de obra y productos. También se debe saber con exactitud el área de producción (¿y de qué área fueron tomado los datos!) para calcular costos y beneficios por hectárea.

El grado de detalle de la información requerida, depende mucho de los objetivos del análisis. En la práctica, el analista se ve frecuentemente confrontado con datos existentes y tiene que escoger los métodos del análisis de acuerdo al tipo de datos. Como mínimo, se requieren los siguientes datos para el análisis:

1. El área exacta de la producción en m², manzanas o hectáreas.
2. El tiempo trabajado en la actividad, incluyendo tiempos de preparación (preparar las herramientas, etc.). Este tiempo se puede medir en jornales, si se indica la cantidad de horas por jornal y debe ser desglosado como mínimo por año. Lo deseable es, disponer del requerimiento de la mano de obra por mes para poder determinar picos de trabajo en el año.
3. Las cantidades de los insumos usados con sus nombres comerciales. Siempre es preferible disponer del total de los insumos usados en la actividad (por ejemplo 2,5 litros de fungicida; 550 kg de fertilizante 10-30-10). La información de insumos por hectárea (1,2 litros de fungicida/hectárea) puede introducir errores, porque ya contiene un cálculo. La información del tipo "125 gramos de fertilizante por mata, 12.500 matas en 2,50 hectáreas" aunque frecuentemente encontrada, es inadecuada. La sola información de la aplicación de "5 onzas de fungicida por bomba" es totalmente inútil, si no se sabe cuantas bombas con fungicida se usaron.
4. La producción total vendible. En casos donde aplica, la producción vendible debe indicarse por clases de calidad (p.e. x% de madera de primera y z% de madera de segunda).
5. Los costos totales de todos los insumos y trabajos usados, tal como pagados, y los montos para productos generados tal como recibidos. Igual que en el caso de las cantidades, es mejor disponer de las sumas totales que de los precios unitarios.

Si se quiere generalizar el análisis, es decir, prepararlo de manera que se lo pueda usar para análisis ex-ante, se debe disponer adicionalmente de la siguiente información:

Aquellos tiempos de trabajo que son específicos para una finca en particular, por ejemplo el tiempo que se requiere para llegar al lugar de la producción. Estos tiempos deben ser deducidos para la generalización.

El número de horas de trabajo por jornal. Este número puede variar de zona a zona y de país a país y para razones de comparación es necesario disponer de esta información.

La información de pérdidas postcosecha puede ser útil para analizar si o no vale la pena invertir esfuerzos adicionales para reducir esas pérdidas.

Rebajas en el costo de los insumos y premios a la producción por cantidad deben identificarse, porque es de suponer que no aplican en cada caso.

En un ambiente inflacionario, favorece la exactitud de los resultados si se dispone de los datos para periodos más cortos que un año, por ejemplo semestral o mensual.

Aún en un análisis ex-post, es frecuentemente deseable usar precios diferentes a los precios vigentes al momento de la realización de la actividad. En este caso, obviamente no es necesario disponer de los precios históricos, sino de los vigentes al momento del análisis o inclusive precios en un futuro, con lo que el análisis ya toma más carácter de un análisis ex-ante.

En el análisis ex-ante

El problema principal en los análisis ex-ante es la necesidad de estimar varios parámetros. En cuanto a los costos, estas estimaciones pueden ser bastante acertadas si se disponen de análisis ex-ante de producciones similares debidamente calculadas y desglosadas sobre los requerimientos de insumos y mano de obra para asignarles los precios vigentes. Vale aquí una palabra de advertencia, que se tiende a subestimar los costos, de manera que es una buena práctica incluir una posición de 10 o 20% sobre los costos totales como contingencias.

La estimación de la producción ocasiona mucho más problemas. Específicamente cuatro áreas de incertidumbre deben ser tratadas:

1. Estimación del nivel de la producción agrícola en SAF que contiene éste componente;
2. Riesgos de enfermedades, condiciones de tiempo desfavorables y otros factores, que tienen una influencia negativa sobre la producción;
3. Estimación del volumen comercial de madera en SAF con árboles maderables.
4. La estimación de precios futuros.

La estimación del nivel de la producción agrícola, no es un problema específico de la agroforestería. Sin embargo, como existen menos experiencias con SAF, hay más incertidumbre al respecto. Por regla general, se puede decir que:

- Si los datos que forman la base para la estimación de la producción provienen de mediciones en fincas manejadas exclusivamente por los agricultores y sin influencia de los técnicos, se puede asumir que estos rendimientos pueden ser alcanzados por una mayoría de agricultores en situaciones similares.
- Cuando los datos provienen de mediciones en fincas manejadas por agricultores pero bajo recomendaciones y supervisión de los técnicos, se debería reducir el rendimiento obtenido en un 10 o 20% para llegar a una estimación razonable sobre los rendimientos que los agricultores podrían alcanzar sin asistencia y supervisión.
- Cuando los datos provienen de un ensayo manejado por técnicos, sea en finca o estación experimental, es recomendable no usar estas cifras, sino realizar pruebas en campo. Si esto no es posible, se debería buscar sistemas y condiciones similares a las de la zona de trabajo y comparar los resultados. Esta comparación puede dar una idea de cuanto podría ser el nivel de producción en el campo bajo las circunstancias de los agricultores. Si no existe ni siquiera esta posibilidad de comparación, se puede asumir que los agricultores alcanzan entre 60 a 70% de la producción del ensayo, con el mismo paquete tecnológico.

Los riesgos de enfermedades, condiciones de tiempo desfavorables, etc., es una área frecuentemente descuidada y los técnicos tienden a ser optimistas acerca de estos factores y a no contar con años malos.

En cuanto a la estimación del volumen comercial de madera en SAF con árboles maderables, valen las siguientes observaciones:

- El volumen total no es igual al volumen comercial. La diferencia puede alcanzar niveles de consideración. Somarriba y Beer (1986), p.e., estimaron para el laurel (*Cordia alliodora*) un volumen comercial de tan solo un 64% del volumen total.
- Considerable confusión y una fuente de error son las diferentes medidas de la madera en las diferentes etapas de comercialización y consecuentemente diferentes precios. Se conocen las siguientes formas de la comercialización de madera:

- * La venta de árboles en pie. El comprador costea la tala y corre el riesgo de encontrar árboles dañados.
- * La venta de árboles enteros en patio de bosque; el comprador costea o no la tala de los árboles.
- * La venta de tucas en patio de bosque o en patio de aserradero. En ambos casos, pueden medirse con o sin corteza, lo que resulta en diferentes precios.
- * La venta de madera aserrada. Según el equipo de aserrió (motosierra con marco, cierra circular, sierra de cinta), las pérdidas varían considerablemente y por ende los precios de los productos.

Además, existen diferentes formas de medir la madera (cubicación con mecate, sistema métrico etc.) que tienen su influencia sobre el valor de la madera. En todo caso es imprescindible establecer con exactitud que tipo de producto y el estado de procesamiento en que se piensa comercializar y la forma de calcular el volumen correspondiente.

Diferenciación de precios de la madera: no todas las maderas son iguales, y existen diferencias de precio de acuerdo a la especie, la forma y dimensiones y hasta según la proveniencia (bosque natural o SAF con rápido crecimiento).

Transporte de madera. Por el tamaño y peso, el transporte de madera es complicado y difícil. Existe más de un ejemplo donde por el elevado costo del transporte, una madera se queda en la finca.

La evaluación económica de SAF

Indices de éxito de la producción AF

El presupuesto parcial y margen bruto

El presupuesto parcial se explicó anteriormente. Contrario a la producción anual, donde el margen bruto es comúnmente usado como índice de éxito, no es muy indicativo como tal en la producción de SAF, debido a la irregularidad de costos e ingresos en el tiempo. Sin embargo, su cálculo es un requisito para cálculos posteriores.

El flujo de caja

El flujo de caja no es tanto un índice de éxito, sino un parámetro que ayuda a establecer la factibilidad de una producción en una situación específica, por lo tanto, se incluye en esta sección. Como se recuerda de capítulos anteriores, existen diferentes tipos de SAF en cuanto a la generación de beneficios:

- A. SAF que generan beneficios constantes a partir de un cierto tiempo después del establecimiento. Estos SAF son aquellos que contienen cultivos anuales y perennes.
- B. SAF que generan un beneficio al final de su vida útil. En este rubro se encuentran linderos y cercas maderables.
- C. SAF que no generan beneficios directos, pero que cumplen una función para otras producciones. En este rubro se encuentran cercas vivas y cortinas rompevientos de árboles no maderables.

Los SAF del grupo A deben generar un flujo de caja positivo una vez que la producción alcance niveles estables, condición sin la cual, estos sistemas no son factibles.

Los SAF del grupo B tienen un flujo de caja negativo hasta la cosecha, razón por la cual el parámetro no tiene mucho valor como indicador de éxito. Sin embargo, el análisis es necesario para establecer si un agricultor tiene la capacidad financiera para realizar la actividad.

Los SAF del grupo C pueden producir beneficios en el cultivo que protegen, como en el caso de cortinas rompevientos. Como no es muy probable que se disponga de información cuantitativa sobre estos beneficios, es aconsejable incluir los costos de las cortinas rompevientos en los costos del cultivo aledaño. También se puede comparar el flujo de caja (negativo) con la alternativa, en el caso de cercas vivas con cercas muertas.

La retribución a la mano de obra

La retribución a la mano de obra se calcula como la suma de los beneficios, menos todos los costos con excepción de la mano de obra, dividido entre la suma de jornales requeridos para la actividad. Para calcular la retribución a la mano de obra familiar, se incluye la mano de obra asalariada en los costos y se dividen los beneficios netos entre la cantidad de jornales familiares usada. En el caso de la producción perenne, se usan valores actualizados para los beneficios netos.

El umbral de beneficio / período de amortización

El período de amortización ya se discutió anteriormente. El umbral de beneficio es el momento en que se cumple el período de amortización. Para el cálculo dinámico, es decir, con la inclusión de costos de capital en el tiempo se debe trabajar con valores actualizados.

El umbral de beneficio/período de amortización es una buena medida para comparar diferentes actividades, cuando es importante generar beneficios netos tempranos. Sin embargo, no dice mucho en SAF en los cuales se obtiene el mayor beneficio al final del período productivo.

La razón beneficio/costo

La razón beneficio/costo es un parámetro de éxito que compara los beneficios con los costos en forma de cociente. En su versión dinámica, es decir incluyendo el factor tiempo y se expresa de la siguiente manera:

$$\text{Razón Beneficio/Costo} = \frac{\text{Suma de los valores actuales de los beneficios de cada año}}{\text{Suma de los valores actuales de los costos de cada año}}$$

Un valor por debajo de 1 indica pérdida; un valor por encima de 1 indica ganancia. Indica cuántos dólares se recibe por dólar invertido. De esta manera, una razón de 1,20 indica que la inversión paga cada dólar invertido con 1 dólar 20 centavos, donde los 20 centavos representan la ganancia en términos de dinero al momento de realizar la inversión (valor actual).

La tasa interna de rentabilidad

La tasa interna de rentabilidad busca aquella tasa de interés, que se devenga con la actividad en análisis. Esta tasa de interés se compara entonces con otras actividades, o con otras oportunidades de inversión. Sin embargo, el método tiene algunas desventajas que se deben conocer para no interpretar mal los resultados. Estas desventajas son las siguientes:

Cuando el flujo de fondos a través de los años cambia su signo más de una vez, puede haber más de una solución, sobretodo en sistemas agroforestales, donde pueden ocurrir flujos positivos, por ejemplo en los años de raleo, o en un sistema Taungya, en el cual hay costos netos en el primer año, beneficios netos en unos años iniciales y después otra vez, costos hasta la cosecha final que pueden resultar en varias tasas de interés que cumplen con el requisito para la tasa interna de rentabilidad, pero que no son interpretables.

El cálculo supone que se reinvierten los beneficios de manera que generan intereses a la misma tasa interna de rentabilidad. Este supuesto no siempre es cierto. Más bien, para el grupo meta de este material, es de esperar que se consuman los beneficios, en vez de reinvertirlos. En tales casos, la tasa interna de rentabilidad no tiene mucho significado.

Una tasa interna de rentabilidad por encima del 50% generalmente se considera no interpretable. Además, la experiencia sugiere que si una inversión alcanza tales niveles, se puede sospechar que existen errores en la estimación de los costos (muy bajos) o en los beneficios (muy altos).

Estas desventajas sugieren no usar la tasa interna de rentabilidad, o usarla con mucha precaución como uno de los parámetros de éxito de la producción agroforestal.

Análisis de sensibilidad

Los análisis de sensibilidad son realizados para obtener información sobre la estabilidad de los resultados de un análisis ex-ante, frente a cambios en parámetros importantes como las cantidades cosechadas o los precios de insumos y productos.

El primer paso para un análisis de sensibilidad consiste en buscar los parámetros importantes para la actividad y que se estima que pueden variar en el tiempo de una manera diferente a la variación de los otros parámetros. Estos serán sobretodo, el rendimiento de cosecha, los precios de los productos, el costo de la producción y la tasa de interés.

Después de haber seleccionado los parámetros claves, se definen los cambios a los valores esperados. Por ejemplo, se podría asumir que la mano de obra estará 10, 20 y 30% más cara que en la actualidad y referente a los otros precios (constantes); que el precio de la madera sea 20 a 40% menos de lo esperado y que la cosecha del cultivo agrícola (si existe en el SAF) osea 10, 20 y 30% por debajo de la cantidad esperada. Se repiten todos los cálculos con estos valores, uno por uno, para analizar, si la producción todavía es rentable. Si no la es, debe analizar con mayor detalle, el posible desarrollo de aquel parámetro que causa el problema .

En un último paso, se suele hacer la prueba del "caso peor", donde se supone todos los posibles desarrollos negativos, es decir una mano de obra 30% más cara, el precio de la madera 40% por debajo del valor esperado y la cantidad cosechada 30% por debajo del nivel previsto. Si la actividad es todavía rentable, hay la seguridad de disponer de una tecnología adaptada a las circunstancias del lugar. Si no la es, se deben dar las recomendaciones con las advertencias correspondientes.

Ejemplos

Ejemplo 1: Linderos

Los linderos son una de las prácticas agroforestales más sencillas. Son árboles maderables o árboles de servicio en líneas en el borde de la finca o dentro de la finca en los límites de cortes.

Como los linderos se plantan en forma lineal, con igual distancia entre los árboles, es conveniente recopilar los costos en un primer paso por una unidad de distancia, donde 100 metros parecen adecuados. Como ejemplo se usa aquí el eucalipto. El Cuadro 1 contiene los parámetros básicos y los costos recopilados de la manera propuesta.

Estos son los costos directos para la siembra y el mantenimiento; con la estimación del volumen de madera al momento de la cosecha de los árboles se podría proceder a calcular los márgenes brutos y otros parámetros del éxito económico de los linderos. Sin embargo, a pesar de la sencillez agronómica, los linderos causan algunos problemas en su evaluación económica.

Entre éstos podemos mencionar el área. Aunque se escucha con frecuencia que los linderos no ocupan espacio, se nota en la realidad que se deja normalmente un margen entre el lindero y el cultivo. Este margen suele existir en ambos lados, especialmente cuando el lindero se encuentra al lado de una carretera (contrario a un cultivo agrícola, no se pueden sembrar los árboles muy cerca de la carretera). Si existe un margen de terreno para el lindero, se deben calcular los costos y beneficios por área para poder compararlos con otras actividades, porque en este caso el lindero compite también por el terreno. El ejemplo aquí presentado proviene de ensayos del Proyecto Agroforestal CATIE/GTZ, donde se usó un margen de 3 m en cada lado de los árboles, que resulta en un área de 600 m² para cada 100 m lineales de lindero.

Cuadro 1. Ejemplo de un lindero maderable: parámetros básicos y costos

Especie arbórea:	Eucalipto (<i>Eucalyptus deglupta</i>)						Vida útil proyectada:	20 años						
Dist. Inicial de plant.	2,50 m, 40 árboles iniciales/100 m lineales						No. de árboles cosechados	18						
Dist. final proyectada:	5,00 m, 20 árboles iniciales/100 m lineales						Forma de comercialización:	Venta en pie						
Unidad de cálculo:	100 metros lineales						Cultivo adyacente:	Café a un lado						
Costos ¹														
	Pre-Cio	Unidad	Año 1		Año 2		Año 3		Año 4		Año 5		Año 20	
			Cant.	Valor	Cant.	Valor	Cant.	Valor	Cant.	Valor	Cant.	Valor	Cant.	Valor
Total costos				59,50		12,50		7,50		34,00		2,00		6,00
Mano de obra			9,0	9,00	9,5	9,50	7,5	7,50		14,00		2,00	6,0	6,00
Establecim. ²	1,00	Hora	9,0	9,00										
Resiembra	1,00	Hora			1,5	1,50								
Chapeas y rodajas	1,00	Hora			8,0	8,00	6,5	6,50	2,0	2,00	2,0	2,00	6,0	6,00
Poda	1,00	Hora					1,0	1,00	2,0	2,00				
Raleo	1,00	Hora							10,0	10,00				
Insumos				50,50		3,00				20,00				
Plántulas	1,00	Uni	40	40,00	3,00	3,00								
Estacas	0,25	Uni	42	10,50										
Motosierra (alquiler)	Suma global								-	20,00				

¹ No hay costos directos en los años 6-19. ² Incluye limpieza del terreno.

Fuente de la información: Años 1 hasta 6: Adaptados según PLATEN, H. von y TREJOS, S. 1994. Costos de establecimiento y mantenimiento de linderos. CATIE, Serie Técnica. Informe Técnico No. 219. Otros datos estimaciones para este ejemplo.

Por otro lado, generalmente existen cultivos en las parcelas colindantes a los linderos. A partir de una cierta edad, los árboles de los linderos empiezan a tener influencia sobre los cultivos colindantes debido a la competencia por agua, nutrientes y radiación. El grado de esta influencia depende de muchos factores, entre ellos: clima, el tipo de los árboles en el lindero, su dirección respecto al movimiento del sol y los mismos cultivos adyacentes. Por la cantidad de estos factores y la infinita cantidad de sus posibles magnitudes, es imposible calcular el efecto que tiene el lindero sobre el cultivo en una forma general. Hasta el momento, no se conocen estudios que se ocupen de medir pérdidas en cultivos debido a linderos, de manera que no hay siquiera bases para las estimaciones. La única solución es por el momento, realizar estimaciones (junto con agricultores) para casos específicos.

Para este ejemplo, se usan cifras obtenidas mediante una estimación en un cafetal al lado del lindero (al otro lado se supone un camino): se supone que la influencia se extiende a una distancia del lindero que corresponde a su altura. Los resultados de esta estimación para una finca familiar se encuentran en el Cuadro 2, Columna 4 (pérdida en el cultivo adyacente).

En cuanto a los beneficios, existen tres opciones: la cosecha y venta de postes de cercas, postes de luz, madera de aserrío. Aunque no todas las especies de árboles permiten estas opciones (el laurel, por ejemplo, no es apto para postes de cualquier tipo), ni existe el mercado correspondiente en todos los lugares. En el ejemplo se inicia con la opción de producción de madera de aserrío, que se debería obtener a los 20 años. Por razones de simplicidad, se supone que el agricultor vende los árboles en pie, a razón de 100 US\$ por unidad. El cuadro 3 se resume los índices del éxito de la actividad.

Ejemplo 2: Cacao con sombra de laurel (*Cordia alliodora*)

Como segundo ejemplo se presenta un sistema agroforestal de un cultivo agrícola perenne, cacao, con sombra de árboles maderables, laurel. La densidad de la siembra es de 1111 árboles/ha para el cacao y para el laurel 36 árboles/ha al inicio y 23 árboles/ha al final. Las plantas de cacao fueron producidas en un vivero propio por el agricultor y las plantas de laurel compradas. En los dos primeros años, se sembró maíz dos veces por año (Cuadro 4).

Cuadro 2. Resumen de costos y beneficios de un lindero de eucalipto (Valores en US\$/100 m).

Año	Costos			Total costos	Beneficios		Beneficios netos		
	Insumos	Trabajo	Pérdida en el cultivo adyacente		No. de árboles cosechados ²	Valor	Flujo de caja ³	Total neto	Total neto acumulado
1	50,50	9,00	-	59,50	-	-	-50,50	-59,50	-59,50
2	3,00	9,50	-	12,50	-	-	-3,00	-12,50	-72,00
3	-	7,50	4,00	11,50	-	-	-4,00	-11,50	-83,50
4	20,00	14,00	8,00	42,00	-	20,00	-28,00	-22,00	-105,50
5	-	2,00	12,00	14,00	-	-	-12,00	-14,00	-119,50
6	-	-	16,00	16,00	-	-	-16,00	-16,00	-135,50
7	-	-	20,00	20,00	-	-	-20,00	-20,00	-155,50
8	-	-	24,00	24,00	-	-	-24,00	-24,00	-179,50
9	-	-	28,00	28,00	-	-	-28,00	-28,00	-207,50
10	-	-	32,00	32,00	-	-	-32,00	-32,00	-239,50
11	-	-	36,00	36,00	-	-	-36,00	-36,00	-275,50
12	-	-	40,00	40,00	-	-	-40,00	-40,00	-315,50
13	-	-	44,00	44,00	-	-	-44,00	-44,00	-359,50
14	-	-	48,00	48,00	-	-	-48,00	-48,00	-407,50
15	-	-	52,00	52,00	-	-	-52,00	-52,00	-459,50
16	-	-	56,00	56,00	-	-	-56,00	-56,00	-515,50
17	-	-	60,00	60,00	-	-	-60,00	-60,00	-575,50
18	-	-	64,00	64,00	-	-	-64,00	-64,00	-639,50
19	-	-	68,00	68,00	-	-	-68,00	-68,00	-707,50
20	-	6,00	72,00	78,00	18	1.800	1.728,00	1.722,00	1.014,50
Valores actuales a 3,00%				563		1.014	475	451	
Razón beneficio/costo								1,80	

¹ Café; Alcance de la influencia del lindero igual a su altura (aprox. 30 metros a los veinte años), área afectada 30x100 metros=3.000 m², menos 300 metros² de margen, para un total de 2.700 m². Pérdida supuesta de 10% de un rendimiento promedio de 35 fanegas/ha o 9,45 Fanegas por los 2.700 m² igual 0,945 fanegas con un valor de 72,00 US\$ (80US\$/fanega redondeado). Por razones de simplicidad, se supone que el efecto empieza a los 3 años y aumenta en forma lineal hasta los 20 años, es decir, con 4,00 US\$/año.

² Se supone un 50% de raleos en el año 4 con una producción de 20 postes con un valor de 1,00 US\$ cada uno, uso en la propia finca. Se estima una pérdida de otros 10% de árboles después del raleo hasta la cosecha final.

³ Se supone que toda la mano de obra es familiar.

El tipo del análisis es una combinación entre un análisis ex-ante y un análisis ex-post: Los datos presentados provienen de una actividad que tenía 5 años de ser realizado al momento de realizar el análisis. Estos primeros 5 años son, por lo tanto, datos obtenidos mediante un seguimiento agroeconómico, mientras los datos de los años 6 hasta 15 son estimaciones.

En el primer paso, se recopilaron los datos existentes del seguimiento para calcular los márgenes brutos de los primeros 5 años y se estimaron los márgenes brutos para los otros años con base en los planes de manejo (Cuadro 4). Como se puede observar en el cuadro, se diferenciaron entre los costos de los insumos y la mano de obra para el flujo de fondos. Esta diferenciación parte del supuesto, que dentro de todos los costos es solamente la mano de obra la que no causa gastos en efectivo, ya que es

suministrada por la familia. Todos los otros insumos se compran en el mercado. En el caso de las plántulas de cacao, que se supone son generadas por el mismo agricultor, también se diferenciaron según los insumos (semillas, bolsas, fertilizantes, agroquímicos) y la mano de obra para atender el vivero. De los productos, se supone que todos son vendidos en el mercado, y por lo tanto forman parte del flujo de fondos.

Cuadro 3. Índices del éxito económico de un lindero.

Presupuesto parcial y margen bruto	El beneficio neto total de cada año. En el Cuadro 2 representa el margen bruto por año, aunque no dice mucho en una actividad que tiene solo costos en una serie de años, y un beneficio al final.
Flujo de caja	El flujo de caja es lógicamente negativo en todos los años hasta la cosecha final. Los montos pueden ser entendidos como pequeños ahorros anuales, que a la cosecha final son devueltos con intereses.
Retribución a la mano de obra familiar	Suma de los valores actuales netos de los beneficios de 475\$ entre 42 horas trabajadas = 11,31 \$ por hora, un ingreso por hora superior a un ingreso de obrero agrícola por día.
Umbral de beneficio / Período de amortización	Ya que no existen beneficios constantes, el período de amortización es el mismo que la vida total de la actividad.
Razón beneficio/costo	A 3% es de 1,8. Esto significa que por cada \$ invertido se recuperan 1,80 \$.
Tasa interna de rentabilidad	En un caso como un lindero, con costos en todos los años hasta los beneficios en el último año, la tasa interna de rentabilidad sí es un indicador significativo, ya que la actividad es similar a ahorros constantes, con pagos de intereses sobre saldos, hasta el retiro del capital con los intereses acumulados (cosecha final). En el ejemplo, se calcula una tasa de 9,80%, que se considera relativamente alta para el US\$.

Cuadro 4. Ejemplo SAF cacao/sombra: parámetros básicos, costos y beneficios.

Cultivo agrícola:	Cacao		Unidad de cálculo:	Hectárea								
Densidad de siembra:	1.111 árboles/hectárea		Vida útil proyectada:	15 años								
Especie de sombra:	Laurel (<i>Cordia alliodora</i>)		Cosecha agríc. Esperada:	1003 kg/ha								
Dens. Siembra inicial:	36 árboles/hectárea		Número de árboles vendidos	23								
Dens. final proyectada:	23 árboles/hectárea		Forma de comercialización:	Venta en pie								
Costos y beneficios ¹												
	Año 1		Año 2		Año 3		Año 4		Año 5-14		Año 15	
	Cant.	Valor	Cant.	Valor	Cant.	Valor	Cant.	Valor	Cant.	Valor	Cant.	Valor
Producción		175		245		0		618		943		11.35
Producción Agrícola	792	175	1.112	245	0	0	657	618	1.003	943	1.003	943
Madera											128,5	10.40
Mano de obra (jornales¹)	122,4	857	83,6	585	19,0	133	73,0	511	52,1	365	52,1	365
Vivero	15,5	109										
Preparación del terreno	42,0	294										
Siembra ² y resiembra ³	30,7	215	27,2	190								
Fertilización	-	0	8,2	57			1,7	12	1,8	13	1,8	13
Chapeas	22,0	154	22,0	154	1,0	7	19,5	137	5,9	41	5,9	41
Aplicación herbic.	2,8	20	15,7	110	11,0	81	6,9	48	0,2	1	0,2	1
Aplicación otros agroquímicos	0,7	5							2,5	18	2,5	18
Poda ³			2,0	14	4,0	27	17,0	119	9,5	67	9,5	67
Manejo de plantas ⁴			6,5	46	3,0	19	13,3	93	12,2	85	12,2	85
Cosecha	2,0	14	2,0	14			14,6	102	20,0	140	20,0	140
Otros trabajos	6,7	47										
Insumos		477		140		112		308		205		205
Material de vivero	S.G.	232										
Semilla	S.G.	6	S.G.	6	S.G.	3						
Plantas de laurel	345,0	86										
Herbicidas	S.G.	80	S.G.	127	S.G.	109	S.G.	101	S.G.	2	S.G.	2
Insecticidas	5,2	19										
Fungicidas									S.G.	1	S.G.	1
Otros pesticidas							S.G.	14	S.G.	2	S.G.	2
Cal, kg			204,8	2					36,2	4	436,2	4
Fertilizantes completos, kg	111,0	43	19,2	5			488,5	191	471,8	184	471,8	184
Otros insumos menores	S.G.	11					S.G.	2	S.G.	6	S.G.	6

¹ De 8 horas. ² Maíz, cacao y sombra. ³ Cacao y sombra. ⁴ Sobre todo fitosanitarios (control de monilla). ⁵ Maíz y cacao. Fuente de la información: Adaptado según TREJOS, S. y PLATEN, H., 1995. Sombras maderables para cacaotales: aspectos económicos. CATIE: Serie Técnica. Informe Técnico No. 266. Turrialba, Costa Rica.

De este cuadro detallado de costos y beneficios, se condensa el Cuadro 5, que es el resumen de los costos y beneficios, siempre diferenciando según insumos comprados y mano de obra, para el cálculo del flujo de caja.

Cuadro 5. Resumen de costos y beneficios del SAF cacao con sombra de laurel (US\$/ha)

Año	Costos			Beneficios			Beneficios netos		
	Insumos	Valor Jom.	Costos totales	Prod. agrícola ¹		Valor madera ²	Beneficios totales	Flujo de fondos ³	Total neto ⁴
				Kg	Valor				
1	477	857	1.334	792	175		175	-302	-1.159
2	140	585	725	1.112	245		245	105	-480
3	112	133	245	-	-		0	-112	-245
4	308	511	819	657	618		618	310	-201
5	205	365	570	1.003	943		943	738	373
6	205	365	570	1.003	943		943	738	373
7	205	365	570	1.003	943		943	738	373
8	205	365	570	1.003	943		943	738	373
9	205	365	570	1.003	943		943	738	373
10	205	365	570	1.003	943		943	738	373
11	205	365	570	1.003	943		943	738	373
12	205	365	570	1.003	943		943	738	373
13	205	365	570	1.003	943		943	738	373
14	205	365	570	1.003	943		943	738	373
15	205	365	570	1.003	943	1.840	2.783	2.578	2.213
Val. act neto a 3,00%			7.614				9.883		2.269
Razón beneficio/costo									1,30

¹ Año 1 y 2: dos siembras de maíz cada año; a partir del año 4: Cacao.

² La fuente indica 128,5 m³ de madera comerciable a un precio libre de cosecha de 81 US\$/m³. Sin embargo, la cantidad parece sobreestimada, ya que cada árbol debería contener 5,6 m³ de madera comercializable. Se supone más bien la venta en ple (sin costo de cosecha ni transporte de la madera) a un precio de 80 US\$/árbol.

⁴ Incluye el valor de la mano de obra.

Cuadro 6. Parámetros del éxito económico de un SAF cacao/sombra maderable

Presupuesto parcial y margen bruto	Los primeros años tienen un margen bruto bajo o negativo, como es normal en un cultivo perenne que requiere unos años hasta alcanzar la plena producción. A partir del quinto año, se obtiene un margen bruto de US\$ 373/ha.
Flujo de caja	Debido a la siembra de maíz y a pesar del bajo rendimiento que se obtuvo, hay solo dos años (el primero y tercero) con un flujo de caja negativo, que es una ventaja significativa para pequeños agricultores, que normalmente tienen problemas de efectivo. A partir del quinto año, se obtiene la suma de 738 US\$/ha por la venta de cacao, en el año 15 la suma es de casi 2.600 US\$/ha gracias a la venta de árboles.
Retribución a la mano de obra familiar	El flujo de caja es, en este caso, igual a la retribución a la mano de obra familiar. En la fase de plena producción, a partir del año 5, son 14,17 US\$/jornal, lo que es mayor a lo que una persona podría ganar en la agricultura en cualquier país de Centroamérica. La retribución promedio a la mano de obra es de 11,43 US\$/jornal y refleja los años de inversión con un alto requerimiento de trabajo sin remuneración.
Umbral de beneficio / Período de amortización	En efectivo, es decir por el flujo de fondos, se recupera el capital invertido al final del año 4. El umbral de beneficios netos, sin embargo, se logra recién en el año 10. Aplicando intereses al capital invertido, los años respectivos son 5 y 11.
Razón B/C	Es de 1,3, lo que se puede considerar regular.

Ejemplo 3: Sombra maderable para el café - Un análisis comparativo

Para comparar económicamente dos actividades similares, frecuentemente es suficiente valorar solamente las diferencias y no el sistema entero. Este procedimiento tiene la ventaja que no es necesario estimar todos los parámetros de la producción, que en muchas ocasiones son desconocidos. Tiene la desventaja que, como no se valora el sistema completo, no se lo puede comparar con otros sistemas de producción. Sin embargo, en el siguiente ejemplo esta desventaja no aplica.

Un productor de café está con la duda de seguir produciendo su café con solo poró como sombra o aumentar la sombra con una pequeña cantidad de laureles. Se podría hacer un análisis completo de ambas actividades y compararlas, pero más sencillo y eficiente es valorar solamente los costos y beneficios adicionales o incrementos.

En el lado de los costos, se presentan los costos para las plántulas de laurel, la plantación de las mismas y el mantenimiento específico que se requieren en los dos primeros años. También, debe contabilizarse un monto para el reemplazo de plántulas muertas. Además, se supone que el rendimiento del café tiene una baja debido al aumento de la sombra. Esta baja se estima en un 1% a partir del tercer año de la plantación de los árboles de laurel, aumentando hasta el año 7 a un total de 5% de la cosecha habitual. Con costos de producción para el café que son iguales a la producción sin sombra de árboles maderables, significa una reducción del rendimiento monetario por pérdida de cosecha, valorada a precios de mercado.

Si la cosecha de café se realiza por cogedores pagados por tarea (unidades cosechadas), debe disminuirse el valor del café perdido por el costo de los cogedores para esta cantidad, ya que no se tiene que pagar lo que no se cosecha.

Si los trabajos de cosecha los realizan la familia, debe asumirse el precio completo de venta de café para la cantidad de café perdido por la sombra. Esto se debe a que se tiene una pérdida de ingreso por éste mismo monto que, como se puede asumir, no se puede equilibrar con otros trabajos durante el tiempo de la cosecha de café. La disminución de ingresos calculada de esta manera debe considerarse como costos para la actividad 'con laurel'.

En el lado de los beneficios se presentan los ingresos por la venta de la madera. Como en los otros ejemplos, se supone la venta de los árboles en pie, sin costo alguno para la cosecha. Tampoco se espera costos por daños en la plantación debido a la tumba de los árboles. Estos daños son bajos, por un lado, como demuestra una publicación sobre daños en café a causa de la cosecha de laurel (Somarriba, 1992a) y por otro lado puede asumirse que se debe renovar el café al tiempo de la cosecha de la madera. Con estas indicaciones, se obtienen los costos y beneficios incrementales como se muestra en el Cuadro 7. Como beneficio se estiman 50 árboles sobrevivientes, que se venderán libre de costos de

cosecha a \$80 por árbol. Esto significa un ingreso bruto de \$4.000/ha. El resumen de costos e ingresos se encuentra en el Cuadro 8.

Cuadro 7. Costos y beneficios incrementales por el aumento de sombra en café (US\$ /ha)

Item	Unidad	Finca familiar			Finca comercial			Comentario
		Precio	Cant.	Costo	Precio	Cant.	Costo	
Año 1								
Plantas de laurel	Unidad	0,50	46,00	23	0,50	46,00	23	Precio incl. transporte a la finca.
Siembra	Jornal	7,00	2,00	14	7,00	2,00	14	Ahoyado, transporte interno en la finca, siembra.
Cuidado	Jornal	7,00	2,00	14	7,00	2,00	14	Revisión, Manejo.
Año 2								
Plantas de laurel	Unidad	0,50	14,00	7	0,50	14,00	7	Tasa de mortalidad 30 %.
Resiembra	Jornal	7,00	1,00	7	7,00	1,00	7	
Cuidado	Jornal	7,00	2,00	14	7,00	2,00	14	Revisión, Manejo.
Año 3								
Cuidado	Jornal	7,00	2,00	14	7,00	2,00	14	Revisión.
Pérdida de café	Fanega ¹	80,00	0,35	28	60,00	0,35	21	1% de 35 fanegas.
Año 4								
Pérdida de café	Fanega	80,00	0,70	56	60,00	0,70	42	2% de 35 fanegas.
Año 5								
Pérdida de café	Fanega	80,00	1,05	84	60,00	1,05	63	3% de 35 fanegas.
Año 6								
Pérdida de café	Fanega	80,00	1,40	112	60,00	1,40	84	4% de 35 fanegas.
Años 7 a 15								
Pérdida de café	Fanega	80,00	1,75	140	60,00	1,75	105	5% de 35 fanegas.

¹ Fanega: Medida de volumen (400 litros) para café en cereza, equivalente en promedio a 46 kg de café de oro.
Fuente: Datos estimados en la finca La Selva de Tuis, La Sulza, Turrialba.

Cuadro 8. Costos e ingresos incrementales de sombra de laurel en café, finca familiar y finca comercial (\$/ha)

Año	Finca familiar			Finca comercial		
	Costos	Beneficios	Benef. netos	Costos	Beneficios	Benef. netos
1	51	0	-51	51	0	-51
2	56	0	-56	56	0	-56
3	42	0	-42	35	0	-35
4	56	0	-56	42	0	-42
5	84	0	-84	63	0	-63
6	112	0	-112	84	0	-84
7	140	0	-140	105	0	-105
8	140	0	-140	105	0	-105
9	140	0	-140	105	0	-105
10	140	0	-140	105	0	-105
11	140	0	-140	105	0	-105
12	140	0	-140	105	0	-105
13	140	0	-140	105	0	-105
14	140	0	-140	105	0	-105
15	140	4.000	2.860	105	4.000	2.895
VAN	733	958	225	575	958	382
Razón beneficio/ costo			1,3			1,7

Definiciones

Actividad: para los fines de este material, se define una actividad como una producción agrícola, agroforestal o pecuaria uniforme, con un conjunto determinado de insumos, mano de obra y producción.

Alocación de recursos: distribución de los recursos productivos (mano de obra, capital, tierra, agua de riego etc.) entre las diferentes actividades.

Análisis económico: se usa el término en su sentido amplio para cualquier análisis de actividades productivas que usan valores monetarios.

En la planificación y evaluación de proyectos, se acostumbra diferenciar entre el análisis financiero y el análisis económico, asignando precios de mercado en el primer caso y precios de escasez o precios sombra en el segundo caso. Sin embargo, esto es un área especial de la economía.

Costos de oportunidad: precios de oportunidad.

Costo promedio: costo unitario.

Costo unitario: costo total de la producción entre las unidades producidas. Es igual a los costos promedio y es una medida para la eficiencia de la producción. Por el problema de la asignación de los costos a los diferentes productos en la producción acoplada, tiene poca significancia en los SAF.

Costos variables: más exacto "Gastos proporcionales específicos". Los gastos que crecen proporcionalmente con el aumento del área cultivada.

Economía de escala: la disminución de los costos unitarios de la producción con el incremento de la extensión de la producción. Puede ser inducido por un cambio tecnológico (por ejemplo el uso de una bomba de motor en vez de una bomba manual a partir de una cierta área cultivada), pero también por el uso más eficiente de la mano de obra en una extensión grande. También se usa para describir el hecho que los precios de los insumos y productos pueden cambiar ventajosamente para el productor cuando son cantidades grandes.

Empresa: en su significado genérico, una empresa es cualquier unidad productiva, con límites en el espacio y tiempo y definida por un conjunto de recursos. En este sentido, cada finca, no importa su tamaño, ni su finalidad (mercado, subsistencia), es una empresa.

Flujo de fondos, flujo de caja, flujo de efectivo: es el saldo de movimientos de dinero en efectivo o similares a efectivo (cheques a la vista) en un período dado. Por ejemplo, el desembolso de un crédito, es un flujo de fondos (ingreso de dinero en efectivo), mientras una compra a crédito no es un flujo de fondos (no implica un egreso de dinero en efectivo) hasta su cancelación. Frecuentemente, se usa el término flujo de fondos también para referirse a la liquidez.

Ingreso bruto: valor de la producción puesto en el punto más cercano de venta (incluye deducción por el transporte, si aplica). También llamado producción monetaria.

Liquidez: el estado positivo del flujo de fondos en un momento dado.

Margen bruto: ingresos brutos menos costos variables.

Manzana: medida tradicional de área en América Central, equivalente a 7.000 m².

Precio de oportunidad: es un concepto que valora el gasto de recursos propios de la finca (sobre todo la mano de obra) con los beneficios, que estos mismo recursos podrían generar en un uso alternativo al propuesto. Ejemplo: un agricultor podría vender semilla propia en el mercado, en vez de usarla. El precio que podría recibir en el mercado es el precio de oportunidad. En el caso de la mano de obra, el precio de la oportunidad es la remuneración (libre de costos por el desplazamiento al lugar del trabajo, costos adicionales para la alimentación etc.) para un trabajo asalariado que podría realizar en lugar de la actividad propuesta.

Precio sombra: es un derivado del precio de oportunidad, que valora los bienes y servicios a precios que reflejan los costos de los recursos para la sociedad entera. No incluye, por ejemplo, impuestos y similares pagos de transferencia dentro de la economía nacional (Véase detalles en Gittinger, 1982).

Producción acoplada: un sistema de producción, que genera dos o más productos.

Producción monetaria: ingreso bruto.

Productividad: producción física o monetaria por unidad de factor de producción. Se diferencia entre productividad de la tierra, productividad de la mano de obra y productividad del capital.

Productividad de la tierra: producción física (kg, toneladas etc.) o producción monetaria por unidad de tierra, normalmente la hectárea.

Productividad de la mano de obra: producción física (kg, toneladas etc.) o producción monetaria por hora o jornal trabajado en la producción.

Productividad del capital: producción monetaria por gastos para la producción.

Rendimiento: se refiere normalmente a la productividad de la tierra, es decir producción por hectárea.

SAF: Sistemas Agroforestales. Sistemas de producción múltiple con un mínimo de dos especies de plantas que interactúan biológicamente y de las cuales mínimamente una es una leguminosa perenne y mínimamente una es manejada por la producción anual o perenne o para forraje (Según Somarriba, 1992 b).

Bibliografía

- GITTINGER, P. 1982. Economic analysis of agricultural projects. The John Hopkins University Press, Baltimore, Maryland. .
- LUX, M; PLATEN, H., 1995. Consumo y comercialización de la madera en Baja Talamanca. Costa Rica. CATIE, Serie Técnica. Informe Técnico No. 258.
- MINISTERIO DE LA PRESIDENCIA. Fondo de desarrollo campesino. Guía de evaluación financiera - económica para pequeños proyectos de desarrollo rural. La Paz, Bolivia 1995.
- PLATEN, H. ; TREJOS, S., 1994. Costos de establecimiento y mantenimiento de linderos. CATIE, Serie Técnica. Informe Técnico No. 219. 36 p.
- RUTHENBERG, H. 1980. Farming Systems in the Tropics. Third Edition, Oxford.
- SOMARRIBA, E.; BEER, J. 1986. Dimensiones, volúmenes y crecimiento de *Cordia alliodora* en sistemas agroforestales. CATIE, Serie Técnica. Boletín Técnico No. 16. 22 p.
- SOMARRIBA, E. 1992a. Timber harvest, damage to crop plants and yield reduction in two Costa Rican coffee plantations with *Cordia alliodora* shade trees. *Agroforestry Systems*, 18: 69-82.
- SOMARRIBA, E. 1992b. Revisiting the past: an essay on agroforestry definition. *Agroforestry Systems* 19: 233-240.
- SULLIVAN, G. M.; HUKE, S. M.; FOX, J. M. (Eds.) 1992. Financial and Economic Analyses of Agroforestry Systems. Proceedings of a Workshop held in Honolulu, Hawaii, USA, July 1991. Paia, HI: Nitrogen Fixing Tree Association.
- TIENHOVEN, N.; ICAZA, J.; LAGEMANN, J., 1982. Sistema de finca en Jinotega, Nicaragua. CATIE, Serie Técnica. Informe Técnico No. 31. 75 p.
- TREJOS, S.; PLATEN, H. 1995. Sombras maderables para cacaotales; aspectos económicos. CATIE: Serie Técnica. Informe Técnico No. 266. Turrialba, Costa Rica.

“Ventajas, desventajas y características deseables en los árboles de sombra para café, cacao y té”*

John Beer

- **Introducción**
- **Uso de árboles de sombra con cultivos tropicales perennes**
- **Posibles ventajas de los árboles de sombra con cultivos perennes**
- **Posibles desventajas de los árboles de sombra con cultivos perennes**
- **Características deseables de los árboles de sombra para cultivos perennes**
- **Bibliografía**

* Traducido del inglés por C. Rojas de Agroforestry Systems 5: 3-13 1987.

Ventajas, desventajas y características deseables en los árboles de sombra para café, cacao y té

Introducción

Las principales interacciones biológicas que existen entre los árboles de sombra y los cultivos que crecen debajo han sido revisadas por varios autores (Cunningham, 1959; Gogoi, 1977; Martínez y Enríquez, 1981; Obaga, 1985; Ostendorf, 1962). Este informe provee listas acerca de las ventajas y desventajas sugeridas y que se atribuyen a los árboles de sombra usados para café (*Coffea arabica*), cacao (*Theobroma cacao*) y té (*Camellia sinensis*) (Budowski, 1981; Fournier, 1980; Purseglove, 1968; Robinson, 1964; Wrigley, 1969). Estos listados se elaboraron para ayudar al estudiante, investigador o agente de extensión a identificar las interacciones árbol-cultivo más importantes, o las especies de árboles de sombra más adecuadas cuando se trabaja con una combinación agroforestal nueva o un nuevo sitio.

Las referencias que se mencionan pertenecen a publicaciones que contienen datos experimentales y que describen una metodología utilizada para estudiar una interacción particular. En pocos casos, cuando los datos experimentales son escasos o no existen, se hace la referencia a publicaciones previas que incluyen la misma indicación (véase por ejemplo *Efectos beneficiosos en los organismos del suelo* en Fournier, 1980). No se dan referencias cuando la posible ventaja o desventaja es obvia.

Uso de árboles de sombra con cultivos tropicales perennes

Las agencias de servicio de extensión agrícola recomiendan actualmente el cultivo de café y cacao sin árboles de sombra, para obtener el más alto rendimiento posible. Tales recomendaciones se basan en un trabajo experimental realizado en muchos países tropicales, donde se ha demostrado que en los sitios indicados, con el manejo intensivo de monocultivos auto-sombreados, se puede incrementar la producción dos o tres veces, si se le compara con los sistemas mixtos tradicionales (Alvim, 1977; Cabala *et al.*, 1972; Cunningham y Lamb, 1959; Cunningham y Arnold, 1962; Hadfield, 1981; Montes, 1979; Murray, 1956; Willey, 1975; Wrigley, 1969). Sin embargo, existe poca información en relación a la rentabilidad a largo plazo del cultivo sin sombra con relación al cultivo con sombra (Akenkorah, *et al.*, 1974).

Para el pequeño agricultor resulta menos controvertida la inclusión de árboles de sombra, porque ellos, generalmente, tienen su cultivo en un sitio de clase subóptima (Nair, 1980; Purseglove, 1986; Wrigley, 1969). Purseglove (1968) resume algunas de las más importantes consideraciones en el caso en que, como él afirma:

“La sombra reduce la fotosíntesis, la transpiración, el metabolismo y el crecimiento, por consiguiente se reduce también la demanda de nutrimentos del suelo y, así, se capacita a un cultivo para que se mantenga en suelos de baja fertilidad”.

La sombra se recomienda invariablemente en cacao joven (Alvim, 1977; Evans y Murray, 1953); y en los lugares óptimos, debe removerse en forma gradual hasta que el cacao se autosombree (Byrne, 1972; Cunningham y Arnold, 1962; Murray, 1956). Sin embargo, en aquellos casos en que no se puede garantizar un manejo intensivo, más que todo con respecto a la aplicación regular de fertilizantes, se recomienda el mantenimiento de algunos árboles de sombra, tanto para el cacao (Willey, 1975) como para el café (Ostendorf, 1962). Algunas de las muchas ventajas y desventajas de los árboles de sombra se indicarán en este informe, pero parece ser que el aspecto fundamental cuando se planea la renovación o establecimiento de plantaciones de cacao y café, es si el dueño tiene el lugar, educación y recursos para mantener estos cultivos sin sombra. En el caso de cultivos que se exportan, se presenta un riesgo adicional y consiste en que el valor del producto puede fluctuar temporalmente y, en ocasiones, caer a un nivel tal que el agricultor no puede proporcionar los gastos necesarios por más tiempo y, por lo tanto, abandona su plantación. Cacao o café bajo sombra sobrevivirán mejor a esta contrariedad que los monocultivos de estas especies (Haarer, 1962).

El alto riesgo que en sí tienen los cultivos de cacao sin sombra, ha sido indicado por estudios económicos hechos por Cunningham (1963) en Ghana:

“Los gastos y trabajo asociados a la tumba de todos los árboles existentes y el cultivo del cacao sin sombra con el uso de altas dosis de fertilizantes, se justificarán solo cuando se obtengan producciones mayores o iguales a 3000 lb/acre (3360 kg/ha) de cacao seco” (Véase también Vernon, 1967).

Se ha observado que en la gran mayoría de los experimentos de fertilización realizados en plantaciones de cacao hay poca respuesta a la misma cuando se utiliza la sombra (Akenkorah *et al.*, 1974; Alvim, 1977; Byrne, 1972; Cabala *et al.*, 1972; Cunningham, 1959; Cunningham y Arnold, 1962; Murray y Nichols, 1966); y, en tales circunstancias, no se justificaría el uso de fertilizantes. Parte de las investigaciones dedicadas a estos cultivos debería reorientarse, en el sentido de que, en vez de obtener cosechas máximas, los estudios se encaminen a lograr sistemas de producción sostenida para los campesinos de pocos recursos económicos que hacen su agricultura en terrenos marginales.

Algunas de las consecuencias producidas por la sombra en los cultivos pueden ser favorables o desfavorables dependiendo de la situación, por ejemplo: la influencia en el balance hídrico del estrato inferior. Si una interacción particular es beneficiosa o perjudicial dependerá de las características de las especies y del área específica (clima, suelos, otros).

Los árboles de sombra se pueden clasificar (Combe y Budowski, 1979):

- Como una herramienta en el manejo de las condiciones ambientales de cultivos en asocio, por ejemplo, *Erythrina poeppigiana* con café.
- Como un medio en la diversificación de la producción (incluyendo madera) de un cierto lugar, por ejemplo, *Cordia alliodora* con café.
- En algunos casos la sombra llena los objetivos de manejo y de producción, por ejemplo, *Leucaena leucocephala* con café.

Con base en las interacciones sugeridas (véanse ventajas y desventajas), las características de los árboles de sombra dadas se consideran las más apropiadas, pero las de mayor importancia dependen de los objetivos mencionados.

La primera pregunta que se ha de contestar es que si la especie está adaptada a la zona. Finalmente, la mejor prueba de si una especie de árbol es adecuada para la sombra es su rendimiento financiero a largo plazo, cultivada en asociación, comparado con el monocultivo perenne. Las listas adjuntas son solo una guía para escoger las especies que han de ser probadas.

Listas de especies potenciales de sombras arbóreas han sido publicadas para: Brasil (Leite, 1972; Santos y Lebad, 1983; Vinha y Silva, 1982; Camerún (Letousey, 1955); América Central y América del Sur (Jiménez, 1980a, 1980b); Costa Rica (Gutiérrez y Soto, 1976; Holdridge, 1957); Costa de oro (Greenwood y Posnette, 1950); India (Dutta, 1978); Costa de Marfil (Lemee, 1955); Kenya (McClelland, 1935); México (Holdridge, 1957); Sri Lanka (Holland, 1931); Trinidad (Murray, 1956); Uganda (Thomas, 1940); varios países (Cook, 1901; Haarer, 1962; MacMillan, 1943; Wrigley, 1969) y Zaire (Poncin, 1958).

Posibles ventajas de los árboles de sombra con cultivos perennes

Consecuencias que facilitan el manejo del cultivo

- Prevención de sobreproducción y consecuente quema de los ápices ("die back"). Esto resulta en producciones menos variables; las que al cabo de un largo período permiten una utilización eficiente de la maquinaria y de las labores durante la cosecha y el procesamiento (Purseglove, 1968).
- Supresión del desarrollo de malezas (Bermúdez, 1980; Cunningham, 1963; Suárez de Castro *et al.*, 1961; Vernon, 1967).
- Diversificación de la producción, por ejemplo frutos, madera. Además, los árboles maderables representan "un capital permanente" y desde este punto de vista, representan un seguro contra las pérdidas de los cultivos (Somariba y Beer, 1987).
- Control de la fenología del cultivo, por ejemplo, la fructificación y maduración pueden ser influenciadas con el manejo de las condiciones ambientales por medio del control del período de poda de los árboles de sombra o con el uso de árboles deciduos apropiados (Ampofo y Bonaparte, 1981; Carvalho *et al.*, 1961; Evans y Murray, 1953; Greenwood y Posnette, 1950; Hurd y Cunningham, 1961; Vicente-Cahndler *et al.*, 1968; Young, 1984).
- La sombra puede mejorar la calidad del cultivo, por ejemplo del café (Carvalho *et al.*, 1961; Castillo, 1960; Montes, 1979).

Influencias beneficiosas en el ciclo hidrológico

- Disminución en la tasa de evapotranspiración del cultivo sombreado (Alvim, 1960; Fordham, 1972; Hardy, 1962; Jiménez y Golberg, 1982; Lemee, 1955; McCulloch *et al.*, 1965; Nair, 1979; Suárez de Castro *et al.*, 1961).
- Remoción de los excesos de humedad en el suelo mediante la transpiración producida por la densa cobertura vegetal de sombra (Evans y Murray, 1953; Martínez y Enriquez, 1981), por ejemplo las plantaciones de té en el noroeste de la India (Willey, 1975).
- Incremento en la entrada de humedad por medio de la intercepción horizontal de neblina o nubes, por ejemplo *Grevillea robusta* en plantaciones de té en Tanzania (East African Tea Research Institute).

Protección del cultivo de los patógenos, insectos y climas adversos.

- Extensión de la vida productiva del cultivo (Akenkorah *et al.*, 1974, Alvim, 1977).
- Reducción de los valores extremos en la temperatura del aire, suelo y superficie foliar y en algunos casos se mejoran las condiciones microclimáticas para el cultivo, por ejemplo mayor humedad (Alvim, 1958; Alvim, 1960; Cabala *et al.*, 1972; Hadfield, 1968; Nair, 1979; Suárez de Castro *et al.*, 1961; Vicente-Chandler *et al.*, 1968).
- Disminución del daño ocasionado por el granizo y lluvias torrenciales.
- Disminución de algunas enfermedades, plagas e infecciones por parásitos en las plantas (Akenkorah *et al.*, 1974; Alvim, 1960; Nataraj y Subramanian, 1975; Smith, 1981; Tapley, 1961; Thomas, 1940).
- Disminución de la velocidad del viento en el estrato del cultivo (Alvim, 1977; Leite *et al.*, 1981; Schroeder, 1951).

Mejoramiento de la fertilidad y protección del suelo

- El crecimiento y posible muerte de los sistemas radicales de los árboles de sombra favorecen el drenaje y la aireación del suelo (Holland, 1931), por ejemplo fracturando el estrato de subsuelo compactado ("hard pan").
- Provisión de mantillo en el suelo que ayuda a mantener la humedad del suelo en la época seca y aumento de la cantidad de materia orgánica del suelo proveniente de la caída natural de las hojas y de los residuos de la poda (Beer, 1988; Glover y Beer, 1986; Hadfield, 1981; Heuvelodp *et al.*, 1985; Holland, 1931; Santana y Cabala, 1985).
- Disminución de la erosión en las pendientes (Suárez de Castro, 1951; Vicente-Chandler *et al.*, 1968; Wiersum, 1984).
- Disminución en la tasa de descomposición de la materia orgánica del suelo, resultado de la reducción de la temperatura del suelo.
- Recirculación de nutrientes que no son accesibles al cultivo (Ananth *et al.*, 1960).
- Fijación de nitrógeno, producto de los nódulos del sistema radical de los árboles de sombra (Beer, 1988; Escalante *et al.*, 1984; Robertson *et al.*, 1982).

- El manejo de cultivos perennes sin sombra involucra un gran uso de sustancias químicas agrícolas especialmente de herbicidas. Estos pueden producir efectos inhibidores sobre los organismos beneficiosos para el suelo, por ejemplo, descomponedores de materia orgánica y fijadores de nitrógeno de vida libre (Fournier, 1980). El incremento en el contenido de materia orgánica del suelo, creado por la presencia de árboles de sombra, puede promover la actividad de organismos benéficos en el suelo (Nair, 1979).

Posibles desventajas del uso de árboles de sombra con cultivos perennes

Aspectos que obstaculizan el manejo de los cultivos

- Caída natural de los árboles y sus ramas, o la cosecha (corta) de los árboles maduros, dañará el cultivo inferior (Baker, 1941; Beer, 1980).
- Repentinas defoliaciones de los árboles de sombra a causa de insectos o enfermedades pueden producir un cambio brusco en las condiciones ambientales normales del cultivo bajo sombra y ocasionar una muerte progresiva de los ápices; por lo tanto, es preferible el uso de varias especies de sombra que solo una.
- Necesidad de una labor manual extraordinaria para las asociaciones cuando los árboles son regularmente podados (Enríquez, 1986).
- Dificultad en la mecanización del estrato inferior del cultivo.
- Dificil establecimiento de estructuras de control de la erosión (por ejemplo, uso de terrazas) una vez que se plantan los árboles.
- El mejoramiento de las variedades de cultivos está orientado a su adaptación a las condiciones de monocultivo y no a las de sombra (Barúa y Sarma, 1983; Castillo, 1960; Enríquez, 1986; Hadfield, 1968; Montes, 1979).
- Fuerte sombreo que puede reducir la calidad de un cultivo, por ejemplo el té (Hilton, 1975; McCulbch *et al.*, 1965).

Influencias perjudiciales en el ciclo hidrológico.

- Competencia de las raíces de los árboles de sombra por agua en la estación seca y por oxígeno en la lluviosa (Alvim, 1960; Folster y Wood, 1963; Franco, 1951; Hadfield, 1981; Laycock y Wood, 1963; Vernon, 1967).

Fomento de factores adversos y condiciones ambientales perjudiciales.

- La disminución en el movimiento del aire y aumento en humedad pueden favorecer las enfermedades fungosas (Cabala *et al.*, 1972; Carvalho *et al.*, 1961; Dakwa, 1980; Smith, 1981).
- La incidencia de insectos dañinos puede ser mayor en cultivos sombreados (Schroeder, 1951; Wiersum, 1984).
- La existencia de efectos alelopáticos (Araya *et al.*, 1982; Rietveld, 1979), por ejemplo la combinación de nogal (*Juglans* sp.) con café es potencialmente peligrosa.
- Los árboles de sombra pueden ser hospedantes alternos de plagas y enfermedades (Byrne, 1972; Lemee, 1955; Smith, 1981).
- Los árboles de sombra no solo reducen la cantidad de luz disponible, y por lo tanto, el rendimiento de los suelos fértiles (Bonaparte, 1967; Byrne, 1972; Vernon, 1967; Vicente-Chandler *et al.*, 1968), si no también la calidad de la radiación transmitida al absorber diferencialmente ciertas longitudes de ondas importantes en la fotosíntesis (Bainbridge *et al.*, 1966; Nair, 1979).

Reducción en la fertilidad del suelo con respecto al cultivo asociado y mayor erosión

- Las raíces de los árboles de sombra compiten por nutrientes (Folster y Wood, 1963; Gehrke, 1962).
- El agua que corre en el tronco y el goteo, producido por la coalescencia de las gotas de lluvia que se unen en las hojas de los árboles de sombra, pueden ocasionar una redistribución desfavorable de la lluvia, que incrementa la erosión, daña el cultivo y disminuye la absorción de humedad en el suelo (Beer *et al.*, 1981; Govindarajan, 1969; MacMillan, 1943; Suárez de Castro, 1952; Wiersum, 1984).
- La extracción de frutos o madera constituye una salida de los nutrientes del lugar (Fassbender *et al.*, 1985; Glover y Beer, 1984).

Características deseables de los árboles de sombra para cultivos perennes

- Compatibilidad con el cultivo, que significa una competencia mínima por agua, nutrientes y espacio; por ejemplo, que no produzca retoños, desarrollo de la copa sobre el cultivo, sistema radical profundo, mínimo traslape de las zonas de las raíces de las especies superiores e inferiores.
- Sistema radical fuerte (resistente a los vientos). Los árboles de sombra están más expuestos a las condiciones climáticas adversas que los de una plantación forestal o un bosque natural y deben ser capaces de adaptarse al crecimiento en pleno sol.
- Habilidad de propagación vegetativa por medio del enraizamiento de las estacas, para dar rápidamente una sombra adecuada.
- Capacidad para extraer nutrientes del suelo que el cultivo no pueda tomar ¹.
- Habilidad para fijar nitrógeno.
- Posesión de una copa rala que proporcione sombra en parches y no una uniforme que produzca luz de baja calidad fotosintética.
- En el caso de especies productoras de madera, es deseable un diámetro de copa pequeño que:
a) reduzca la resistencia del follaje al viento y, por lo tanto, el riesgo de caída; b) permita densidades relativamente altas de los árboles de sombra sin reducir los niveles de luz por debajo de valores críticos y c) minimice los daños ocasionados al cultivo cuando los árboles (producción sostenida de madera) son cosechados.
- Ramas y tallos no quebradizos.
- Tallos y ramas libres de espinas, para facilitar el manejo.
- Rápido crecimiento apical en las especies productoras de madera.

¹ Este es un punto contencioso ya que varios autores describen los árboles como "bombas" de nutrientes que proveen elementos que no están al alcance de las raíces del cultivo inferior. No obstante, Budowski (1981) afirma que las "raíces horizontales largas y superficiales son una característica ventajosa, ya que así pocos nutrientes escapan del sistema combinado de raíces cultivo - árbol". De hecho, con excepción de suelos arenosos, hay poca evidencia en los trópicos húmedos, que demuestre que los sistemas radicales del cultivo y del árbol ocupen diferentes niveles en el suelo. En áreas con alta precipitación, la mayoría de las raíces alimenticias de todas las plantas están cerca de la superficie del suelo.

- Autopoda y, en condiciones de crecimiento libre, formación de fustes rectos no bifurcados, en el caso de especies productoras de madera.
- Tolerancia a fuertes podas repetidas.
- Presencia de una alta producción de biomasa, recirculación de nutrimentos por la caída de hojas o por las podas. Residuos vegetales de fácil descomposición.
- En el caso de los árboles deciduos, que rápidamente generen nuevas hojas para restablecer las condiciones originales de sombra.
- Ausencia de susceptibilidad a enfermedades o insectos que podrían provocar una defoliación súbita.
- Presencia de hojas pequeñas, para evitar el efecto de unión de las gotas de lluvia que causan daños por golpeteo.
- Ausencia de efectos alelopáticos.
- Presencia de una corteza lisa que no permita hospedar epífitas.
- Producción de madera de valor, frutas o cualquier otro producto, por ejemplo el hule en *Hevea* spp.
- Que no sea hospedante alterno de insectos patógenos, principales enemigos del cultivo.
- Las especies de sombra no deben tener la capacidad de reproducirse como malas hierbas, por ejemplo, *Ricinus communis* y *Leucaena leucocephala* (en ciertas zonas).

Véase también Haarer (1962), MacMillan (1943), Martínez y Enríquez (1981) y Thomas (1940).

Bibliografía

- AKENKORAH, Y.; AKROFI, G. S.; ADRI, A. K. 1974. The end of the first cocoa shade and manurial experiment at the Cocoa Research Institute of Ghana. *Journal of Horticultural Science* 49: 43-51.
- ALVIM, P. de T. 1958. El problema del sombreado del cacao desde el punto de vista fisiológico. *Agronomía (Perú)* 25: 34-42.
- ALVIN, P. de T. 1960. Las necesidades de agua del cacao. *Turrialba* 10: 6-16.
- ALVIM, P. de T. 1977. Cacao. III. Climate. *In: Ecophysiology of tropical crops*. P. de T. Alvim, T. T. Kozłowski (Eds.). New York, Academic Press. p. 280-289.
- AMPOFO, S. T.; BONAPARTE, E. E. 1981. Flushing flowering and pod-setting of hybrid cocoa in a cocoa/shade/spacing/cultivar experiment. *In: International Cocoa Research Conference (7, 1979, Cameroon)*. Proceedings. Lagos, Nigeria, Cocoa Producers Alliance. p. 103-108.
- ANANTH, B. R.; IYENGAR, B. R. V.; CHOKKANNA, N. G. 1960. Studies on the seasonal variations of plant foods under different shade trees. *Indian Coffee* 24: 347-361.
- ANAYA, A. L.; OCOTHA, G. R.; ORTIZ, L. M.; RAMOS, L. 1982. Potencial alelopático de las principales plantas de un cafetal. *In: Estudios ecológicos en el agroecosistema cafetalero*. A. E. Jiménez, A. Gómez-Pompa (Eds.). Xalapa, México, INIREB. p. 85-94.
- BAINBRIDGE, R.; EVANS, G. C.; RACKHAM, O. (Eds.). 1966. *Light as an ecological factor*. Oxford, England, Blackwell. 452 p.
- BAKER, R. E. D. 1941. Immortal disease. *Tropical Agriculture* 18: 96-101.
- BARUA, D. N.; SARMA, P.C. 1983. Effect of leaf-pose and shade on yield of cultivated tea. *Horticultural Abstract* 3: 374. (*Indian Journal of Agricultural Sciences* 52: 653-656).
- BEER, J. W. 1980. *Cordia alliodora* with *Theobroma cacao*: traditional agroforestry combination in the humid tropics. Turrialba, Costa Rica, CATIE. 5 p. (Mimeo).
- BEER, J. W. 1988. Litter production and nutrient cycling in coffee (*Coffea arabica*) or cacao (*Theobroma cacao*) plantations with shade trees. *Agroforestry Systems* 7: 103-114.
- BEERM J. W. CLARKIN, K. L.; DE LAS SALAS, G.; GLOVER, N. L. 1981. A case study of traditional agroforestry practices in a wet tropical zone: The "La Suiza" project. *In: Las ciencias forestales y su contribución al desarrollo de la América Tropical*. M. Chavarría (Ed.). San José, Costa Rica, CONICIT-INTERCIENCIA-SCITEC. p. 191-209.

- BERMUDEZ, M. M. 1980. Erosión hídrica y escorrentía superficial en el sistema de café (*Coffea arabica* L.) y poró (*Erythrina poeppigiana* (Walper) O.F. Cook) en Turrialba, Costa Rica. Tesis Mag. Sc. Turrialba, Costa Rica. CATIE-UCR. 74 p.
- BONAPARTE, E. E. 1967. Interspecific competition in cocoa shade and fertilizer experiment. *Tropical Agriculture* 44: 13-19.
- BUDOWSKI, G. 1981. Applicability of agroforestry systems. *In: Agroforestry in the African humid tropics*. L.H. MacDonald (Ed.). Tokyo, Japan, United Nations University. p. 13-16.
- BYRNE, P. N. 1972. Cacao shade spacing and fertilizing trial in Papua and New Guinea. *In: International Cocoa Research Conference (4, 1972, Tri.)*. St. Augustine, Tri. p. 275-286.
- CABALA, P.; MIRANDA, E. R.; SANTANA, C. J. L. 1972. Interacción sombra- fertilizantes en cacaotales de Bahía. *In: International Cocoa Research Conference (4., 1972, Tri.)*. St. Augustine, Tri. p. 181-189.
- CARVALHO, A.; KRUG, C. A.; MENDES, J. E. T.; ANTUNES, F.; JUNQUEIRA, A. R.; ALOISI, J.; ROCHA, T. R.; MORAES, M. V. 1961. Melhoramento do cafeeiro. *Bragantia* 20: 1045-1142.
- CASTILLO, J. 1960. Rendimiento de las variedades Typica y Boubon del *C. arabica* L., en diferentes condiciones de cultivo. *Cenicafe* 11: 137-142.
- COMBE, J.; BUDOWSKI, G. 1979. Classification of agroforestry techniques. *In: Proc. Agroforestry Systems in Latin America*. G. De las Salas (Ed.). Turrialba, Costa Rica, CATIE. p. 17-47.
- COOK, O. F. 1901. Shade in coffee culture. Washington, USDA . Bulletin no. 25. 79 p.
- CUNNINGHAM, R. K. 1959. A review of the use of shade and fertilizer in the culture of cocoa. London, England, West African Cocoa Research Institute. Technical Bulletin no. 6. 15 p.
- CUNNINGHAM, R. K. 1963. What shade and fertilizers are needed for good production. *Cocoa Growers Bulletin* 1: 11-16.
- CUNNINGHAM, R. K.; LAMB, J. 1959. A cocoa shade and manurial experiment at the West African Cocoa Research Institute, Ghana. A first year. *Journal of Horticultural Science* 34: 14-22.
- CUNNINGHAM, R. K.; ARNOLD, P. W. 1962. The shade and fertilizer requirements of cacao (*Theobroma cacao*) in Ghana. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 13: 213-221.
- DAKWA, J. T. 1980. The effects of shade and NPK fertilizers on the incidence of cocoa black pod disease in Ghana. *Horticultural Abstracts* 59: 87. (Ghana J. Agricultural Science 9(3): 179-184).
- DUTTA, A. C. 1978. Shade trees, green crop and cover crop plants in the tea estates of North East India. *Horticultural Abstracts* 48): 357. (Jorhat/Assam. 1977. Tocklai Exp. Station. Memo No. 30. 128 p).

- ENRIQUEZ, G. A. 1986. Respuesta del cacao híbrido a dos sistemas de sombra en Turrialba, Costa Rica. *In: Proceedings of the seminar: Advances in Agroforestry Research*. J.W. Beer, H.W. Fassbender (Eds.). Turrialba, Costa Rica. CATIE. p. 141-145.
- ESCALANTE, G.; HERRERA, R.; ARANGUREN, J.; HEUVELDOP, J. 1984. Fijación de nitrógeno en árboles de sombra (*Erythrina poeppigiana*) en cacaotales del Norte de Venezuela. *Pesquisa Agropecuaria Brasileira* 19: 230.
- EVANS, H.; MURRAY, D.E. 1953. A shade and fertilizer experiment on young cacao. *In: Report Cacao Research 1945-51*. St. Augustine, Tri., Imperial College of Tropical Agriculture. p. 67-76.
- FASSBENDER, H. W.; ALPIZAR, L.; HEUVELDOP, J.; ENRIQUEZ, G.; FOLSTER, H. 1985. Sistemas agroforestales de café (*Coffea arabica*) con laurel (*Cordia alliodora*) y café con poró (*Erythrina poeppigiana*) en Turrialba, Costa Rica. III. Modelos de la materia orgánica y los elementos nutritivos. *Turrialba* 35: 403-413.
- FORDHAM, R. 1972. Irrigation and shade experiment, Las Hermanas. *In: Annual Report on Cacao 1971*. St. Augustine, Tri., Univ. W. Indies. p. 38-46.
- FOLSTER, L. J.; WOOD, R. A. 1963. Observations on the effects of shade and irrigation on soil-moisture utilization under coffee in Nyasaland. *Empire Journal of Experimental Agriculture* 31: 108-114.
- FOURNIER, L. A. 1980. Fundamentos ecológicos del cultivo de café. San José, Costa Rica, IICA/PROMECAFE. Publicaciones Misceláneas no. 230. 29 p.
- FRANCO, C. M. 1951. A agua do solo e o sombreamento dos cafezais na America Central. *Bragantia* 11: 99-119.
- GEHRKE, M. R. 1962. Distribution of absorbing roots of coffee (*Coffea arabica*) and rubber (*Hevea brasiliensis*) in mixed plantings in two ecological zones of Costa Rica. *Mag. Sc. Thesis*. Turrialba, Costa Rica, IICA. 117 p.
- GLOVER, N.; BEER, J. W. 1984. Spatial and temporal fluctuations of litterfall in the agroforestry associations *Coffea arabica* var. Caturra - *Erythrina poeppigiana* - *Cordia alliodora*. Turrialba, Costa Rica, CATIE. 49 p. (Mimeo).
- GLOVER, N.; BEER, J. W. 1986. Nutrient cycling in two traditional Central American agroforestry systems. *Agroforestry Systems* 4: 77-87.
- GOGOI, B.N. 1977. A review of research on shade in tea. *Horticultural Abstracts* 47: 917. (Two Bud 23 (2): 67-73).
- GOVINDARAJAN, A. G. 1969. Shade trees for coffee. IX *Syzygium jambolanum* D.C. *Indian Coffee* 33: 219-224.
- GREENWOOD, M.; POSNETTE, A. F. 1950. The growth flushes of cacao. *Journal of Horticultural Science* 25: 164-174.
- GUTIERREZ, Z. G.; SOTO, B. 1976. Árboles usados como sombra en café y cacao. *Revista Cafetalera* 18: 27-32.

- HAARER, A. E. 1962. Modern coffee production. London, Leonard Hill. 495 p.
- HADFIELD, W. 1968. Leaf temperature, leaf pose, and productivity of the tea bush. *Nature* 219: 282-284.
- HADFIELD, W. 1974. Shade in North-East Indian tea plantations. I. The shade pattern. *Journal of Applied Ecology* 11: 51-78.
- HADFIELD, W. 1981. Climatic constraints in Ecuadorian cocoa production. *In: International Cocoa Research Conference (7, 1979, Cameroon). Proceedings. Lagos, Nigeria, Cocoa Producers Alliance. p. 13-24.*
- HARDY, F. 1962. La sombra del cacao en relación con la intercepción de lluvia. *Turrialba* 12: 80-86.
- HEUVELDOP, J.; ALPIZAR, L.; FASSBENDER, H. W.; ENRIQUEZ, G.; FOLSTER, H. 1985. Sistemas agroforestales de café (*Coffea arabica*) con laurel (*Cordia alliodora*) y café con poró (*Erythrina poeppigiana*) en Turrialba. II. Producción agrícola, maderable y de residuos vegetales. *Turrialba* 35: 347-355.
- HILTON, P. J. 1974. The effect of shade upon the chemical composition of the flush of tea (*Camellia sinensis*). *Tropical Science* 16: 15-22.
- HOLDRIDGE, L. R. 1957. Árboles de sombra para el cacao. *In: Manual del curso de cacao. A. L. Erickson (Ed.). Turrialba, Costa Rica, IICA. p. 113-117.*
- HOLLAND, T. H. 1931. The green manuring of tea, coffee and cacao. *Tropical Agriculture* 77: 71-98, 197-218.
- HURD, R. G.; CUNNINGHAM, R. K. 1961. A cocoa shade and manurial experiment at the West African Cocoa Research Institute Ghana. III. Physiological results. *Journal of Horticultural Science* 36: 126-137.
- JIMENEZ, A. E.; GOLBERG, A. D. 1982. Estudios ecológicos del agroecosistema cafetalero. III. Efecto de diferentes estructuras vegetales sobre el balance hídrico del cafetal. *In: Estudios ecológicos en el agroecosistema cafetalero. A.E. Jiménez, A. Gómez-Pompa (Eds.). Xalapa, México, INIREB. p. 39-54.*
- JIMENEZ, V. G. 1980a. Asociación de especies frutales con cacao. Turrialba, Costa Rica, CATIE. 16 p. (Mimeo).
- JIMENEZ, V. G. 1980b. El sombreado de cacao. Turrialba, Costa Rica, CATIE. 26 p. (Mimeo).
- LAYCOCK, D. H.; WOOD, R. A. 1963. Some observations on soil moisture use under tea in Nysaland. II. The effect of shade trees. *Tropical Agriculture* 40: 42-48.
- LEITE, J. de O. 1972. Medida de densidade de sombramento em cacaousais com base em fotografias aéreas. *In: International Cocoa Research Conference (4., 1972, Tri.). Proceedings. St. Augustine, Trinidad. p. 300-311.*
- LEITE, R. M. de O.; ALVIM, R.; ALVIM, P. de T. 1981. Effects of wind and solar radiation on the mechanical rupture of the cacao pulvinus (Abstract). *In: International Cocoa Research Conference (7, 1979, Cameroon). Proceedings. Lagos, Nigeria, Cocoa Producers Alliance. p. 129.*

- LEMEE, G. 1955. Influence de l'alimentation en eau et de l'ombrage sur l'economie hydrique e la photosynthese du cacaoyer. *Agronomie Tropicale* 10: 592-603.
- LETOUSEY, R. 1955. Les arbres d'ombrage des plantations agricoles Camerounaises. *Bois et Forets des Tropiques* 42: 15-25.
- MACMILLAN, H. F. 1943. *Tropical planting and gardening*. London, MacMillan. p. 208-214.
- MARTINEZ, A.; ENRIQUEZ, G. 1981. La sombra para el cacao. Turrialba, Costa Rica, CATIE. Boletín Técnico no. 5. 93 p.
- McCLELLAND, T. L. 1935. Coffee shade in Kenya. *East African Agricultural and Forestry Journal* 1: 107-118.
- McCULLOCH, J. S. G.; PEREIRA, H. C.; KERFOOT, O.; GOODCHILD, N. A. 1965. Effect of shade trees on tea yields. *Agricultural Meteorology* 2: 385-399.
- MONTES, S. 1979. Estudios del porcentaje de granos vanos, y el rendimiento de *Coffea arabica* var. Caturra Rojo y Amarillo en plantaciones al sol y a la sombra. *Ciencia y Técnica en la Agricultura: Café y Cacao* 1: 35-45.
- MURRAY, D. B. 1956a. Shade trees for cacao. *In: Report Cacao Res. 1955-56*. Tri., Imperial College of Tropical Agriculture. p. 45-47.
- MURRAY, D. B. 1956b. The use of shade for cacao. *In: Conf. Interam. Cacao* (6, 1956). Bahia, Brasil. p 111-116.
- MURRAY, D. B.; NICHOLS, R. 1966. Light, shade and growth in some tropical plants. *In: Light as an ecological factor*. R. Bainbridge, G.C. Evans, O. Rackham (Eds.). Oxford, England, Blackwell. p. 249-263.
- NAIR, P. K. R. 1979. *Intensive multiple cropping with coconuts in India: Principles, programs and prospects*. Berlin, Germany, Parey. 147 p.
- NAIR, P. K. R. 1980. *Agroforestry species: A crop sheets manual*. Nairobi, Kenya, ICRAF. 336 p.
- NATARAJ, T.; SUBRAMANIAN, S. 1975. Effect of shade and exposure on the incidence of brown-eye-spot of coffee. *Indian Coffee* 39(6): 179-180.
- OBAGA, S. O. 1985. Shade trees in tea: A review. *Horticultural Abstracts* 55: 409. (Tea 5: 39-47).
- OSTENDORF, F.W. 1962. The coffee shade problem. *Tropical Abstracts* 17: 577-581.
- PONCIN, L. 1958. The use of shade at Lukolela Plantations. *In: Report Cocoa Conf. 1957*. London, The Cocoa, Chocolate and Confectionery Alliance. p. 281-288.
- PURSEGLOVE, J. W. 1968. *Tropical Crops: Dicotyledons*. New York, Wiley. 719 p.

- RIETVELD, W. J. 1979. Ecological implications of allelopathy in forestry. *In*: John S. Wright, H. Holt, B. C. Fisher (Eds.). Purdue, Indiana, Purdue University. p. 91-112.
- ROBERTSON, G. P.; HERRERA, R.; ROSSWALL, T. (Eds.). 1982. Nitrogen cycling in ecosystems of Latin America and the Caribbean. *Plant Soil* 67: 241-291.
- ROBINSON, J. B. D. (Ed.). 1964. A handbook on *Arabica* coffee in Tanganyika. Tanganyika Coffee Board. 182 p.
- SANTANA, M. B.; CABALA, P. 1985. Recilagem de nutrientes en uma plantacao de cacau sombreada com *Erythrina*. *In*: International Cocoa Research Conference (9, 1984, Togo). Proceedings. Lagos Nigeria, Cocoa Producers Alliance. p. 205-210.
- SANTOS, M. O.; LEBAO, D. E. 1982. Sombreamiento definitivo do cacauero. Ilheus, Bahia, Brasil, Comissao Executiva do Plano da Lavoura Cacaueira. 24 p.
- SCHROEDER, R. 1951. Resultados obtenidos de una investigación del microclima en un cafetal. *Cenicafé* 2: 33-43.
- SMITH, E. S. C. 1981. The interrelationships between shade types and cocoa pest and disease problems in Papua New Guinea. *In*: Cocoa Research Conference (7, 1979, Cameroon). Lagos, Nigeria, Cocoa Producers Alliance. p. 37-43.
- SOMARRIBA, E.; BEER, J. W. 1987. Dimensions, volumes and growth of *Cordia alliodora* in agroforestry systems. *Forest Ecology and Management* 18: 113-126.
- SUAREZ DE CASTRO, F. 1951. Experimentos sobre la erosión de los suelos. Chinchilla, Col., Federación Nacional de Cafetaleros de Colombia. *Boletín Técnico* no. 6. 44 p.
- SUAREZ DE CASTRO, F. 1952. Potencialidad erosiva de las lluvias dentro de un cafetal y al aire libre. *Cenicafé* 3: 21-31.
- SUAREZ DE CASTRO, F.; MONTENEGRO, L.; AVILES, P. C. MORENO, M. M.; BOLAÑOS, M. 1961. Efecto del sombrero en los primeros años de vida de un cafetal. Santa Tecla, Salv., Instituto Salvadoreño de Investigaciones del Café. 36 p.
- TAPLEY, R G. 1961. Crinkle-leaf of coffee in Tanganyika. *Kenya Coffee* 26: 56-57.
- THOMAS, A. S. 1940a. Robusta coffee. *In*: Agriculture in Uganda. J. P. Tothill (Ed.). London, Oxford University Press. 551 p.
- THOMAS, A. S. 1940b. Arabica coffee. *In*: Agriculture in Uganda. J. P. Tothill (Ed.). London, Oxford University Press. 551 p.
- THOMAS, A. S. 1940c. Shade trees. *In*: Agriculture in Uganda. J. P. Tothill (Ed.). London, Oxford University Press. 551 p.

- VERNON, A. J. 1967a. New developments in cocoa shade studies in Ghana. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 18: 44-48.
- VERNON, A. J. 1967b. Yield and light relationship in cocoa. *Tropical Agriculture* 44: 223-238.
- VICENTE-CHANDLER, J.; ABRUÑA, F.; BOSQUE-LUGO, R.; SILVA, S. 1968. Intensive coffee culture in Puerto Rico. University of Puerto Rico, Agricultural Experiment Station. Bulletin no. 221. p. 23-28.
- VINHA, S. G.; SILVA, L. A. 1982. Árvores aproveitadas como sombreadoras de cacauzeiros no sul da Bahia e norte do Espírito Santo. Ilheus, Bahia, Bra., Comissão Executiva do Plano da Lavoura Cacaueira. 136 p.
- WIERSUM, K. F. 1984. Surface erosion under various tropical agroforestry systems. *In: Symposium on Effects of Forest Land Use on Erosion and Slope Stability*. C.L. O'loughlia, A.J. Pearce (Eds.). Honolulu, Hawaii, East-West Center. p. 231-239.
- WILLEY, R. W. 1975. The use of shade in coffee, cocoa and tea. *Horticultural Abstracts* 45: 791-798.
- WILLEY, G. 1969. *Tropical agriculture: The development of production*. London, England, Faber. 376 p.
- YOUNG, A. M. 1984. Flowering and fruit-setting patterns of cocoa trees (*Theobroma cacao* L.) at three localities in Costa Rica. *Turrialba* 34: 129-142.

Establecimiento y manejo de linderos con árboles maderables

John Beer
Ricardo Luján
Arturo Vargas

- **Introducción**
- **Ventajas y desventajas de los linderos con árboles maderables**
- **Criterios de selección de especies arbóreas para linderos**
- **Criterios de selección de sitios para sembrar árboles en linderos**
- **Consideraciones técnicas para establecer árboles en linderos**
- **Experiencias de siembras de árboles maderables en linderos**
- **Conclusiones**
- **Recomendaciones**
- **Bibliografía**

* Publicado también en: *Plantaciones de Arboles en Línea*. CATIE. Módulo de Enseñanza Agroforestal No.1 .1998. p.73-93

Establecimiento y manejo de linderos con árboles maderables

Introducción

En un sentido estricto, los linderos pueden definirse como los límites espaciales de una propiedad. Ellos definen el dominio espacial del inmueble y, por tanto, enmarcan las posibilidades de realización de actividades que su propietario puede organizar y desarrollar con cierta independencia, en consideración de su libre albedrío. En el caso de las propiedades dedicadas a la realización de actividades forestales, agrícolas o ganaderas, la delimitación de los linderos reviste especial importancia, según se les considere social o productivamente.

Desde el punto de vista social, los linderos establecen las relaciones entre el propietario del inmueble y sus vecinos, lo cual exige que estos estén claramente definidos, es decir, que no deben dejar dudas o ambigüedades, para que las relaciones entre diferentes propietarios se mantengan de manera armónica, de acuerdo con los preceptos de respeto mutuo y delimitación de actividades. Desde el punto de vista productivo, los linderos y su forma de demarcación pueden tener influencias en las actividades realizadas por los diferentes propietarios colindantes, por lo que interesa que las actividades que ambos desarrollan, eviten en lo posible que se generen conflictos de intereses.

En un sentido más amplio, los linderos pueden considerar las diferentes divisiones que pueden establecerse dentro de un mismo predio, para separar diferentes actividades productivas, como puede ser el caso de separaciones de pastizales para la producción ganadera, o para separar estas de las actividades agrícolas propiamente dichas. Para efectos de esta presentación, entenderemos los linderos en su sentido amplio.

Los linderos pueden ser demarcados de diferentes formas, las cuales responden plenamente a las actividades que el propietario o finquero realice. De esta manera, los linderos pueden ser demarcados simplemente por mojones, carriles desnudos de vegetación, cercos con alambres de púas sostenidos por postes de madera, concreto o arbustos y árboles. Cuando el propósito principal de sembrar árboles y arbustos es de sostener el alambre, se les denomina cercos vivos.

Un caso especial de demarcación de los linderos de una finca es aquel que se realiza utilizando la siembra de árboles maderables o frutales en una hilera que coincide con los límites de la propiedad o sus divisiones internas, con el fin de lograr utilidades marginales a la actividad productiva principal. Debe entenderse por árboles maderables, como aquellos que madera o postes o ambos productos y que tengan un valor real en el mercado. Es a este tipo de demarcación de linderos al que haremos referencia a lo largo de este planteamiento.

Cabe entonces preguntarse si este tipo de siembra de árboles maderables en hileras sobre los linderos de una finca constituye un verdadero sistema agroforestal. La respuesta a esta interrogante, no puede, sin embargo, ser categórica, pues dependerá de la influencia de los árboles sobre las actividades agrícolas o ganaderas de la finca.

Si este tipo de lindero se establece en áreas de pastizales dedicados a la producción ganadera, posiblemente no pueda considerarse como un sistema silvopastoril en todo el sentido de la palabra. Su influencia sobre toda la pradera dependerá del tamaño de los apartos y distancia entre los linderos. Podría ser de escasa importancia y para los animales podría significar únicamente la disponibilidad de más sombra para atenuar el calor y aumentar su confort, con lo que indirectamente podría mejorarse la producción. Tampoco sería una verdadera cortina rompevientos. Pero si por el contrario el lindero coincide con los límites de plantaciones de cultivos (p.e. cacao o plátano), los árboles del lindero podrían tener una decidida influencia por los beneficios como la sombra, y por otro lado generar competencia con el cultivo, constituyéndose en un verdadero sistema agroforestal.

Ventajas y desventajas de los linderos con árboles maderables

El uso de árboles maderables (o frutales) en los linderos, a diferencia de sembrarlos en plantaciones puras, representa una alternativa que debe ser valorada por el productor en términos económicos y de las relativas ventajas o desventajas que eventualmente puedan derivarse para la producción principal de la explotación. Esta decisión conlleva necesariamente la inversión de recursos, tanto financieros como de mano de obra, manejo, administración e insumos, por lo que se impone un análisis cuidadoso para tomar la decisión de plantar árboles en los linderos.

Para facilitar este análisis, los principales factores que deben considerarse se presentan a continuación.

A. Ventajas

1. El establecimiento de este tipo de linderos permite una delimitación clara e inequívoca de la propiedad o finca, lo que produce un efecto de reafirmación de su dominio, evitando posibles conflictos legales con sus vecinos, invasiones de precaristas, etc.
2. Es una forma de producir madera o frutos comercializables en áreas no utilizadas o marginales, con relativa poca competencia con los cultivos.

3. Reduce eventualmente el crecimiento de vegetación en los linderos e incrementa el beneficio de la inversión que normalmente se realiza en el mantenimiento de las rondas, aprovechándose mejor las chapeas que anualmente se realizan con ese fin.
4. Incrementa el valor de la propiedad, además de que contribuye a su embellecimiento.
5. Los raleos y podas pueden producir postes para utilizarlos en la construcción de otras cercas que sean necesarias en la finca.
6. Las tasas de crecimiento de los árboles sembrados en este sistema se han observado consistentemente que son mejores que las que se dan en las plantaciones en bloque. Aunque estas últimas pueden producir más madera por unidad de área sembrada, la plantación en linderos reduce el tiempo de cosecha porque cada árbol tiene menos competencia.
7. En casos de disponibilidad restringida de tierra para dedicarla a la producción forestal, este sistema permite a los pequeños productores incorporarse en los proyectos de reforestación.
8. Generalmente las legislaciones forestales de los países reconocen este sistema de cultivo de árboles como objeto para la concesión de incentivos forestales en los programas de reforestación.
9. La baja densidad de la población de árboles y su distribución lineal entre áreas agrícolas son factores que pueden contribuir a la disminución de la propagación de plagas y enfermedades, comparado con las que podrían darse en las plantaciones forestales en bloques.
10. Debido a que en este sistema no se presenta la competencia lateral, es posible atrasar los raleos, lo que ofrece más flexibilidad al propietario en contraste con las plantaciones en bloque donde la productividad puede ser permanentemente reducida si no se implementan los raleos en el momento oportuno.

B. Desventajas

1. En este sistema, los costos de protección por árbol, al menos durante los primeros dos años mientras alcanzan un desarrollo significativo, suelen ser más elevados que los de las plantaciones puras. Este aspecto es particularmente crítico en el caso de los linderos que se establecen en áreas dedicadas al pastoreo del ganado, por la posibilidad del daño por parte de los animales, ya sea por pisoteo, por rascarse o por ingestión del follaje tierno; de igual forma, es crítico en las áreas con frente a caminos públicos por el daño o hurto que pueden ocasionar las personas.

2. La influencia de los árboles establecidos en los linderos se extiende a las dos áreas que se pretende delimitar, por lo que eventualmente se pueden presentar conflictos de intereses con un vecino (reclamos por la sombra o sobre los productos comerciales), por lo que es recomendable consultar a los dueños de propiedades adyacentes que se afecten antes de iniciar el establecimiento. Una manera práctica de reducir este problema es tomar la decisión de plantar los árboles a la distancia del límite que la ley establece para que no exista la posibilidad de reclamos por el vecino, distancia que puede variar de 1 a 2,5 m, según el país y su legislación.
3. Si los árboles sembrados coinciden con el límite de la propiedad y se utilizan como soporte del alambre que divide los predios, debe considerarse que esta práctica afectará negativamente la calidad de la madera por efecto del uso de los clavos o grapas para la fijación del alambre. En efecto, debe considerarse que por esta vía pueden perderse entre 1,0 y 1,5 m de la troza basal, que es la más valiosa, si las grapas y alambre quedan hundidos en la madera. Nuevamente la recomendación anterior de sembrar los árboles a distancia prudencial del límite de la propiedad evita que se clave el alambre en ellos. Otra solución, aunque más costosa, podría ser el uso adicional de postes muertos dentro del lindero maderable, para clavar en ellos el alambre y darle sostén.
4. Si se plantan especies frutales en el lindero y se utilizan a su vez como soporte del alambre de la cerca, es una tendencia natural utilizar el alambre para escalar el árbol y cosechar las frutas, en cuyo caso el costo de reparaciones de cercas se incrementará por el daño que esto ocasiona.
5. En el caso de la siembra de este tipo de linderos en campos de cultivos, inevitablemente se establecerán relaciones de competencia entre el árbol y el cultivo. La intensidad de la competencia dependerá básicamente del tipo de cultivo, el tipo de suelo, la especie forestal y su estado de desarrollo y manejo (podas, raleos). Aunque existe poca información al respecto, puede decirse que el área de influencia de los árboles sobre el cultivo se extenderá en el espacio aéreo al área de proyección de la sobra (competencia por luz) y bajo la tierra a la extensión de sus raíces (competencia por agua, nutrimentos y posibles relaciones alelopáticas). En el caso de cultivos perennes como cacao, plátano o café, el cultivo puede actuar negativamente sobre el crecimiento y desarrollo del árbol juvenil, mientras este se mantenga bajo el dosel del cultivo.
6. El valor comercial de las especies forestales en linderos puede verse disminuido por la forma más cónica y ramificada al existir una menor competencia lateral, comparada con la que se presenta en las plantaciones en bloque. Existe, en otras palabras, una mayor libertad de crecimiento que puede ser detrimental para el valor comercial del fuste de una especie maderable. Por ello, la selección de la especie que se plantará es un aspecto de importancia relevante, proceso en el que obviamente intervienen, además, las condiciones del suelo, climáticas y geográficas del sitio (altura, latitud).

7. Los costos iniciales de mantenimiento de los árboles en linderos son más altos que en plantaciones, debido a que en los linderos el crecimiento de las malezas es mayor que en las plantaciones en donde los doseles cierran rápidamente. En consecuencia, las rondas de los árboles sembrados en los linderos se deben limpiar durante más tiempo, al menos hasta que los árboles alcancen un estado de desarrollo que minimice su desventaja competitiva con las malezas.
8. Los árboles sembrados en linderos de áreas de pastoreo pueden ser afectados por el pisoteo de los animales, ya que en ellos existe la tendencia a caminar cerca de los árboles (como protección contra el calor aprovechando la sombra), con una concentración del pisoteo que aumenta la compactación del suelo en el área de desarrollo de las raíces del árbol. También los animales tienen la tendencia de buscar los árboles para rascarse lo que eventualmente puede producir daños físicos al árbol. En el caso de que las hojas del árbol sean comestibles, el daño será mucho mayor.

Criterios de selección de especies arbóreas para linderos

La decisión de plantar árboles en los linderos de la finca, necesariamente involucra la interrogante de cuáles especies plantar si lo que se pretende es realizar una inversión que en el mediano plazo produzca ingresos que justifiquen dicha inversión. Es por esta razón que consideramos importante incluir en este manual algunos criterios que deben observarse para la selección de las especies que pueden plantarse para tratar de asegurar el éxito de la inversión. Entre ellos destacan:

El valor comercial de la especie. Es importante enfatizar este criterio, pues el finquero requiere que la siembra de árboles maderables en sus linderos produzca, en el mediano plazo, ingresos que justifiquen el esfuerzo e inversión. En el caso de árboles maderables, deberá buscarse que los mismos produzcan al menos maderas de mediana calidad, aunque el óptimo sería introducir árboles de madera de alta calidad. Ello dependerá de la consideración de otros factores que analizaremos posteriormente. En el caso de los frutales, las opciones de comercialización y la demanda de los frutos será el factor más influyente en la decisión de la especie.

Crecimiento apical rápido (para maderables). El retorno a la inversión realizada en cualquier negocio, además de apropiada, se busca que se concrete en el menor tiempo posible por los problemas que ocasiona en la disponibilidad del flujo de caja la inversión no retornable en el corto plazo. Esta es una realidad inherente a la producción agrícola, pecuaria y forestal, por lo que el crecimiento rápido de la especie puede contribuir a aliviar este problema por producir más rápidamente el producto esperado y también porque la especie alcance más rápidamente un desarrollo que disminuya los costos de mantenimiento del lindero. Algunas especies permiten la extracción de un producto secundario durante

su crecimiento, como es el caso de la producción de postes como producto de los raleos o bien de leña como producto de las podas y raleos.

Autopoda en condiciones de campo abierto. Como ya fue comentado, los árboles en linderos tienden a tener peor forma que los árboles en plantaciones en bloque debido a la ausencia de competencia lateral por la luz. Eso resulta en una mayor ramificación y persistencia de las ramas lo cual implica mayores costos de aprovechamiento y aserrijo, y una madera de menor calidad debido a los nudos grandes que quedan en la madera de estas ramas. Algunas especies maderables, como *Cordia alliodora*, son conocidas por su hábito de "autopoda" de ramas en la parte inferior del fuste, aún cuando están en campo abierto y hay disponibilidad de luz para todas las ramas. En otras palabras, las ramas inferiores de estas especies se secan y caen rápidamente, por lo que es preferible seleccionarlas para las plantaciones en linderos, pues permiten la reducción de costos y el incremento del valor del producto.

Resultados previos alentadores. La consideración de experiencias previas realizadas por otros finqueros o proyectos y las preferencias en la zona, ya sea en plantaciones puras de bloques o en forma de linderos, deben aportar criterios de selección de la especie que se desea plantar. De estas experiencias deberá considerarse los tiempos de desarrollo de la especie, los diámetros de los fustes desarrollados en el tiempo, las formas de crecimiento, la comercialización de los productos y subproductos, el manejo y las inversiones necesarias. La decisión de sembrar especies exóticas o nativas debe ser de los finqueros y no de los técnicos.

Disponibilidad de semilla certificada. Las probabilidades de éxito de la inversión se pueden aumentar si existen fuentes para la obtención de semillas o arbolitos certificados. Se deberá utilizar material genético de alta calidad que produzca plantas fuertes, sanas y principalmente con una conformación ideal concordante con los objetivos de la producción que se pretende. El uso de material genético de calidades o procedencias dudosas debe evitarse, pues el riesgo que se corre de malograr la inversión es alto. La selección de plantas sanas y vigorosas en el vivero es igualmente un factor de alta importancia.

Susceptibilidad a plagas y enfermedades. Debe evitarse utilizar especies que reconocidamente son susceptibles a plagas y enfermedades en la zona o bien con problemas ampliamente reconocidos como en el caso de las especies de caoba (*Swietenia macrophylla*) o el cedro amargo (*Cedrella odorata*) de gran susceptibilidad al ataque del barrenador del tallo (*Hypsipylla grandella*).

Copa delgada y abierta. Para minimizar la competencia por luz con cultivos aledaños al lindero, se recomienda el uso de especies con copa abierta o delgada, como es el caso de *C. alliodora* o *Eucalyptus deglupta*. También este tipo de copas tiene otra ventaja en el momento del aprovechamiento que es menos costoso y con menos riesgos de provocar daños a los cultivos, dado que la mayoría de éstos son causados por la copa y no por la caída del fuste.

Poca exigencia en el manejo. El uso de especies agresivas, como por ejemplo los eucaliptos (*E. deglupta*) o rústicas como el roble (*Tabebuia rosea*), con potencial significativo para sobrevivir y crecer rápidamente con un manejo no muy exigente, deben ser priorizadas, pues permitirán disminuir riesgos y costos de mantenimiento.

Criterios de selección de sitios para sembrar árboles en linderos

Es claro que un análisis de las ventajas y desventajas para la decisión de la siembra de árboles comerciales en los linderos de las fincas, debe llevar necesariamente a la conclusión de que es muy variable la aptitud de los sitios de la finca para su establecimiento. Es por ello que algunas consideraciones generales del sitio deben tomarse en cuenta para asegurar el éxito de la inversión.

Costos de establecimiento y de protección. La protección y cuidado de los árboles jóvenes es uno de los rubros de costos más importantes en el manejo de los linderos. Salta a la vista que establecer árboles alrededor de una plantación agrícola es más fácil que hacerlo entre dos pastizales que son pastoreados por el ganado por el daño físico alto que los animales provocan en los árboles. Es por ello que preferentemente se deben evitar los sitios o áreas de pastoreo para el establecimiento de árboles en los linderos, a menos que se cuente con disponibilidad de inversión en algunos métodos de protección de los árboles, hasta que estos alcancen un estado de desarrollo (generalmente mayor a los 3 m de altura) que les permita sobrevivir a la presencia del ganado.

Competencia con los cultivos. Se deben seleccionar sitios donde la competencia con los cultivos sea mínima. La competencia por luz es menor en el caso de la asociación con cultivos adaptados a la sombra como el cacao o el café que en cultivos heliófitos como el maíz.

Condiciones del suelo. Hay especies arbóreas que se adaptan con buen resultado a sitios muy húmedos y en suelos de potreros muy compactados, por lo que las especies deben ser seleccionadas para cada sitio. A lo largo de un lindero pueden presentarse diferentes circunstancias en los suelos, ya sea por mal drenaje o compactación, lo que debe ser tomado en cuenta para la selección de la especie para cada sector.

Factibilidad del aprovechamiento. El sitio de la plantación debe facilitar el aprovechamiento. Sitios cerca de un río o dentro de un guindo o barranco profundo pueden no ser deseables para una siembra de maderables, debido al riesgo de problemas legales (generalmente la ley no permite las talas comerciales en los márgenes de ríos y riachuelos) o bien los elevados costos de sacar trozas de madera en condiciones accidentadas del terreno. Posiblemente en estas áreas la recomendación podría ser la siembra de frutales en vez de árboles maderables, ya que el producto de la inversión no implica la remoción del árbol.

Fertilidad del suelo. Existe una tendencia de los gobiernos y grandes empresas a establecer preferencialmente las plantaciones forestales en suelos no aptos para la agricultura, es decir, en suelos de baja fertilidad, aceptando un turno de mediano o largo plazo para la obtención de productos. Sin embargo, los finqueros, dada sus limitaciones de flujo de caja, requieren de un turno más corto, por lo que es recomendable iniciar con linderos en buenos suelos donde hay mayor probabilidad de conseguir resultados satisfactorios en menor tiempo. Además, cuando hay un crecimiento inicial rápido del árbol, la necesidad de mantener chapeas se reduce, lo cual ha sido un factor crítico en el éxito de muchos programas de reforestación en fincas privadas. Posteriormente, cuando se tiene experiencia se puede intentar producir madera en sitios más difíciles. Desafortunadamente, la tendencia actual es reforestar primero las peores partes de las fincas, donde los beneficios ecológicos pueden ser altos, pero las posibilidades de éxito son menores y los costos iniciales más altos.

Sombra lateral. La influencia de sombras laterales como la producida por un charral o plantaciones abandonadas es en muchos casos beneficiosa para la forma del fuste de un maderable incrementando su valor comercial. Sin embargo, si esta influencia se manifiesta por un solo lado, el efecto puede ser detrimental por la tendencia del árbol a crecer inclinado en dirección contraria a la sombra. Si la sombra del charral es excesiva, la tendencia que asume el árbol es a desarrollar rápidamente su tallo, dando como resultado un tallo alto y delgado, susceptible a sufrir daños de volcamiento o quiebras por vientos cuando se elimina la sombra lateral. En estos caso deberá considerarse la posibilidad del manejo de la sombra de los charrales, aunque puede significar un costo adicional.

Recursos del finquero. El programa o los proyectos para la siembra de árboles maderables en linderos debe prever los recursos necesarios para el mantenimiento de la plantación. Es importante tener presente que la mayoría de los fracasos de reforestaciones ocurre porque el control de malezas durante los primeros dos años o no se hace, o se hace cuando conviene al productor y no cuando el árbol lo necesita. Es por ello que se recomienda que si no hay suficientes recursos para cuidar muchos árboles, es preferible sembrar menos, cuidando que los recursos disponibles sean suficientes para su mantenimiento. Debe recordarse que una selección adecuada de las especies puede influir en una menor exigencia del mantenimiento, pero que, sin embargo, siempre pueden ocurrir, como en cualquier cultivo, eventos imprevisibles como la aparición de ataques de plagas. El monitoreo regular por parte del productor es esencial para el éxito del programa.

Consideraciones técnicas para establecer árboles en linderos

Es importante que el productor antes de establecer los árboles en linderos reciba adecuada asistencia técnica que le permita un conocimiento práctico de la forma en que deba manejar las especies que selecciona, así como para establecer un cronograma de actividades que le permita maximizar los esfuerzos e inversión. La experiencia de muchos proyectos de reforestación demuestra que la atención en el momento de la siembra generalmente es buena y que los problemas principales han sido relacionados con el mantenimiento posterior de los árboles. Por lo tanto, es importante enfatizar en la necesidad de dar a los árboles un manejo sencillo pero esencial.

A continuación se mencionan algunas consideraciones técnicas relevantes que deben considerarse al establecer árboles maderables en linderos, las cuales responden a prácticas silviculturales normales que no deben perderse de vista para asegurar el éxito de la plantación.

A. Establecimiento

Preparación del terreno. La mayoría de las especies maderables que se utilizan para establecer linderos son plantas heliófitas, o sea, que necesitan un ambiente a plena luz. Por ello es necesario limpiar el terreno y dejarlo libre de malezas, principalmente las gramíneas y los bejuco o lianas enredadoras que son las que más afectan los árboles en los primeros estadios del desarrollo. En el caso de las siembras en charrales, es necesario chapear alrededor de 3 a 5 m a cada lado de la línea de plantación para dejar entrar suficiente luz y reducir la excesiva sombra lateral. En el caso de siembras en potreros, es necesaria una protección temporal para los árboles, o no permitir al ganado entrar al área hasta que los árboles alcancen de 2 a 3 m de altura, dependiendo de la especie.

Marcación y hoyado. La marcación del terreno por medio de estacas, de acuerdo al espaciamiento deseado, facilita la distribución de los árboles al plantarlos y permite ubicarlos al momento de las primeras chapeas y para efectos de inspecciones posteriores. Por lo general los hoyos deben hacerse de 25 x 25 x 25 cm, aunque cuando se utilizan pseudoestacas pueden ser menores. También debe considerarse la posibilidad de hacer más grandes los hoyos cuando se plantan los árboles en terrenos menos fértiles o más compactados, lo cual tiene por objeto favorecer el desarrollo radicular inicial del árbol. Se debe limpiar (dejar suelo desnudo) un círculo de 1 m de diámetro de cada posición de siembra.

Espaciamiento. El espaciamiento de la plantación en linderos depende fundamentalmente de los objetivos de la misma. Si lo que se desea producir es leña, los espaciamientos dentro de la línea pueden ser menores que 2,5 m; pero si lo que se desea es producir madera de aserrio, estos obviamente serán mayores, 3,0 m al menos y también deberá complementarse con raleos de la plantación. Sin embargo, algunas especies requieren espaciamientos diferentes, según las características particulares.

Siembra. La época de siembra de los árboles debe ser, al igual que las de cualquier cultivo, al inicio de las lluvias en los sitios con estaciones climáticas definidas, pues al final de esa época, los árboles han de haber desarrollado lo más posible su sistema radicular para evitar tener que regarlos durante la época seca. También, en zonas más lluviosas se debe evitar la siembra en épocas muy cercanas a los meses de menor precipitación para evitar problemas de pérdidas por marchitamiento de la planta. Es importante recordar que, al momento de la siembra, los arbolitos no deben ser demasiado grandes, sus raíces principales no pueden quedar dobladas en el hueco y que al rellenar el hoyo debe tenerse cuidado de no dejar bolsas de aire para lo cual es necesario compactar o apisonar la tierra. La fertilización al momento de la siembra por lo general no es necesaria, e inclusive en muchos casos las especies arbóreas no responden a esa aplicación, o si lo hacen es de manera poco significativa; en todo caso, dependiendo de la especie y del sitio, debe buscarse la recomendación técnica pertinente.

B. Manejo de los linderos.

Rodajas (rondas). Estas consisten en dejar un círculo alrededor del arbolito totalmente libre de malezas (en tierra), de aproximadamente 1 m de diámetro. Este se recomienda al menos durante el primer año, desde el momento de la siembra, y limpiarlo nuevamente con las primeras chapeas.

Chapeas. El objetivo de las chapas es favorecer el crecimiento inicial del árbol, evitando que este sea ahogado por las malezas, pues debe recordarse que por lo general el crecimiento inicial de los árboles es lento y en sus primeros estadios es muy susceptible a la competencia, pudiendo incluso causarse la muerte del árbol. La frecuencia de las chapeas dependerá entonces del clima, la agresividad de las malezas de la zona y el sitio donde se ha plantado el lindero. Los linderos colindando con cultivos o potreros manejados, requerirán de chapeas menos frecuentes. Generalmente las deshieras se hacen en forma manual y solamente en casos excepcionales (p.e. gramíneas agresivas), se justifica utilizar herbicidas.

Deshijas. Algunas especies que pueden sembrarse por pseudoestacas como la teca (*Tectona grandis*) o laurel (*C. alliodora*) producen más de un brote, los cuales deben dejarse hasta que alcanzan alturas de 0,5 a 1 m de altura. En ese momento se deben eliminar, dejando solamente un brote seleccionado con criterios de tamaño, vigor, forma recta y salud.

Podas. Las podas cumplen un papel importante en el mejoramiento de la calidad de la madera que producirá el árbol. Además, si se dejan las ramas bajas, morirán por falta de luz y producirán nudos muertos que en estadíos adultos podrían ser puntos de ingreso al fuste de enfermedades (hongos de la pudrición) y termitas. Recuérdese que los árboles en linderos tenderán a ramificar más que en las plantaciones en bloque por la menor competencia lateral. No se debe podar más del 30% de la copa en un momento dado. En algunas especies se justifica (p.e. *C. alliodora*) y en otras una poda prematura podría provocar una mala forma (p.e. *T. rosea*). Por lo tanto se recomienda buscar consejos de forestales, antes de iniciar podas fuertes.

Raleos. Cada especie arbórea necesita de un espacio mínimo óptimo para su crecimiento que obviamente aumenta con su desarrollo. Cuando este espacio no es el adecuado, la consecuencia es un desarrollo vertical predominante, pero las copas serán estrechas y los diámetros del fuste delgados, descalificándolos para el aserrío. Al raleo oportunamente la plantación, se estimula el crecimiento de las copas de los árboles remanentes con el consecuente engrosamiento de los fustes. La razón de una siembra inicial densa es la consideración de que no todos los árboles sobrevivirán y llegarán al estadio de adultos y que algunos se desarrollan con formas no aptas para aserrar. Por lo tanto es necesario sembrar más árboles de lo deseable para el turno final y poder mantener y seleccionar suficientes árboles comerciales para aprovechar todo el sitio disponible; después del primer año las resiembras no funcionan por la competencia de los árboles ya establecidos. La labor de raleo adecua el espacio al crecimiento del árbol y eventualmente puede producir algún ingreso marginal al aprovecharse los árboles raleados como postes o leña. Dada la dificultad de convencer a los finqueros para raleo árboles, es aconsejable iniciar el primer raleo (raleo no comercial) lo más temprano posible, cuando "duele menos". Además, eso reduce los problemas de daños a cultivos adyacentes, sin la compensación de un producto comercial.

C. Costos de establecimiento y mantenimiento

Los costos de establecimiento y mantenimiento de un lindero han sido determinados por von Platen y Trejos (1994), representando 40 árboles en una distancia de 100 m en situaciones favorables y desfavorables en el trópico húmedo bajo de Costa Rica (Talamanca) y Panamá (Bocas del Toro). Tales costos se presentan a continuación en el Cuadro 1.

Cuadro 1. Costos de establecimiento y manejo de un lindero de 100 m (40 árboles en situaciones favorables y desfavorables en el trópico húmedo bajo de Costa Rica y Panamá. No incluye costos de cercas. (Montos en US\$, 1994)

SITUACION	ESTABLE- CIMIENTO	MANTENIMIENTO					
		Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5	Total
Favorable	8,35	2,96	3,08	3,15	0,73	0,14	18,44
Desfavorable	22,38	18,35	11,99	19,46	5,75	6,03	83,96

Concluyen estos autores que el costo de cercas es tan caro que no se puede recomendar linderos maderables donde la protección con nuevas cercas de alambre de púas sea necesaria.

Experiencias de siembras de árboles maderables en linderos

La experiencia reciente del CATIE en la siembra de árboles maderables en linderos se ha realizado en las zonas húmedas bajas de Talamanca (Costa Rica) y Changuinola (Panamá) a través del Proyecto CATIE/GTZ Sistemas Agroforestales. En este Proyecto se plantaron 12 ensayos, en cada uno de los cuales se plantaron tres especies arbóreas maderables con tres repeticiones por ensayo. Las especies utilizadas fueron *E. deglupta*, *C. alliodora*, *Terminalia ivorensis*, *Acacia mangium*, *T. grandis* y *T. rosea*. Por espacio de seis años se les ha dado seguimiento y se han medido las variables: supervivencia, diámetro del fuste a la altura del pecho (DAP), altura y diámetro de la copa, además de identificar plagas y enfermedades que atacaron a estas especies.

El manejo de esos linderos ha consistido en protección contra el ganado, mantenimiento de una faja limpia de entre 6 y 10 m (ronda), se hicieron resiembras hasta los seis meses, chapeas manuales y en casos excepcionales con herbicidas, control de zompopas (hormiga *Atta* spp.), raleos hasta de un 50% a partir de los 2,5 años y podas en los casos necesarios entre los 5 y 8 m durante los dos primeros años.

Conclusiones

Las conclusiones (Kapp *et al.*, 1996) más importantes de esta experiencia se resumen a continuación:

1. *E. deglupta* fue la especie con mayor DAP, altura y volumen de madera producido a los seis años de edad (29 cm, 26 m, 175 m³/km.), seguido por *T. ivorensis* (29 cm, 22 m, 133 m³/km.).

2. La mejor sobrevivencia de árboles (% a la edad de 5 años) se obtuvo con *E. deglupta* y *T. grandis* (90%). La peor fue con la especie *C. alliodora* (56%); y con valores intermedios para *A. mangium* (70%) y *T. ivorensis* (80%). Sin embargo, observaciones posteriores mostraron que la mortalidad de *T. ivorensis* aumentó rápidamente a partir de los cinco años.
3. Las copas más anchas a los 5 años de edad se obtuvieron con *T. ivorensis* y *E. deglupta* (10-11 m), comparado con la de las demás especies que promediaron alrededor de 7 m. *E. deglupta* fue la especie que proporcionó menos sombra por tener una copa abierta.

Recomendaciones

Con base en esta experiencia se han podido brindar las siguientes recomendaciones para la siembra de estas especies maderables en linderos para las zonas del trópico húmedo bajo:

1. Se recomienda plantar *A. mangium* en los suelos más pobres.
2. Para los suelos fértiles con buen drenaje se recomienda la siembra de *C. alliodora*, *E. deglupta* y *T. grandis*.
3. Para la siembra en potreros se recomienda *T. grandis* o *A. mangium*.
4. Para linderos donde se requiera menos sombra, la recomendación es la siembra de *C. alliodora* o *E. deglupta*.
5. Para los suelos con mal drenaje se recomienda la siembra de *T. rosea*. (como resultado de un estudio paralelo).
6. No se recomienda la siembra de *T. ivorensis* para las zonas del trópico húmedo bajo debido a su alta mortalidad a partir del quinto año.



Bibliografía

- BEER, J. 1993. Consideraciones básicas para el establecimiento de especies maderables en linderos. CATIE, Turrialba, Costa Rica (Serie Generación y Transferencia de tecnología No. 1). 17 p.
- KAPP, G.; BEER, J.; LUJAN, R. 1997. Species and site selection for timber production on farm boundaries in the humid atlantic lowlands of Costa Rica and Panama. *Agroforestry Systems* 35: 139-154.
- LUJAN, R.; CAMACHO, A. 1994. Manejo y crecimiento de linderos: resultados de ensayos del proyecto agroforestal CATIE/GTZ, de tres especies maderables en la zona de Talamanca, Costa Rica. CATIE, Turrialba, Costa Rica (Serie Técnica, Informe Técnico No. 224). 93 p.
- PLATEN, H. von; TREJOS, S. 1994. Costos de establecimiento y mantenimiento de linderos. CATIE, Turrialba Costa Rica (Serie Técnica, Informe Técnico No. 219). 35 p.

Cortinas rompevientos*

Jorge Faustino

- **Introducción**
- **Definición**
- **Importancia de las cortinas rompeviento**
- **Diseño de cortinas rompevientos**
- **Establecimiento y manejo de cortinas rompevientos**
- **Bibliografía**

* Publicado también en: **Plantaciones de Arboles en Línea. CATIE. Módulo de Enseñanza Agroforestal No.1.1998.p.27-60**

Cortinas rompevientos

Introducción

La función de las cortinas rompeviento era, únicamente, el control de la erosión del suelo causada por el viento (eólica). Sin embargo, el potencial de los múltiples beneficios que provee esta alternativa la ha integrado al concepto de los sistemas agroforestales. En este sentido adquiere un propósito más amplio e integral, generando opciones que sustentan su importancia en los sistemas de producción agrícola, pecuaria y forestal.

Existen muchas referencias sobre las ventajas de las cortinas rompeviento. Sin embargo, la adopción de las mismas no se ha materializado en muchos lugares. Por lo tanto, es importante conocer a fondo el marco conceptual para lograr una buena aplicación de esta práctica en sitios apropiados. Los potenciales usuarios deben conocer las desventajas y beneficios de establecer una cortina rompeviento. Además, deben familiarizarse con las técnicas de manejo para poder controlar efectivamente los aspectos negativos que pueda darse. También deben considerarse los requerimientos y posibilidades de diseño para diferentes condiciones biofísicas y socioeconómicas.

Definición

Las cortinas rompeviento son hileras de árboles, arbustos, o ambos de diferentes alturas y dispuestas en sentido opuesto a la dirección principal del viento.

Se establecen con los siguientes objetivos:

- Reducir la velocidad del viento en la zona cercana al suelo.
- Evitar pérdida de la fertilidad del suelo por causa de erosión eólica.
- Reducir la acción mecánica del viento sobre los cultivos y animales.
- Desviar las corrientes de aire.
- Contribuir a regular condiciones de microclima en la finca.
- Controlar el transporte de sólidos por efecto del viento.

La Figura 1 muestra algunos de los efectos producidos por cortinas rompeviento sobre el viento (desvío, disminución de la velocidad y cambio en el microclima). Asimismo, la cortina debe considerarse como parte de un sistema y con elementos de interacción e interrelación entre los aspectos productivos agrícolas, pecuarios y forestales.

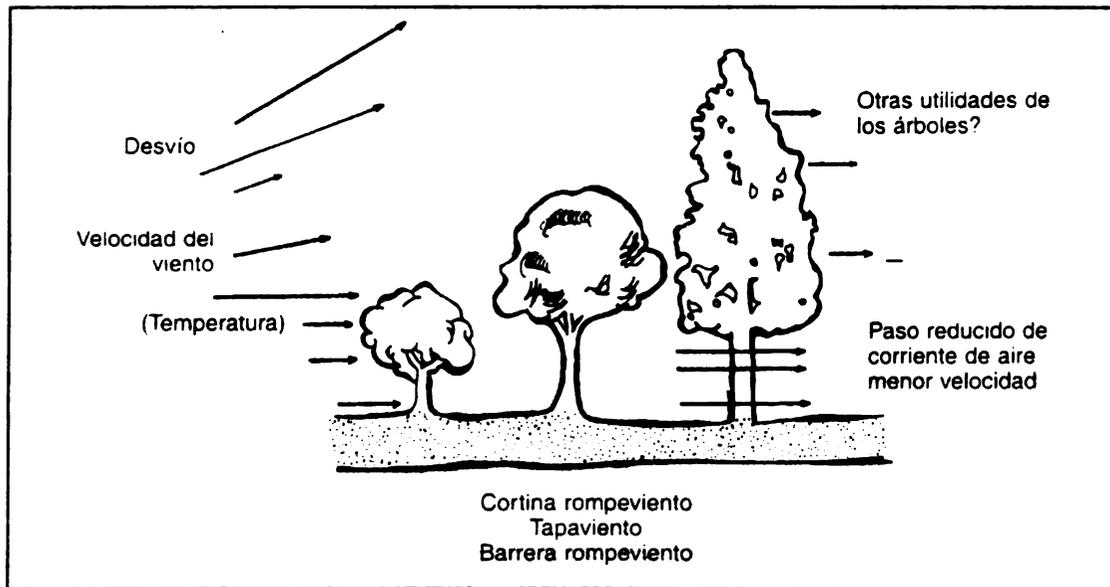


Figura 1. Concepto de Cortina Rompeviento.

Existen otras denominaciones para el concepto de cortinas rompeviento, las que en su mayoría, dependiendo del lugar donde se aplique, se relacionan con la función específica que cumplen. Así por ejemplo, "tapaviento" generalmente se emplea cuando se quiere señalar la regulación de temperaturas que disminuyen por causa del viento, y no necesariamente por su velocidad; "barrera rompeviento" se utiliza cuando se quiere controlar el efecto de la velocidad, en cuyo caso son más pequeñas y muy similares a las barreras vivas utilizadas en conservación de suelos. Otra consideración sobre la denominación tiene que ver con el vocabulario técnico del país o la región donde se encuentren.

Importancia de las cortinas rompeviento

Importancia Ecológica

Son muchos los aspectos que influyen al establecerse cortinas rompevientos, ya que constituyen una alternativa para la introducción de árboles en las fincas y están asociados con propósitos de protección y producción. Efectos importantes causados por las líneas de árboles son:

- Regulación del microclima de la parcela.
- Conservación de los recursos naturales mediante el control de la erosión del suelo (pérdida de fertilidad) y exceso de evapotranspiración.

- Disminución de la contaminación del ambiente y sus efectos sobre las personas, plantas, viviendas y animales mediante el control sobre las corrientes de aire que transportan sedimentos.

Debe considerarse también el valor ambiental de las cortinas rompeviento como hábitat de otras especies de aves e insectos y el aporte de las hojas y raíces de los árboles para aumentar la fertilidad y protección del suelo, con un efecto mejorador de algunos cultivos asociados a la cortina.

Importancia Económica

Existen efectos económicos directos e indirectos que se producen por la presencia de las cortinas rompeviento. Los más importantes son:

- Mejoramiento o mantenimiento de la productividad al evitar pérdida de suelo superficial, proteger los cultivos y controlar daños en la floración, caída de frutos, estabilidad, evapotranspiración, control de las heladas y mejoramiento del microclima para el componente pecuario (Beneficio Principal).
- Generación de diferentes productos para la venta y el consumo. Por ejemplo: frutos, postes, productos medicinales, goma, follaje, leña y eventualmente madera, dependiendo de las especies arbóreas o arbustivas presentes y de su manejo.
- En áreas de habitación rural y urbanas, las cortinas protegen de la contaminación en forma de partículas de materia y suelo transportadas por el viento, evitando parcialmente daño y deterioro físico de edificaciones e infraestructura (carreteras, canales, etc.).

Cabe señalar que aunque estos beneficios son, generalmente reconocidos, no se han valorado o cuantificado económicamente, con excepción de la cuantificación de productos. Además, muchos de los efectos positivos logrados no benefician directamente al finquero, sino a la sociedad en general (p.e. control de sólidos y ruido). Esto podría ser la causa de la poca adopción que se observa en algunos lugares, y destaca la necesidad de evaluar programas de incentivo. Este tipo de análisis y valoración es importante para definir los beneficios reales de las cortinas rompeviento.

Función Agroforestal

Con relación a los sistemas agroforestales, las cortinas rompeviento pueden desarrollar funciones agrícolas y forestales:

- **Funciones Agrícolas:** protección de cultivos y animales influyendo en el mejoramiento de la producción.

- Funciones Forestales: producción de madera, leña y/o frutos por parte de la cortina.

Esta función se esquematiza en la Figura 2. Sin embargo, el concepto de sistema conlleva a señalar directamente la interacción entre el cultivo, los animales y los árboles, ya que si esto no se produce, no podría afirmarse que es un sistema. Por lo tanto, las cortinas deben diseñarse ajustadas a estas consideraciones, con especial atención a lograr interacciones positivas entre los componentes.

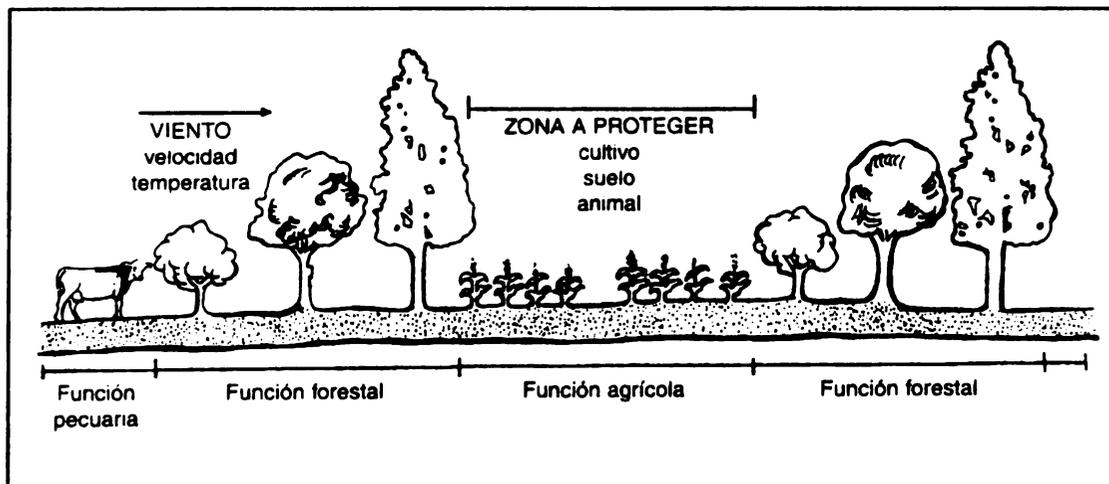


Figura 2. Función agroforestal de la cortina rompeviento

Las funciones agroforestales que corresponden a las cortinas son múltiples y todas ellas inciden en la producción y conservación del suelo, agua, planta, ambiente e infraestructura. El aumento de la productividad se puede lograr al mejorar el microclima, al proteger la producción de flores y frutos de los cultivos y al evitar los daños por volcamiento de las plantas. El riego puede influir notablemente para la uniformidad de aplicación del agua en aspersión, y reduciendo la evapotranspiración, lo que incrementa la eficiencia del riego por goteo. En Nicaragua las cortinas de *Casuarina equisetifolia* inciden de manera importante en la producción de cultivos hortícolas que utilizan riego por goteo. Los agricultores de Tierra Blanca en Cartago, Costa Rica, tienen un buen rendimiento de sus cultivos de papa, cebolla y otras hortalizas, controlando heladas por medio de cortinas. En Puriscal y Monteverde, Costa Rica, el crecimiento de los pastos y buen desarrollo del ganado se ve influenciado por las cortinas establecidas por los productores.

Diseño de Cortinas Rompeviento

Conceptos de diseño

En el desarrollo de este tema se trata de dimensionar y definir los componentes de las cortinas y sus funciones de protección (cultivos, animales, suelos, viviendas). Se consideran los siguientes conceptos básicos de diseño.

- Conocer cual es el cultivo, animales o elementos a proteger.
- Considerar las características climáticas, edáficas y topográficas del sitio.
- El diseño de la cortina debe ajustarse a los objetivos por los cuales se establece (p.e.: la regulación del microclima en beneficio de plantas o animales; evitar la erosión del suelo; controlar los efectos mecánicos del viento sobre los cultivos).
- Definir las especies arbóreas o arbustivas que se utilizarán.
- Calcular dimensiones y espaciamientos dentro de las cortinas y entre las cortinas y cultivos/pastos de parcelas adyacentes.
- Definir la disposición entre hileras (p.e. triángulos o "3-bolillo") y la orientación de la cortina con respecto al viento.
- Definir la alternancia de especies para cada hilera de la cortina.
- Considerar los aspectos socioeconómicos que influyen sobre el establecimiento y manejo de cortinas rompeviento.

La figura 3 presenta algunos aspectos específicos de diseño, tanto para la configuración como para el espaciamiento entre cortinas. Las cortinas rompeviento deben establecerse con especies bien adaptadas a la zona, y de preferencia que conserven la mayor parte del follaje durante todo el año, o por lo menos durante la época de mayor viento. Los espaciamientos que se seleccionen deben ser el resultado de la estructura deseada, y de los requerimientos que cada especie necesita para crecer adecuadamente.

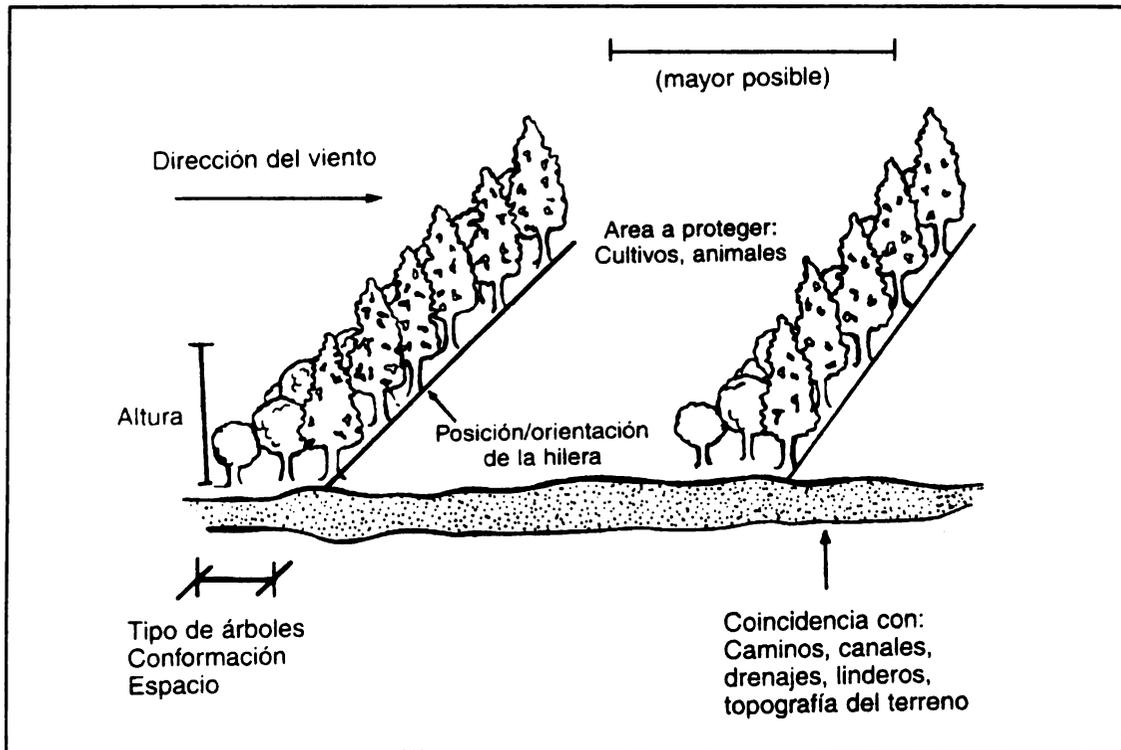


Figura 3. Aspectos del diseño de cortinas rompeviento.

Elementos importantes de diseño

Geoméricamente la cortina y el espacio entre cortinas, implica definir: la altura de los árboles; el área a proteger; el ancho de la cortina; y su permeabilidad, orientación y forma. Es muy importante definir la o las especies que conformarán las cortinas.

Altura y Distancia Efectiva Protegida

Generalmente, el criterio de diseño efectivo es que la cortina pueda lograr, por lo menos, una reducción del 20% de la velocidad del viento. De esta manera, la zona protegida se extiende sobre una distancia de 7 veces la altura de la cortina del lado del viento y a 15 o 20 veces del lado sotavento. La altura de la cortina está dada por la especie seleccionada como estrato superior y la calidad del sitio.

Permeabilidad

Una cortina debe ser permeable o porosa, es decir que debe dejar pasar cierto porcentaje del flujo de viento. De ser impermeable o compacta, la cortina constituiría un obstáculo absoluto para el viento, el cual produciría turbulencias fuertes después de pasar sobre la cortina, provocando daños graves en los cultivos a proteger. Galloway (1986), reporta el grado óptimo de permeabilidad en, aproximadamente, 3 por ciento de la cortina y enfatiza la necesidad de evitar aberturas o discontinuidades grandes, las cuales

neutralizan el efecto protector de la cortina. Como punto de referencia, el mismo autor estima un 20 % de permeabilidad en cortinas que no contienen huecos o aberturas muy obvias.

Otros aspecto importante a considerar es la uniformidad de la densidad del follaje de la cortina. Para lograr una protección adecuada, debe tratar de lograrse una densidad casi uniforme desde la punta más alta hasta la base de la cortina.

Ancho

Un cortaviento debe ser continuo, de no ser así, el viento se desplazaría por los espacios vacíos, alcanzando velocidades mayores que en ausencia de cortina. Si la cortina es de una sola hilera, el riesgo de que se formen vacíos es mayor que en una cortina compuesta de varias hileras. La Figura 4 muestra un esquema de espaciamiento entre hileras que forman el ancho de la cortina. Se recomienda cortinas compuestas, cuyo ancho varía de 4 a 15 metros. En áreas dedicadas a la agricultura, se debe buscar el logro de una máxima eficiencia, con el menor sacrificio de tierra agrícola. En casos de fincas muy pequeñas, donde hay escasez de tierra, pueden utilizarse cortinas angostas (a veces de solo una hilera), que también proveen una protección adecuada para la parcela agropecuaria (Galloway, 1986)

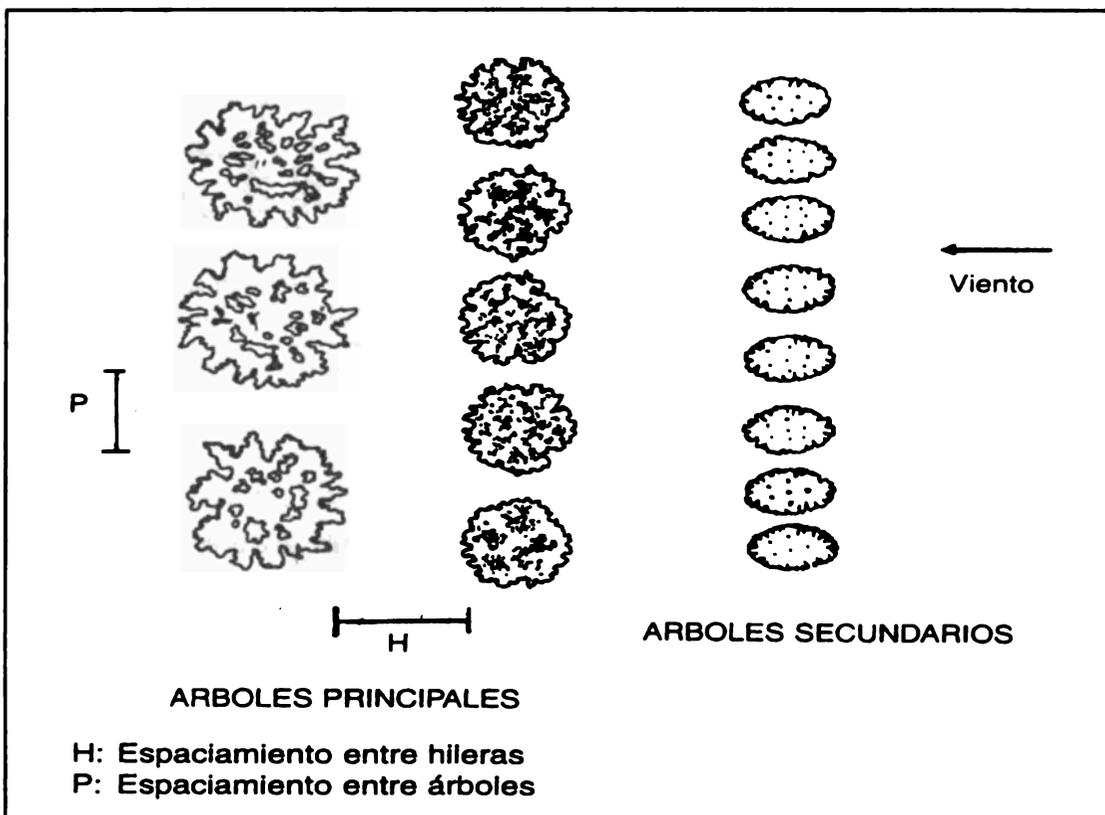


Figura 4. Espaciamiento entre árboles e hileras de cortinas rompeviento.

Forma de la cortina

Existen varias formas de cortinas rompeviento, que se visualizan mejor como perfiles verticales. Entre ellas se distinguen la triangular-rectangular, la triangular-isósceles, y la rectangular (Figura 5). Cuando sea económicamente factible, se recomienda los sistemas multiestratos, porque estos procuran una mayor deflección del viento y así se proporciona una mejor protección. Por ejemplo, la cortina con tres estratos de tipo triangular rectángulo es la que se ha promovido en la región de Guanacaste en la zona de riego del Arenal-Tempisque, de Costa Rica, ubicando siempre el estrato inferior en la parte donde se origina el viento (barlovento). Si no es posible establecer sistemas multiestratos, se buscará una especie con buen desarrollo foliar desde los primeros metros a partir del suelo y se establecerá en varias hileras. La práctica muy difundida de sembrar hileras sencillas de gramíneas altas como cortina, protege el cultivo siempre y cuando la distancia entre cortinas se calcule en función de la altura promedio de estas. En este caso se recomienda, enfáticamente, cortinas con por lo menos tres hileras de gramíneas. Sin embargo, debido a la conformación de la cortina, no se puede esperar una eficiencia tan grande como la alcanzada con las cortinas multiestratos.

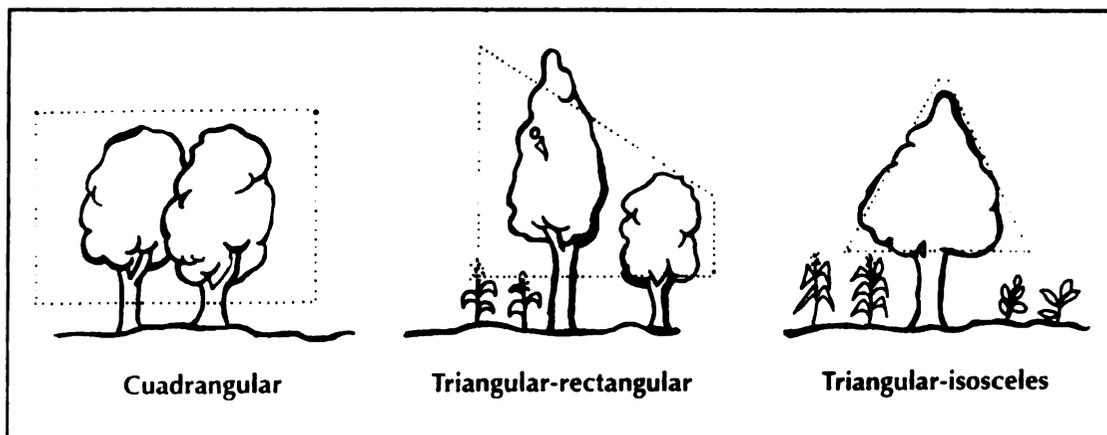


Figura 5. Formas de las cortinas rompeviento.

Orientación de las cortinas y red de cortavientos

Lo ideal es que se establezcan las cortinas en forma perpendicular a la dirección principal del viento. En caso de que los vientos fuertes se presenten en una sola dirección o en direcciones opuestas, las cortinas pueden ser establecidas en franjas paralelas. Pero si los vientos provienen de varias direcciones, será necesario establecer una red cuadrangular, con las cortinas principales en dirección perpendicular al viento de mayor intensidad y las cortinas secundarias en forma perpendicular a las cortinas principales. Las cortinas secundarias podrán ser de menor dimensión y con un espaciamiento mayor entre ellas.

Especies Utilizadas

La selección de especies para cortinas rompeviento varía de acuerdo a las condiciones climáticas y de suelo, el propósito de utilización, el manejo que pueda dársele y los beneficios complementarios esperados. Generalmente, se requieren cortinas rompeviento en las áreas donde prevalecen condiciones de aridez, en las cuales el efecto de la velocidad del viento causa erosión y daños en los cultivos. En las zonas semiáridas se trata de controlar el efecto de la velocidad del viento y, en las zonas templadas, el efecto de viento frío o desecante. Otro aspecto importante a considerar en las especies seleccionadas es su rápido desarrollo y la altura máxima que alcanzan en su madurez.

Los árboles que alcanzan alturas de hasta 25 m deberán preferirse para plantar las hileras principales de la cortina. Algunas de estas especies son los Eucaliptos (*Eucalyptus camaldulensis*), las Casuarinas (*Casuarina equisetifolia*, *C. cunninghamiana*), los mangos de tipo criollo (*Mangifera indica*), y los Pinos (*Pinus caribaea*, *P. oocarpa*). En los cafetales de El Salvador, tradicionalmente se utilizan el copalchi (*Croton reflexiofolius*), el ciprés (*Cupressus betamil*) y la vara negra (*Cordia cana*) en las cortinas rompeviento (Galloway y Beer 1997)

Para los estratos medios, han de utilizarse árboles que alcanzan alturas máximas de 10 a 15 metros, tales como la casia (*Cassia siamea*), el guácimo (*Guazuma ulmifolia*), el capulín (*Muntingia calabura*), el neem (*Azadirachta indica*), la manzana de agua (*Eugenia malaccensis*), la uruca (*Trichilia glabra*), la manzana rosa (*Eugenia jambos*), aceituno (*Simarouba glauca*), entre otros.

Para los estratos bajos, la variedad de arbustos que apenas sobrepasan los 5 metros es grande y en esta categoría se pueden incluir especies como la amapola (*Hibiscus sepium*), el mirto (*Murraya paniculata*), el itabo (*Yucca elephantipes*), el trueno (*Ligustrum sepium*), y también algunas gramíneas de porte alto como el pasto elefante (*Pennisetum purpureum*), la caña de azúcar (*Saccharum* sp.) y la caña india (*Dracaena fragans*).

Algunas sugerencias sobre los requerimientos de las especies están relacionadas con la resistencia al viento (de preferencia el follaje debe ser permanente), la velocidad de crecimiento y la permeabilidad. El sistema radicular debe ser tal que la competencia con el cultivo sea limitada, aunque se sabe muy poco sobre esta característica de las especies comunmente utilizadas. Idealmente, un sistema radicular profundo tiene la doble ventaja de un buen anclaje y de menor competencia con el cultivo asociado. Finalmente, deben tomarse en consideración los productos secundarios que puedan obtenerse, tales como la producción de madera, leña, frutos, postes y forraje.

Cálculo de las Distancias

La distancia óptima entre las cortinas está determinada por:

- La velocidad máxima de los vientos
- El grado de resistencia del suelo y del cultivo
- La altura de las especies seleccionada para la cortina

Debe considerarse que en laderas húmedas, la pendiente del terreno no tiene mucha influencia. La especie y la densidad juegan un rol importante en relación a la permeabilidad, la cual se define como la cantidad de viento que atraviesa la cortina.

La efectividad de la cortina depende del número de hileras, de utilizar varias especies y tamaños para las hileras y de lograr una semi-permeabilidad. El distanciamiento entre cortinas está en relación con la altura, la densidad, la orientación y la longitud. La altura y la densidad tienen efectos en la velocidad del viento antes y después de las cortinas. La densidad debe ser uniforme en todas las alturas y para ello se siembran árboles y arbustos de diferentes alturas y densidad de follaje.

El efecto en la disminución del viento se expresa en porcentaje. La velocidad del viento aumenta a ambos extremos de la cortina, implicando que conforme tenga una mayor longitud, este problema se irá reduciendo. Con base en los criterios puede utilizarse la relación de Woodruff y Zingg (Paulet 1973) para calcular las distancias a utilizarse entre las cortinas (ejemplo 1):

$$D = 17 H \times (V_{mi} / V_{ac}) \times \text{Cos } \theta$$

donde:

D	=	Distancia entre cortinas.
H	=	Altura de la cortina.
V_{mi}	=	Velocidad mínima del viento, a 17 m de altura, capaz de provocar movimiento de partículas en el suelo (erosión).
V_{ac}	=	Velocidad actual del viento a 17 m de altura.
θ	=	Angulo de desviación del viento prevaleciente, medida desde la perpendicular de la cortina.

Notas:

- V_{mi} es generalmente igual a 35 km/hora.
- La ecuación es válida para velocidades de viento menores de 65 km/hora.

Ejemplo 1.

Uso de la fórmula para el cálculo de distancias

- | | | |
|------------|--------------|--------------------------------------------------------------------------------------------|
| • V_m | = 35 km/hora | Solución: |
| • V_{ac} | = 55 km/hora | $D = 17 H \times (V_m/V_{ac}) \times \text{Cos } \theta$ |
| • H | = 20 m. | $D = 17 (20 \text{ m}) \times (35 \text{ km/h} / 55 \text{ km/h}) \times \text{Cos } (30)$ |
| • θ | = 30° | = 340 m x 0.636 x 0.866 |
| | | D = 187 m |

Consideraciones prácticas

Los criterios teóricos y pautas establecidas en el diseño no siempre serán tan fáciles de lograr, debido a las limitantes de orden social, cultural y económico. El agricultor no admite desprenderse de una porción de terreno o no acepta las recomendaciones de espaciamiento, prefiriendo, muchas veces, mayores distancias entre cortinas. En otros casos, el tamaño de la parcela es muy pequeño y el tamaño de la cortina tendrá que ser reducido (hasta a una sola hilera), o tendrá que establecerse fuera de la finca. En otros casos las cortinas no se pueden establecer al lado de obras de riego (canales revestidos), ya que las raíces de los árboles destruyen la sección del canal. Por lo tanto, la ubicación y el diseño del sistema de riego tiene que armonizar con el diseño de las cortinas. En otros casos, los agricultores desean que las líneas de árboles se ubiquen en un determinado lindero, pero este no coincide con la dirección opuesta al viento. Estas y otras situaciones deben analizarse cuidadosamente para adaptarse lo mejor posible al deseo de los agricultores, salvaguardando un mínimo de efectividad.

En todo caso, la decisión del agricultor es primordial. Las recomendaciones tienen que ser muy convincentes, en cuanto a su efectividad, beneficios y el grado de esfuerzo requerido. El técnico debe orientar la práctica con criterios sencillos, demostrando todas las ventajas en el menor tiempo posible. Deben tenerse alternativas prácticas para lograr un convencimiento de la utilidad de las cortinas. Por ejemplo, se pueden simular resultados con asociaciones de cultivos intercalados con especies de menor tamaño que se asemejen a una cortina. Sin lugar a dudas, la demostración será muy importante en áreas donde ya están implementadas, convenciendo por medio de las explicaciones de otros agricultores. También se puede mostrar los efectos negativos por no utilizar cortinas rompeviento.

Los agricultores del Valle Central de Costa Rica protegen al cultivo de café de la acción del viento por dos razones: mantener la floración y regular la temperatura. Para eso utilizan formas de barrera casi impermeables, a distancias cortas por el tamaño de las parcelas, siendo común la existencia de barreras de ciprés (*Cupressus lusitanica*), *Casuarina equisetifolia*, "King grass" (híbrido de *Pennisetum spp*) y caña de azúcar, la mayoría en una sola hilera. No siguen ningún diseño especial y su práctica es tradicional en el lugar.

En Tierra Blanca de Cartago, Costa Rica, se emplean cortinas para controlar las heladas causadas por los vientos fríos que bajan del volcán Irazú. En Guanacaste, se emplean cortinas en el área de riego de Arenal-Tempisque, principalmente para controlar la erosión eólica y daños a los cultivos, en cuyo caso la disposición de las cortinas no es compatible con la disposición de los canales principales de riego (revestidos). La dimensión de estas cortinas es grande pues se hacen de dos y hasta tres hileras.

La problemática que se encuentra al tratar de asegurar la eficacia de las cortinas rompeviento en zonas de laderas, se puede explicar mediante la figura 6.

El ángulo de descenso del viento detrás de un rompeviento (ángulo) es independiente de la pendiente del sitio. En consecuencia, la mejor posición para un rompeviento es un poco antes o arriba de una cumbre, protegiendo así, una zona más grande. Los rompevientos deben espaciarse de manera que las zonas protegidas queden sobrepuestas.

Las laderas de montaña están en general expuestas a alternancias de vientos ascendiendo y descendiendo debido a las diferencias de temperatura entre ladera abajo y ladera arriba. La mejor disposición para una cortina rompeviento en estas condiciones es el contorno. Las cordilleras dispuestas paralelamente a los vientos dominantes enfrentan a menudo el fenómeno siguiente (por ejemplo, la Cordillera Central de Costa Rica): lluvias orográficas sobre la falda expuesta al viento húmedo y descenso de aire resecaado en la otra falda, donde puede ser muy útil el establecimiento de rompevientos.

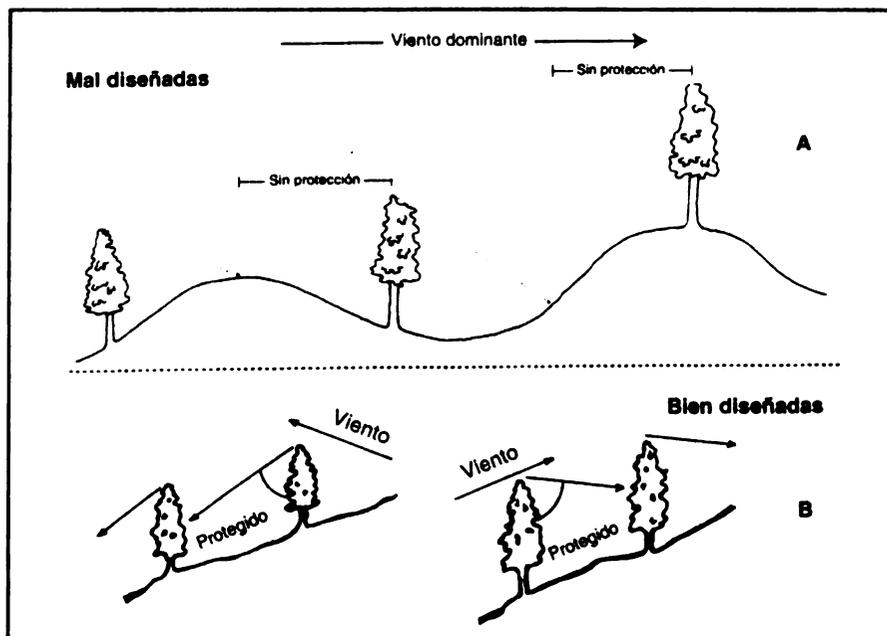


Figura 6. Cortinas rompeviento en zonas de ladera. El esquema A muestra la ineficiencia de cortinas mal diseñadas. El esquema B muestra el método para asegurar la efectividad de la cortina en laderas.

Establecimiento y Manejo de Cortinas Rompeviento

Establecimiento

Es la fase más crítica de la plantación. Se requiere lograr un alto porcentaje de supervivencia al trasplante, un crecimiento inicial rápido y un buen desarrollo de forma de la planta. En los primeros meses y años habrá que proteger los árboles de los animales y de las personas; en regiones áridas posiblemente se tendrá que regar durante los meses más críticos.

Preparación del terreno

La preparación del suelo debe completarse como para cualquier cultivo. La tierra debe limpiarse de malezas competitivas, y de ser posible, puede complementarse con un surcado del terreno y riego en la época seca. Así preparado el terreno será más fácil la elaboración de los hoyos.

Plantación

En términos generales, el espaciamiento dependerá de los hábitos de crecimiento de las especies utilizadas, la calidad del sitio, el tiempo de mantenimiento y de otros beneficios que se desee obtener (leña, frutas, madera, postes, otros). Con base en estos criterios puede anticiparse el manejo adecuado. En la Figura 7 se presenta un ejemplo de la densidad de plantación utilizada para una cortina multiestratos, en Guanacaste, Costa Rica.

- Algunas consideraciones para la siembra de los árboles son:
- Asegurarse que las especies a utilizar sean aptas para el sitio
- La línea debe ser perpendicular al viento predominante. Hay más abrigo si el viento entra perpendicular a la línea de árboles.
- La densidad del follaje debe ser la misma desde abajo hasta arriba. Por ejemplo, una hilera de árboles sin cobertura por abajo no tiene efecto como rompeviento.
- La distancia entre líneas de cortinas rompeviento debe ser de 15 a 20 veces la altura de la línea. A esta distancia entre líneas hay un efecto protector, si se plantan a mayor espaciamiento se desperdicia terreno, y si se plantan más lejos se pierde el efecto de protección.

Mantenimiento de Cortinas Rompeviento

El criterio de selección de especies y conformación de las cortinas deben contemplar un mínimo de necesidades de mantenimiento. El costo y la intensidad de mano de obra requerida pueden competir con otras actividades de la finca, pero es necesario considerar que la inversión realizada debe ser protegida para que rinda el fruto esperado. A continuación se presentan las acciones de mantenimiento requeridas.

Fertilización

El tratamiento del árbol o arbusto es similar a cualquier cultivo, y podría requerir fertilización para tener un periodo de crecimiento rápido en la etapa inicial. La fertilización debe hacerse con base en las características del sitio.

Resiembra

En el periodo de establecimiento algunos árboles se mueren, por lo que se requiere una reposición inmediata. De no ser así, los espacios vacíos linealmente implicarán zonas de turbulencia y baja efectividad de la cortina. Las resiembras deben hacerse uno o dos meses después de la siembra (especialmente en zonas con estación seca marcada), ya que es difícil que se desarrollen en años posteriores debido a la fuerte competencia de los árboles vecinos. Por lo tanto, debe tratar de lograrse un 100% de posiciones sembradas durante el primer año.

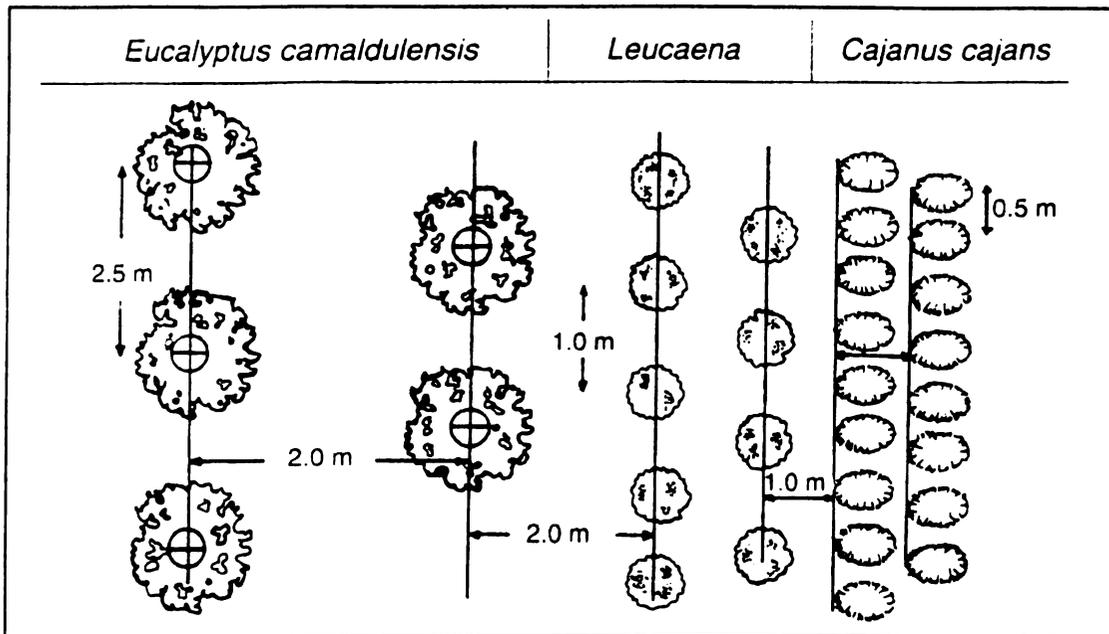


Figura 7. Esquema de plantación de cortinas rompeviento (Fuente: Servicio Nacional de Conservación de Suelos y Aguas de Costa Rica 1989).

Poda y manejo

Esta actividad está asociada con el aprovechamiento y es tan benéfica para la planta misma como para derivar productos (forraje, leña, postes). Se procura la forma y densidad del follaje (porosidad). Sirve también para eliminar las partes secas, mejorar la calidad de madera (para aserrío), estimular el rebrote, controlar deformaciones y efectos de sombra indebidos. La época en que deben realizarse las podas, debe considerar las condiciones climáticas del sitio (época seca) y los periodos de desarrollo de los árboles.

Manejo de plagas

La sanidad de la cortina es muy importante para evitar la propagación de enfermedades y plagas, y para mantener una buena conformación de la cortina. La cortina puede ser un hospante de insectos y animales, por lo que es conveniente incluirlas en el manejo de plagas de la finca.

Aprovechamiento

Esta actividad es muy importante para el agricultor, por lo tanto debe tenerse claridad del cuando y como aprovechar los productos de la cortina sin causar alteraciones en su efectividad. En cuanto a frutos, dependen de la época de maduración, para el follaje (ramoneo) dependerá de la época de menor viento o heladas, de la necesidad de mejorar la permeabilidad y de la escasez de otro tipo de alimento pecuario. La leña se produce durante la época de podas. Para la goma, postes y madera se requerirá un mayor tiempo de espera. Además deben considerarse las épocas de mayor demanda de los productos, ya sea para la venta o el consumo. Finalmente, los aspectos de aprovechamiento deben ser contemplados como parte del manejo, para así asegurar la buena calidad de los productos.

Bibliografía

- BALDWIN, C. S. 1988. The influence of field windbreaks on vegetable and specialty crops. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 22/23: 191-204.
- BAZIN, P. 1991. Overview of windbreaks and agroforestry concerns in Europe. *In: Third international windbreaks and agroforestry symposium proceedings*. Ridgetown, Canada. Pp 15-17.
- BHIMAYANA, C. P. 1976. Shelterbelts-functions and uses. *In: FAO Conservation Guide No. 3*. p. 17-28.
- BORGO, G. 1981. Cortinas rompevientos. Dirección de Recursos Naturales, Managua, Nicaragua. Ministerio de Agricultura. 24 p.
- BRENNER, A. J., VAN DEN BELDT, R. J.; JARVIS, P. G. 1993. Tree-crop interface competition in a semi-arid Sahelian windbreak. *In: The Fourth International Symposium on Windbreaks and Agroforestry Proceedings (July 26-30, 1993)*. Hedeselskabet, Denmark. p. 15-23.
- BURKE, S. J.; KELLAS J. D. 1991. Practical and productive integration of trees into agriculture in South-Eastern Australia. *In: The third international windbreaks and agroforestry symposium proceedings (June 1991)*. Ridgetown. Ontario. Canada. p. 82-83
- CASA, R.; SCARASCIA-MUGNOZZA G.; VALENTINI R.; BIMBI R. 1993. Effects of an *Eucalyptus* shelterbelt in Coastal Central Italy on the microclimate and energy budget of maize. *In: The Fourth International Symposium on Windbreaks and Agroforestry Proceedings (July 26-30, 1993)*. Hedeselskabet, Denmark. p. 53-57.
- CHEPIL, W. S. 1945. Dynamics of wind erosion: III. The transport capacity of the wind. *Soil Science* 60: 475-480.
- DEWALLE, D. R.; HEISLER, G. M. 1988. Use of windbreaks for home energy conservation. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 22/23: 243-260.
- DIX, M. E.; LEATHERMAN, D. 1988. Insect management in windbreaks. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 22/23: 513.
- DIVNEY, T. K. 1988. Estado del proyecto tapaviento hasta el final del año 1987. San José, Costa Rica. SENARA. Informe de Avance.
- DOUROJEANNI, A. 1975. Control de la erosión. Apuntes de Clase. Lima, Perú. Universidad Nacional Agraria de la Molina.
- DRONEN, S. I. 1988. Layout and design criteria for livestock windbreaks. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 22/23: 231-240.
- FAO. 1984. Directrices para el control de la degradación de suelos. Roma, Italia. FAO.
- FAUSTINO, M.J. 1986. Conservación de suelos y aguas: Apuntes de Clase. Turrialba, Costa Rica. CATIE.

- GRACE, J. 1988. Plant response to wind. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 22/23: 71-88.
- HUDSON, N. W. 1957. The design of field experiments on soil erosion. *Journal of Agricultural Engineering Research* 2: 56-65.
- HUDSON, N. W. 1982. *Conservación de suelos*. Madrid, España, Reverté.
- JOHNSON, R.J. Y BECK M.M. (1988) Influences of shelterbelts on wildlife management and biology. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 22/23: 301-336.
- KIRBY, M. ; MORGAN R. 1984. *La erosión del suelo*. México, Limusa. 375 p.
- KOHLI, R. K.; SINGH S. 1990. Allelopathic impact of Eucalyptus shelterbelt on the summer season crops. *In: The third international windbreaks and agroforestry symposium proceedings (June 1991)*. Ridgeway, Ontario, Canada. p. 135-136.
- KORT, J. 1988. Benefits of windbreaks to field and forage crops. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 22/23: 165-190.
- LOW, F. ; PAULET, M. 1967. *Conservación de suelos*. Lima, Perú. Universidad Nacional Agraria La Molina. 180 p.
- LYLES, L. 1988. Basic wind erosion processes. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 22/23: 91-102.
- MCNAUGHTON, K. G. 1988. Effects of windbreaks over turbulent transport and microclimate. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 22/23: 17-39.
- NORTON, R. L. 1988. Windbreaks: benefits to orchard and vineyard crops. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 22/23: 205-214.
- OBOHO, E. G.; L. C. NWOBOSHI. 1991. Windbreaks: how well do they work ? *Agroforestry Today* 3: 15-16.
- PASEK, J. E. 1988. Influence of wind and windbreaks on local dispersal of insects. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 22/23: 539-554.
- PAULET, M. 1973. *Control de la erosión: Apuntes de clase*. Lima, Perú, Universidad Nacional Agraria La Molina. 65 p.
- PETERSON, G. W. 1988. Disease management in windbreaks. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 22/23: 501-512.
- PROYECTO FAO-HOLANDA DFPA. 1995. *Prácticas agroforestales: metodologías y estudios de caso*. Serie Validaciones Proyecto FAO-Holanda DFPA. Quito, Ecuador. 182 p.
- PROYECTO IDA-FAO-HOLANDA (s.f.) *La cortina rompeviento*. Proyecto IDA-FAO-Holanda, San José, Costa Rica. 16 p.

- PROYECTO PRODAF/GTZ (s.f.) Cortina tapaviento. Proyecto PRODAF/GTZ, Costa Rica. 12 p.
- SERVICIO NACIONAL DE CONSERVACIÓN DE SUELOS Y AGUAS (1989) Manual de conservación de suelos. (Documento preliminar). San José, Costa Rica. 198 p.
- TORRES, E. 1984. Manual de conservación de suelos agrícolas. México D.F, México. 175 p.
- WIGHT, B. 1988. Farmstead windbreaks. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 22/23: 261-280.
- WRIGHT, B. C.; TOWNSEND, L. R. 1995. Windbreak systems in the United States. *In: Agroforestry and sustainable systems:symposium proceedings (August 7-10, 1994)*. USDA Forest Service, General Technical Report RMM-GTR-261. Washington, E. U. p. 37-42
- YOUNG, A. 1989. *Agroforestry for soil conservation*. Oxon, Reino Unido. CAB International. 276 p.

Taungya y sistemas agrosilviculturales permanentes*

**John Beer
Gerald Kapp
Carlos Lucas
Arturo Vargas**

- **Introducción**
- **Conceptos básicos**
- **Historia del sistema taungya**
- **Reforestación con sistemas agrosilviculturales
vs reforestación sin asocio**
- **Posibles ventajas de agrosilvicultura
vs reforestación pura**
- **Posibles desventajas de agrosilvicultura
vs reforestación pura**
- **Criterios para la selección de los componentes
de los sistemas agrosilviculturales**
- **Productividad agrícola y forestal**
- **Análisis económico**
- **Bibliografía**

* Publicado también en: **Alternativas de reforestación: Taungya y sistemas agrosilviculturales permanentes vrs plantaciones puras**. CATIE. Serie Técnica. Informe Técnico No. 230. 26 p.

Taungya y sistemas agrosilviculturales permanentes

Introducción

Este documento ha sido preparado para presentar dos sistemas alternativos de reforestación para los pequeños y medianos productores. Para este propósito se presenta un resumen de las publicaciones que sobre el tema han sido preparadas por el Proyecto Agroforestal CATIE/GTZ (Beer *et al.*, 1994; Lucas *et al.*, 1995; von Platen, 1996). Estas tres publicaciones se complementan en el seguimiento de las actividades de investigación y transferencia de tecnologías que el Proyecto realiza en la región de Baja Talamanca en la costa del Atlántico Sudeste de Costa Rica.

La primera publicación de Beer *et al.* (1994) analiza el concepto, ventajas y desventajas de los sistemas agrosilviculturales, los cuales incluyen al sistema Taungya, comparado con la reforestación sin asocio. La segunda de Lucas *et al.* (1995), presenta los resultados de un ensayo Taungya - agrosilvicultural permanente instalado desde noviembre de 1988 en Baja Talamanca en donde se estudia el comportamiento biofísico de dos especies maderables: laurel (*Cordia alliodora*) y mangium (*Acacia mangium*), bajo dos tecnologías de manejo: en plantación pura y en asocio con una secuencia de cultivos agrícolas, tales como maíz (*Zea mays*), jengibre (*Zigiber officinale*) y arazá (*Eugenia stipitata*). Finalmente, en la tercera publicación de von Platen (1996) se analiza la economía de tres tipos de producción de *C. alliodora*: la plantación pura, la combinación con solo cultivos agrícolas anuales en la fase inicial del ciclo forestal (sistema Taungya) y la asociación continua con cultivos agrícolas anuales seguidos por perennes (agrosilvicultura permanente).

Conceptos básicos

Un sistema agrosilvicultural es una plantación en la cual se combinan los cultivos agrícolas y especies maderables. Esta combinación podría ser temporal (Taungya) o bien permanecer hasta el aprovechamiento de la madera. Aunque el término "Taungya" era originalmente el nombre de un método que el Departamento Forestal de Birmania utilizaba, con agricultores migratorios, para establecer plantaciones forestales, se sigue la tendencia moderna de utilizar el término para cualquier combinación de cultivos agrícolas con maderables durante la fase del establecimiento de los últimos; con o sin la participación de una organización forestal. Por otro lado, se denominará en adelante "sistema agrosilvicultural permanente" a la combinación continua de cultivos agrícolas con maderables ("Taungya modificada" según Nair, 1991).

Las combinaciones de árboles maderables con cultivos perennes como el cacao (*Theobroma cacao*) o café (*Coffea* spp.), son ejemplos bien conocidos de sistemas agrosilviculturales permanentes. Estos sistemas son alternativos para el pequeño o mediano propietario con interés en reforestación pero que necesita que sus terrenos le rindan ingresos a corto plazo y de manera permanente.

El Taungya es un método apropiado para finqueros que tengan el terreno suficiente para dedicar una parte a la producción maderable, pero que también necesitan reducir los costos de establecimiento y de espera. Generalmente, el manejo de un sistema Taungya es menos complicado que el manejo de plantaciones forestales o un sistema agrosilvicultural permanente. Los sistemas agrosilviculturales permanentes son una opción más apropiada en terrenos de vocación agrícola, mientras que un Taungya es más apropiado para terrenos de vocación forestal donde es factible conseguir una o dos cosechas de un cultivo anual, incluso sin aplicaciones de fertilizantes, si ha existido previamente un barbecho suficiente. No se deben utilizar los sistemas Taungya en suelos propensos a la erosión.

En zonas como Talamanca, Costa Rica, donde hay programas de reforestación con incentivos para fincas pequeñas y medianas, un sistema Taungya es una alternativa atractiva distinta a las plantaciones puras que se promueve la autoridad estatal.

Historia del Sistema Taungya

Sistemas combinados de cultivos agrícolas con maderables fueron desarrollados en forma independiente en Europa (Kapp, 1987), China y la antigua Birmania, hoy Myanma (Jordan *et al.*, 1992).

El nombre Taungya se originó en Birmania, país donde el sistema fue promovido desde 1856 por Dietrich Brandis, regente forestal de ese entonces. En su forma original consistía en la siembra de semilla de teca (*Tectona grandis*) dentro de los cultivos tradicionales, principalmente arroz (*Oryza sativa*) y algodón (*Gossypium* spp.). Así, el Departamento Forestal podía contar con mano de obra y reducir los costos de reforestación, especialmente la roza y las primeras limpiezas y los agricultores dispondrían de la tierra para cultivar. Cuando los agricultores migratorios desocupaban sus campos de cultivo después de un año, como siempre lo hacían debido a la alta competencia de las malezas y la fertilidad en descenso, quedaban los árboles sembrados y los agricultores recibían una recompensa en dinero según la cantidad de árboles sobrevivientes. En los siguientes años se pagaba adicionalmente para otras limpiezas (Brandis, 1884).

Sobre la base del éxito inicial de esta experiencia, el método se difundió en muchos países tropicales como solución parcial a la destrucción de bosques debido al sistema de "roza y quema" y para compatibilizar las necesidades de tierra de la población rural y las necesidades de los Servicios Forestales de establecer nuevas plantaciones maderables.

Entonces, en su sentido original, el sistema Taungya implicó el asocio temporal de cultivos anuales con árboles maderables para reducir los costos del establecimiento de plantaciones forestales estatales. En muchos países tuvo un sentido aún más restringido que fue la conversión de bosques naturales a plantaciones forestales, por medio de agricultores migratorios que practicaban el sistema de roza y quema (Lamprecht, 1990). Era visto como método de reforestación más que un sistema agroforestal.

Dado que el enfoque del método fue la reforestación, no se hizo ninguna modificación silvicultural para facilitar la producción agrícola. Una vez que las copas de los maderables empezaban a cerrar, no era posible seguir con el asocio agrícola. Como consecuencia, después de una a tres cosechas, los agricultores tenían que salir de la zona de reforestación o pasar a cultivar otra área recién sembrada con maderables, sin recompensa adicional.

En varios países, el sistema Taungya fue utilizado como respuesta a la demanda de tierras del Estado, permitiendo a las administraciones forestales imponer condiciones rígidas a los cultivadores. La mayoría de los beneficios quedaron para los Departamentos Forestales y la situación económica de los agricultores continuó siendo crítica. De allí que el método Taungya haya sido criticado como un "vestigio de colonialismo" y un abuso contra los cultivadores que practicaban la agricultura migratoria. De hecho, debido a que los cultivadores no recibieron ningún beneficio de los productos arbóreos (que eran propiedad del Estado), ocurrieron casos de daños accidentales y hasta deliberados en las plantaciones forestales.

Esas razones históricas han hecho que la metodología Taungya haya ganado una mala reputación, incluso en América Latina donde ha sido poco practicado. Sin embargo, con el reconocimiento del papel de los finqueros privados y de las organizaciones locales en la reforestación, vale la pena reexaminar el potencial del Taungya, bajo el supuesto que el finquero es dueño tanto de los árboles como de los cultivos (Somamba, 1981). Se habla de un "Taungya privado" en contraste con el histórico 'Taungya estatal'.

Combinaciones y rotaciones muy semejantes al Taungya en cuanto a sus aspectos biofísicos, son bien conocidas por los finqueros de América Latina. Por ejemplo, es común observar maíz o frijoles (*Phaseolus vulgaris*) en nuevas plantaciones de café, aprovechando el control de malezas para el beneficio del cultivo perenne y de paso obteniendo alimentos o ingresos efectivos por la venta de los productos agrícolas. En nuevas plantaciones de cacao, en terrenos sin cobertura, es necesario sembrar cultivos que le proporcionen sombra temporal al cacao, tales como el gandul (*Cajanus cajan*), plátano (*Musa AAB*), yuca (*Manihot esculenta*) u otros cultivos de porte mediano, mientras se desarrolla una sombra permanente. Este tipo de asociación es diferente al caso del Taungya, pero la experiencia acumulado sobre cómo asociar cultivos anuales con perennes durante su fase de establecimiento, es muy relevante para implementar Taungya con maderables.

Reforestación con sistemas agrosilviculturales *versus* reforestación sin asocio

Es necesario considerar las diferentes opciones "Taungya" cuando se discute las consecuencias biofísicas y socioeconómicas que resultan de utilizar estos sistemas agrosilviculturales para reforestación. Por ejemplo, cuando un finquero quiere establecer un sistema "Taungya privado" en su propio terreno, hay que considerar los aspectos biofísicos y la rentabilidad en comparación con una reforestación sin asocio. Cuando se piensa utilizar el sistema "Taungya estatal", en reservas forestales, hay que considerar otra serie de aspectos socioeconómicos y hasta políticos adicionales, antes de adoptar este método. Dado que el interés actual primordial es la reforestación en fincas privadas, no se presentan argumentaciones sobre este último sistema.

Es importante destacar que esta discusión se refiere a zonas donde la decisión de sembrar maderables ya ha sido tomada y la pregunta es: ¿Vale la pena hacer reforestación con o sin el asocio? No se trata entonces de hacer contrastes entre ventajas y desventajas de sembrar maderables y cultivos en el mismo terreno o de forma separada (Somarriba *et al.*, 1994). Además, muchos finqueros tienen poco interés en sembrar cultivos anuales como maíz o yuca, dado que tienen alternativas agrícolas más rentables y menos riesgosas (p.e. plátano). Sin embargo, para reducir los costos de reforestación, el maíz y la yuca pueden ser cultivos apropiados.

Posibles ventajas de agrosilvicultura *versus* reforestación pura

A continuación se dan las posibles ventajas y desventajas de utilizar sistemas agrosilviculturales para reforestación. Es importante notar que no ocurren todas estas interacciones en cada sitio e inclusive que hay ventajas y desventajas aparentemente contradictorias. Si es ventajoso o no utilizar un sistema agrosilvicultural en lugar de reforestación pura, dependerá del sitio (suelo, clima, etc.), las condiciones socioeconómicas del finquero (p.e. disponibilidad de mano de obra, terreno, efectivo) y las especies involucradas (maderables y cultivos). Todos los puntos que continúan en las listas deben ser considerados antes de tomar una decisión, pero algunos no serían importantes en casos específicos. Esta decisión solamente puede ser tomado por el técnico o el finquero con base en su conocimiento de las condiciones específicas de la finca. No existen recetas!

1. El manejo y la ganancia de los cultivos agrícolas puede reducir o pagar los costos de establecimiento de los maderables. No hay que esperar hasta el fin del turno forestal para recibir ingresos de la parcela reforestada. Si en vez de un Taungya se establece una asociación con un cultivo perenne, existe la posibilidad de obtener ganancias agrícolas durante todo el turno forestal.

2. El manejo agrícola (limpias, fertilización, etc.) puede mejorar las condiciones biofísicas del sitio, lo cual resulta en mejores tasas de sobrevivencia y crecimiento de los maderables.
3. Si el asocio es con un cultivo leguminoso, podría mejorarse la disponibilidad de nitrógeno para los árboles.
4. Para zonas secas se podría reducir el riesgo de fuego por tener cultivos (terreno limpio) en lugar de maleza seca.
5. El cuidado de los cultivos, para evitar daños por los animales, reduce el riesgo de daños en los árboles.
6. La frecuencia de atención a un campo agrícola es mayor que lo normal para una plantación forestal pura, lo cual facilita la oportuna detección y tratamiento de problemas de plagas o enfermedades forestales durante la etapa de establecimiento.
7. Es posible que el asocio de los maderables con cultivos puede reducir la dispersión de enfermedades de los árboles (p.e. *Fusarium* en las raíces), o de una plaga (p.e. el barrenador de cedro y caoba). Este punto se menciona frecuentemente como ventaja en los sistemas agrícolas intercalados, pero todavía no se conocen resultados que demuestren que sea una ventaja significativa en los sistemas agroforestales. También se ha sostenido que la incidencia de enfermedades y plagas en los cultivos sería menor cuando se intercala entre líneas de maderables (Jordan *et al.*, 1992)
8. El aprovechamiento intensivo de los nutrientes disponibles en el suelo que realizan los cultivos agrícolas al instalarse después de limpiar una parcela para su reforestación, reduce las pérdidas por lixiviación.

Posibles desventajas de agrosilvicultura *versus* reforestación pura

1. La presencia de agricultores quienes están acostumbrados a utilizar el fuego para limpiar un terreno agrícola puede resultar en fuegos en las plantaciones forestales.
2. Puede resultar que, debido a la competencia de los cultivos, los maderables tengan una fase de crecimiento y sobrevivencia más baja.
3. Efectos alelopáticos (alteración en la sobrevivencia y el crecimiento de otras plantas cercanas por la liberación de sustancias químicas) de los cultivos en los maderables. Sin embargo, hasta

ahora solamente se han reportado efectos alelopáticos de los árboles en los cultivos (Jordan *et al.*, 1992).

4. Las actividades de manejo y cosecha de los cultivos pueden perjudicar a los árboles (p.e. daños a las raíces de los maderables durante una cosecha de cultivos de raíces o tubérculos).
5. Si el cultivo agrícola (especialmente un perenne) está dando buenas ganancias y a juicio del finquero sus rendimientos están siendo reducidos por la competencia de los maderables, podría verse impulsado a hacer podas excesivas de los maderables e inclusive hasta eliminar árboles "futuros" (árboles seleccionados para la cosecha final por su crecimiento y forma superior).
6. Dado que la demanda de recursos para el establecimiento y la intensidad de manejo en un sistema agrosilvicultural es más alto, el área que se puede reforestar sería menor.
7. Deterioro del sitio debido a erosión o agotamiento de nutrientes (p.e. demasiadas cosechas de yuca sin fertilización). No es recomendable utilizar Taungya en fuertes pendientes.
8. En el caso de asocio a mediano o largo plazo, las actividades silvícolas pueden provocar daños físicos en cultivos perennes (p.e. raleos de maderables en plantaciones de cacao).
9. Si los cultivos y los árboles son susceptibles a las mismas plagas o patógenos, el asocio puede ser altamente perjudicial e inestable.

Criteria para la selección de los componentes de los sistemas agrosilviculturales

En la selección de los componentes agrícolas y forestales de los sistemas agrosilviculturales, es importante destacar que las características de los árboles y los cultivos se pueden modificar con buenas prácticas de manejo para aprovechar sus características positivas y minimizar las negativas. Por ejemplo, se puede manipular estas interacciones a través de:

1. Las fechas y secuencia de siembra de los componentes forestales y agrícolas;
2. Los espaciamientos entre los árboles en el cultivo y entre los árboles y cultivos;
3. Duración del período de asocio (período agrícola);
4. Métodos de manejar los dos componentes (podas, fertilización, control de malezas, etc.).

Además, las condiciones de cada sitio deben ser evaluadas para hacer coincidir los requerimientos de las especies maderables y agrícolas con las características del sitio (p.e. no sembrar *C. alliodora* ni frijoles en sitios con mal drenaje).

Selección de los maderables

Cuando la intención es utilizar un sistema Taungya, donde el objetivo principal es el establecimiento de una plantación forestal, las especies maderables deben ser fuertes competidoras con el componente agrícola. Deben ser entonces de crecimiento rápido, con capacidad de cerrar sus copas rápidamente y ser tolerantes a la competencia por luz, agua y nutrimentos durante el primer año.

Cuando se da a la producción agrícola igual importancia que a la producción forestal (sistemas agrosilviculturales permanentes), las especies forestales idealmente deben (King, 1968):

1. Dar una forma de fuste aceptable aún cuando se planta con amplios espaciamientos (p.e. *C. alliodora* es un buen ejemplo, mientras que *la T. grandis* no tiene esta característica).
2. Tener autopoda (p.e. *C. alliodora*).
3. No dar una sombra densa (p.e. *Eucalyptus deglupta*).
4. Recién establecidos deben ser tolerantes a la sombra lateral y algo de sombra vertical (p.e. *C. alliodora*).
5. Tener una copa pequeña (p.e. *C. alliodora*).
6. No tener efectos alelopáticos sobre los cultivos asociados (p.e. excluir *Eucalyptus* spp. en zonas secas) (Jordan *et al.*, 1992).
7. No deben tener un sistema radicular superficial que daría una competencia fuerte a los cultivos y que sería susceptible al daño debido al manejo agrícola.
8. Deben tener potencial económico.

Selección de los cultivos

1. No deben dar una sombra densa antes de la dominancia de los árboles (p.e. excluir cacao antes del establecimiento de los maderables).

2. No se deben incluir especies trepadoras mientras los árboles son jóvenes (p.e. excluir ñame - *Dioscorea alata*- durante la fase de establecimiento).
3. No deben agotar los nutrientes del suelo hasta un nivel que pudiese afectar la calidad del sitio (p.e. excluir plátano cuando no está previsto aplicar fertilizantes para reemplazar los nutrientes perdidos).
4. Si se van a cultivar raíces y tubérculos, estas no deben extenderse lejos del tallo (p.e. excluir yuca), para evitar daños a las raíces de los árboles en el momento de cosechar el cultivo agrícola.
5. Sería una ventaja si fijan nitrógeno.
6. Deben tener potencial económico.
7. Debe existir una tradición y experiencia en la zona con estas especies.
8. No deben tener la capacidad de convertirse en maleza (en algunos casos en África se recomienda excluir la higuera -*Ricinus communis*).
9. No debe ser hospedero de plagas que pueden afectar a los árboles (el hongo *Armillaria mellea* que ataca los árboles vía yuca)
10. Deben ser tolerantes a la sombra (p.e. jengibre) o aún mejor, necesitar algo de ella (p.e. cacao, una vez establecidos los maderables).
11. No deben causar daños físicos a los árboles (p.e. la caída de plátano en una plantación forestal nueva).
12. No deben tener efectos alelopáticos sobre los árboles.
13. No deben competir fuertemente por nutrientes con los árboles recién sembrados (p.e. el arroz ha sido prohibido en sistemas Taungya en algunos países).
14. Deben ser especies poco exigentes en cuanto a manejo. La mano de obra requerida para el cultivo agrícola puede limitar el área que se pueda reforestar con sistemas agrosilviculturales.

Un ejemplo práctico

En 1988, en el marco del Proyecto CATIE/GTZ, en Baja Talamanca, Costa Rica, se diseñó y montó un ensayo agrosilvicultural permanente, en el que se estudió el comportamiento biofísico de dos especies maderables (*C. alliodora* y *A. mangium*), bajo dos tecnologías de manejo: en plantaciones puras y con cultivos agrícolas. En la asociación árboles-cultivos (sistema agrosilvicultural) se distinguieron dos fases: una asociación temporal ("Taungya"), con una secuencia de cultivos anuales: tres cosechas de maíz, una de jengibre y después una asociación permanente con el frutal arbustivo *E. stipitata*.

Productividad agrícola y forestal (Lucas *et al.* , 1995)

Después de cinco años de evaluación se encontró que para los árboles maderables, se lograron los mejores índices de crecimiento y sobrevivencia en los sistemas agrosilviculturales que en las plantaciones puras. Además, *C. alliodora* asociado resultó mejor que *A. mangium* asociado, dando 90 m³/ha a los cinco años, comparado con 60 m³/ha logrado en los otros tres tratamientos. Ambas especies no se diferenciaron en plantaciones puras. Sin embargo, *A. mangium* se mostró especialmente susceptible al ataque de ratas durante los dos primeros años, enfermedades radiculares y a problemas de drenaje en el suelo aluvial del sitio experimental.

La producción de maíz fue mayor en monocultivo o en asocio con *A. mangium*, tal vez por el menor grado de competencia del mangium que presentó problemas en su establecimiento (Cuadro 1). La productividad del maíz disminuyó fuertemente en la tercera cosecha debido a que no se fertilizó durante esta etapa y al sombreado por los árboles (ya tenían una altura de 4 a 6 m). En asocio, el número de plantas de jengibre fue el 50% del número en parcelas de monocultivo, lo cual explica la mayoría de la diferencia en rendimientos. Este es un cultivo que exige una inversión fuerte de recursos y mando de obra, lo cual limita su aceptabilidad. Los datos de *E. stipitata* eran provisionales, un año de cosecha solamente y estudios anteriores sugieren que la productividad aumentará en el futuro. Aunque la productividad de *E. stipitata* era menor en asocio con maderables, su potencial dentro de plantaciones forestales es evidente.

Cuadro 1. Producción (kg/ha) de maíz, jengibre y arazá en sistema Taungya en tierras bajas del trópico húmedo de Costa Rica.

Tratamiento	Maíz 2	Maíz 3	Jengibre	Arazá
Laurel asociado	2490	1190	8970	19200
Mangium asociado	2790	1980	7930	16000
Cultivo puro	2380	1860	23560	24400

Las principales conclusiones y recomendaciones de este ensayo fueron las siguientes:

1. Árboles asociados con cultivos agrícolas (sistemas agrosilviculturales) obtuvieron mejores índices de crecimiento y sobrevivencia que en reforestación pura. *C. alliodora* presentó mejores índices de crecimiento y sobrevivencia que *A. mangium*, como componentes maderables de sistemas agrosilviculturales.
 - 1.1 El crecimiento diamétrico y de altura de *A. mangium* asociado con maíz a los 18 meses, fue menor que en plantación pura. Esto podría ser un efecto de la intensidad de las resiembras de *A. mangium* en las parcelas asociadas. El crecimiento inicial de *C. alliodora* no fue afectado por el asocio con maíz.
 - 1.2 Hubo mayor crecimiento diamétrico de los árboles a densidades menores. Esto sugiere la necesidad de raleos más tempranos que los practicados en el ensayo, pero deben considerarse las desventajas que conlleva esa decisión, principalmente el aumento de eventos de control de malezas, debido al aumento en la luz por debajo de los árboles (plantación pura) y las tendencias a una mayor ramificación de los árboles, lo que aumentará a su vez la necesidad de podas.
 - 1.3 En plantaciones puras (a 3x3 m) el crecimiento de *A. mangium* fue similar al de *C. alliodora*. En parcelas asociadas, *A. mangium* creció menos que *C. alliodora*.
 - 1.4 *C. alliodora* creció más en altura en las parcelas asociadas que en las puras, lo que demuestra su respuesta al mejoramiento de las condiciones del sitio. *A. mangium* no respondió a esas condiciones.
2. Cultivos agrícolas en sistemas agrosilviculturales pueden lograr productividades razonables, aunque sería lógico esperar mayores rendimientos cuando se cultivan "puros". Es muy importante la selección de cultivos y su rotación de acuerdo al desarrollo de los árboles.
 - 2.1 Para disminuir los riesgos de daños a las raíces de los árboles maderables, en el caso de sistemas agrosilviculturales, sería preferible introducir temprano un cultivo como jengibre. La rotación podría ser: maíz-maíz-jengibre-arazá. Esto reduciría la fase del Taungya y adelanta la introducción del sistema agroforestal permanente.
 - 2.2 Arazá está rindiendo prácticamente igual bajo *C. alliodora* y *A. mangium*, con productividades atractivas para un eventual mercado.

3. La reforestación con maderables mediante la instalación de sistemas agrosilviculturales presenta mayores ventajas que la reforestación pura, en las condiciones del ensayo. El sistema agrosilvicultural con *C. alliodora* asociado a una secuencia de maíz (hasta dos siembras), jengibre y arazá, es recomendable para la zona del estudio, en terrenos bien drenados y sin problemas de compactación. Debe descartarse *A. mangium* como especie de reforestación para este tipo de sitios.

Análisis Económico (Platen, 1996)

Debido a la intensidad del manejo que requiere el cultivo de arazá, los dos sistemas "reforestación pura" y "sistema mixto" son tan diferentes que una comparación del tipo "dos sistemas sustitutos" no es posible. El sistema mixto, al final no es una reforestación con énfasis en el componente forestal, sino una producción agroforestal, en la cual el componente agrícola domina completamente. El sistema Taungya se acerca más a las características de una reforestación pura.

Sin embargo, los tres sistemas de producción son económicamente atractivos y pueden ser soluciones interesantes para finqueros en busca de alternativas (Cuadro 2). La escogencia entre las tres actividades depende del finquero, sus recursos, alternativas y gustos. El Cuadro 3 resume las características globales de los sistemas en este sentido y proporciona indicaciones para tomar esta decisión.

Cuadro 2. Indicadores financieros para reforestación pura, Taungya y un sistema agrosilvicultural incluyendo *Cordia alliodora* en las tierras bajas del trópico húmedo de Costa Rica.

	Reforestación pura	Taungya	Agrosilvicultura Permanente
Retorno por trabajo (\$/día)	14,5	19,6	13,5
Margen bruto (ingreso neto (\$/ha/año)	139	542	1310
Razón beneficio/costo (\$ganados/\$invertidos)	2,6	2,2	2,0

La reforestación pura es más apta para finqueros que tienen una relación tierra/mano de obra alta; es decir, que disponen de mucha tierra pero carecen de mano de obra. Además, deben tener otras fuentes de ingresos. A pesar de que el sistema no requiere altas inversiones por hectárea, las requiere por mucho tiempo. En el caso de falta de mano de obra es económico emplear mano de obra contratada. Aunque todos los índices económicos no son muy elevados, una producción de este tipo se considera muy sólida por su bajo riesgo.

Cuadro 3. Características económicas globales de los sistemas.

Concepto	Reforestación pura	Sistema mixto	Taungya
Intensidad			
Capital/ha	Baja	Muy alta	Baja ¹
Mano de obra/ha	Baja	Muy alta	Baja ¹
Riesgo	Bajo	Alto	Mediano
Rentabilidad mano de obra	Mediana	Mediana	Alta
Estabilidad a cambios	Baja ²	Mediana	Alta
Rentabilidad del capital	Mediana	Mediana	Mediana
Estabilidad a cambios	Mediana ²	Baja	Mediana
Productividad de la tierra	Muy baja	Alta	Mediana
Estabilidad a cambios	Mediana ²	Baja	Baja

¹ Alta en el año 3

² Aunque los efectos de cambios en precios son pronunciados, son poco probables.

Una opción interesante para finqueros con limitada disponibilidad de mano de obra y capital pero suficiente tierra es la siembra de árboles en forma rotativa, es decir, en pequeñas extensiones anuales, durante varios años. De esta manera, se disminuyen los costos por año y se distribuyen los beneficios en varios años. Gradualmente estas siembras pueden desembocar en una forestería tradicional, en la cual hay siembra y cosecha todos los años, cuando la corta de la primera siembra ocurre en el mismo año de la siembra del último terreno designado a la forestería. Sin embargo, los lotes por sembrar en cada año no pueden ser demasiado pequeños, para evitar que los costos fijos aumenten el costo total por árbol y para evitar interferencias negativas entre árboles grandes y pequeños.

El sistema mixto o “agrosilvicultural” es más recomendable para finqueros con una baja disponibilidad de tierra, pero alta disponibilidad de mano de obra y capital para los primeros años. Después, la producción “devuelve” la inversión a mediano plazo y proporciona altos beneficios por hectárea.

Sin embargo, el componente económico mayor, el arazá, es un cultivo con elevadas probabilidades de oscilación del precio en el mercado y los índices económicos son muy sensibles ante tales cambios. Por lo tanto, este sistema no es recomendable para finqueros que buscan un sistema de producción como su único o mayor pilar de existencia.

Por los problemas en el mercadeo, sin embargo, el riesgo es actualmente grande y no se puede recomendar la siembra de arazá a gran escala. Hay que esperar hasta que se desarrolle un mercado con canales y precios. Además, solo el mercado internacional puede absorber las grandes cantidades del producto que resultarían de su productividad alta (posiblemente más de 20 ton. de pulpa fresca/ha/año).

Si este mercado se desarrolla, el cultivo de arazá, solo o en combinación con árboles, puede traer beneficios para los pequeños productores: la producción y el procesamiento ofrecen tan altas tasas de empleo por unidad de tierra (aproximadamente 230 jomales/ha), que sería una pérdida no darle apoyo a los esfuerzos de los "pioneros" del cultivo como el finquero colaborador, Señor Ignacio Pavón. Pero a la vez, es necesario promover el producto en los posibles mercados.

La ventaja del sistema Taungya es que retorna el capital invertido en la reforestación mucho antes de la cosecha de los árboles, aunque no muestra una rentabilidad elevada de la tierra. Es un sistema recomendable para finqueros con suficiente disponibilidad de tierra y mano de obra en los primeros años, pero con limitantes, o con opciones más lucrativas a largo plazo.

Como los beneficios de la parte agrícola son apreciables, la mano de obra en los primeros años puede ser la misma fuerza laboral que se emplearía en otra actividad comercial.

De igual manera, el requerimiento de capital es relativamente alto, sobre todo para un cultivo intensivo como el jengibre, pero es devuelto a corto plazo. Con esta característica, el sistema funciona como cualquier actividad agrícola a corto plazo. Queda al final la cosecha de árboles como un beneficio adicional, debitando solamente el costo de oportunidad de la tierra.

BIBLIOGRAFIA

- BEER, J.; KAPP, G.; LUCAS, C. 1994. Alternativas de reforestación: Taungya y sistemas agrosilviculturales permanentes vs. Plantaciones puras. Turrialba, Costa Rica, CATIE. Serie Técnica. Informe Técnico No. 230. 25 p.
- BRÄNDIS, D. 1884. Über Brandwietschaft in den Bergen Ostindiens, namentlich in Burma. Allg. Forst - u. Jagd - Zeitung 60:377-386.
- JORDAN, C.F.; GAJASAÜ, J.; WATANABE, H. (Eds.) 1992. Taungya: forest plantations with agriculture in South-east Asia. Wallingford, England. CAB International. 153 p.
- KAPP, G. 1987. Agrosilviculture - a system of agroforestry in the 18th and 19th Century in Germany. Plant Research and Development (Alemania) 26:36-45.
- KING, K.F.S. 1968. Agri-silviculture (The Taungya system). Ibadan, Nigeria, Department of Forestry, University of Ibadan. 107 p.
- LAMPRECHT, H. 1990. Silvicultura en los trópicos: los ecosistemas forestales en los bosques tropicales y sus especies arbóreas; posibilidades y métodos para un aprovechamiento sostenido. Rossdorf, Alemania. Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit. 155 p.

LUCAS, C.; BEER, J.; KAPP, G. 1995. Reforestación con maderables: sistemas agrosilviculturales vs. plantaciones puras en Talamanca, Costa Rica; resultados agrícolas y forestales. Turrialba, Costa Rica, CATIE. Serie Técnica. Informe Técnico No. 243. 64 p.

NAIR, N.P.K. 1991. State of the art. Agroforestry Systems. Forest Ecology and Management 45: 5-29.

PLATEN, H. von. 1996. Alternativas de reforestación: Taungya y sistemas agrosilviculturales permanentes vs. plantaciones puras; la economía. Turrialba, Costa Rica, CATIE. Serie técnica. Informe técnico no. 250. 55 p.

SOMARRIBA, E. 1981. Sistema Taungya: Tecnología apropiada de repoblación forestal. Turrialba, Costa Rica, CATIE. (sin publicar) 25 p.

SOMARRIBA, E.; DOMINGUEZ, I.; LUCAS, C. 1994. Cacao-plátano-C. *alliodora*. Manejo, producción agrícola y crecimiento maderable. Turrialba, Costa Rica, CATIE. Serie Técnica. Informe Técnico No. 233. 63 p.

Barbechos mejorados

Donald Kass

- **Introducción**
- **Sistemas de barbechos**
- **Conclusiones**
- **Bibliografía**

Barbechos mejorados

Introducción

El barbecho es la vegetación que crece en una área durante un periodo de descanso, que por lo general no es lo suficientemente largo para que reaparezca la vegetación original (Grigg, 1974). El barbecho mejorado se considera como una fase intermedia entre la agricultura migratoria y la agricultura sedentaria, con rotaciones más cortas (Raintree, 1987). Raintree considera que en el proceso de intensificación del uso de la tierra hay una secuencia que se inicia con el barbecho de bosque (más propiamente la roza), barbecho de matorral, barbecho de malezas, cultivos anuales y cultivos múltiples. No hay evidencia que esta secuencia de verdad ocurra debido a que los barbechos de malezas se practican principalmente en áreas demasiado húmedas para quemar la vegetación (Thurston, 1997) y no reemplazan un sistema de barbecho de matorral. Raintree y Warner (1986) hacen distinción entre el barbecho económicamente mejorado, donde las plantas son introducidas al barbecho, principalmente por su valor económico y los barbechos biológicamente mejorados, donde las plantas son introducidas por su capacidad de mejorar la fertilidad del suelo o deprimir el crecimiento de malezas (Figura 1).

En el diagrama de Raintree (1987), los dos ejes representan intensidad de uso de la tierra e intensidad del uso de la mano de obra. Este autor no da valores al eje equis, que corresponde a la intensidad de uso de la mano de obra, pero presenta un método para estimarla.

Este documento se concentrará principalmente en los barbechos de matorrales. Kass *et al.* (1994) han notado que dentro de la roza, se encuentran muchas características del barbecho mejorado, ya que el agricultor generalmente selecciona cuáles árboles va a quemar y cuáles dejará con protección y frecuentemente, siembra árboles durante la fase de cultivo para cosecharlos durante el periodo de abandono.

Kass y Somarriba (1997) han separado los sistemas de barbecho en las Américas en ocho grupos:

1. Sistemas de herbáceas no quemadas, con una especie predominante.
2. Sistemas de herbáceas quemadas, con una especie predominante.
3. Sistemas de herbáceas no quemadas, con especies múltiples.
4. Sistemas de herbáceas quemadas, con especies múltiples.
5. Sistemas con leñosas no quemadas, con una especie predominante.
6. Sistemas con leñosas quemadas, con una especie predominante.
7. Sistemas con leñosas no quemadas, con especies múltiples.
8. Sistemas con leñosas quemadas, con especies múltiples.

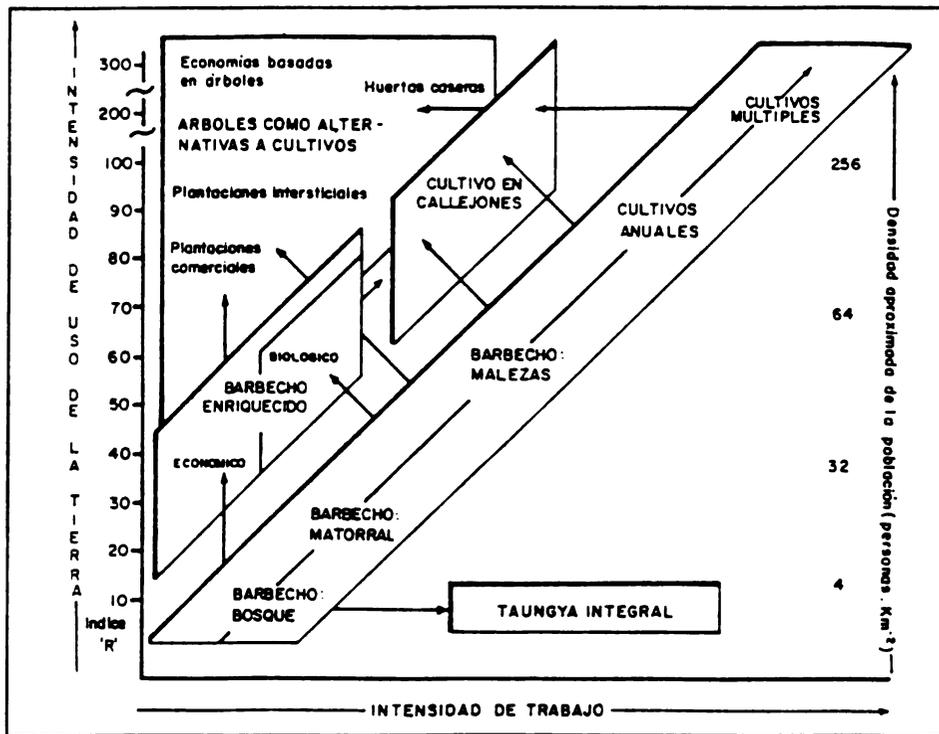


Figura 1. Vías agroforestales para la intensificación del uso de la tierra en los principales sistemas tropicales de fincas. (Raintree, 1987).

Los sistemas con herbáceas, como no constituyen propiamente un sistema agroforestal, no están dentro del alcance de este artículo. Sin embargo, algunos de estos sistemas, como el frijol tapado y los barbechos con mucuna, han recibido recientemente mucha atención en el trópico americano. Por esta razón también se consideran estos sistemas en este documento, pero con menor detalle.

Sistemas de barbechos

Sistemas de especies no quemadas, con una especie predominante

Se incluye en esta categoría los sistemas de barbecho que actualmente reciben mucha atención por parte de los investigadores y algunos agricultores en América Central y otras áreas de América Latina. Las especies más utilizadas son *Mucuna deeringiana*, *Lathyrus nigrivalis*, *Canavalia ensiformis* y *Dolichos lablab*. Como las dos primeras especies no son nativas de las Américas, se trata de sistemas que han evolucionado recientemente. Se considera que la mucuna fue introducida para utilizarse en plantaciones de banano hace unos cien años. No se sabe cuándo el *L. nigrivalis* fue introducido al altiplano de Guatemala, donde actualmente se planta al final del periodo de siembra del maíz, para crecer durante la época seca. Un sistema semejante, con siembra de la leguminosa pocas semanas después de la siembra del maíz se ha introducido utilizando *C. ensiformis* en Panamá. Esta especie se

encuentra frecuentemente en fincas de América Latina, donde se utiliza más como planta repelente a los insectos o para la conservación de suelos más que como un barbecho. Ambas, la *Canavalia* y el *Lathyrus* tienen una resistencia a la sequía que les permite crecer durante esa época, haciéndolo de gran utilidad en regiones con un período seco prolongado.

El reciente uso de la *M. deerengiana* ha tenido un fuerte efecto en Centro América. Muchos agricultores han podido obtener un cierto grado de producción sostenible de maíz y frijol en áreas donde recientemente predominaba la agricultura migratoria. El desempeño de los barbechos de arbustivas tendrá que ser muy superior para inducir a los agricultores a dejar la mucuna por barbechos de leñosas.

Sistemas de herbáceas quemadas, con una especie predominante

Es una práctica común quemar el kudzú (*Pueraria phaseoloides*) para impedir su crecimiento excesivo. Esta especie fue introducido en muchas áreas de América Latina como un abono verde, pero su crecimiento exuberante frecuentemente le convirtió en plaga y su uso actual es limitado. Wade y Sánchez (1983) demostraron que el kudzú tiene gran capacidad para mantener la fertilidad de los suelos tropicales, en rotación con cultivos anuales. La quema del kudzú se practica frecuentemente en plantaciones de cítricos donde se le utiliza como un mantillo vivo. Esta práctica estimula la germinación de semillas que están en dormancia, haciendo posible una rápida regeneración de la cobertura.

Sistemas de herbáceas no quemadas, con especies múltiples

El sistema de barbecho no quemado con herbáceas de especies múltiples, mejor conocido y estudiado como el sistema de "frijol tapado", que se considera es la fuente de hasta el 30% de la producción de frijol en América Central (Thurston, 1997). A pesar de ignorarse durante muchos años por ser un sistema de poco potencial (González y Araya, 1994), el sistema maximiza en muchos aspectos los recursos ambientales y las condiciones sociales que enfrentan muchos agricultores de escasos recursos en las zonas húmedas de esta Región (Rosemeyer, 1994).

La selección de sitios contribuye mucho al éxito del sistema de tapado. La presencia de malezas tales como *Melanthera aspera*, *Calea urticifolia*, *Elephantopus scaber*, *Sida rhombifolia*, *Phytolaca* spp. y *Piper* spp., se consideran como indicadores de sitios de buena fertilidad. Malezas como *Calea urticifolia*, *Vicquiera guatemalensis* y *Milinis minutiflora* se consideran menos competitivas con el frijol (De la Cruz, 1994); sin embargo, González y Araya (1994) indican que diferentes malezas se prefieren para diferentes tipos de frijoles; por ejemplo ciertas arbustivas pueden funcionar como soporte para el frijol trepador.

Los agricultores evitan sitios donde *Pteridium aquilinum*, *Serjanis* spp., *Heliconia latispatha*, *Hyparrhenia rufa*, *Imperata contracta*, *Zeugites pittieri*, *Anathaxaron hispidus*, *Commelina difusa*, *Bidens*

pilosa, *Panicum pilosum*, *Asclepias curasavica*, *Urera* spp., y *Rottboelia cochinchinensis*, se encuentran en abundancia, ya que la presencia de estas especies indica sitios con suelos problemáticos o especies que ejercen mucha competencia con el frijol. Además de suministrar nutrientes al cultivo de frijol, el mantillo producido por el tapado también reduce la incidencia de ciertas enfermedades, principalmente la mustia hilachosa, desde que el inóculo del hongo causante, *Thanetophorus cucumeris*, llega a las plantas de frijol principalmente al salpicar desde el suelo (Galindo *et al.*, 1983). Otras enfermedades igualmente controladas son la mancha bacteriana, la mancha angular de las hojas y el "Entyloma leaf smut" (Thurston, 1997). Los rendimientos en el sistema tapado son bajos. En un estudio en Costa Rica, donde el rendimiento promedio nacional de frijol es 575 kg/ha, González y Araya (1994) encontraron que el 37,4% de los agricultores en el área de estudio tenían rendimientos inferiores a 450 kg/ha, el 46,9% entre 450 y 1050 kg/ha y el 15,7% superiores a 1050 kg/ha. Sin embargo, Rosemeyer (1994) encontró que los mayores rendimientos que pueden obtenerse en los sistemas de producción convencional fueron menos sostenibles que los obtenidos en el sistema tapado, atribuible a las dificultades con otros métodos, al deficiente mantenimiento del rizobium y hongos micorrizales y al mayor contacto de las raíces del frijol con partículas del suelo, el cual puede tener una alta capacidad para la retención de fósforo. Schlather (1995) ha demostrado que los niveles de P solubles y el rendimiento del frijol fueron más altos después de cuatro años de tapado que después de la producción convencional de frijol, aún cuando se aplicó hasta 97 kg/ha de P (Schlather, 1995).

Thurston (1997) cita estudios realizados por Wilk que muestran que los agricultores Kechi-Maya de Belice producen maíz por métodos tradicionales de roza-tumba-quema y por un sistema de matahambre de mantillo no quemado, en los suelos más fértiles, cerca a los ríos. Combinaciones semejantes de los dos sistemas, frecuentemente combinando características de ambos, son practicadas por agricultores después que se transfieren de áreas más húmedas a más secas, en Panamá y en la Amazonía.

Thurston (1997) también cita estudios realizados por De Walt y De Walt en las áreas estacionalmente secas de Honduras donde los agricultores producen maíz y sorgo en pendientes sin quemar. Se puede sembrar maíz y sorgo antes o después de cortar la vegetación. Los agricultores que practican este sistema lo consideran menos riesgoso que las siembras tradicionales en áreas con precipitación irregular. Además de ser menos exigentes de mano de obra que las siembras tradicionales, el mantillo protege el suelo de la erosión e impide que la semilla se pierda por las fuertes lluvias que pueden ocurrir después de la siembra. Las dos variedades tradicionales de ambos cultivos son sensibles al fotoperíodo, pero otras variedades insensibles al fotoperíodo pueden ser producidas bajo este sistema que parece aumentar su aceptación en áreas específicas del sur de Honduras. Los animales pueden alimentarse de la paja del sorgo después de la cosecha de granos, o las plantas de sorgo pueden cortarse y ofrecerse a los animales. Generalmente se utiliza el sorgo como sustituto del maíz para hacer tortillas, cuando la producción de este grano se reduce por la sequía.

Sistemas de herbáceas quemadas, con especies múltiples

Thurston (1997) cita diversos autores que han descrito un tipo de barbecho de gramíneas, que se utilizan en áreas del estado de Tabasco en México y que se inundan periódicamente. Las gramíneas son *Thalia geniculata* (popal), *Scleria macrophylla* y *Echinochloa crusgavonis* que crecen con la ciperácea *Cyperus articulatus*. Durante el período seco, las gramíneas se cortan y diversas semillas, incluyendo las del maíz, se siembran con el material cortado. Cuando empiezan a emerger las plantas del maíz, se quema toda la masa vegetal y aunque se causa un daño a los cultivos, luego éstos se recuperan. La quema es aparentemente superficial y cantidades considerables de las gramíneas cortadas se descomponen lentamente durante el periodo de cultivo. Los rendimientos en este sistema, que ha sido utilizado por indios Chontales desde tiempos precolombinos, son con frecuencia sorprendentemente altos debido a las condiciones anaeróbicas que continúan en el área hasta cuatro meses del año, condición que reduce considerablemente la pérdida de nutrimentos y la incidencia de hongos patógenos en el suelo, que son principalmente aeróbicos (Thurston, 1997).

Sistemas con leñosas no quemadas, con una especie predominante.

El único sistema descrito en esta categoría es el barbecho de caragra (*Lippia toresii*) descrito por Beer (1983). Según este autor, el sistema se practica por los agricultores del pueblo de Pacayitas en Turrialba, Costa Rica, localizado entre 1000 y 1200 metros sobre el nivel de mar, una zona forestal húmeda de premontaña. Beer observó que los conjuntos o agrupamientos de caragras se forman en los campos después de limpiar el bosque. Algunas veces se le permite pastar al ganado en los agrupamientos, después de la cosecha del maíz, pero los agricultores no lo cortan. Con el tiempo, los árboles se cortan para leña, dejando las hojas y ramas como un acolchado para los subsiguientes cultivos de maíz. Beer (1983) pregunta si esta práctica realmente afecta el curso de la sucesión natural, previniendo la formación de un bosque secundario por un desyerbado selectivo.

Cuando las áreas se desmontan después del barbecho, los troncos de caragra, de 0,5 a 1,0 m de altura, retoñan vigorosamente. El destino final de estos barbechos depende del manejo que se les da. Si los árboles se cortan con frecuencia, con el tiempo se pierden, dejando un pastizal sin árboles o un bosque secundario compuesto de especies diferentes.

Sistemas con leñosas quemadas, con una especie predominante

Los sistemas con leñosas, con una especie predominante, que son quemadas antes de plantar cultivos, son los sistemas más comúnmente considerados como barbechos mejorados en América. Los llamados "bosques oligárquicos", donde una especie predomina, ocurren frecuentemente en respuesta a ciertos factores ecológicos, entre ellos las quemadas (Peters *et al.*, 1989). En los sistemas de barbechos mejorados, se siembran cultivos durante el período de establecimiento de la especie oligárquica, utilizando

limpiezas selectivas para asegurar su dominancia en el barbecho que sigue al periodo de cultivo.

Tres formaciones oligárquicas ocupan áreas extensivas en América Latina y son utilizadas por los agricultores para restaurar la fertilidad y suprimir las malezas en sus campos agrícolas. Estas son la bracatinga (*Mimosa scabrella*) en el sudeste de Brasil, el carbón negro (*Mimosa tenuiflora*) en la zona Pacífica de América Central y los bosques de babassu (*Orbignya phalerata*) en los márgenes orientales de la Amazonía. Menos extensivos son las áreas de frijolillo (*Senna guatemalensis*) y tatasacán (*Perymenium grande* var. *grande*) en las partes altas de Honduras.

Bracatinga

Bracatinga es una leguminosa leñosa (Mimosaceae) nativa al sur de Brasil (estados de Paraná, Santa Catarina y Rio Grande del Sur) en áreas situadas de 500 a 1500 msnm, con una precipitación anual de 1100 a 3500 mm bien distribuidos en el año y temperaturas promedio anuales de 16 a 23 °C. La especie tolera heladas cortas (-3 °C) y prospera en un gran rango de suelos, inclusive suelos infértiles de pH bajo y altos niveles de saturación de aluminio (Rotta *et al.*, 1981).

Bracatinga es una especie pionera que prospera en campos abiertos con un ciclo de vida de 10 a 20 años. Es de crecimiento rápido, comúnmente utilizada para leña, carbón y pulpa (Rotta *et al.*, 1981) y para la producción de miel (EMBRAPA, 1986). Se regenera de semillas, formando bosques oligárquicos densos en áreas que han sido cortadas y quemadas, donde representa el 41% de todos los individuos y el 72% del área basal.

Bosquetes de bracatinga se encuentran principalmente en fincas pequeñas a medianas (hasta 50 ha). Después de cosechar la bracatinga para leña, el área es quemada y plantada en un asocio de maíz y frijol (Baggio *et al.*, 1986). La quema rompe la dormancia de las semillas, resultando en tasas de germinación superiores a 80%. Se siembra el maíz a 0,8 x 1,0 m, con tres semillas por postura, resultando en alrededor de 35000 plantas por hectárea. El frijol se intercultiva a 0,4 x 0,6 m con tres semillas por postura (120000 plantas/ha). Cuando se ralean los árboles se hacen las limpiezas en los cultivos. Se realizan otros raleos cuando se cosechan los cultivos, resultando en una población de 15000 a 40000 plantas de bracatinga por hectárea al final del primer año. Luego los bosquetes se dejan sin ralear (Baggio *et al.*, 1986), pero la competencia natural reduce la población de 1800 a 2700/ha árboles por año, en el octavo año.

Los rendimientos de los cultivos, sin insumos adicionales, son en promedio de 1600 kg/ha para maíz y 330 kg/ha para frijol. El análisis financiero indica una rentabilidad buena de los sistemas tradicionales en comparación a sistemas más intensivos (cultivos fertilizados). Se observó que la rentabilidad del sistema puede incrementarse por incorporación de la producción de miel y el pastoreo

de ganado en bosquetes jóvenes raleados (Graca *et al.*, 1989; Baggio *et al.*, 1986). Sin embargo, estudios en CATIE indican que el crecimiento de bracatinga es severamente afectado por la compactación del suelo debido a pastoreo. La bracatinga ha sido introducida a América Central y México con considerable éxito como sombra para el café (Musalem, 1995).

Carbón negro

El carbón negro es conocido en toda América Latina, donde su capacidad pionera es muy utilizada para reforestar suelos agotados. La *M. tenuiflora* se encuentra en zonas de 0 a 1500 msnm, 600 a 1500 mm de precipitación anual y un periodo seco de hasta ocho meses, una situación bastante común en América Latina. En América Central abunda en el Pacífico seco de Costa Rica (Guanacaste) y en la zona sur de Honduras. Es una especie muy apetecida por el ganado caprino y tiene varios usos locales como leña, carbón, postes y construcciones menores.

En América Central, los barbechos de *M. tenuiflora* generalmente duran de 12 a 15 años, aunque cuando existe limitación de tierra, el barbecho puede reducirse a periodos de 4 a 7 años. Después de 12 años, *M. tenuiflora* no domina el barbecho y aparecen otras especies forestales primarias como *Cordia* spp., *Tabebuia* spp. y *Samanea saman* (Kass *et al.*, 1993). Se remueven árboles durante el periodo de barbecho y se usan para leña, postes para cercas y producción de carbón. También se pastorea ganado en el barbecho. La cantidad de intervención depende de la necesidad de varios productos. Una cronología de estos usos se da en la figura 2.

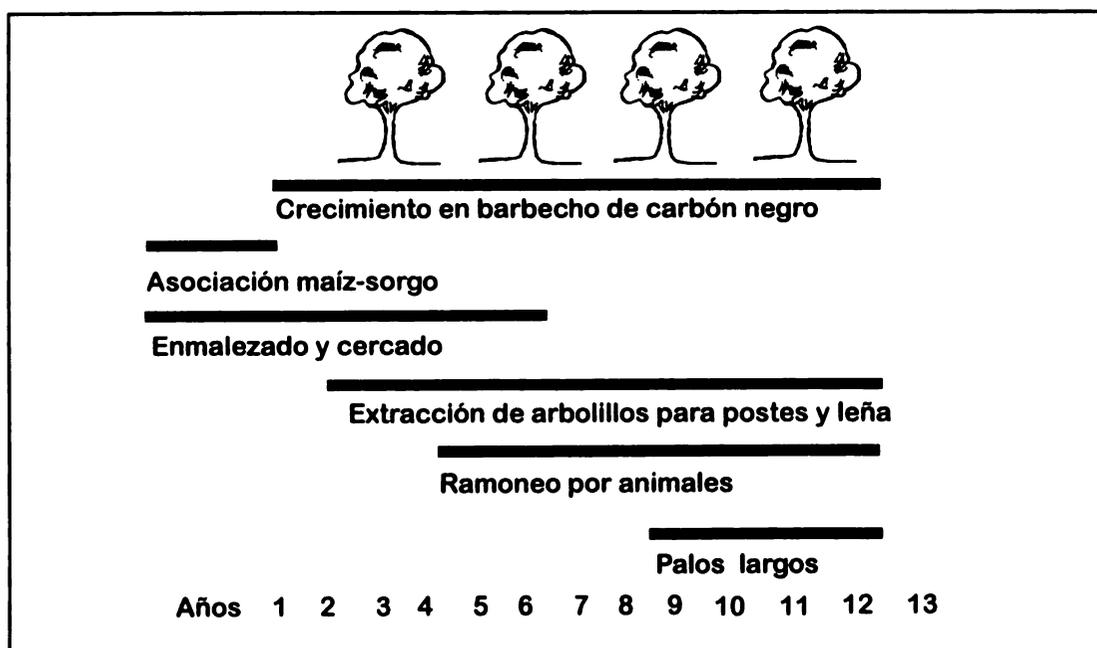


Figura 2. Esquema del sistema maíz-sorgo-carbón negro en el sur de Honduras (Nolasco y Landaverde, 1988).

En otro estudio del sistema, en un barbecho de dos años de *M. tenuiflora* después de una asociación de maíz y sorgo (*Sorghum bicolor*), Nolasco y Valverde (1988) encontraron entre 155 y 179 plantas de esta especie, en un área de 200 m². Landaverde (1989) observó que el número de plantas de *M. tenuiflora* declinó con la edad del barbecho, a medida que las plantas fueron eliminadas por el ganado. Nolasco y Landaverde (1988) consideraron que el sistema maíz-sorgo-*M. tenuiflora* tenía los siguientes beneficios: 1) bajos requerimientos de mano de obra porque se utilizó el fuego para eliminar malezas, plagas y plantas espinosas, 2) mantenimiento de la fertilidad del suelo y 3) poco uso de plaguicidas, fertilizantes y otros insumos comprados.

Landaverde comparó los resultados de los análisis de suelos a partir de un barbecho de 12 años y un bosque secundario mixto de 32 años. Debido a las diferentes edades de los conjuntos de árboles y a la posibilidad que los suelos no fueran originalmente iguales, los resultados de esos estudios deben interpretarse con alguna precaución. Sin embargo, los datos indican no solo niveles más altos de materia orgánica, sino también niveles más altos de Ca, Mg y P en el barbecho de *M. tenuiflora* en comparación con el bosque secundario.

El babassu

El tipo de bosque oligárquico más conocido en la Amazonía es de la palmera babassu, que ocupan más que 100000 km² solamente en el Estado de Maranhao. Todavía se debate si la existencia de estas áreas es debida a actividad humana, a la actividad animal u otras causas ecológicas. De acuerdo a Anderson *et al.* (1991), el babassu domina los sitios desmontados, debido a su modo criptogénico de germinación, lo que permite que las palmas jóvenes sobrevivan ciclos repetidos de corte y quema. En rodales establecidos, los agricultores cortan las hojas para proporcionar combustible o leña para quemar, antes del período de cultivo. Después de la quema, las palmeras necesitan casi cuatro años para recuperar completamente su biomasa de hoja. Durante el periodo de cultivo, el agricultor produce cultivos alimenticios anuales o pastorea animales (May *et al.*, 1985) en los espacios entre los árboles y tiene acceso a varios productos basados en el babassu: cordeles, canastas y material de las hojas para techar, así como también alimento y aceite de las semillas. La producción combinada de cultivos, animales y productos forestales de los barbechos de babassu es algo más similar a los sistemas de *Faidherbai albida* (sinónimo *Acacia albida*) que a los sistemas sucesionales de barbecho que se tratan aquí.

Es interesante notar que los bosques de babassu ocupan casi exclusivamente sitios fértiles. Si la palma babassu contribuye a la fertilidad de esos lugares es un tema de debate. Las palmas de babassu muertas dejan grandes hoyos (0,5 m de diámetro y 1,0 m de profundidad) como resultado del modo criptogénico de germinación. Anderson (1987) postula que la mezcla del suelo y el ciclo más rápido de nutrimentos ocurre cuando el suelo colindante colapsa en estos hoyos. La alta producción de biomasa

de las hojas (16,8 t /ha por año) y la consiguiente producción alta de ceniza que sigue después de la quema, puede también aumentar el ciclo de nutrientes en el sistema babassu.

Los bosques de babassu ocurren principalmente en suelos con más del 50% de saturación de bases y donde la lluvia está entre 1200 y 2000 mm por año, concentrada en una estación húmeda de seis meses. Sin embargo, Anderson (1987) indica que la dispersión de ganadería está contribuyendo a la reducción de bosques de babassu en el este de la Amazonia. También, la presión poblacional ha reducido la población de árboles, contribuyendo a acortar los períodos de barbecho. Aunque menos del 5% del área boscosa de babassu ya había desaparecido en 1985, la velocidad de deforestación ha aumentado en ciertas áreas (May *et al.*, 1985; Anderson, 1987; Anderson *et al.*, 1991).

Frijolillo y tatascán

Bosquetes casi puros de frijolillo (*Senna guatemalensis*) y tatascán (*Perymenium grande* var. *grande*) se encuentran en fincas pequeñas en áreas altas de Honduras a elevaciones entre 1600 y 2000 msnm, con una temperatura anual de 15 a 19 °C y con más de 2000 mm de precipitación por año. Los suelos son de baja fertilidad y clasificados como Plinthic Paleudult, Typic Tropudult y Acrudoxic Melanudand. También es abundante en la zona de Siguatepeque, Honduras (1000 a 1300 msnm). La madera muy dura, se utiliza para postes y carbón y es muy apreciada por los apicultores como planta melífera. Los cultivos principales son maíz y frijol producido por roza y quema. Los bosquetes de frijolillo quedan sin manejo durante 8 a 10 años, después se cosecha todos los postes y leña del bosque, se quema el área y se siembra de maíz durante tres años consecutivos. Los rendimientos de maíz son bajos y pueden disminuir de 584 a 113 kg/ha/año, durante los tres años de cultivo. Las semillas de frijolillo y tatascán germinan abundantemente después de la quema del residuo del cultivo. Un bosque puede contener 10000 troncos/ha a los cuatro años, 3800 troncos/ha a los cinco años y 2500 troncos/ha a los ocho años. El frijolillo exhibe muchas semejanzas con bracatinga: crecimiento inicial rápido, germinación mejorada después de las quemas y leña como producto importante del sistema. Lo que distingue el sistema de frijolillo y tatascán de los otros discutidos en este capítulo es que no se ha demostrado fijación de nitrógeno ni en frijolillo ni tatascán y el ganado no come ninguna de estas dos especies (Foletti, 1991).

Barbecho de *Gliricidia sepium* en El Salvador

Mercado *et al.* (1994) mencionan que algunos agricultores en El Salvador han reemplazado el sistema de roza-tumba-quema tradicional con un barbecho sembrado de madre cacao (*Gliricidia sepium*). El madre cacao se siembra para leña y se cosecha después de 5 a 10 años. Después se quema el área y plantan cultivos. Se reporta que el barbecho aumenta la fertilidad del suelo, pero nunca llega a los niveles que tenía el área antes de utilizar el sistema de barbecho mejorado.

Sistemas con leñosas no quemadas, con especies múltiples

Ovalle *et al.* (1990) reportan que en los espinales de Chile, una secuencia de vegetación secundaria dominada por *Acacia caven* seguida por el cultivo de trigo se encuentra en zonas de laderas. Los espinales se cortan casi al nivel de la tierra, pero no son arrancados del suelo. El suelo se prepara con tracción animal y se siembran variedades locales de trigo sin fertilizante ni herbicidas. Se realiza un cultivo de trigo cada 5 a 10 años y después la *Acacia caven* y otras especies se regeneran de los troncos cortados y se permite el pastoreo de animales. *Terofitas sinantropicas* y *A. caven* rápidamente reinvasen el área de la vegetación circundante. Los rendimientos de cultivos son bajos (0,7 a 1,5 t de grano/ha). Los rendimientos significativamente más altos se han obtenido del sistema con el uso de fertilización y variedades mejoradas.

Sistemas con leñosas quemadas, con especies múltiples

Sistema de roza-tumba-quema mejorado

Padoch y De Jong (1987) describen cinco tipos de barbechos, económicamente enriquecidos, que se encuentran en las poblaciones nativas y no nativas de la Amazonía peruana. Una característica común de estos barbechos es que ciertos árboles valiosos se dejan en pie cuando el bosque se desmonta o se plantan durante la fase de cultivo, de tal manera que enriquecen el barbecho subsiguiente. La protección de árboles favorecidos durante los ciclos de quema siguientes, junto con un conjunto de procesos ecológicos relacionados, da por resultado poblaciones mayores de las especies deseadas (Unruh, 1990). Estos procesos incluyen 1) mejor germinación de la semilla y establecimiento de los árboles protegidos debido a la competencia reducida, fertilidad mejorada y relaciones de humedad mejorada alrededor de los árboles esparcidos; 2) un aumento en la dispersión de semillas por frugívoros a partir de los árboles frutales plantados y 3) germinación reducida de la vegetación pionera agresiva, con las semillas dependientes de la quema.

Se han realizado diversos esfuerzos en la Amazonía peruana para reemplazar la vegetación espontánea con especies seleccionadas para el mejoramiento del suelo: barbechos biológicamente enriquecidos (Wade y Sánchez, 1983; Staver, 1989; Szott *et al.*, 1991). Estos últimos autores, durante un periodo de 4 a 5 años de barbecho, trabajaron con un rango de herbáceas y leguminosas leñosas tolerantes a la acidez. El control de malezas se logró más rápidamente con las especies estoloníferas: *Centrosema macrocarpa*, *Pueraria phaseoloides* y *Desmodium ovalifolium*, aunque la mejor supresión de malezas fue obtenida con las leguminosas leñosas *Cajanus cajan* e *Inga edulis*. Algunos de los mejores tratamientos (*D. ovalifolium* e *I. edulis*) produjeron casi la misma cantidad de biomasa después de 4 a 5 años, al igual que el barbecho natural. A los 24 meses después del abandono, el nitrógeno total (vegetación + suelo) y el potasio total disponible (vegetación + lo intercambiable en el suelo) en los mejores tratamientos de barbecho (*Desmodium*, *Inga* y barbechos naturales) excedieron los niveles

medidos en el campo abandonado. Comparado con los niveles en el terreno abandonado, el magnesio y el calcio habían disminuido y el fósforo (vegetación y formas extraíbles de suelo) habían aumentado en todos los tratamientos de barbecho, después de 4 a 5 años (Szott *et al.*, 1991).

Staver (1989) encontró que un barbecho mixto *Inga/Desmodium* en una secuencia de cultivo plátano-yuca-maíz tenía gran potencial para suprimir las malezas y reducir la longitud del período de barbecho. Sin embargo, las especies de barbecho enriquecido requerían más tiempo para plantarlas, competían con otros árboles y arbustos en el barbecho y necesitaban mayor manejo para evitar la competencia con los cultivos.

Caatinga

Tiessen *et al.* (1992) reportan que pequeñas parcelas dentro del bosque espinoso deciduo o sabana de arbustos espinosos, conocido como "caatinga" que cubre alrededor de 1 millón de km² en el nordeste de Brasil son cortadas y quemadas cada 10 años para un ciclo de cultivo de maíz, algodón, frijol y yuca que dura generalmente 3 a 5 años. Poco fertilizante se utiliza debido a los escasos recursos de los agricultores y a los bajos rendimientos que se obtienen en una área de precipitación irregular. Los rendimientos generalmente muestran una reducción marcada después del primer año, cuando disminuyen los efectos de la ceniza y la materia orgánica en descomposición.

Se realizó un estudio con transectos que pasaron por áreas de 0, 4, 8, 10 y más de 10 años de barbecho después de una cosecha de yuca. Los niveles de carbono y nitrógeno mineral aumentaron con el tiempo de barbecho. El P orgánico se mineralizó durante el ciclo de cultivo, pero se recuperó al nivel de las parcelas sin cultivo, después de ocho años de barbecho. Aunque se podía mantener los niveles de N y P mineral en el suelo con cultivo continuo con fertilizantes, solamente con 10 años de barbecho se podría restaurar los niveles de carbono y P orgánico a los niveles encontrados bajo la vegetación original. Se identificaron algunas especies de leguminosas en el barbecho como *Mimosa* spp., *Indigophera* spp., *Cassia excelsis* y *Bauhinia cheillantha* (Tiessen *et al.*, 1992). La nodulación no se ha demostrado en los géneros *Cassia* y *Bauhinia* (Allen y Allen, 1982).

Matorrales

Stienen (1990) indica que los matorrales del nordeste de México son, generalmente, demasiado secos para la producción de cultivos. Sin embargo, él reporta que en el distrito de Ciudad Victoria se cultiva henequén (*Agave furcroides*) durante periodos de 30 años, produciendo rendimientos de 1,7 t de fibra/ha/año. Se pastorean caballos, ovinos, bovinos y asnos en los 2 m de distancia que separan las hileras del cultivo. Generalmente después del período de cultivo, se quema el henequén y un barbecho de matorral se restablece durante un periodo de diez años, antes que se establece otra plantación de

henequén. Durante el período de barbecho se puede utilizar el matorral para pastorear ganado y para producir leña. Como muchas de las especies que se encuentran en el matorral son leguminosas leñosas fijadores de nitrógeno (*Pithecolobium pallens*, *Acacia farnesiana*, *Acacia rigidula*, *Pithecolobium flexicaule*, *Prosopis glandula*), alguna restauración del carbono y del nitrógeno del suelo debe ocurrir durante el periodo de barbecho. Stienen (1990) indica que los matorrales cubren 80 millones de hectáreas, o sea, más del 40% de la superficie de México.

Los acahuales

No se han hecho descripciones escritas de la producción de henequén en la región de Yucatán, pero de lo que se puede observar del cultivo en esta región, es probable que un sistema de barbecho semejante al matorral también se encuentra en los acahuales de Yucatán.

El Chaco

El Chaco, un bosque espeso de arbustivos semejante al caatinga, ocupa 5% de Sur América, formando un ecosistema importante en zonas de Bolivia, Paraguay y Argentina. Aunque algunos autores han notado semejanzas entre el Chaco y la Caatinga, el Chaco es generalmente considerado un sistema silvopastoril (Hang *et al.*, 1995). Sin embargo, se puede observar en el Chaco, áreas pequeñas utilizadas para la producción de cultivos anuales. Las prácticas de manejo actuales en ambos el Chaco y la Caatinga, favorecen la sustitución de árboles nativos no leguminosos por especies nativas leguminosas como *Prosopis* spp. por ejemplo Mazzarino *et al.* (1991) han medido aumentos en el nitrógeno disponible asociado con *Prosopis*.

Conclusiones

Hay diversos tipos de barbechos utilizados por agricultores en América Latina y otras partes del mundo para restaurar la fertilidad de suelo y suprimir el crecimiento de malezas. La mayor parte de los sistemas descritos en esta sección corresponden a los barbechos biológicamente mejorados de Raintree y Warner (1986); sin embargo, existen algunos casos de barbechos económicamente mejorados, principalmente en la región Amazónica. Dado el suficiente tiempo en que crecen, estos barbechos parecen ofrecer un sistema de producción sostenible a sus practicantes. Los rendimientos son generalmente bajos y estos sistemas funcionan mejor cuando las densidades poblacionales son bajas, pero continúan siendo importantes en estas áreas. Se hacen muchos esfuerzos actualmente para mejorar estos barbechos, utilizando especies que acumulan nutrimentos más rápidamente, permitiendo el uso de densidades poblacionales más altas. No se ha realizado suficiente investigación hasta la fecha para determinar si estos sistemas son una alternativa viable a la agricultura migratoria. En algunos casos se ha notado mejoramiento en el rendimiento de cultivos con solamente un año de barbecho, pero generalmente, periodos más largos son necesarios, especialmente con especies leñosas. Se espera

que los otros productos de los barbechos leñosos tales como postes, leña y forraje compensen el tiempo en que el terreno no produce cultivos.

Muchos de los sistemas de barbecho parecen ser muy específicos para sus sitios y no pueden transferirse fácilmente a otras condiciones ecológicas o económicas. Otros sistemas se practican en amplias áreas e incluyen prácticas de manejo que pueden probablemente implementarse bajo condiciones bastante diversas. Ambos, *Mimosa tenuiflora* y *Mimosa scabrella* han sido introducidos con éxito en áreas lejanas de su zona de ocurrencia natural. El hecho que en muchos de los sistemas se pastorean animales en los barbechos indica que el componente animal de estos sistemas no se puede ignorar.

Bibliografía

- ALLEN, O. N.; ALLEN, E. K. 1981. The Leguminosae: A Source Book of Characteristics, Uses and Nodulation. Madison, WI. University of Wisconsin Press.
- ANDERSON, A. B. 1987. Management of native palm forests: a comparison of case studies in Indonesia and Brazil. In: H. Gholz (ed.). Agroforestry, realities, possibilities, and potentials. Dordrecht, the Netherlands. p. 156-167.
- ANDERSON, A. B.; MAY, P. H.; BARLICK, M. J. 1991. The subsidy from nature: palm forests, peasantry, and development in the Amazonian frontier. New York, USA. Columbia University Press. 233 p.
- BAGGIO, A. J.; CARPANEZZI, A. A.; GRACA, L. R.; CECCON, E. 1986. Sistema agroflorestal tradicional da bracatinga com culturas agrícolas anuais. Boletim de Pesquisa Florestal. EMBRAPA (Brasil) 12:73-82.
- BEER, J. W. 1983. Research and development by Costa Rican farmers: lessons for agroforesters. In: G. H. Moeller; D. T. Seal (eds). Technology transfer in forestry. London, UK. Forestry Commission Bulletin No. 61. p. 43-46.
- CATIE. 1990. Bracatinga (*Mimosa scabrella*) especie de árbol de uso múltiple en América Central Turrialba, Costa Ric. CATIE, Serie Técnica Informe Técnico N°. 169. 50 p.
- DE LA CRUZ, R. 1994. The usefulness of weed diversity in slash/mulch bean production: difficulties in herbicide use. In: H. D. Thurston; M. Smith; G. Abawi and S. Kearle, S. (eds.). TAPADO Slash/mulch: how farmers use it and what researchers know about it.. Ithaca, USA.. Cornell International Institute for Food, Agriculture, and Development (CIIFAD). p. 233-237.
- DUFOUR, D. L. 1990. Use of tropical rainforests by native Amazonians. BioScience 40: 652-659.
- EMBRAPA. 1986. Zoneamento ecológico para platôs florestais no Estado do Paraná. Paraná, Brasil. EMBRAPA, CNPF, Documento No. 170. 89 p.

- FELBER, R.; FOLLETTI, C. 1988. Estudio sobre la agricultura migratoria en los Municipios de Guajiquiro y Opatario, Honduras. *El Chasqui* (Costa Rica) 18: 3-15.
- FLORES, M. 1974. The use of leguminous cover crops in traditional farming systems in Central America. *In*: H.D. Thurston; M. Smith; G. Abawi, and S. Kearle (eds.). TAPADO Slash/mulch: how farmers use it and what researchers know about it. Ithaca, USA. Cornell International Institute for Food, Agriculture, and Development (CIIFAD). p. 149-155.
- FOLLETTI, C. A. 1991. Efecto de la aplicación de la hoja de Atascan (*Perymenium grande* var *grande* Helms.) y Frijolillo (*Senna guatemalensis* Donn. Smith) como abono verde en frijol (*Phaseolus vulgaris* L) y maíz (*Zea mays* L) en el Departamento de La Paz, Honduras. Turrialba, Costa Rica. Tesis M.Sc., CATIE. 169 p.
- GALINDO, J. J.; ABAWI, G. S.; THURSTON, H. D.; GALVEZ, G. 1983. Effect of mulching on web blight of beans in Costa Rica. *Phytopathology* 73: 610-615.
- GLOVER, N. 1988. *Mimosa scabrella* - the tree that fueled the railroads of Brazil. NFT Highlights No. 88-01.
- GONZALEZ, M. W.; ARAYA, R. 1994. Agro-economic study of beans (*Phaseolus vulgaris* L.) grown under the "tapado" slash/mulch system in Costa Rica. *In*: H. D. Thurston; M. Smith; G. Abawi, and S. Kearle (eds.). TAPADO Slash/mulch: how farmers use it and what researchers know about it. Ithaca, USA. Cornell International Institute for Food, Agriculture, and Development (CIIFAD). p. 263-282.
- GRACA, L. R.; RIBAS, L. C.; BAGGIA, A.J. 1986. A rentabilidade económica da bracinga no Paraná. *Boletim de Pesquisa Florestal* (EMBRAPA, Brasil) 12: 47-72.
- GRIGG, D. B. 1974. The agricultural systems of the world, an evolutionary approach. London, U.K. Cambridge University Press. 358 p.
- HANG, S.; MAZZARINO, M. J.; NUÑEZ, G.; OLIVIA, L. 1995. Influencia del desmonte selectivo sobre la disponibilidad de nitrógeno en años húmedos y secos en sistemas silvopastoriles en el Chaco árido Argentino. *Agroforestería en las Américas* 6: 9-14.
- HUZ, M. de J. 1994. The use of *Canavalia ensiformis* and other leguminous species as mulches for farming in the Yucatan. *In*: H. D. Thurston; M. Smith; G. Abawi, and S. Kearle (eds.). TAPADO Slash/mulch: how farmers use it and what researchers know about it. Ithaca, USA. Cornell International Institute for Food, Agriculture, and Development (CIIFAD). p. 207-208
- KASS, D. C. L. 1978. Polycultural cropping systems: review and analysis. Cornell International Agricultural Bulletin No. 32. Ithaca, New York, USA. Cornell University. 69 p.
- KASS, D. C. L.; FOLETTI, C.; SZOTT, L. T.; LANDAVERDE, R.; NOLASCO, R. 1993. Traditional fallow systems of the Americas. *Agroforestry Systems* 23:207-218.
- KASS, D. C. L.; SOMARRIBA, E. 1997. Traditional fallow systems in Latin America. *In*: Proceedings of International Symposium on Improved short term fallow. FAO-ICRAF. Lilienwe, Malawi, 11-14 march, 1997.

- LANDA, J. 1994. Propiedades físico - mecánicas de la madera de bracatinga (*Mimosa scabrella* Benth.) de plantaciones en el Estado de Puebla. México. Tesis Ing. For., Universidad Autónoma de Chapingo. 36 p.
- LANDAVERDE, R. 1989. Observaciones ecológicas y usos de *Mimosa tenuiflora* Willd, en la zona sur de Honduras. Tegucigalpa, Honduras, Secretaría de Recursos Naturales. Mimeografiado. 13 p.
- MAY, P. H.; ANDERSON, A. B.; FRAZÃO, J. M. F.; BALICK, M. J. 1985. Babassu palms in the agroforestry systems of Brazil's Mid-North region. *Agroforestry Systems* 3: 275-295.
- MAZZARINO, M. J.; OLIVA, L.; NUÑEZ, A.; NUÑEZ, G.; BUFFA, E. 1991. Nitrogen mineralization and soil fertility in the dry Chaco ecosystem. *Soil Sciences Society of America Journal* 55: 515-522.
- MERCADO, J.; CALDERON, F.; SOSA, H. 1994. Systems for sowing with mulches: conservation without burning, an alternative for sustainable agriculture in El Salvador. In: H.D. Thurston; M. Smith; G. Abawi, and S. Kearle (eds.). TAPADO Slash/mulch: how farmers use it and what researchers know about it. Ithaca, USA. Cornell International Institute for Food, Agriculture, and Development (CIIFAD). p. 43-52
- MUSALEM, M. 1995. La bracatinga: introducción, crecimiento, manejo y utilización en asociación con cafetal; una combinación promisoría para los trópicos de México. In: D. O. Evans; L. T. Szott (eds.). Nitrogen Fixing Trees for Acid Soils Proceedings. Arkansas, USA. NFTA. p. 113-129.
- NAIR, P. K. R. An introduction to agroforestry. Dordrecht, The Netherlands. Kluwer Academic Publishers. 499 p.
- NOLASCO, R.; LANDAVERDE, R. 1988. Diagnóstico del sistema agroforestal tradicional maiz-maicillo-carbón negro (*Mimosa tenuiflora*). Tegucigalpa, Honduras, Secretaría de Recursos Naturales. Mimeografiado. 25 p.
- OVALLE, C.; ARONSON, J.; DEL POZO, A.; AVENDAÑO, J. 1990. The espinal: agroforestry systems of the Mediterranean - type climate region of Chile. *Agroforestry Systems*. 10: 213-239.
- PADOCH, C.; DE JONG, W. 1987. Traditional agroforestry practices of native and ribeirino farmers in the lowland Peruvian Amazon. In: H. Gholz (ed.) *Agroforestry Realities Possibilities and Potentials*. Martinus Nijhoff. Dordrecht, The Netherlands p.179-194.
- PETERS, C. M.; BALICK, M. J.; KAHN, F.; ANDERSON, A. B. 1989. Oligarchic forests of economic plants in Amazonia: utilization and conservation of an important tropical resource. *Conservation Biology* 3: 341-361.
- RAINTREE, J. B. 1987. Factores que afectan la adopción de innovaciones agroforestales por agricultores tradicionales. In: J. Beer, H. W. Fassbender; J. Heuvelop (eds.) *Avances en Investigación Agroforestal*. Memoria del Seminario. Turrialba, Costa Rica, CATIE-GTZ. p. 307-319.
- RAINTREE, J. B.; WARNER, K. 1986. Agroforestry pathways for intensification of shifting agriculture. *Agroforestry Systems* 4: 39-54.

- ROSEMEYER, M. 1994. Comparison of yields and formation of mycorrhizae and nodules of beans grown under the "frijol tapado" and "espequeado" systems with fertilizer. *In*: H.D. Thurston; M. Smith; G. Abawi, and S. Kearle (eds.). TAPADO Slash/mulch: how farmers use it and what researchers know about it. Ithaca, USA. Cornell International Institute for Food, Agriculture, and Development (CIIFAD). p. 169-178
- ROTTA, E.; OLIVEIRA DE, Y.; MALHEIROS, M. 1981. Area de distribucao natural da bracatinga (*Mimosa scabrella* Benth.). *In*: Seminario sobre atualidades e perspectivas florestais: bracatinga uma alternativa para reflorestamento. IV. Curitiba, Brasil. EMBRAPA. p. 1-23.
- RUSSELL, E. W.; RUSSELL, E. J. 1973. Soil conditions and plant growth. 10 ed., London, UK. Longman.
- SANCHEZ, P. A. 1976. Properties and management of soils in the tropics. New York, USA. Wiley Interscience.
- SCHLATHER, K. 1995. Eficiencia del fósforo en frijol tapado vs. frijol espequeado. *In*: J. E. Garcia ; J. Monge-Nájera (eds.). Agricultura orgánica: memorias del simposio Centroamericano. San José, Costa Rica. UNED. p. 163-176.
- SIMOES, J. W. 1978. Adaptabilidade de especies florestais de rápido crescimento em solo alterado pela exploracao de xisto. IPEF (Piracicaba, Brazil) 16: 1-12.
- SOARES, R. V.; TUYOSHI, H. R. 1984. Estimativa da biomasa energetica de árvores de bracatinga (*Mimosa scabrella* Benth.). Instituto Brasileiro de Desenvolvimento Florestal (IBDF), Boletim Técnico No. 8.
- SOMARRIBA, E. 1972. Revisiting the past: an essay on agroforestry definition. *Agroforestry Systems* 19: 233-240.
- STAVER, C. 1989. Shortened bush fallow rotations with relay-cropped *Inga edulis* and *Desmodium ovalifolium* in wet central Amazonian Peru. *Agroforestry System* 8:173-196.
- STIENEN, H. 1990. The agroforestry potential of combined production systems in northeastern Mexico. *Agroforestry Systems* 11: 45-69.
- SZOTT, L. T.; PALM, C. A.; SANCHEZ, P. A. 1991. Agroforestry on acid soils of the humid tropics. *Advances in Agronomy* 45: 275-300.
- THURSTON, H. D. 1997. *Slash/Mulch Systems*. Boulder, USA. Westview. 197 p.
- TIESSEN, H.; SALCEDO, I. H.; SAMPAIO, E. V. S. B. 1992. Nutrient and soil organic matter dynamics under shifting cultivation in semi-arid northeastern Brazil. *Agriculture Ecosystems and Environment* 38: 139-151.
- UNRUH, J. D. 1990. Iterative increases of economic tree species in managed swidden-fallows of the Amazon. *Agroforestry Systems* 11: 175-197.
- WADE, M. K.; SANCHEZ, P. A. 1983. Mulching and green manure applications for continuous crop production in the Amazon basin. *Agronomy Journal* 75: 39-45.

El cultivo en callejones

**Jorge Jiménez
Donald Kass
Francisco Jiménez**

- **Introducción**
- **La experiencia**
- **Medidas para fomentar el uso y aceptación del cultivo en callejones**
- **Establecimiento y manejo del sistema de cultivo en callejones**
- **Perspectivas para el cultivo en callejones en América Latina**
- **Bibliografía**

El cultivo en callejones

Introducción

La definición de cultivo en callejones, agricultura en callejones o intercultivo de setos (Ssekabembe, 1985) refiere a una práctica agroforestal en la que los cultivos anuales son sembrados en los espacios que quedan entre las líneas de una especie leñosa, generalmente leguminosa, que es podada a intervalos regulares para evitar competencia y proveer un mantillo o "mulch" a los cultivos (Kang y Wilson, 1987). El mantillo sirve para controlar malezas y proveer nutrimentos al suelo. Alternativamente, el material podado puede ser utilizado como leña o como alimento para los animales.

Según Kang *et al.* (1989), el concepto inicial viene de la práctica de sembrar leucaena (*Leucaena leucocephala*) en surcos al contorno en Indonesia y las Filipinas, actividad que empezó por los años 20 y 30 y ganó más impulso en los años 50. Un estudio de Guevara (1976) fue el primero en investigar el efecto de la leucaena sobre los cultivos asociados. A partir de esa fecha, Kang y asociados en el IITA, (Nigeria) empezaron una serie de experimentos que resultaron, diez años después, en un conocimiento casi mundial de la tecnología (Kang *et al.*, 1981, 1985, 1989). Una revisión de Ssekabembe (1985) reporta las experiencias en cinco países. Desde entonces, se han publicado resultados en Costa Rica (Kass, 1987; Kass y Araya, 1987; Kass *et al.*, 1989), en Perú (Szott, 1987; Szott *et al.*, 1991; Salazar, 1991; Salazar *et al.*, 1993), en Bolivia (Delgadillo *et al.*, 1991) y en Colombia (Vega *et al.*, 1987).

La idea original de Kang fue encontrar una alternativa para la agricultura migratoria, que hasta entonces dependía de barbechos de hasta 50 años para producir cultivos anuales de una manera sostenible, en zonas del trópico húmedo (Kang y Wilson, 1987; Kang *et al.*, 1989). Se puede ver el trabajo de Kang dentro de un largo esfuerzo para buscar alternativas al sistema de roza, tumba y quema que ha existido desde tiempos inmemoriales (Nye, 1952; Newton, 1960; Djokoto y Stevens, 1962). Una de las alternativas significativas sugeridas en este tiempo fue la siembra de cultivos entre los corredores que se dejaban en los bosques (Jurion y Henry, 1969). Según Kang y Wilson (1987), los beneficios potenciales del cultivo en callejones son los siguientes:

- Se combina el período de cultivo y de descanso (barbecho).
- Se aumenta el período de cultivo y la intensidad del uso de la tierra (Raintree y Warner, 1986).
- Restauración más rápida de la fertilidad efectiva del suelo, a través del uso de especies más eficientes.

- Requerimientos bajos de insumos externos.
- El sistema es de escala neutral, siendo lo suficientemente flexible para su uso por agricultores pequeños y para la producción mecanizada de gran escala.

Este documento pretende ilustrar a los estudiantes sobre algunas experiencias con el cultivo en callejones, opciones para aumentar su productividad, sostenibilidad, rentabilidad y aceptabilidad por los agricultores de esta práctica agroforestal, así como algunas indicaciones sobre el establecimiento y manejo del cultivo en callejones. Finaliza haciendo un análisis de las perspectivas para el cultivo en callejones en América Latina.

La experiencia

Los primeros resultados sobre las bondades del cultivo en callejones fueron bastante alentadores como lo demuestra los resultados de Kang *et al.*, (1981) en Nigeria cuando sembraron maíz entre callejones de leucaena. Sin embargo, en los estudios realizados pocos años después (IITA, 1989) apareció una limitante en el sistema. Esta consistió en que los cultivos en la asociación, respondían aún a las aplicaciones de fertilizante nitrogenado (Cuadro 1), indicando que el material podado de los árboles leguminosos, por lo menos en la manera en que fue manejado el sistema, no era suficiente para mantener la fertilidad de los suelos a niveles aceptables. Entonces, el valor de las leguminosas leñosas como fuente de N fue puesto en duda, ya que se obtenía mayor suministro de nitrógeno de leguminosas herbáceas utilizadas como abono verde. Otro problema de los experimentos de Kang fue la falta de un control adecuado, pues la parcela en que se removió el material podado de leucaena no es un control apropiado porque tiene árboles y los cultivos están aún sujetos a la competencia de la leucaena. Además, la pudrición de raíces muertas por la poda puede resultar en el aporte de cantidades significativas de nutrientes al suelo.

Cuadro 1. Rendimiento de maíz (t/ha) en rotación con caupí bajo cultivo en callejones.

Tratamiento	Años						
	1979	1980	1981**	1982	1983	1984	1985
ON* - R	-	1,04	0,48	0,61	0,26	0,69	0,66
ON + R	2,15	1,91	1,21	2,10	1,91	1,99	2,10
80 N + R	2,40	3,26	1,89	2,91	3,24	3,67	3,00
DMS (0,05)	0,36	0,31	0,29	0,44	0,41	0,50	0,18

*Tasa de aplicación de N: 0 y 80 kg/ha; (-R) material podado de *Leucaena* sacado de las parcelas; (+R) material podado de *Leucaena* retenido. Todas las parcelas recibieron P, K, Mg y Zn

**En 1981 hubo sequía.

Fuente: IITA, 1989.

Otra crítica del trabajo de Kang fue que no tenía una parcela con fertilizante nitrogenado y sin leucaena (Nair, 1993).

Como señala Nair (1993), resultados de otros experimentos en diferentes sitios, realizados en respuesta al éxito de Kang, no fueron tan promisorios. Kass y asociados (Kass, 1987; Kass y Araya, 1987; Kass *et al.*, 1989) trabajando en un suelo Typic Humitropept, de una fertilidad comparable a los Psammentic Ustorthent y Oxíc Paleustalf utilizados por Kang, encontraron una buena respuesta en frijol (*Phaseolus vulgaris*), pero no en maíz (*Zea mays*). Kass incluyó controles sin árboles y con fertilizante nitrogenado. En algunos tratamientos se logró mantener la producción de maíz por encima de 3 t/ha durante nueve años (Cuadro 2) (Soto *et al.*, 1993). La producción de maíz en los cultivos en callejones sin fertilizante nitrogenado se mantuvo alrededor de 2 t/ha, comparable a los rendimientos encontrados por Kang (1989). En lugar de la leucaena, que no se adapta muy bien a los suelos ácidos, Kass y asociados utilizaron como especies leñosas gliricida (*Gliricidia sepium*) y poró (*Erythrina poeppigiana*), especies más conocidas en América Central, principalmente como árboles de sombra en cacao (*Theobroma cacao*) y café (*Coffea arabica*). Otra diferencia en los ensayos de Kass y de Kang fue el régimen de poda: Kang hizo diversas podas durante el ciclo del maíz, mientras que Kass solamente podó al inicio del ciclo del cultivo. Otros investigadores en América Latina que utilizaron la metodología de Kass, encontraron que las podas más frecuentes son impracticables y en general se obtienen mejores resultados con frijol o caupí (*Vigna unguiculata*) que con maíz o arroz (*Oriza sativa*) (Fernández, 1990; Kass *et al.*, 1993).

Cuadro 2. Producción promedio de granos, biomasa total, e índice de cosecha (I.C.) de maíz y frijol en cultivo en callejones durante nueve años de experimentación en Turrialba, Costa Rica.

Tratamiento	Grano maíz kg/ha	Biomasa maíz kg/ha	I.C. maíz	Grano frijol kg/ha	Biomasa frijol kg/ha	I.C. frijol
Control - N	2105	4933	0,427	752	1426	0,527
Control +N	3001	6512	0,401	886	1462	0,606
Mulch Erythrina -N	3203	7989	0,401	1283	2292	0,560
Mulch Erythrina +N	3331	8319	0,400	1423	2471	0,576
Callejones-Ery -N	2053	7052	0,291	1189	2411	0,493
Callejones-Ery +N	2245	7709	0,291	1360	2828	0,481
Callejones-Gliricida -N	2125	6612	0,321	1067	2336	0,456
Callejones-Gliricida+N	2124	6687	0,317	1132	2437	0,464
D.M.S. p=0,05	448	752		195	348	

-N= sin nitrógeno; +N= más nitrógeno
Fuente: Soto *et al.*, 1993.

Los trabajos de Kang y Kass fueron criticados por Sánchez (1987) y Benitez (1990) por tratarse de suelos con fertilidad mucho más alta que la que comúnmente se encuentra en el trópico. Se inició entonces una serie de experimentos en un suelo menos fértil como el Typic Paleustult para determinar el beneficio del cultivo en callejones (Szott, 1987; Fernández, 1990; Szott *et al.*, 1991; Salazar, 1991). Los rendimientos de los cultivos en estos ensayos fueron menores en el cultivo en callejones que en el monocultivo y se notó una tendencia a aumentar los rendimientos de los cultivos conforme aumentó la distancia al surco de leguminosas leñosas, lo que indica que en estos suelos, la competencia por nutrientes fue muy intensa.

La fertilización con fósforo no tuvo mucho efecto sobre la producción de los cultivos (Cuadro 3). Estudios subsecuentes de Fernández (1990) indican que ambas, la competencia por la radiación solar y la competencia por nutrientes contribuyeron a reducir los rendimientos de los cultivos en los sistemas de cultivo en callejones. En suelos aluviales (Tropofluent), con mayor contenido de bases, el cultivo en callejones fue más exitoso (Salazar, 1991). Diferencias entre las especies de leguminosas utilizadas afectaron el grado de competencia por la luz y la cantidad de nutrientes liberados durante la descomposición del material podado (Salazar *et al.*, 1993; Palm y Sánchez, 1990).

Otra situación en la cual el cultivo en callejones presentó problemas que no fueron evidentes en los trabajos de Kang y Kass fue cuando hubo limitación de agua durante una parte del año. En sitios semiáridos de la India, los rendimientos de caupí, higuera (*Ricinus communis*) y sorgo (*Sorghum bicolor*) aumentaron cuando se aislaron los sistemas radiculares de los cultivos y del seto de leucaena mediante una barrera de polietileno (Ong *et al.*, 1991). Sin embargo, la competencia por humedad fue menor cuando la especie leñosa se sembró en surcos con relación a la siembra dispersa en el campo. Trabajos subsecuentes de Lal (1989a y 1989c) en el IITA también mostraron mayor disminución de los rendimientos de los cultivos en callejones, en los años más secos. El efecto de la especie leñosa también es importante. Jama-Adan (1993) demostró que la *Cassia siamea* compitió menos que la leucaena con el maíz, en las zonas semiáridas de Kenya.

El otro aspecto en que Kang *et al.* (1981, 1989) reportaron beneficios del cultivo en callejones fue el mantener o mejorar las propiedades del suelo. Trabajos en IITA mostraron aumentos en la materia orgánica y los cationes intercambiables del suelo, después de seis años de practicar en forma continua el cultivo en callejones. Lal (1989 b, c y d) reportó menor disminución en los niveles de nitrógeno y pH del suelo, menor densidad aparente y mayor retención de humedad del suelo, después de cuatro años con cultivos en callejones. Kass *et al.* (1989) observaron pocos cambios en el estado de fertilidad del suelo, con excepción de los niveles de potasio intercambiable, después de seis años de cultivo en callejones y atribuyeron el mejor desempeño del frijol en el sistema a las mejoras en las propiedades físicas del suelo.

Cuadro 3. Rendimiento de grano (t/ha) de ocho cultivos consecutivos en un sistema de cultivos en callejones en Ultisoles.

Seto	Ancho	P	Caupí	Caupí	Arroz	Caupí	Caupí	Arroz	Caupí	Arroz
nga	4m	+	1,1	0,7	0,7	1,0	0,8	1,9	1,1	2,6
	4m	-			0,6	0,8	0,9	1,7	1,0	2,7
	8m	+	0,9	0,8	1,0	0,7	0,8	1,6	1,0	2,4
	8m	-			1,0	0,7	0,8	1,8	0,9	2,4
Cassia	4m	+	1,0	0,3	0,5	0,7	0,7	1,1	0,8	2,3
	4m	-			0,5	0,6	0,6	0,9	0,7	2,5
	8m	+	1,1	0,5	0,7	0,6	0,8	1,2	0,8	2,3
	8m	-			0,8	0,7	0,8	1,6	0,8	2,5
Gliricidia	4m	+	0,8	0,5	0,7	0,6	0,5	1,3	0,7	2,2
	4m	-			0,7	0,5	0,5	1,4	0,5	1,7
	8m	+	1,0	0,6	1,0	0,6	0,7	1,6	0,7	2,0
	8m	-			0,9	0,5	0,7	1,6	0,7	2,0
Gliricidia + Inga	4m	+	1,1	0,6	0,7	0,7	0,8	1,7	1,1	2,7
	4m	-			0,6	0,7	0,8	1,5	0,8	2,1
	8m	+	1,0	0,9	0,8	0,6	0,8	1,6	0,9	2,8
	8m	-			0,9	0,6	0,7	1,8	0,9	2,4

P= fósforo; + significa con P; - significa sin P. Fuente: Salazar, 1991.

Estudios posteriores (Haggar, 1990; Haggar *et al.*, 1991; Paniagua, 1992; Mazzarino *et al.*, 1993) mostraron pocos cambios en las formas del fósforo o del nitrógeno y del carbono en la biomasa microbial atribuible al efecto del cultivo en callejones, notando que muy poco del nitrógeno que se aplicó con el material podado apareció en los cultivos. Haggar concluyó que el mayor beneficio del cultivo en callejones se debe a la acumulación lenta de las fracciones orgánicas.

En la Estación Experimental de Yurimaguas (Perú), se reportó diferencias bajas en los niveles de pH, calcio+magnesio, aluminio intercambiable y fósforo entre las parcelas con cultivo en callejones y los controles no fertilizados en un suelo infértil (Typic Paleudult). Hubo un pequeño aumento en el nivel de potasio intercambiable (Szott *et al.*, 1991). En el suelo más fértil, se notó una disminución en los niveles de fósforo y un aumento en los niveles de calcio y magnesio después de tres años de cultivo en callejones (Salazar, 1991; Salazar *et al.*, 1993).

El control de malezas es otro beneficio que se espera del cultivo en callejones. El grado de control depende, en gran medida, del tipo de arbusto. Salazar *et al.* (1993) reportaron mejor control en callejones de *Inga* que en los de *Erythrina*, que a su vez fue mejor que en *Leucaena*. Esta diferencia debe estar relacionada con la tasa de descomposición (Palm y Sánchez, 1990; Szott *et al.*, 1991), pues las especies que se descomponen más lentamente (*Inga*) son las que mejor controlan las malezas. Lamentablemente, las especies que se descomponen más lentamente también suplen las menores cantidades de nutrientes

a los cultivos. Para aprovechar este hecho, algunos autores han recomendado una mezcla de especies en los setos; sin embargo, una mezcla de *Inga* y *Gliricidia* no resultó en una mayor producción de los cultivos con respecto al uso de solamente una especie (Salazar, 1991) (Cuadro 3). En Costa Rica, Rippin *et al.* (1994) notaron mayor control de malezas gramíneas en *Erythrina*, mientras que para malezas de hoja ancha el control fue mayor con *Gliricidia*. El mayor control de malezas no resultó en mayor producción de los cultivos.

Un aspecto donde casi siempre se ha observado efectos benéficos de los cultivos en callejones es en el control de la erosión del suelo. Reducciones considerables de erosión se han reportado para setos de leucaena y gliricidia en Africa (Lal, 1990d), de leucaena y eucalipto en la India (Ghosh *et al.*, 1989) y de gliricidia en Colombia (Vega *et al.*, 1987). Igualmente, en un suelo poco erodable, Lebeuf (1993) observó una reducción en la pérdida de suelo con setos de *Erythrina fusca* en Costa Rica. También en este país se indica que los setos de *Erythrina poeppigiana* tuvieron buena aceptación por los agricultores cuando se presentaron como una práctica para conservar los suelos y no para mejorar la producción de los cultivos (Hernández *et al.*, 1995). Debido a que el enfoque de cultivos en callejones se sustenta como una práctica de conservación de suelos, su papel es aún más valioso en terrenos de pendiente, sujetos a erosión (Kang *et al.*, 1989).

De los experimentos realizados en los años 80, pocos se sometieron a un análisis económico *ex ante*. Algunos mostraron problemas debido a los bajos precios de los cultivos anuales, a los altos precios de los fertilizantes nitrogenados y a la alta necesidad de mano de obra para podar los árboles (Kass *et al.*, 1989; Kang *et al.*, 1989).

Cuando se trató de introducir el cultivo en callejones en las fincas, se encontraron todavía más problemas, en términos de disponibilidad de mano de obra y aceptabilidad social (Kang *et al.*, 1990; Nair, 1993). Muchos agricultores consideraban que la presencia de los setos reduce la flexibilidad en el uso de la tierra (Nair, 1990). En otras situaciones, los problemas de tenencia de la tierra presentaron obstáculos para la siembra de los setos. Sin embargo, hubo casos en donde los agricultores adoptaron el sistema, por lo menos en una parte de sus terrenos (Kang *et al.*, 1990).

Medidas para fomentar el uso y aceptación del cultivo en callejones

De esta breve revisión de la experiencia con el cultivo en callejones durante los últimos 15 años se puede concluir que el sistema tendrá la mayor posibilidad de éxito y aceptación bajo las siguientes condiciones:

- a. Suelos razonablemente fértiles.
- b. Donde hay problemas de erosión.
- c. Lugares relativamente húmedos donde hay poca competencia por agua.
- d. Donde los precios de los productos son altos.
- e. Donde el costo de mano de obra sea bajo, en relación con el costo del fertilizante.

Con la excepción de áreas con problemas de erosión, estas condiciones se encuentran en relativamente pocas situaciones en el trópico.

Se nota también que se han conseguido pocos de los beneficios postulados por Kang y Wilson (1987) mencionadas en la introducción. Sin embargo, se puede considerar cómo manipular el sistema para hacerlo más atractivo. En el Cuadro 4, se resumen algunas de las opciones para el manejo del cultivo en callejones que podrían aumentar su productividad, sostenibilidad, rentabilidad y aceptabilidad por los agricultores.

Reducir la competencia sobre y bajo la superficie del suelo

Casi todos los autores han señalado la importancia de la selección apropiada de las especies que se adaptan mejor al sistema (Kang *et al.*, 1990; Nair, 1993). Sin embargo, una reducción en la copa del árbol, casi siempre lleva consigo una reducción en la biomasa. Aumentos en el número de podas pueden reducir la competencia por luz, pero también resulta en una disminución en la producción de biomasa. Deben existir especies que tengan sistemas radicales más profundos. Sin embargo, especialmente cuando se establecen los árboles por estacas, los sistemas radicales son muy superficiales. Se ha obtenido un mejor éxito en reducir la competencia bajo la superficie del suelo podando las raíces (Fernández, 1990) o poniendo barreras (Ong *et al.*, 1991), pero estas medidas son muy caras. También se sugiere que, sembrando árboles más densamente en el surco y utilizando plantas C_3 en lugar de C_4 , podría obtenerse mayor eficiencia y productividad ya que la mayor parte de los cultivos en callejones siguen siendo realizados con plantas C_4 (Ong *et al.*, 1991; Jiménez, 1990; Jiménez *et al.*, 1991).

Cuadro 4. Factores que se pueden modificar en sistemas de cultivos en callejones.

A. Ambiente

1. Drenaje
 2. Encalado
 3. Fertilización
 4. Obras de conservación de suelo
 5. Preparación de terreno
 6. Uso previo
 7. Riego
-

B. Árboles

1. Especie, procedencia, clon, híbrido
 2. Se puede también utilizar más de una especie
 3. Población
 4. Semillas, estacas, microestacas, acodos aéreos
 5. Espaciamiento
 6. Fertilización
 7. Inoculación con rizobium u hongos micorrizales
 8. Sembrar en curvas de nivel
 9. Régimen de poda
 10. Altura de poda
 11. Se puede también podar las raíces
 12. Que se hace con el material podado
 - a. Devolver a las parcelas como mulch o incorporándolo
 - b. Alimentar animales
 - c. Leña
 - d. Se puede dividir el material podado entre esos usos
 13. Estado fisiológico de los cultivos al momento de aplicar los residuos
-

C. Cultivos

1. Especies, cultivares, C₃ o C₄
 2. Época de siembra
 3. Fertilización
 4. Control de malezas
 5. Densidad de siembra
 6. Arreglo espacial (distancia de los árboles)
 7. Prácticas de protección
-

Reducir la necesidad de mano de obra

(Kang y Wilson (1987) sostienen que el cultivo en callejones es igualmente accesible al pequeño agricultor como al grande. Sin embargo, muchas de las operaciones pueden ser mecanizadas, aunque la mano de obra es frecuentemente citada como el principal obstáculo para una mayor adopción del

cultivo de callejones por los pequeños agricultores. La labranza, después de podar los árboles puede aumentar la eficiencia del sistema si se realiza una poda de raíces para reducir la competencia bajo la superficie del suelo aunado a la incorporación de los residuos en el suelo, limitando de esa manera la posibilidad de perder nutrientes por volatilización o escorrentía (Ssekabembe, 1985). Al incorporar los residuos disminuye su valor como mulch, pero las especies que quedan más tiempo sobre la superficie del suelo son normalmente las que liberan menos nutrientes (Salazar *et al.*, 1993).

Aumentar la producción de biomasa

El cultivo en callejones tendrá poco éxito si los árboles no producen suficiente biomasa para servir de mulch, suplir nutrientes a los cultivos, proveer madera para postes y leña y, eventualmente, material para alimentar animales. Difícilmente una especie puede producir suficiente material para satisfacer todas estas necesidades y tendrá que ser podada frecuentemente para evitar competencia con los cultivos. Sin embargo, la selección apropiada de especies pueden resultar en árboles que se recuperan rápidamente de la poda y producen más biomasa para diversas finalidades.

Utilizar especies adaptadas

Las ventajas que representa el uso de material adaptado han sido mencionadas. La selección no solamente de especies, sino también de clones y procedencias dentro de especies, debe mejorar el crecimiento de los árboles. Al mismo tiempo, se debe mejorar el desempeño del componente cultivo en la selección de material adaptado a las condiciones del sitio. Además, los cultivos de ciclo más corto y las especies C₃ deben sufrir menos de la competencia por radiación solar por parte de los árboles.

Introducir la práctica como método de conservación de suelos

Se ha notado que el cultivo en callejones casi siempre ha funcionado como una medida de conservación de suelos (Young, 1989). También que su aceptabilidad por parte de los agricultores es mayor cuando no se introduce como una medida para aumentar la producción de los cultivos sino como una medida de conservación de suelos (Hernández *et al.*, 1993).

No cultivar todos los años

El cultivo en callejones siempre ha sido introducido como una forma intensiva de agricultura (Raintree y Warner, 1986). A pesar de ello, debido al alto requerimiento de mano de obra, se pueden reducir los costos dejando de cultivar unos años, cuando la limitante de la tierra lo permita. Se ha llamado a este sistema "barbecho en callejones", sistema que puede servir también para eliminar las gramíneas perennes.

Aumentar la rentabilidad

Se ha observado que la rentabilidad de los sistemas agroforestales aumenta si hay un buen mercado para los productos. El cultivo en callejones puede ser mejor adoptado por los agricultores si se utiliza para producir productos de mayor valor, tales como maderables o frutales en lugar de granos básicos (Nair, 1993). Los cultivos pueden ser mejorados si se incorpora el material podado al suelo, en lugar de dejarlo sobre la superficie.

Establecimiento y manejo del sistema de cultivo en callejones

Componente arbóreo

La utilización de árboles en cultivos agrícolas conlleva algunas modificaciones en el manejo agronómico de éstos, fundamentado en una serie de relaciones de competencia por luz, agua y nutrientes que básicamente las ejerce el componente arbóreo. Esto modifica aspectos de manejo relacionados con arreglos espaciales y cronológicos y de algunas labores culturales. Para el establecimiento de cultivo en callejones, generalmente se utilizan leguminosas arbóreas, pues muchas de éstas reúnen requisitos idóneos para este sistema agroforestal (rápido crecimiento, alta producción de biomasa de fácil descomposición, respuesta a podas, alta capacidad de rebrote, además de su capacidad de fijar nitrógeno atmosférico).

Establecimiento

El establecimiento del componente arbóreo se puede realizar por semillas o en forma asexual, sin embargo, por la facilidad de prendimiento que tienen la mayoría de las leguminosas y para lograr un rápido establecimiento de éstos, se utiliza más el segundo método. Para ello, se utilizan estacas de aproximadamente 1,5 m de largo y un diámetro mínimo que varía dependiendo de la especie, pero que normalmente está entre 4 y 8 cm. Para asegurar un alto prendimiento, se utilizan acodos, los árboles propagados de esta forma desarrollan un sistema radical poco profundo, de manera que tendría mayor competencia con el cultivo y extraería menos nutrientes de capas inferiores, por lo que el proceso de reciclaje de nutrientes sería menos eficiente. Sin embargo, esta apreciación no sería tan importante en el trópico húmedo donde el agua no es limitante y donde el nivel freático no favorece el desarrollo de raíces profundas.

En cuanto al establecimiento del componente arbóreo utilizando propagación sexual, se puede hacer directa (semilla sexual) e indirectamente (árbol). En algunos casos se pueden establecer los árboles (*leucaena*) dentro de las hileras del cultivo (maíz). Esto tiene la ventaja de que inicialmente el árbol no dificulta las labores del cultivo agrícola y que el primero se ve favorecido por los beneficios que

normalmente recibe el cultivo en sus etapas de crecimiento (deshierbas, fertilización, combate de plagas y enfermedades etc.). Una vez cosechado el cultivo agrícola, el árbol continúa su crecimiento y será podado hasta que alcance el tamaño adecuado para ello y esté en capacidad de poseer un tocón de aproximadamente 1 m de alto. Este método de establecimiento tiene la ventaja que permite establecer rápidamente grandes plantaciones. Sin embargo, como gran desventaja se anota el cuidado que debe darse a los árboles en sus estados de crecimiento inicial y la lentitud con que algunos de estos crecen, lo cual incrementaría los costos de establecimiento.

Arreglos espaciales

Las distancias de siembra de árboles varían según la especie. El cultivo agrícola y el manejo agronómico que éste requiere (preparación del terreno, sistemas de siembra, duración del ciclo etc.), también pueden determinar el espaciamiento de los árboles. En el cuadro 5 se anotan algunos espaciamientos utilizados según la especie arbórea.

Cuadro 5. Distancias frecuentemente utilizadas entre hileras y entre árboles en cultivo en callejones.

Distancia entre hileras	Distancia entre árboles	Especie arbórea
6 m	1,0 m a 4,0 m	<i>Erythrina poeppigiana</i>
2,5 m a 9,0 m	0,5 m a 2,0 m	<i>Glicidia sepium</i>
2,5 m a 6,0 m	0,5 m a 2,0 m	<i>Erythrina berteroana</i>
6 m	0,5 m a 2,0 m	<i>Erythrina fusca</i>
2,0 m a 7,5 m	0,5 m a 1,5 m	<i>Leucaena leucocephala</i>
6,0 m	0,5 m a 2,0 m	<i>Calliandra calothyrsus</i>
2,0 m a 3,0 m	2,0 m a 3,0 m	<i>Gmelina arborea</i>
1,0 m a 2,0 m	2,0 m a 4,0 m	<i>Sesbania grandiflora</i>
1,0 m a 2,0 m	2,0 m a 4,0 m	<i>Albizzia falcataria</i>
1,0 m a 2,0 m	2,0 m a 4,0 m	<i>Samanea sp.</i>

Manejo de las podas

En el manejo de un cultivo en callejones, la decisión de establecer un programa de podas es lo más importante. Este sistema agroforestal pretende obtener el máximo provecho de la especie forestal (aporte de nutrientes, conservación, etc.) a favor del cultivo agrícola. Pero a la vez, debemos minimizar la competencia (por luz, agua y nutrientes) que éste pudiera ejercer sobre el cultivo.

El momento de realizar las podas lo determina el cultivo agrícola y por ello está muy relacionado con el ambiente ecológico (trópico húmedo, trópico seco) en que se desarrolla el sistema.

La práctica de la poda en sí es una labor muy sencilla. Los rebrotes (ramas) se cortan con machete y se pican, esparciendo uniformemente el material sobre el suelo, de manera que se logre la mayor cobertura posible. Cuando el material es muy leñoso (algunas especies) su descomposición será muy lenta, dificultando en algunos casos las labores del cultivo, por lo que se extrae de la plantación. Esta situación se da generalmente en zonas secas, donde se utilizan especies leñosas como *Gliricidia* y *Leucaena*; aquí también la leña es un recurso utilizado y de gran valor, por lo que se utilizaría como tal, obteniendo otra salida económicamente importante del sistema. En el caso del trópico húmedo, utilizando especies de *Erythrina*, la descomposición de las ramas más gruesas (períodos de poda cada seis meses) generalmente no dura más de un año.

Con relación a la altura de poda, esta varía entre 0,5 m y 1,5 m. Alturas de 1 m han mostrado buenos resultados en el sentido de que se logra un crecimiento adecuado de los rebrotes y biológicamente el árbol no pierde su capacidad productiva, cuando las podas no sobrepasan dos por año. Esta apreciación sin embargo, está condicionada a una serie de factores como grosor y estado general del tocón, período entre podas, ambiente ecológico, especie de cultivo, espaciamientos y sobre todo, la especie arbórea.

Componente cultivo

En esta sección no entraremos en detalles sobre el manejo agronómico de los cultivos agrícolas; trataremos de dar algunas sugerencias en aquellos componentes del manejo que requieran alguna modificación o consideración. En este sistema agroforestal se pueden utilizar cualquier cultivo anual (granos básicos, raíces y tubérculos hortalizas etc.), sin embargo, la mayoría de las experiencias son en granos básicos, específicamente en maíz y frijol y en menos grado tubérculos como aráceas y dioscóreas.

En general el manejo del cultivo agrícola (época de siembra, espaciamientos, fertilización, manejo de plagas etc.) sería el mismo que en un monocultivo.

Cuando se han establecido hileras de árboles para formar los callejones, existe una reducción de plantas del cultivo provocada por el espacio que ocupan los árboles. En este sentido, es importante realizar algunas modificaciones para que esta reducción sea mínima y si es posible que no exista. Los surcos del cultivo próximos a la hilera de árboles van a tener una mayor competencia y con ello una reducción en el crecimiento y la producción, sin embargo, en la mayoría de los casos es preferible establecerlo que dejarlo sin cultivar. En un cultivo como el maíz, generalmente espaciado de 0,7 a 1,0 m entre surcos, podría perfectamente mantenerse una población muy cercana a la del monocultivo, lo cual significa establecer el primer surco de maíz a 0,50 m de la hilera de árboles. En el caso de maíz espaciado a 0,7 m, la reducción de plantas de maíz por hectárea (dependiendo del espaciamiento entre hileras de árboles) podría tener una reducción de un 5 a 8%, lo cual es bastante razonable. En un cultivo

en callejones bien establecido (árboles con crecimiento adecuado), donde se cultiva maíz, generalmente este alcanza su floración sin ser superado (en altura) por el crecimiento de los rebrotes del árbol, lo cual indica que las plantas de maíz más próximas a las hileras de los árboles (0,5 m), aunque tienen competencia, logran alguna producción.

En el caso de cultivos como el frijol, donde el espaciamiento entre surcos es menor (0,4 m), es un poco más difícil mantener la población del monocultivo, sin embargo, la corta duración del ciclo (tres meses), permite que este finalice su crecimiento vegetativo cuando los rebrotes del árbol apenas inician su crecimiento, por lo tanto, se pueden establecer hileras de frijol tan cerca como 0,2 m de la hilera de árboles; con este manejo lograríamos mantener una población similar al monocultivo. Se debe tener presente que en ambos casos (maíz y frijol), este comportamiento del crecimiento del árbol con respecto al crecimiento del cultivo se logra cuando el período entre la poda del árbol y la siembra del cultivo es mínimo (por ejemplo una semana).

En ñampi (*Colocasia esculenta* var. *Antiquorum*), por ejemplo, se estableció a 1,0 m entre surcos y 0,33 m entre plantas, dejando 0,5 m desde la hilera de árboles. Con este espaciamiento se logró mantener la población de una plantación tipo monocultivo. (Jiménez *et al.* 1994).

Arreglo cronológico del sistema

En el manejo de este sistema agroforestal, es importante establecer un manejo cronológico que incluya básicamente el manejo de las podas y la siembra y cosecha del cultivo agrícola. A la hora de elaborar este cronograma se debe considerar el calendario agrícola para la región (obviamente el régimen climático) y las especies involucradas en el sistema. En el Cuadro 6, se incluye un ejemplo de alternativas de manejo para algunas condiciones ecológicas.

Cuadro 6. Arreglo cronológico según cultivo y época.

Alternativa por mes	MY	JU	JL	AG	ST	OC	NV	DC	EN	FB	MR	AB
A	P	C1	C1	CI	P	C2	C2	C2	P*	B	B	B
B	P	C1	C1	C1	C1	B	B	P	C2	C2	C2	B
C	P	C1	C1	C1	C1	P*	B	B	B	B	B	B

B= barbecho; C1= cultivo de primera; C2= cultivo de segunda;
P= Poda del árbol; P*= Poda opcional

Alternativa A

Se adapta a condiciones de trópico seco que permiten dos siembras de cultivo por año; generalmente una primera que es maíz y una segunda (postrera) que puede ser frijol, sorgo, ajonjolí, etc. Al finalizar esta siembra de segunda podrían podarse los árboles, si es que su biomasa se puede utilizar como forraje o leña; sin embargo, esto dejaría bastante desprotegido el suelo durante el barbecho y además podría deteriorar el árbol. La poda en este momento tiene la ventaja que reduce la posibilidad de que los árboles produzcan semillas y que su regeneración provoque problemas al siguiente ciclo de cultivo, como ha sucedido en el caso de la *Leucaena leucocephala*.

Alternativa B

Es la utilizada en condiciones del trópico húmedo, donde se realizan dos siembras de cultivo. Este arreglo deja la posibilidad de establecer períodos cortos de barbecho (dos meses) entre un ciclo de cultivo y otro, lo cual tiene la gran ventaja que le permite al árbol recuperarse y alcanzar una buena producción de biomasa. En este caso, los cultivos que más se utilizan son maíz y frijol, estableciéndose este cultivo en el período menos lluvioso.

Alternativa C

Esta es una alternativa donde se establece solo un ciclo de cultivo, generalmente para condiciones muy secas donde no permite la siembra de otro. Esta alternativa también es modificable a zonas húmedas cuando se establecen cultivos de ciclo más largo, como las aráceas o discóreas que duran entre siete y diez meses. En este caso se debe establecer un programa adicional de podas intermedias de manera que el árbol permita el crecimiento adecuado del cultivo agrícola.

Perspectivas para el cultivo en callejones en América Latina

Muchas publicaciones han criticado el sistema de cultivo en callejones por ser una tecnología desarrollada en estaciones experimentales y que ha tenido poca aceptación cuando fue introducida en los campos de los productores.

En su artículo, "Science in agroforestry" el Dr. Pedro Sánchez, director del ICRAF protestaba por el tiempo y dinero invertido en investigación en cultivo en callejones, no obstante, admitió que funcionaba en áreas de pendiente, en suelos fértiles, en sitios con lluvia adecuada, mano de obra disponible y una tenencia de tierra individual. En el mismo número de la revista, Current y Scherr encontraron que el cultivo en callejones es una de las tecnologías agroforestales más rentables y aceptables en los proyectos en América Central y el Caribe (Agroforestry Systems, 1995, Vol. 30 (1-2): 1.55 y 87-103).

Es probable que en América Central y el Caribe se han conjugado tres condiciones donde funciona el cultivo en callejones. Debido a que existe una alta proporción de suelos derivados de ceniza volcánica o de caliza y de tener un clima con una marcada época seca, los procesos de lixiviación ocurridos son menos intensos, al igual que en la zona Andina de América del Sur, donde se tienen suelos mucho más fértiles que los que se encuentran en la mayoría de las zonas del trópico de África y América del Sur. Además, en América Central a pesar de tener un periodo seco, durante el tiempo de los cultivos, la lluvia es relativamente abundante y no ocurre mucha competencia por agua entre los cultivos y los árboles. Existen otros factores que han contribuido a que el cultivo en callejones haya tenido un relativo éxito en América Central y el Caribe:

- El uso generalizado de frijol que se adapta mejor al cultivo en callejones que otros cultivos como maíz. También, cultivos que crecen y producen bien en condiciones de sombra de ñampi (*C. esculenta*) y tiquisque (*Xanthosoma sagittifolium*) (Jiménez *et al.*, 1997), son comunes en sistemas agroforestales de América Latina.
- El uso del cultivo en callejones fue introducido en muchos proyectos pequeños que trabajaron directamente con los productores. Así, el sistema fue modificado conforme las necesidades de los agricultores; no fue introducido como tecnología monolítica como frecuentemente se hizo en África.
- La tecnología fue introducida como una de conservación de suelos más que de producción. Entonces, los agricultores no tenían grandes expectativas en términos de rendimientos de los cultivos.

De alguna manera el cultivo en callejones ya existía en América Central. Entre los agricultores había una cierta tradición de sembrar cultivos anuales en los cafetales, especialmente los recién sembrados o después de podas profundas. Además, muchas de las especies utilizadas para sombra en café y cacao (*Erythrina* spp. y *Gliricidia sepium*) eran las mismas utilizadas en cultivo en callejones. Los agricultores de tradición maya no les gusta tener espacios vacíos, siempre asocian otros cultivos con el maíz. En plantaciones de cítricos es frecuente encontrar frijoles sembrados entre árboles. En muchos países de América Central existe una gran demanda de materiales para el cultivo de hortalizas. *Gliricidia sepium* y varias especies de *Erythrina* son muy utilizadas como soportes para cultivos como tomate (*Lycopersicon esculentum*), chile (*Capsicum annuum*) y chayote (*Sechium edule*).

Sin embargo, para tener éxito, el sistema tiene que adaptarse a las necesidades del agricultor, tanto en el manejo del terreno como los productos que puede obtener, las necesidades alimenticias y un adecuado nivel de vida. Es necesario pensar en cultivos y árboles de un alto valor comercial. El éxito de un sistema agroforestal depende tanto del valor de sus componentes como en su capacidad de

complementarse ecológicamente.

Bibliografía

- BENITES, J. R. 1990. Agroforestry systems with potential for acid soils of the humid tropics of Latin America and the Caribbean. *Forest Ecology and Management* 36: 81-101.
- DELGADILLO, R.; ALDUNATE, J.; ALVARADO, A. 1991. Situación de la Agroforestería en el Subtrópico Húmedo de la Región del Chapare, Bolivia. *In: T. J. Smyth; W. R. Raun; F. Bertsch (eds.). Manejo de Suelos Tropicales en Latinoamérica.* Raleigh, USA. North Caroline Universtiy. p. 257-263.
- DJOKOTO, R. K.; STEPHENS, D. 1962. Thirty long term experiments under continuous cropping in Ghana. I. Crop yields and responses to fertilizer and manures. *Empire Journal of Experimental Agriculture* 39: 181-195
- FASSBENDER, H. 1993. Modelos edafológicos de sistemas agroforestales. 2a ed. CATIE, Turrialba, Costa Rica. 530 p.
- FERNANDES, E. C. M. 1990. Alley cropping on acid soils. PhD. Thesis. Department of Soil Science. North Carolina State University. 157 p.
- GUEVARA, A. B. 1976. Management of *Leucaena leucocephala* (Lam.) de Wit for maximum yield and nitrogen contribution to intercropped corn. PhD Dissertation. University of Hawaii, Honolulu, HI.
- GHOSH, S. P.; MOHAN KUMAR, B.; KABEERATHUMMA, S.; NAIR, G. M. 1989. Productivity, soil fertility and erosion under cassava based agroforestry systems. *Agroforestry Systems* 8: 67-82.
- HAGGAR, J. 1990. Nitrogen and Phosphorus dynamics of systems integrating trees and annual crops. Ph.D. dissertation. St. Johns College. University of Cambridge. 160 p.
- HAGGAR, J.; WARREN, G. P.; BEER, J. W.; KASS, D. 1991. Phosphorus availability under alley cropping and mulched and unmulched sole cropping systems in Costa Rica. *Plant and Soil* 137: 275-283.
- HEDLEY, M. J.; STEWART, J. W. B.; CHAUAHAN, B. S. 1982. Changes in inorganic and organic soil phosphorus fractions induced by cultivation practices and by laboratory incubations. *Soil Sci. Soc. Amer. J.* 64: 970-976.
- HERNANDEZ, I.; KASS, D. L.; CAMACHO, Y. 1993. Economic evaluation of alley farming maize-beans with *Erythrina poeppigiana* in Costa Rica, Central America. *In: B. T. Kang, A. O. Osiname; A. Larbi (eds.). Alley farming research and development. Proceedings.* IITA, Ibadan Nigeria. p. 472-479.
- INTERNATIONAL INSTITUTE OF TROPICAL AGRICULTURE. 1989. Resource and Crop Management Program. Annual Report 1987. IITA, Ibadan, Nigeria. 220 p.
- JAMA-ADAN. 1993. Soil fertility and productivity aspects of alley cropping with *Cassia siamea* and *Leucaena leucocephala* under semiarid conditions in Machacos, Kenya. Ph.D. dissertation. University of Florida, Gainesville.

- JIMENEZ, J. M. 1990. Análisis de crecimiento y fenología del maíz (*Zea mays* L. c.v. Tuxpeño) en un cultivo en callejones con poró (*Erythrina poeppigiana* Walpers, OF. Cook) plantado en cuatro arreglos espaciales. Tesis M.Sc., CATIE, Turrialba, Costa Rica. 124 p.
- JIMENEZ, J. M.; VIQUEZ, E.; KASS, D.; OÑORO, P. 1991. Analysis of the growth and phenology of corn (*Zea mays*) associated with mountain immortal (*Erythrina poeppigiana* Walpers, OF. Cook) at different tree densities. In: Proceedings of the Third International Windbreaks and Agroforestry Symposium. Bridgetown, Ontario, Canada. p. 166-169.
- JIMENEZ, J. M.; OÑORO, P.; VIQUEZ, E. 1997. Producción de ñampi (*Colocasia esculenta* var. antiquorum) y maíz (*Zea mays* L.) en asocio con *Erythrina fusca* y *Calliandra calothyrsus*. Agroforestería en las Américas 4 (14): 6-10.
- JURION, F.; HENRY, J. 1969. Can primitive farming be modernized? Bruxelles, Institute National pour l'Etude Agronomique du Congo. 445 p.
- KANG, B. T. 1993. Alley cropping: past achievements and future directions. *Agroforestry Systems* 23:141-156.
- KANG, B. T.; WILSON, G.F.; SIPKENS, L. 1981. Alley cropping maize (*Zea mays* L.) and *Leucaena leucocephala* Lam. in Southern Nigeria. *Plant and Soil* 63:165-179.
- KANG, B. T.; WILSON, G. F.; LAWSON, T. L. 1984. Alley cropping, a stable alternative to shifting cultivation. International Institute for Tropical Agriculture, Ibadan, Nigeria. 22 p.
- KANG, B. T.; GRIME, H.; LAWSON, T.L. 1985. Alley cropping sequentially cropped maize and cowpea with leucaena on a sandy soil in Southern Nigeria. *Plant Soil* 85: 267-277.
- KANG, B. T.; WILSON, G.F. 1987. The development of alley cropping as a promising agroforestry technology. In: H. A. Steppeler and P. K. R. Nair (eds.) *Agroforestry: a decade of development*. International Council for Research in Agroforestry. Nairobi. p. 227-244.
- KANG, B. T.; REYNOLDS, L.; ATTA-KRAH, A. N. 1989. Alley farming. *Advances in Agronomy* 43: 315-359.
- KASS, D. C. L. 1987. Alley cropping of food with woody legumes in Costa Rica. In: J. Beer; H. Fassbender; J. Heuvelodop (eds.). *Advances in Agroforestry Research*. Turrialba, Costa Rica, CATIE. p.197-208.
- KASS, D. L.; BARRANTES, A.; BERMUDEZ, W.; CAMPOS, W.; JIMENEZ, J.; SANCHEZ, J. 1989. Resultados de seis años de investigación de cultivo en callejones (alley cropping) en "La Montaña". CATIE, Turrialba, Costa Rica. *El Chasqui* 19: 5-14.
- KASS, D. L.; ARAYA, J. F. 1987. Alley cropping with *Gliricidia sepium* (Jacq.) Steud. on farmers fields in Costa Rica. In: *Gliricidia sepium* management an improvement, Nitrogen Fixing Tree Association Special Publication 87-01: 50-58.

- LAL, R. 1989a. Agroforestry systems and soil surface management of a tropical Alfisol. I. Soil moisture and crop yield. *Agroforestry Systems* 8: 7-29.
- LAL, R. 1989b. Agroforestry systems and soil surface management of a tropical Alfisol. III. Changes in soil chemical properties. *Agroforestry Systems* 8: 113-132.
- LAL, R. 1989c. Agroforestry systems and soil surface management of a tropical Alfisol. IV. Changes in soil physical and mechanical properties. *Agroforestry Systems* 8: 192-215.
- LAL, R. 1989d. Agroforestry systems and soil surface management of a tropical Alfisol. V. Water infiltrability, transmissivity and soil water sorptivity. *Agroforestry Systems* 8: 217-238.
- LEBEUF, T. 1993. Sistemas agroforestales con *Erythrina fusca* y su efecto sobre la pérdida de suelo y la escorrentía superficial en tierras de ladera, San Juan Sur, Turrialba Costa Rica. *In: Erythrina in the New and Old Worlds. Nitrogen Fixing Trees Association, Hawaii.* p. 333-343.
- MAZZARINO, M. J.; SZOTT, L.; JIMENEZ, M. 1993. Dynamics of soil total C and N, microbial biomass and water-soluble C in tropical agroecosystems. *Soil Biology & Biochemistry* 25: 205-214.
- NAIR, P. K. R. 1990. The promise and prospects of agroforestry in the tropics, a review of the technical and socioeconomic information with special emphasis to Africa. Report to the World Bank, DC. 12 p.
- NAIR, P. K. R. 1993. An Introduction to Agroforestry. Dordcht, The Netherlands, Kluwer Academic, 499 p.
- NEWTON, K. 1960. Shifting cultivation and crop rotation in the tropics. *Papua and New Guinea Agricultural Journal* 13 (3): 79-118.
- NYE, P. H. 1952. Studies on the fertility of Gold Coast Soils. Pt. IV. The potassium and calcium status of the soils and the effects of mulch and Kraal manure. *Empire Journal of Experimental Agriculture* 20: 226-233.
- ONG, C. K.; COLETT, J. E.; SINGH, R. P.; BLACK, C. R. 1991. Above and below ground. *Forest Ecology and Management* 45: 45-57.
- PALM, C. A. SANCHEZ, P. A. 1990. Decomposition and nutrient release patterns of the leaves on three tropical legumes. *Biotropica* 22: 330-338.
- PANIAGUA, A. 1992. Metodología de fraccionamiento del fósforo del suelo en un sistema de cultivo en callejones. Tesis M.Sc., CATIE, Turrialba, Costa Rica. 111 p.
- RAINTREE, J. B.; WARNER, K. 1986. Agroforestry pathways for intensification of shifting agriculture. *Agroforestry Systems* 4: 39-54.
- RIPPIN, M. M.; HAGGAR, J. P.; KASS, D. L.; KOPKE, U. 1994. Alley cropping and mulching with *Erythrina poeppigiana* (Walp.) O. F. Cook and *Glinicida sepium* (Jacq.) Walp. Effects on maize/weed competition. *Agroforestry Systems* 25: 119-134.

- SALAZAR, A. 1991. Cultivo en callejones, algunos resultado de investigación en Yurimaguas, Cuenca Amazónica del Perú. *In*: T. J. Smyth, W. R. Raun y F. Bertsch (eds.). Manejo de suelos tropicales en Latinoamérica. Soil Science Dept. North Carolina State University, Raleigh. p. 674-677.
- SALAZAR; SZOTT, L. T.; PALM, C. A. 1993. Crop-tree interactions in alley cropping systems on alluvial soils of the Upper Amazon Basin. *Agroforestry Systems* 22: 67-82.
- SANCHEZ, J. F. 1989. Análisis de la estabilidad y dinámica de sistemas de producción en cultivos en callejones. Tesis M.Sc. CATIE, Turrialba, Costa Rica. 174 p.
- SANCHEZ, P. A. 1987. Soil productivity and sustainability in agroforestry systems. *In*: H. A. Steppler and P. K. R Nair (eds.). *Agroforestry: a decade of development*. International Council for Research in Agroforestry, Nairobi. p. 206-223.
- SINGH, R. P.; ONG, C. K.; SAHARAN, N. 1990. Above and below ground interactions in alley-cropping in semiarid India. *Agroforestry Systems* 9: 259-274.
- SOTO PINTO, L. L.; SZOTT, L. T.; KASS, D. L. 1993. Dynamics efficiency of nutrient use in crops amended with *Erythrina*. *In*: *Erythrina in the New and Old Worlds*. Nitrogen Fixing Trees Association, Hawaii. p. 136-146.
- SSEKABEMBE, C. K. 1985. Perspectives on hedgerow intercropping. *Agroforestry Systems* 3: 339-356.
- SZOTT, L. T. 1987. Improving the productivity of shifting cultivation in the Amazon Basin of Peru through the use of leguminous vegetation. Ph.D. dissertation, Soil Science Dept., North Carolina State University, Raleigh, N.C. 168 p.
- SZOTT, C. R.; PALM, C. A.; SANCHEZ, P. A. 1991a. Agroforestry on acid soils of the humid tropics. *Advances in Agronomy* 45: 275-300.
- SZOTT, C. R.; FERNANDES, E. C. M.; SANCHEZ, P. A. 1991b. Soil plant interactions in agroforestry systems. *Forest Ecology and Management*.
- VEGA, L. E.; van EIJK-BOS; MORENO, L. A. 1987. Alley cropping with *G. sepium* (Jacq.) Walp. ("Mata Ratón") and its effects on soil losses on hillslopes in Uraba, Colombia. s.n.t.
- YAMAOAH, C. F.; AGBOOLA, A. A.; WILSON, G. F. 1986. Nutrient contribution and maize performance in alley cropping systems. *Agroforestry Systems* 4: 247-254.
- YAMAOAH, C. F.; AGBOOLA, A. A.; WILSON, G. F.; MULONGOY, R. 1986. Soil properties affected by the use of leguminous shrubs for alley cropping with maize. *Agriculture, Ecosystems an Environment* 18: 167-177.
- YOUNG, A. 1989. *Agroforestry for soil conservation*. CAB International, Exeter, UK 275 p.

Soportes vivos para la producción de cultivos

Jorge Jiménez

- **Introducción**
- **Resultados y experiencias**
- **Bibliografía**

Soportes vivos para la producción de cultivos

Introducción

El término “soportes vivos” es un concepto relativamente nuevo, que ha sido utilizado para identificar un sistema agroforestal donde el componente arbóreo, además de producir los beneficios comunes (proveer sombra, aporte de nutrimentos, protección del suelo, subproductos, etc.) cumple con la función adicional de servir de tutor al cultivo agrícola. Este sistema cuando se usa con cultivos anuales (ñames, tomate, pepino, etc.), puede considerarse como un cultivo en callejones, con el beneficio adicional antes mencionado. El auge de este sistema se ha favorecido por la necesidad de utilizar prácticas de agricultura sostenible, además de la escasez de madera para la construcción de tutores, que ha traído como consecuencia la disminución de la producción e incremento en los costos.

Se utilizan especies arbóreas y arbustivas, generalmente leguminosas, por las características de fácil establecimiento, rápido crecimiento, producción de biomasa de fácil descomposición, rebrotan fácilmente después de la podas y fijan nitrógeno, entre otras. El manejo de este componente arbóreo en el sistema, depende de las exigencias del cultivo asociado, entre las que deben considerarse el ciclo vegetativo, el tipo de crecimiento y la preparación del suelo.

Los soportes vivos se pueden utilizar en cultivos como el ñame (*Dioscorea* spp.), la vainilla (*Vanilla planifolia*), la pimienta negra (*Piper nigrum*), el maracuyá (*Passiflora edulis*) y en hortalizas como tomate (*Lycopersicon esculentum*) y el pepino (*Cucumis sativus*). Aunque el uso de soportes vivos, como sistema agroforestal ha sido poco investigado, existe algunas experiencias y resultados con los cultivos antes mencionados, que se presentarán a continuación.

Resultados y experiencias

Dioscóreas

Los ñames (*Dioscorea* spp.), aunque se pueden cultivar sin soporte, por su tipo de crecimiento (tallos trepadores) mejoran significativamente el desarrollo y rendimiento de tubérculos (60% o más) cuando las plantas tienen un tutor. El uso de esta práctica utilizando materiales convencionales (postes, cañas, alambre, etc.) representa entre el 25 y el 40% de los costos fijos.

Para sustituir esa necesidad, se han utilizado asociaciones con otros cultivos como maíz, sorgo, gandul y yuca (IITA, 1980), pero difícilmente estos sustituyen los beneficios del soporte y además se crean dificultades para el manejo agronómico de los cultivos asociados y del ñame mismo.

Existen diversas investigaciones en el uso de tutores vivos con diferentes especies de dioscóreas. La idea de incluir árboles y arbustos para ser utilizados como soportes o tutores de estos cultivos es reciente (Ssekabembe, 1985; Agbede, 1985; Budelman, 1987).

El manejo de los soportes vivos de ñame, comparado con los cultivos en callejones presenta algunas diferencias relacionadas con el manejo del componente arbóreo, debido a que los ñames tienen un ciclo vegetativo de 8 a 10 meses, bastante más largo comparado con el de los granos básicos, que es de 3 a 4 meses, y el tipo de crecimiento trepador. El uso de este sistema de cultivo es común en África, en fincas de pequeños agricultores y en los sitios con escasez de materiales para la construcción de soportes (IITA, 1984).

Se han investigado diferentes especies arbóreas: poró (*Erythrina berteroana*), madera negra (*Gliciridia sepium*), flemingia (*Flemingia macrophylla*), leucaena (*Leucaena leucocephala*) y cassia (*Cassia siamea*), entre otras.

El madero negro o madreado (*G. sepium*) muestra ventajas para este sistema de cultivo ya que la posición de las ramas permite mayor penetración de luz al cultivo (Budelman, 1987; Jiménez, 1991), sin embargo, ha mostrado el inconveniente de no resistir podas continuas, lo que reduce su capacidad de rebrote y el crecimiento de sus ramas (Chavarría, 1991). La poda es una práctica necesaria durante los primeros cuatro o cinco meses, cuando el ñame cumple su crecimiento vegetativo.

Investigaciones realizadas con *G. sepium* muestran a esta especie con alguna superioridad sobre las otras. Budelman (1987), encontró que el rendimiento de tubérculos se duplica, al compararlo con *L. leucocephala* y *F. macrophylla*; resultados similares obtuvieron en otros trabajos al compararlos con los métodos convencionales de cultivo (Budelman y Pinner, 1987). En Costa Rica, el desempeño superó a *E. berteroana*, igualó al testigo sin soporte pero fue muy inferior a los testigos con soporte convencional (Jiménez *et al.*, 1992; Chavarría *et al.*, 1991).

Otras especies como *C. siamea*, *F. macrophylla* y *L. leucocephala* también se han utilizado con resultados satisfactorios (Cuadro 1). No obstante, es manifiesta la necesidad de profundizar más en la investigación del manejo del sistema.

En Kenya, Getahun y Njenga (1990), reportan el uso de *Commiphora zimmermannii* para soportes vivos en ñame. Los agricultores utilizan el sistema desde hace 20 años, plantando estacas de 2 m de altura.

Cuadro 1. Resultados obtenidos al asociar dioscóreas con algunas especies arbóreas como soportes vivos.

Especie arbórea	Resultado obtenido y/o características observadas	Fuente
<i>Gliricidia sepium</i>	Superó significativamente a <i>Leucaena</i> (3,4 t) y <i>Flemingia</i> (5,3), con un rendimiento de 10 t/ha.	Budelman (1990a)
	Duplicó el rendimiento al compararse con el testigo sin soporte (20,7 vs. 8,8 t/ha, respectivamente)	Budelman (1990b)
	El rendimiento de ñame se duplicó cuando se comparó con <i>Flemingia</i> y <i>Leucaena</i> . El rendimiento fue de 12 t/ha con <i>G. sepium</i> y 2 t/ha sin tutores	Budelman (1987)
	Producción de ñame fue similar a soporte convencional	Budelman y Piner (1987)
	Superó en un 20 a 30% al testigo sin soporte, pero se redujo el rendimiento de tubérculos de un 30 a 50% con relación al soporte tipo individual	Jiménez <i>et al.</i> , (1992)
	Con la aplicación de tres podas durante el ciclo, el ñame se desempeña de manera satisfactoria; sin embargo la producción de biomasa del árbol se reduce drásticamente.	Chavarria (1991)
<i>Erythrina berteroana</i>	El rendimiento de tubérculos se redujo entre 50 y 75% con relación al testigo sin soporte y soporte convencional tipo individual, respectivamente. Hubo excesivo crecimiento de copa.	Jiménez <i>et al.</i> (1992)
	Presentó un crecimiento de copa muy superior a <i>G. sepium</i> , ejerció gran competencia sobre el cultivo, inclusive con la aplicación de tres podas.	Chavarria (1991)
<i>Leucaena leucocephala</i>	Superó al testigo sin soporte (4 vs 2 t/ha). El crecimiento agresivo puede romper los tallos (bejucos) de ñame, intercepta más radiación que <i>G. sepium</i>	Budelman y Piner (1987) y Budelman (1987).
<i>Flemingia macrophylla</i>	Superó al testigo sin soporte (6 vs 2 t/ha). Ha mostrado comportamiento similar a <i>Leucaena</i> .	Budelman y Piner (1987) y Budelman (1987).
<i>Cassia siamea</i>	Producción de ñame fue menor que en el monocultivo (10 vs 16 t/ha). Produce exceso de sombra.	Budelman y Piner (1987)
<i>Erythrina subumbrans</i>	De uso popular en Samoa Occidental; generalmente se cultivan de 6 a 8 plantas alrededor del árbol.	Kass <i>et al.</i> (1993)
<i>Gmelina arborea</i>	Como sistema taungya ha mostrado resultados satisfactorios, sin deterioro del crecimiento inicial del árbol. Redujo la producción de tubérculos en un 20%.	Agbede (1985); Akachuku (1985); Ojenyi y Agbede (1980).

En términos generales, el uso de especies forestales leguminosas constituye una alternativa viable para soportes vivos en ñame; sin embargo, hay prácticas de manejo agronómico del cultivo que sugieren modificaciones que son necesarias para elaborar una alternativa de producción mejorada.

Las dioscóreas requieren una buena preparación del terreno para el desarrollo óptimo de los tubérculos, la cual generalmente se realiza en forma mecanizada (arado, rastreado y alomillado). Esto implica un arreglo espacial de los árboles que permita establecer callejones de 2,5 a 3 m de ancho, como mínimo, lo que implica establecer dos hileras de ñame (separadas de 1,25 a 1,5 m) en cada hilera de árboles.

Un arreglo espacial de 2,7 m entre hileras y 0,5 m entre árboles de *G. sepium* o de *E. berteriana* permitió la preparación mecanizada utilizando un tractor pequeño; sin embargo, la construcción de lomillos debió ser terminada con herramientas manuales. Los lomillos estaban espaciados a 1,35 m, utilizando una hilera de soporte por dos hileras de cultivo (Jiménez *et al.*, 1992)

En este sistema se debe considerar la necesidad de preparar el terreno una vez al año, lo cual podría dañar el sistema radical de los árboles. En este sentido quizá conviene dar periodos de descanso (barbecho mejorado) para recuperar la capacidad productiva del componente arbóreo.

La fertilización y el arreglo espacial del cultivo podrían sufrir modificaciones. El ñame se siembra de 1 a 1,25 m entre hileras y de 0,3 a 0,5 m entre plantas. Si se asocia con árboles, podría ampliarse la distancia entre hileras. La fertilización podría reducirse cuando el sistema esté bien establecido, ya que al inicio las dioscóreas son cultivos muy exigentes y el aporte de nutrimentos por concepto de incorporación de biomasa no satisface las necesidades del cultivo, al menos inicialmente.

Vainilla (*Vanilla planifolia*)

La vainilla es una planta umbrófila que necesita de un 40 a 50% de sombra. En este caso la especie arbórea no solo cumple las funciones de soporte, sino que satisface las necesidades de sombra. En Costa Rica, las especies más utilizadas como soporte para este cultivo son *E. berteriana* y *G. sepium* (Astorga, 1988). Estas especies generalmente se establecen de 6 a 12 meses antes de la siembra, utilizando un espaciamiento de 1,5 x 3 m.

Las podas de los árboles son necesarias para mantener las necesidades de luz, ya que los excesos de sombra reducen la floración y la fructificación de la vainilla (Morera y Astorga, 1990).

Pimienta negra (*Piper nigrum*)

Los soportes vivos son preferentemente usados por los productores de la zona Atlántica de Costa Rica, con resultados satisfactorios, aunque los mejores rendimientos se han obtenido con soportes muertos. Se utilizan postes vivos de 10 a 15 cm de diámetro y 2,5 m de altura que se establecen a 2,5 m en cuadro, sembrándose las plantas de pimienta a 20 cm del tutor. Los árboles se deben podar periódicamente hasta cuatro veces por año, dependiendo de su crecimiento, lo cual afecta negativamente al componente arbóreo.

Se utilizan especies como *E. fusca*, *E. berteriana* y *G. sepium*, con algunas ventajas para esta última. Debido a la forma de crecimiento y al tipo de sombra, los agricultores prefieren en primera instancia la *G. sepium*, en su defecto *E. berteriana*.

Muschler *et al.* (1993), realizaron una evaluación de *E. fusca*, *E. berteriana* y *G. sepium* como soportes vivos para pimienta. Se establecieron 1600 árboles/ha y se realizaron dos podas por año. *G. sepium* tuvo ramas más erectas y un menor diámetro de copa, lo que le dio ventajas sobre las otras especies, pero el aporte de nutrimentos por concepto de podas fue menor. Meléndez (1991), estima que aplicar podas totales cada seis meses, puede ser la causa de una alta mortalidad de soportes en siembras de pimienta en la zona Atlántica de Costa Rica.

Maracuyá (*Passiflora edulis*)

En la siembra de maracuyá se utilizan tres tipos de soporte: vertical, en T y barbacoa. Cuando se utilizan soportes vivos se construye el tipo vertical, colocando postes cada 5 m. La especie más utilizada es *G. sepium* y se usan postes que al sembrarlos sobresalgan 2 m sobre el suelo. El establecimiento considera la colocación de dos o tres alambres a una altura de 1 y 2 m sobre el suelo y que deben quedar flojos al amarrarlos a los postes, para evitar el estrangulamiento. Las podas se realizan periódicamente, según el crecimiento del árbol, manteniendo al mínimo el efecto de sombra sobre el cultivo.

Otros cultivos

Existen algunos cultivos hortícolas como el tomate (*L. esculentum*), el pepino (*C. sativus*) y el chile (*Capsicum annum*) que pueden cultivarse haciendo uso de soportes vivos. Algunos agricultores en Costa Rica usan soportes vivos, especialmente con tomate, en cuyo caso prefieren como tutor la *E. berteriana*. Normalmente no siembra más de un ciclo consecutivo en el mismo terreno, quedando los soportes establecidos donde eventualmente cumplen la función de barbecho mejorado. Una segunda siembra en ese predio obliga la preparación manual del terreno, ya que los arreglos espaciales utilizados para esos cultivos impiden hacerlo de otra forma.

Bibliografía

- AGBEDE, O. O. 1985. Improving Agroforestry in Nigeria: Effect of plant density and interaction on crop production. *Forest Ecology and Management* 11: 231-239.
- AKACHUKU, A. E. 1985. Cost-benefit analysis of wood and food components of agriculture in Nigerian forest zone. *Agroforestry System* 3: 307-316.
- ASTORGA, C. 1988. El cultivo de la vainilla (*Vanilla planifolia*). Guía para su cultivo. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza. 7 p.
- BUDELMAN, A. 1987. The above-ground structural compatibility of *Flemingia macrophylla*, *Gliricidia sepium* and *Leucaena leucocephala* as live stakes for yams, *Dioscorea alata*. In: *Gliricidia sepium* (Jacq) Walp. Management and improvement. Proceedings ed. by D. Withington, N. Glover, and J. Brewbaker. NFT special publication. 87-01. p. 82-89.
- BUDELMAN, A. 1990a. Woody legumes as live support systems in yam cultivation. I. The tree-crop interface. *Agroforestry Systems* 10: 47-59.
- BUDELMAN, A. 1990b. Woody legumes as live support systems in yam cultivation. II. The yam-*Gliricidia sepium* association. *Agroforestry Systems* 10: 61-69.
- BUDELMAN, A.; PINNERS, E. C. M. 1987. The value of *Cassia siamea* and *Gliricidia sepium* as «in-situ» support system in yam cultivation: experiences from a farm-based trial. In: *Gliricidia sepium* (Jacq) Walp. Management and improvement. Proceedings ed. by D. Withington, N. Glover, and J. Brewbaker. NFT special publication. 87-01. p. 89-90.
- CHAVARRIA, M. R. 1991. Evaluación del crecimiento y producción del ñame alado (*Dioscorea alata*) cv «6322» utilizando soportes vivos de poró (*Erythrina berteroana*) y madero negro (*Gliricidia sepium*) Jacq Walp. Turrialba, C. R. Tesis Mag. Sc., CATIE. 109 p.
- GETAHUN, A.; NJENGA, A. 1990. Living stakes: Kenian farmers introduce an agroforestry technology. *Agroforestry Today*, 8: 8.
- INTERNATIONAL INSTITUTE OF TROPICAL AGRICULTURE. 1980. Crop Production. In: Annual Report for 1979. Ibadan, Nigeria. p. 178.
- INTERNATIONAL INSTITUTE OF TROPICAL AGRICULTURE. 1984. Farming System. In: Annual Report for 1983. Ibadan, Nigeria. p. 207.
- JIMENEZ, J. M.; VIQUEZ, E.; KASS, D. C. L.; CHAVARRIA, M. R. 1992. Uso de *Erythrina berteroana* y *Gliricidia sepium* como soportes vivos de ñame alado (*Dioscorea alata* L., c.v. 6322). *El Chasqui*. No. 29. p. 6-11.
- KASS, D. C. L.; ROGERS, S.; COOPERBAND, L.; NYGREN, P. 1993. Trees with Annual Crops. *Erythrina*: Production and Use. Turrialba, Costa Rica. NFTA-CATIE. p. 10-12.

- MELENDEZ, L. 1991. Situación de la pimienta. *In: Reunión interna Proyecto Agroforestal CATIE-GTZ, 3-4 JUNIO 1991. Turrialba, C.R. CATIE. p. 94-108.*
- MORERA, J. A.; ASTORGA, C. 1990. Manual de recomendaciones sobre cultivos promisorios: zapote, pimienta, macadamia y vainilla. Programa de mejoramiento de cultivos tropicales. Turrialba. C.R. CATIE. p. 15-19.
- MUSCHLER, R. G.; NAIR, P. K. R.; MELENDEZ, L. 1993. Crown development and biomass production of pollarded *Erythrina berteroana*, *Erythrina fusca* and *Gliricidia sepium* in the humid tropical lowlands of Costa Rica. *Agroforestry Systems*. 24: 123-143.
- OJENYI, S. O.; AGBEDE, O. O. 1980a. Effect on interplanting *Gmelina arborea* with food crops of soil condition. *Turrialba* 30: 268-271.
- OJENYI, S. O.; AGBEDE, O.O. 1980b. Agronomic assessment of the effect of interplanting *Gmelina arborea* with food crops on soil condition. *Turrialba* 30: 268-271.
- SSEKABEMBE, C. K. 1985. Perspectives on hedgerow intercropping. *Agroforestry Systems* 3: 339-356.

Sistemas silvopastoriles

Muhammad Íbrahim
Alberto Camero
Danilo Pezo
Jorge Esquivel

- **Introducción**
- **Importancia de las leñosas en los SSP**
- **Tipos de sistemas silvopastoriles**
- **Cercas vivas**
- **Bancos de proteína y energía**
- **Barreras vivas**
- **Pasturas en callejones**
- **Especies forestales o frutales dispersos en potreros**
- **Pastoreo bajo plantaciones forestales o frutales**
- **Cortinas rompeviento**
- **Pastoreo en charrales, tacotales o matorrales**
- **Bibliografía**

Sistemas silvopastoriles

Introducción

La estrategia de asociar árboles con pastos en un sistema de producción constituye una práctica antigua, corriente en diferentes regiones tropicales y subtropicales, la cual se ha llevado a cabo bajo diferentes condiciones socioeconómicas y agroecológicas. Estos sistemas de producción, denominados sistemas silvopastoriles (SSP) constituyen una modalidad de sistemas agroforestales.

Un SSP es una opción de producción pecuaria que involucra la presencia de las leñosas perennes (árboles o arbustos), interactuando con las forrajeras herbáceas y animales bajo un sistema de manejo integral, tendiente a incrementar la productividad y el beneficio neto del sistema en el largo plazo (Somarriva, 1992). En la Figura 1 se ilustran las interacciones directas entre los componentes de un SSP con animales manejados en pastoreo. Los efectos positivos y negativos de los diferentes componentes en SSP se muestran en el Cuadro 1. Las leñosas perennes no solo producen follaje o frutos para los animales, sino que les pueden proveer sombra para contrarrestar el estrés calórico o viento.

También puede haber una interacción indirecta a través de los sistemas radicales; generalmente las leñosas perennes son capaces de explorar perfiles más profundos del suelo y “bombear los nutrimentos” para hacerlos eventualmente disponibles para los pastos a través de la mineralización de las hojas, ramas y raíces superficiales del árbol que alcanzan la fase de senescencia. Además, la presencia de leñosas perennes en las pasturas resulta en un microclima más favorable (humedad, temperatura) para la actividad biológica de la micro y macrofauna, lo cual resulta en una mayor tasa de mineralización y disponibilidad de nitrógeno en el suelo (Belsky *et al.*, 1993).

Por otro lado, el ganado puede ejercer efectos negativos sobre el árbol, especialmente en sus estadios juveniles, provocándole daños físicos al rascarse en el fuste, raspar la corteza o incluso ramonear intensamente los nuevos brotes. Además, puede afectarlo de manera indirecta, a través de la compactación del suelo provocada por el pisoteo. Sin embargo, los animales pueden ejercer también efectos positivos sobre el árbol, como proveerles de nutrimentos a través de sus excretas depositadas en el suelo y reducción de la competencia con el pasto.

Los árboles en los SSP cumplen diferentes funciones: suplen sombra y abrigo al ganado, pueden producir madera, (Beer, 1980), leña (Somarriva, 1985c), forraje (Torres, 1983) y alimentos de uso o consumo humano (Somarriva, 1985a). Además, pueden servir para mejorar el suelo, proveer postes vivos y pueden ser estéticamente agradables y valiosos para la vida silvestre. Este capítulo describe las

interrelaciones principales que existen en sistemas silvopastoriles, así como los diferentes tipos de sistemas silvopastoriles de América Central.

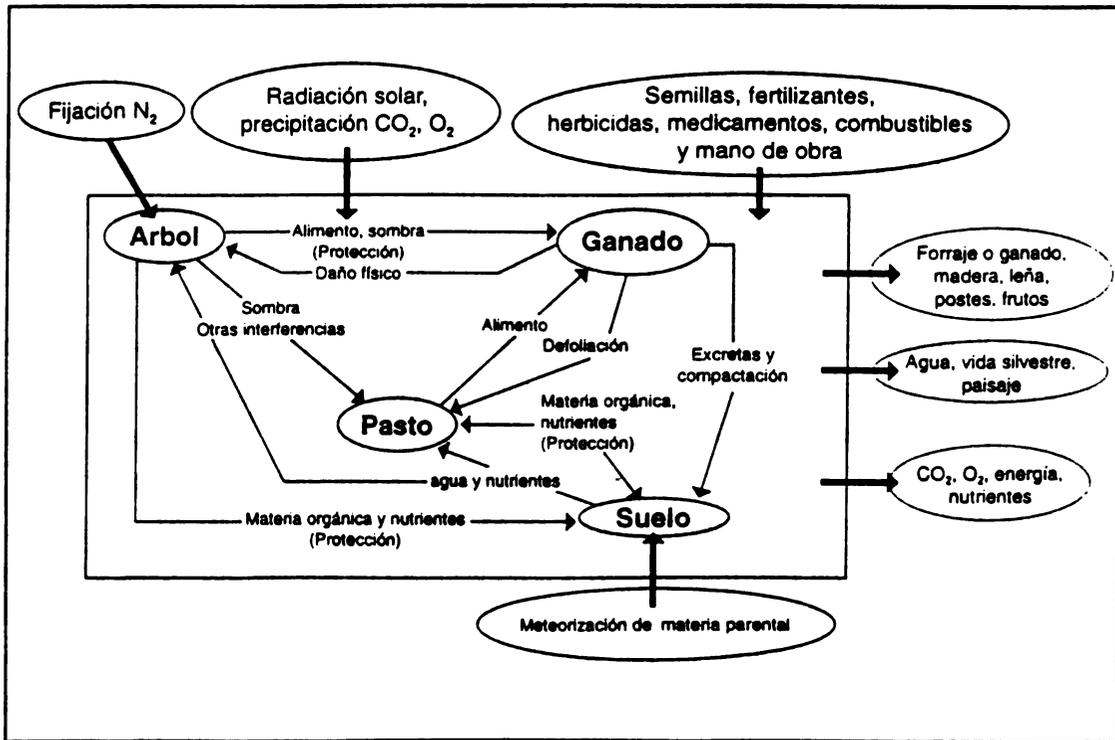


Figura 1. Diagrama simplificado de un sistema silvopastoril (Bronstein, 1984)

Cuadro 1. Las principales interacciones negativas y positivas entre árbol-pastura (IAP) y entre árbol-animal (IAA).

Efectos	IAP	IAA
Positivos	Sombra (reduce estrés)	Sombra (reduce estrés)
	Producción de la biomasa	Deposición de excreta
	Conservación de suelo	
	Conservación de agua	
Negativos	Competencia por luz	Fitotoxinas
	Competencia por nutrientes	Daño por pastoreo
	Competencia por agua	Pisoteo
	Alelopatía	Hospedero plagas/enfermedades

Importancia de las leñosas en los SSP

Las leñosas perennes que forman parte de los sistemas silvopastoriles pueden cumplir diversas funciones dentro del sistema, a saber:

- Producción de frutos y de madera. Árboles frutales como cítricos y guayabas son persistentes bajo un sistema de pastoreo y la venta de frutos de estos árboles representa un ingreso adicional para los ganaderos. En el caso de árboles maderables, especies como *Tabebuia rosea* y *Samanea saman* crecen bien bajo pastoreo.
- Proveen de follajes ricos en proteína, minerales y vitaminas para la alimentación animal. En muchos de los sistemas tradicionales existen leñosas como *Gliricidia sepium*, *Guazuma ulmifolia* y *Erythrina* spp., las cuales tienen alto valor nutritivo para la alimentación de los animales.
- Proveen de sombra, creando un microclima bajo su copa. En el trópico las altas temperaturas afectan el comportamiento productivo de los animales en particular las razas europeas. Los resultados muestran que animales pastoreado bajo sombra aumentan su productividad debido a: 1) mayor consumo, 2) mayor eficiencia de utilización del alimento y 3) menor estrés calórico
- Muchas de las leñosas son capaces de fijar nitrógeno (N₂) atmosférico. La introducción de árboles fijadores de N en pasturas representa una alternativa para sostener altos niveles de producción de gramíneas, debido a que en estos sistemas, una alta cantidad de N fijada por la leguminosa es transferida a la gramínea.
- Varias de ellas poseen sistemas radicales profundos que les permiten absorber nutrientes de perfiles del suelo generalmente no explorados por las especies herbáceas. Además, les da una mayor habilidad para tolerar la sequía.
- Se pueden utilizar para diversos propósitos (cercas, cortinas rompevientos, soporte o guía de cultivos trepadoras sembrados en asocio, etc.).
- Protegen el suelo contra la erosión. La introducción de leñosas perennes como barreras vivas en potreros puede contribuir a reducir la escorrentía del agua y por lo tanto reducir la pérdida de suelo y nutrientes por erosión.
- Son buenos acumuladores de CO₂ y constituyen una fuente renovable de energía.

Tipos de Sistemas Silvopastoriles

Las combinaciones de leñosas perennes con pasturas y animales son muchas y muy diversas. Muchas de ellas forman parte de la "cultura productiva" de los países tropicales (p.e. cercas vivas, árboles en potrero. Entre los SSP más comunes se pueden citar:

- Cercas vivas, setos.
- Bancos de proteína o energía.
- Leñosas perennes como barreras vivas en áreas de pendiente, como parte de un sistema de "corte y acarreo" para la suplementación de ganado estabulado.
- Sistemas de cultivo en callejones ("alley cropping") con leguminosas arbóreas o arbustivas intercaladas con forrajeras herbáceas.
- Pastoreo en plantaciones de árboles maderables o frutales (a veces con forrajeras herbáceas como cobertura).
- Cortinas rompevientos en fincas ganaderas.
- Pastoreo en charrales, tacotales o matorrales y bosques naturales.
- Árboles maderables o frutales dispersos en potreros.

La decisión de cuál o cuáles implementar en la finca, será función de los objetivos que tenga el productor con respecto a las leñosas perennes y a las forrajeras, el tamaño de la finca, su topografía, disponibilidad de mano de obra, sistema de producción y disponibilidad de recursos económicos, entre otros factores. Por ejemplo, en un estudio efectuado en el trópico húmedo de Costa Rica se vio que los pequeños productores (< 20 ha) preferían sembrar árboles frutales en los potreros y maderables en las cercas vivas. A medida que se aumentaba el tamaño de finca sus preferencias fueron por árboles maderables en bosquetes y leguminosas arbóreas como cercas vivas (CATIE, 1991).

Cercas Vivas

La siembra de leñosas perennes para la delimitación de potreros o propiedades (cercas vivas) es una práctica tradicional en muchas áreas tropicales (Budowski, 1987; Ivory, 1990). Se utilizan leguminosas arbóreas tales como: madero negro (*Gliricidia sepium*), poró (*Erythrina berteroana*, *E. fusca* y *E. costaricensis*), *Leucaena leucocephala* y especies no leguminosas (p.e. *Bursera simaruba*). En los últimos

años, las cercas vivas han tomado mayor relevancia económica y ecológica, no sólo porque su establecimiento significa un ahorro del 46% con respecto al costo de las cercas convencionales (Holmann *et al.*, 1992), sino también porque constituye una forma de reducir la presión sobre el bosque para la obtención de postes y leña. Las cercas vivas son un mecanismo para introducir árboles en las fincas.

El establecimiento de cercas vivas con leguminosas arbóreas se hace, generalmente, utilizando estacas de 5 a 15 cm de diámetro y de 2,0 a 2,5 m de largo, de manera que los nuevos brotes queden fuera del alcance del ganado en pastoreo (NFTA, 1989; Viquez *et al.*, 1993). Estas estacas son ramas de árboles adultos presentes en cercas que no han sido podadas por 12 a 24 meses. Es importante seleccionar especies con crecimiento rápido y aquellas que toleran podas frecuentes (cada 4 a 6 meses).

En zonas con un periodo de sequía bien definido, las siembras de estas especies (p.e. *G. sepium*) se hacen de preferencia al final del periodo seco (NFTA, 1989). Los estacones se cortan al final de la estación seca y se dejan bajo la sombra por una semana para favorecer la "cicatrización"; se dejan en posición vertical por 1 a 2 semanas para que se acumulen reservas en la base, lo cual favorecerá el enraizamiento. Algunos productores de América Central consideran que las fases de la luna afectan ese proceso, por lo que recomiendan cortar las estacas en la "fase de menguante".

Antes de plantar, la parte inferior del estacón se corta en bisel o como un cono invertido (tipo "punta de lápiz"), mientras que la parte superior se corta en bisel, para permitir que escurra el agua de lluvia. Para la plantación, los estacones se entierran a una profundidad de 20 a 40 cm. Cuando el drenaje es pobre, se recomienda hacer una incisión (pelar un anillo) en la corteza, en la porción que quedará justo por debajo del nivel del suelo, para estimular el enraizamiento (Viquez *et al.*, 1993). La distancia de siembra entre estacas es variable; generalmente se usa un espaciamiento de 1 a 2 m. Cuando se establecen cercas nuevas, se recomienda dejarlas que enraícen por tres a seis meses, antes de colocarles el alambre; en cambio, cuando se reemplazan estacas viejas o se refuerzan cercas viejas, puede colocarse el alambre inmediatamente.

El potencial de producción de follaje comestible en cercas vivas depende de la especie utilizada, el distanciamiento de siembra, la edad de los árboles, la época del año, la frecuencia de poda y las características agroclimáticas del sitio (Baggio y Heuvelodop, 1982; Romero *et al.*, 1993). Por ejemplo, en el trópico húmedo de Costa Rica se ha observado un mayor potencial de producción de biomasa forrajera en cercas de poró (*E. berteriana*) que de madero negro (*G. sepium*), pero además, se detectó que existía una mayor variabilidad entre fincas que entre especies (CATIE, 1991; CATIE, 1992). El follaje podado puede dejarse en los potreros o transportarse hacia áreas de suplementación.

Un aspecto importante en el uso de cercas vivas como fuente de follaje en los trópicos con un periodo seco definido, es que cuando más se necesita el forraje rico en proteína cruda (periodo seco),

varias de estas leguminosas arbóreas ingresan en una fase reproductiva y pierden parte o todas sus hojas (NFTA, 1989). Hernández y Benavides (1994) consiguieron modificar este comportamiento, podando al final de la época de lluvias; sin embargo, en el mejor de los casos obtuvieron 624 g de MS de biomasa comestible/árbol, de manera que si se pretende usar este follaje como el único suplemento para un novillo de 300 kg pastoreando potreros típicos del período seco en áreas como Guanacaste (3% de PC), se debe podar de 3 a 5 árboles/día.

Estudios de largo plazo (4 años) efectuados en el trópico húmedo de Costa Rica, del efecto de la frecuencia de podas sobre la producción de biomasa comestible en cercas vivas (Romero *et al.*, 1993; Víquez *et al.*, 1993) indican que si se pretende conseguir una producción alta y sostenida de biomasa comestible, es mejor efectuar las podas cada seis meses (Figura 2), aún cuando con esta frecuencia se sacrifica el contenido de proteína cruda. Las hojas y tallos tiernos de *E. berteriana* podada cada cuatro meses tuvieron 23,2 y 8,1% de PC, respectivamente; en cambio, los valores correspondientes para podas cada 6 meses fueron 20,9 y 8,6%. Podas frecuentes (bimestrales), resultaron, en el primer año, en pérdidas de 15 y 45% de los árboles de *E. berteriana* y *G. sepium*, respectivamente.

Aún cuando hasta aquí sólo se han mencionado tres géneros (*Erythrina*, *Gliricidia* y *Leucaena*) que se utilizan en cercas vivas y que además proveen de follaje para la alimentación animal, hay muchas otras especies que se emplean para el mismo propósito. Algunas son frutales, como el jocote (*Spondias purpurea*) y el marañón (*Anacardium occidentale*), otras son maderables como el jinocuave (*Bursera simaruba*), pochote (*Bombacopsis quinatum*), ciprés (*Cupressus lusitanica*), cedro (*Cedrella odorata*), teca (*Tectona grandis*), caoba (*Swietenia macrophylla*), guachipelín (*Diphysa robinoides*), tempate (*Jatropha curcas*) y ornamentales como el itabo (*Yucca elephantipes*).

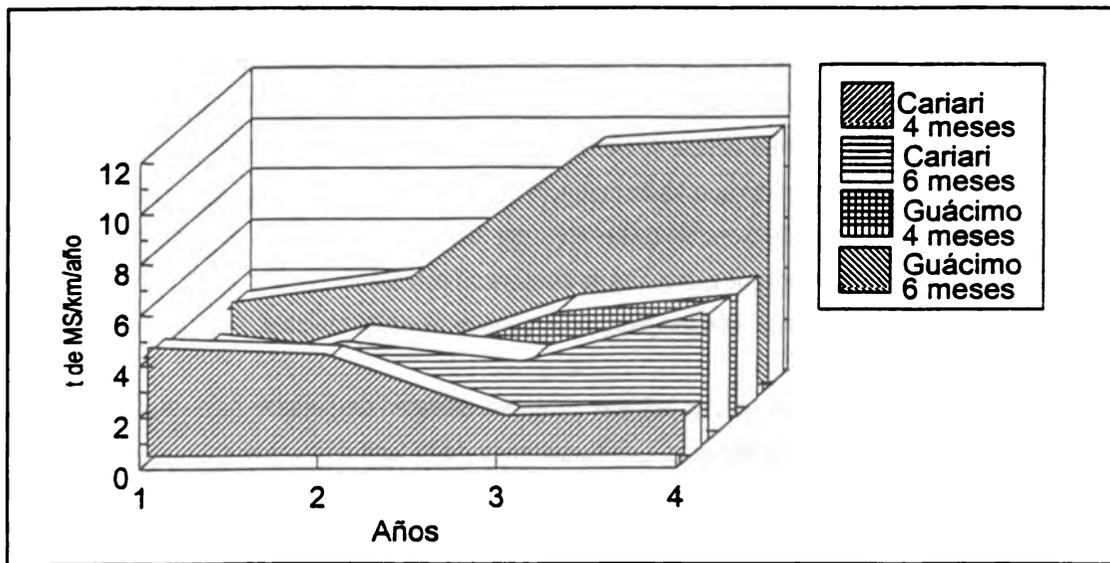


Figura 2. Efecto de la frecuencia de poda sobre la producción de biomasa comestible (t de MS/km/año) en cercas vivas de *Erythrina berteroana*, en dos localidades del trópico húmedo de Costa Rica.

Bancos de Proteína y Energía

El cultivo de leguminosas y otras especies en bloque compacto y a alta densidad, con miras a maximizar la producción de fitomasa con alto contenido proteico (>15% PC), se conoce como banco de proteína. En el caso que las especies tengan además niveles altos de digestibilidad (p.e. *Morus* spp.) se les denomina como bancos energético-proteicos. Cuando se manejan bajo corte, se utilizan distanciamientos relativamente cortos (1,0 x 0,5 m para *Erythrina*, *Gliricidia* y *Leucaena*; 1,0 x 0,25 m para *Morus* spp. y *Trichantera gigantea*). En cambio, si se van a utilizar bajo pastoreo, es recomendable ampliar la distancia entre surcos, para facilitar la movilización de los animales y minimizar los daños. El área de siembra de bancos de energía o proteína se calcula de la siguiente manera:

$$A \text{ (ha)} = \frac{\text{NUA} \times \text{FO/UA} \times \text{ND}}{P}$$

NAU = Número de unidades animales (1UA = 400 kg)
 FO = Forraje ofrecido
 ND = Número de días
 P = Producción (kg MS/ha)

En caso de bancos bajo pastoreo, hay que ofrecer a los animales 25 a 40% más de forraje para compensar las pérdidas por pisoteo.

En el trópico húmedo se ha tenido éxito estableciendo bancos de proteína de *Erythrina berteroana* y *Gliricidia sepium*, utilizando estacas similares a las empleadas para establecer cercas vivas (1,5 a 2,0

m de largo), sólo que eliminándoles la porción distal (menos madura). Cuando los bancos de proteína van a ser utilizados bajo corte, las estacas se siembran en surcos distanciados de 0,8 a 1,0 m entre líneas y en forma continua dentro del surco; luego se cubren ligeramente con tierra, utilizando una técnica de siembra similar a la de caña de azúcar (Romero *et al.*, 1993). Se ha observado que una incisión ("pelado de la corteza") en la porción que va en contacto con el fondo del surco produce un incremento de hasta 30% en la producción de biomasa comestible, que puede atribuirse a un mayor desarrollo de raíces. Cabe aclarar, sin embargo, que el sistema de siembra de estacas acostadas no es recomendable para zonas con un periodo de sequía prolongado, pues genera sistemas radicales muy superficiales.

Para bancos de proteína se utilizan leñosas perennes capaces de persistir bajo un régimen de podas o defoliaciones frecuentes e intensas, que muestren una alta tasa de rebrote, que presenten una buena proporción de hojas y que posean una calidad nutritiva aceptable, la cual se manifiesta en: un alto contenido de nitrógeno, ausencia o bajos contenidos de metabolitos secundarios (p.e. taninos, alcaloides) y una buena palatabilidad para el ganado. En zonas con periodo seco marcado es importante seleccionar especies que retengan sus hojas durante la época seca.

Para condiciones del trópico húmedo, el CATIE (1991) ha demostrado que varias especies de *Erythrina* (*E. berteroana*, *E. poeppigiana*, *E. cocleata*) y *G. sepium* son mejores opciones para manejo en bancos de proteína que especies tales como *Acacia angustissima*, *Albizia* sp. y *Calliandra calothyrsus*. Estas últimas, si bien poseen un mayor potencial de producción de biomasa comestible, muestran baja digestibilidad y palatabilidad por sus altos contenidos de taninos (Valerio, 1990). Bajo estas condiciones, también han mostrado potencial para el manejo en bancos de proteína otras leñosas perennes que no son leguminosas como *Morus alba* (Oviedo, 1995) y *Malvaviscus arboreus* (López *et al.*, 1994).

En zonas con un periodo seco bien definido hay buen potencial para el uso de *Guazuma ulmifolia*, *Cratylia argentea*, *G. sepium*, *Leucaena leucocephala* y *Brosimum alicastrum* en bancos de proteína.

En el caso de *Erythrina* spp. y *G. sepium* es recomendable que el primer corte o pastoreo se efectúen cuando las plantas han alcanzado al menos 1,5 m de altura (Pezo *et al.*, 1993), para asegurar un buen enraizamiento y que los tallos resisten al daño físico. Posteriormente, las podas se pueden efectuar a una altura de 30 a 50 cm sobre el nivel del suelo y con una frecuencia de cuatro meses.

Es difícil hacer generalizaciones sobre la altura de corte recomendada para otras especies, pues aparentemente hay interacciones fuertes entre la densidad de siembra, el intervalo de corte y algunos factores de tipo ambiental. En el Cuadro 2 se muestran los rendimientos alcanzados en este sistema, manejado por tres años consecutivos con cortes cada cuatro meses. Se ha estimado que el potencial de producción de proteína de un banco de *Erythrina berteroana* es de casi 6,0 t/ha/año, lo cual alcanzaría para aportar durante un año, el 30% de los requerimientos de proteína de 46 vacas de 400 kg de peso y que produzcan 8 kg de leche/día.

Cuadro 2. Crecimiento y producción de biomasa de *Erythrina berteroana* y *Gliricidia sepium* en bancos de proteína establecidos en Guápiles, Costa Rica.

Atributo	<i>Erythrina berteroana</i>	<i>Gliricidia sepium</i>
Número de rebrotes	14,0	7,8
Altura, m	2,6	2,7
Biomasa, t MS/ha/año		
Hojas	20,9	9,5
Tallos tiernos	9,3	6,4
Tallos leñosos	23,8	12,1

Fuente: Romero *et al.*, 1993.

Los bancos de proteína también se pueden utilizar bajo un sistema de "ramoneo" (defoliación ejercida directamente por los animales), en el cual los animales ingresan en un esquema de rotación, generalmente de varios días de uso de cada banco (p.e una semana), pero permitiendo que los animales permanezcan en ellos por sólo 1 a 2 horas diarias. Hay que preveer que siempre quede follaje residual para favorecer un rebrote rápido y vigoroso, darle al banco un período de descanso similar o ligeramente más corto que el recomendado para sistemas de corte y podar el material remanente cada seis meses a un año, de manera que se evite la acumulación de tallos viejos y conseguir un rebrote uniforme. Respecto a esta forma de uso hay bastante información para *Leucaena leucocephala* (Blair *et al.*, 1990; Hernández *et al.*, 1992; Jones, 1994; Mascary *et al.*, 1992; Pound y Martínez Cairo, 1983;) y alguna experiencia en Costa Rica en el manejo de bancos de *Erythrina berteroana* y de *Gliricidia sepium* (Mochiutti, 1995).

Un aspecto del manejo de bancos de proteína que requiere mayor estudio es la fertilización. Si bien las leguminosas arbóreas son capaces de fijar de 13 a 500 kg de N₂/ha/año (Szott *et al.*, 1991), los niveles de extracción de calcio y fósforo son de tal magnitud que no puede mantenerse la productividad del banco a largo plazo. Esto fue evidente en bancos de *E. berteroana* y *G. sepium* (CATIE, 1992) mantenidos dentro del esquema de "corte y acarreo", en los cuales la productividad disminuyó hasta menos de la mitad al cabo de tres años de manejo extractivo, aún cuando se trabajaba en suelos de fertilidad media. Benavides *et al.* (1994) y Oviedo (1995), mostraron que esto también ocurre con morera (*Morus alba*) no fertilizada. Aplicaciones de estiércol equivalentes al nivel de extracción de nitrógeno (360 kg de N/ha/año), permitieron mantener una producción de biomasa comestible superior a las 15 t de MS/ha/año.

Análisis económicos de las diferentes opciones silvopastoriles son escasas en la literatura. Holmann *et al.* (1992) compararon económicamente las opciones de banco de proteína de *Erythrina berteroana*, manejados tanto en el sistema de "corte y acarreo" como en pastoreo (Cuadro 3). El costo de establecimiento del banco fue 46% superior en el sistema de corte que en el de pastoreo, debido a que la densidad de siembra utilizada en el primero es dos veces mayor. Igualmente, los costos de aprovechamiento fueron 3,65 veces más altos en el sistema "corte y acarreo", debido a la mayor demanda por mano de obra. Sin embargo, parece que las demandas de mano de obra del sistema de pastoreo fueron subestimadas, pues estudios posteriores (Mochiutti, 1995) mostraron que había necesidad de podar los bancos de proteína al cabo de 2 a 3 ciclos de uso, pues en caso contrario los rebrotes se producen a una altura que no es alcanzable para los animales. El análisis no consideró la menor vida útil promedio del banco, bajo pastoreo ya que el riesgo de perder el banco por fallas en el manejo es mayor.

Cuadro 3. Costo de establecimiento, mantenimiento y aprovechamiento anual para una hectárea de *Erythrina berteroana* sembrada como banco de proteína y utilizada bajo corte o pastoreo (valores en US\$).

Rubro	Pastoreo	Corte
<u>Establecimiento</u>		
Cercado	96,8	96,8
Preparación del terreno	146,0	146,0
Estacas	266,7	533,3
Siembra	78,5	114,3
Sub-Total	586,0	890,9
<u>Mantenimiento</u>		
Limpia (año 1)	91,8	91,8
Uniformización (año 1)	76,5	114,6
Sub-Total	168,3	206,6
Costo Total de Establecimiento	754,3	1097,5
<u>Aprovechamiento anual</u>		
Mano de obra	59,2	355,2
Fertilización	52,1	52,1
Costo Total Aprovechamiento	111,3	407,3

Fuente: Holmann *et al.*, 1992.

Barreras Vivas

En terrenos con pendientes pronunciadas, el uso de leñosas perennes sembradas en contorno como barreras vivas, es un mecanismo para reducir la erosión (Pound y Martínez Cairo, 1983). Para conseguir una barrera efectiva, las leñosas deberán sembrarse muy densamente (3 a 5 cm entre plantas). Es extremadamente importante no dejar espacios dentro de las hileras, pues por ahí se puede concentrar el flujo de agua e incrementar su poder erosivo (NFTA, 1989).

La distancia entre barreras depende de la magnitud de la pendiente, el potencial de erosión del suelo, la cobertura vegetal en el espacio entre barreras, el sistema de labranza, el arreglo espacial y cronológico de los sistemas de cultivo, la precipitación total y la intensidad de las lluvias. A manera de ejemplo, en áreas de ladera de Belice, Pulver *et al.*, (1996) utilizaron combinaciones de *Leucaena leucocephala* y *Vetiveria zizanoides* en barreras vivas entre franjas de *Brachiaria decumbens*, consiguiendo reducciones significativas en las pérdidas de suelo por erosión.

Igualmente, en terrenos con pendiente del 70%, Faustino (1994) utilizó barreras vivas de *Malvaviscus arboreus* distanciadas a 6,0 m para siembras de maíz o de pasto *Brachiaria ruziziensis*. Las menores pérdidas por erosión se obtuvieron con la combinación de barrera viva de *Malvaviscus arboreus* con pasto (Cuadro 4). El análisis granulométrico del material erosionado mostró que hubo mayor homogeneidad de partículas cuando se tuvieron las barreras vivas y mayor cobertura; en el sistema tradicional de maíz el 85% del material erosionado eran partículas de arcilla y limo.

Cuadro 4. Nivel de erosión (kg de suelo/ha/año) en tres sistemas de cultivo con o sin barrera viva en áreas de 70% de pendiente en Puriscal, Costa Rica.

Sistema de cultivo	Año 1	Año 2
Tradicional de maíz, con labranza mínima, sin barrera viva	1993 ^a	484 ^b
Pasto <i>B. Ruziziensis</i> + <i>Malvaviscus</i> + <i>Erythrina</i> , siembra en contorno como barrera viva	25	7
Tradicional de maíz + <i>Malvaviscus</i> en contorno como barrera viva	---	816 ^c

^a 344 kg/ha durante el ciclo de cultivo

^b 94 kg/ha durante el ciclo de cultivo

^c Tomar los datos de este sistema con reserva, pues corresponden al año de construcción de la barrera

Fuente: adaptado de Faustino, 1994.

La efectividad de las barreras vivas para la conservación de suelos puede mejorarse mediante la colocación de ramas o de los residuos de cultivo al lado arriba de la barrera, la construcción de pequeños canales o acequias paralelas a la barrera, con trampas de suelo para ayudar a disminuir la erosión (NFTA, 1989); la siembra de las leñosas en hilera doble con disposición en triángulo (tres bolillos); la

aplicación de estiércol en los espacios entre barreras para rehabilitar el suelo, incrementando el contenido de materia orgánica y la fertilidad del suelo (Faustino, 1994).

Las barreras vivas con cultivos serán consideradas como sistemas silvopastoriles en la medida en que el follaje de las leñosas sea utilizado para la alimentación animal en esquemas de "corte y acarreo", o cuando en las áreas intermedias entre barreras se tienen pastos en lugar de los cultivos de grano. Sin embargo, si las pendientes son muy pronunciadas, es preferible que se tengan sólo forrajeras de corte o que al menos en los primeros años las áreas sean manejadas bajo corte, para evitar daños de los animales sobre las obras de conservación de suelos.

Pasturas en Callejones

El cultivo en callejones es un sistema agroforestal, en el cual se establecen bandas o hileras de leñosas perennes y en el espacio intermedio se siembran cultivos anuales. Las leñosas perennes son podadas periódicamente y el follaje resultante es depositado como "mulch" sobre la superficie del suelo, o incorporado al suelo como "abono verde". La distancia entre hileras de la leñosa perenne varía de 2 a 6 m, mientras que el distanciamiento entre plantas dentro de una misma hilera puede variar entre 0,05 y 0,5 m (NFTA, 1989). En los periodos que no se ocupa el follaje como abono, se puede dejar crecer las plantas para la producción de leña o se puede podar ese follaje y utilizarlo para alimentar animales.

Una variante silvopastoril del sistema de cultivo en callejones es cuando se incluye una forrajera herbácea entre las hileras de árboles o arbustos; o incluso otra leñosa perenne. Ejemplos de este enfoque son las combinaciones de: *Erythrina poeppigiana* con pasto king-grass (*Pennisetum purpureum* x *P. typhoides*) manejadas bajo corte (Libreros *et al.*, 1994a, 1994b; Rodríguez, 1985); *Erythrina berteroana* o *Gliricidia sepium* con pasturas asociadas de *Brachiaria brizantha*/*Arachis pintoi* (Jansen *et al.*, 1997), *Morus* sp. con *Erythrina berteroana* manejados bajo corte (Oviedo, 1995) y asociaciones de *Leucaena leucocephala* con gramíneas tales como guinea (*Panicum maximum*) o *Brachiaria* en Australia (Hutton, 1974).

En la asociación *Erythrina poeppigiana* con pasto king-grass (*Pennisetum purpureum* x *P. typhoides*), Rodríguez (1985) encontró que el rendimiento de la gramínea no era afectado por la densidad de árboles ni por el asocio con el poró (Cuadro 5), lo cual sugiere que el posible efecto negativo de la sombra del poró sobre la gramínea de corte, es compensado por la transferencia del nitrógeno fijado por la leguminosa. El sistema de asocio trae como beneficio la producción de follaje arbóreo rico en proteína (7,6 y 11,6 t de MS/ha/año para las densidades de 1666 y 3333 árboles/ha, respectivamente).

Al tratarse de sistemas eminentemente extractivos ("corte y acarreo"), sin aplicación de las excretas o de fertilizantes inorgánicos) y con niveles de exportación de nutrimentos tan altos como los mostrados

en el Cuadro 5, la productividad tendió a disminuir fuertemente en el segundo año. En un estudio posterior (Libreros *et al.*, 1994b) evaluaron si la restitución parcial o total del follaje de poró haría sostenible un sistema de este tipo. Los resultados obtenidos mostraron que el pasto king grass respondía linealmente al nivel de retorno del follaje de poró como abono verde y que con el asocio (sin restitución de follaje de poró) al menos se duplicaba el rendimiento de la gramínea (Figura 3). Sin embargo, al tratarse de sistemas de "corte y acarreo", cualquier aumento en producción de biomasa representa mayores niveles de exportación de nutrientes. Por ello, si se desea mantener la producción del sistema en el largo plazo, se deberá utilizar fertilización orgánica o mineral como complemento del abono verde, aún cuando se retorne todo el follaje de la leguminosa arbórea.

En muchos de estos sistemas de "cultivo en callejones" faltan evaluaciones económicas, pero en el estudio de Jansen *et al.* (1997) se evidenció que debido a los altos costos de establecimiento de *E. berteriana*, la tasa interna de retorno (TIR) para el sistema *B. brizantha/A. pintoi/E. berteriana* era menor (TIR = 32%) que la obtenida para el asocio *B. brizantha/A. pintoi* (TIR=122%).

Cuadro 5. Efecto de la densidad de árboles sobre la producción, contenido de proteína y extracción de nutrientes en la siembra en franjas de *Erythrina poeppigiana* (poró) con *Pennisetum purpureum* x *P. typhoides* (kig grass).

Variables de Respuesta	Densidad, árboles/ha		
	1666	3333	Control ¹
<u>Biomasa forrajera. (t MS/ha/año)</u>			
King-grass	17,72	16,80	17,26
Poró	7,56	11,60	---
<u>Contenido de Proteína Cruda. (%)</u>			
King-grass	6,3	7,5	5,2
Poró ²	23,2	23,5	---
<u>Extracción. (kg/ha/año)</u>			
Nitrógeno	380	508	151
Fósforo	73	70	59
Potasio	387	405	345
Calcio	92	111	42
Magnesio	61	53	34

¹ Monocultivo de king-grass
Fuente: Rodríguez, 1985.

² Biomasa comestible (hojas + tallos verdes)

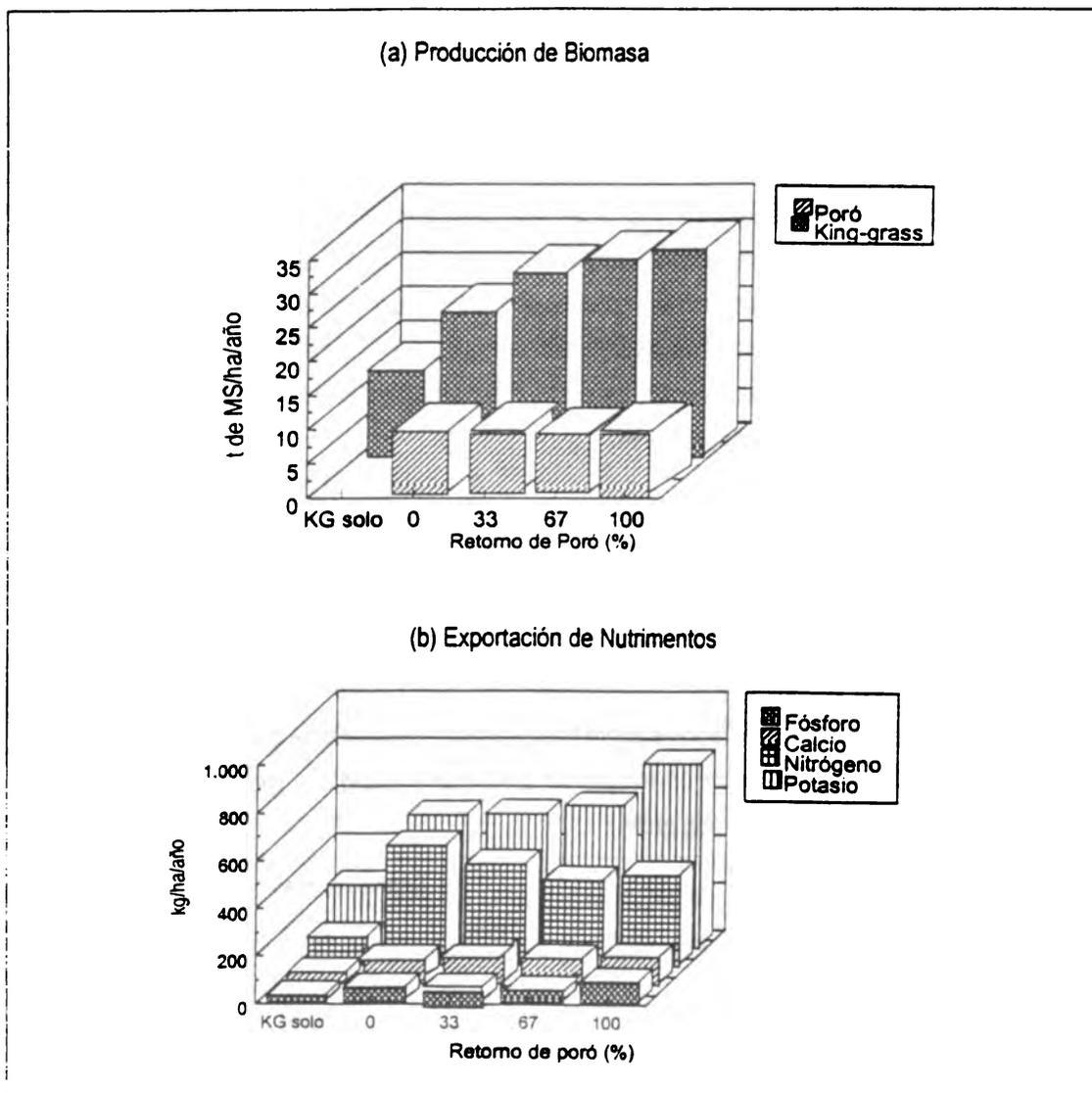


Figura 3. Producción de biomasa (a) y exportación de nutrientes (b) en el sistema de siembra en franjas *Erythrina poeppigiana*/*Pennisetum purpureum* x *P. typhoides*, en función del nivel de retorno del follaje de poró como abono verde (Libreros et al., 1994).

Especies forestales o frutales dispersos en potreros

En el proceso de establecimiento de pasturas a partir de áreas de bosque, muchos productores dejan en los potreros algunos árboles maderables o de sombra; algunos favorecen la regeneración natural de especies valiosas. En el trópico húmedo de Costa Rica (CATIE, 1991; Budowski, 1993), predominan especies maderables tales como el laurel (*Cordia alliodora*), cedro amargo (*Cedrela odorata*) y caobilla (*Carapa guianensis*) y leguminosas arbóreas como *Gliricidia sepium* (NFTA, 1989). En

ecosistemas con un período seco bien definido es frecuente encontrar en los potreros numerosas forrajeras arbóreas (p.e. *Erythrina* spp., *Guazuma ulmifolia*, *Leucaena leucocephala*, *Gliricidia sepium*) así como especies maderables (p.e. *Cedrela odorata*, *Enterolobium cyclocarpum*, *Swietenia macrophylla*, *Vochysia ferruginea*, *Pithecellobium saman*, *Albizia guachepele*, *Tabebuia rosea*, *Cordia alliodora*). En estos sistemas silvopastoriles la distribución de árboles es dispersa y aleatoria, lo cual dificulta el manejo de las interacciones entre las especies arbóreas y las forrajeras herbáceas.

El aspecto clave en este tipo de arreglos es cómo proteger los árboles del daño que pudieran ejercer los animales, especialmente en su estadio juvenil, como consecuencia del consumo del follaje o de la corteza, o por la presión que pueden ejercer al rascarse sobre el fuste del árbol (Borel y Romero, 1991). Para prevenir lo primero, en el caso de árboles leguminosos se ha recomendado el uso de estacas de más de 2,0 m de largo, mientras que para lo segundo es más apropiado el uso de refuerzos físicos, la construcción de estructuras sencillas similares a jaulas, la introducción de genotipos con espinas (p.e. *Bombacopsis quinatum*, *Erythrina* spp.) y la "clausura" temporal de potreros.

Dentro de este contexto, en un ensayo para evaluar formas de protección de estacas de poró (*Erythrina berteroana*) introducidas en potreros degradados que estaban sometidos al pastoreo lograron la mayor sobrevivencia (59%) cuando tres estacas se amarraron con dos cañas bravas dispuestas en forma de "X" o cuando las estacas se amarraron, a 1,8 m de alto, a un alambre liso tensado entre dos postes muertos (CATIE, 1991; CATIE, 1992). En contraste, cuando no se utilizó protección, la sobrevivencia de las estacas fue de sólo 21% cuando existían otros árboles en el potrero y de 0% en ausencia de ellos. Quizás sea difícil justificar económicamente la inversión en una alternativa de este tipo para introducir leguminosas arbóreas como rehabilitadoras de praderas degradadas, pero podría ser rentable cuando las especies introducidas son maderas de alto valor, como es el caso de laurel (*Cordia alliodora*) establecido a una densidad de 100 árboles/ha (Holmann *et al.*, 1992).

Arboles de guayaba (*Psidium guajava*) asociados con pasto natural han sido estudiados en Costa Rica. Según Somarriba (1985a), la fisonomía de las pasturas con árboles de guayaba difiere entre zonas ecológicas. En las zonas bajas del Pacífico Norte (p.e. 1800 mm/año y seis meses con < 50 mm de precipitación), los árboles se encuentran dispersos en todo el pastizal (10 a 15 árboles/ha); en cambio, en zonas húmedas y bajas (<1200 msnm), los árboles se presentan en "parches" densos (200 a 300 árboles/ha), circundados por pastizales desprovistos de árboles o con densidades bajas (5 a 10 árboles/ha). Estos "parches" coinciden con las áreas de descanso de los animales, donde se acumulan excretas y semillas de guayaba. Los finqueros toleran estos "parches" por que facilitan la recolección de frutos y de leña, pero evitan aumentos en la densidad de árboles en los "parches" y su expansión a otras áreas de pastizal.

Parches de guayaba en potreros (109 árboles/ha) produjeron 12,8 t de fruta/ha/año. Estas frutas, al no ser cosechadas para el mercado, estuvieron disponibles para el consumo de los animales que pastoreaban esas áreas entre mayo-junio y agosto-diciembre (Somarriba, 1985a). En esos periodos las vacas adultas comieron en promedio 11 kg de fruta/día y excretaron en promedio 49500 semillas/vaca/día, las cuales pasan por el tracto digestivo sin sufrir daño (Somarriba, 1985b). Un ingreso potencial adicional es el de la leña, un ingreso adicional se estimó en 4,3 m³/ha/año, lo que representa un valor en pie de US\$ 595/ha (Somarriba, 1985c).

Pastoreo bajo plantaciones forestales o frutales

Los sistemas silvopastoriles basados en la introducción de forrajeras herbáceas en plantaciones forestales, en plantaciones de frutales (p.e. coco, cítricos) o en antiguas áreas de cultivo perennes manejados con sombra de leguminosas arbóreas (p.e. cafetales o cacaoales abandonados), han sido documentados. Bronstein (1984) encontró que cuando el pasto estrella africana (*Cynodon nlemfuensis*) estaba asociado con árboles de *Erythrina poeppigiana* sometidos a podas semestrales, la producción de pasto fue prácticamente el doble de la obtenida para la misma gramínea asociada con laurel (*Cordia alliodora*) y tres veces superior a la alcanzada en el monocultivo no fertilizado (Cuadro 6). Esas diferencias en rendimiento del pasto asociado estuvieron asociadas con una mayor habilidad competitiva contra las malezas de hoja ancha. El pasto estrella que creció asociado con el poró tuvo contenidos de proteína cruda más altos que aquél asociado con la especie maderable o en monocultivo.

Una de las interacciones más importantes en las asociaciones de especies arbóreas con forrajeras de porte bajo es la competencia por luz, lo cual generalmente resulta en una depresión en la tasa de crecimiento de la especie del estrato inferior (Horne y Blair, 1991). Bustamante (1991) mostró que la respuesta de las gramíneas al asocio no era el mismo en todas las pasturas; así, mientras el pasto guinea (*Panicum maximum*), *Brachiaria brizantha* cv. Marandú, el pasto estrella africana (*Cynodon nlemfuensis*) y *Brachiaria humidicola* CIAT 6369 incrementaron su rendimiento de un 10 a 30% con respecto a la siembra en monocultivo (sin árboles). Por el contrario, *Brachiaria dictyoneura* y el pasto elefante enano (*P. purpureum* cv. Mott) mostraron una disminución de 11% en el rendimiento cuando estuvieron asociados con *Erythrina poeppigiana*. Sin embargo, Bronstein (1984) observó que aunque la radiación solar incidente en el pasto estrella asociado con los árboles fue en promedio 60% de la registrada en el monocultivo de gramínea; los nutrimentos reciclados por las ramas y hojas podadas o caídas, así como la fijación de nitrógeno en las parcelas de poró compensaron el efecto perjudicial de la sombra.

Cuadro 6. Comparación de la producción de fitomasa herbácea, su calidad nutritiva y el reciclaje de nutrientes en los sistemas de asociados de pasto estrella (*Cynodon nlemfuensis*) con poró (*Erythrina poeppigiana*) o laurel (*Cordia alliodora*) y en el monocultivo de pasto estrella¹.

Variable de Respuesta	Pasto Estrella +		Monocultivo de Estrella
	Laurel	Poró	
<u>Fitomasa herbácea</u> , (kg MS/ha)			
Gramínea	4087	9311	2632
Malezas de hoja ancha	1003	1090	----
<u>Calidad nutritiva del pasto</u> ²			
Proteína Cruda, (%)	6,4	9,5	6,1
Digestibilidad, (%)	47,3	46,9	45,1
<u>Nutrientes reciclados</u> ³ , (kg/ha/año)			
Nitrógeno	64,3	185,6	---
Fósforo	6,2	12,2	---
Potasio	29,3	64,1	---

¹ Manejado bajo corte, con un intervalo de 8 semanas

² Promedio de cinco muestreos

³ Vía caída de hojas y ramas de las especies arbóreas

Fuente: Bronstein, 1984.

El pastoreo de *Panicum maximum* bajo rodales de *Pinus caribaea* para pulpa ha sido estudiado en Costa Rica (Somarriba y Lega, 1991). Con una densidad de 1600 árboles/ha (sin raleos ni podas), el pastoreo puede iniciarse 2,5 a 3 años después de la siembra y las plantaciones pueden ser pastoreadas hasta los 8 a 9 años, ya que después de ese tiempo la sombra afecta la producción de *P. maximum* y empiezan a dominar especies poco palatables, pero tolerantes a la sombra. Bajo las condiciones en que se efectuó el estudio, la carga animal se incrementó de 0,7 UA¹/ha al inicio hasta 0,9 al quinto año, para luego disminuir gradualmente hasta llegar a 0,3 UA/ha al noveno año. Aún cuando para un sistema exclusivamente pastoril la carga podría parecer baja, debe recordarse que en esta forma de uso, el ganado constituye un ingreso adicional durante el período en que la plantación no genera beneficios para el productor y representa un ahorro en el control de malezas y disminuye los riesgos de fuego.

Otro estudio desarrollado por Couto *et al.* (1994) con *Eucalyptus citriodora* asociado con pastos, con ovinos y bovinos no mostró efecto de los animales sobre el crecimiento ni la sobrevivencia de los árboles, además redujeron la biomasa combustible (reducción del riesgo de pérdida por incendio), produjeron un ingreso adicional por venta de animales y una reducción de costos de control de las malezas (Cuadro 7).

Cuadro 7. Costos de establecimiento e ingresos por venta de animales en sistemas silvopastoriles con *Eucalyptus citriodora* en Dionisio, Minas Gerais, Brasil, 1986-88 (valores en US\$).

Tratamiento	Costos		Ingresos Total	Ingresos Hatos	Costo Real		Reducción de costos	
	Inicial	Control Malezas			ha	%	ha	%
9 bovinos	367	0	367	154	213	39	330	61
6 bovinos	367	0	367	105	262	48	281	52
9 bovinos, 6 ovejas	367	0	367	330	37	7	506	93
6 bovinos, 10 ovejas	367	0	367	268	99	18	444	82
10 ovejas	367	0	367	157	210	39	333	61
Control Manual	367	176	543	----	543	100	0	0

Fuente: Couto *et al.*, 1994.

Otros ejemplos involucran hule (*Hevea brasilensis*), cocoteros, mangos, cítricos, achiote (*Bixa orellana*), pejívalle (*Bactris gasipaes*), marañón (*Anacardium occidentale*) en combinación con gramíneas o leguminosas herbáceas (Lascano y Pezo, 1994; Shelton y Stür, 1990;).

Cortinas rompevientos

El uso de leñosas perennes en cortinas rompevientos dentro de pastizales mejoran el bienestar de los animales y contrarrestan los efectos perjudiciales del viento sobre los forrajes y animales. Existe un amplio rango de especies arbóreas que pueden cumplir esa función, incluyendo varios genotipos de *Erythrina* (Russo, 1993), madero negro (NFTA, 1989) y jaúl (*Alnus acuminata*) en zonas de altura. Igualmente, se utilizan algunas especies como *Cassia siamea* en zonas de altitud intermedia y el ciprés (*Cupressus lusitanica*) o *Paneopsis suaveolens* en zonas altas. El efecto cortavientos de estas barreras se puede incrementar con la disposición de los árboles en doble hilera, acortando el distanciamiento entre árboles de una misma hilera o introduciendo especies arbustivas entre árboles (NFTA, 1989).

Pastoreo en Charrales, Tacotales o Matorrales

La vegetación de bosque secundario en su fase de regeneración (conocidos como "charrales o tacotales" en Mesoamérica) es un sistema silvopastoril cuando se somete a uso animal en zonas estacionalmente secas, en estos tipos de vegetación predominan leguminosas como *Mimosa tenuiflora*, *Gliricidia sepium*, *Pithecellobium dulce* y *Enterolobium cyclocarpum*. Las hojas y vainas de estas especies

son consumidas por el ganado en el período seco, pero quizás la leña sea el producto más importante (Kass *et al.*, 1993a). En el norte de México hay un sistema con gran diversidad de especies denominado "matorral", el cual funciona de manera similar a los tacotales, pero también hay áreas con poblaciones casi puras de *Pithecellobium pallens*, *Acacia farnesiana* y *Prosopis glandulosa* (Steinen, 1990).

Una variante de esta es la "Caatinga" de la región semiárida del Nordeste de Brasil, cuya vegetación está constituida por leñosas perennes deciduas (p.e. *Mimosa caesalpinoidea*, *Bauhinia forticata*, *Caesalpinia pyramidalis*) con un estrato inferior de especies herbáceas. Esta vegetación es mayormente utilizada por caprinos y ovinos y su manejo consiste en reducir la densidad de leñosas, para permitir un mayor acceso de luz a la vegetación herbácea (Kirmse *et al.*, 1987). Algo similar ocurre en la región del Chaco de Paraguay, Noroeste de Argentina y Sudeste de Bolivia. En el Chaco las leñosas perennes son la base de la alimentación del ganado durante los períodos prolongados de sequía. Las especies dominantes son *Prosopis* spp., *Caesalpinia paraguayensis*, *Aspidosperma* spp. y *Schinopsis* spp. (Renolff, 1989). Estas, se presentan acompañadas de un estrato inferior de vegetación herbácea, tanto de gramíneas (p.e. *Aristida*, *Bothriocloa*, *Heteropogon*), así como algunas leguminosas (*Rhynchosia*, *Desmanthus*, *Zornia*).

Bibliografía

- BAGGIO, A. J.; HEUVELDOP, J. 1982. Implantação, manejo e utilização do sistema agroflorestal cercas vivas de *Gliricidia sepium* (Jacq.) Steud na Costa Rica. Boletim de Pesquisa Florestal 5: 19-52.
- BEER, J. 1980. *Erythrina poeppigiana* con pasto. Turrialba, Costa Rica. CATIE. 4 p. (mimeogr.)
- BELSKY, A. J.; MWONGA, S. M.; DUXBURY, J. M. 1993. Effects of widely spaced trees and livestock grazing on understory environments in tropical savannahs. *Agroforestry systems* 24: 1-20.
- BENAVIDES, J. E. sf. Utilización del poró (*Erythrina* spp.) en sistemas agroforestales con rumiantes menores. In: S.B. Westley y M. H. Powell (eds.). *Erythrina in the New and Old Worlds*. Hawaii, U.S.A. NFTA. p. 237-249.
- BENAVIDES, J. E. 1994. La investigación en árboles forrajeros. In: J. E. Benavides (ed.). *Arboles y Arbustos Forrajeros en América Central*. CATIE, Serie Técnica, Informe Técnico No. 236, Vol. 1. Turrialba, Costa Rica. p. 3-28.
- BENAVIDES J. E.; LACHAUX, M.; FUENTES, M. 1994. Efecto de la aplicación de estiércol de cabra en el suelo sobre la calidad y producción de biomasa de morera (*Morus* sp.). In: J.E Benavides (Ed.). *Arboles y Arbustos Forrajeros en América Central*. Turrialba, Costa Rica. CATIE. Serie Técnica. Informe Técnico No. 236, Vol.2. p. 495-514.

- BENAVIDES, J. E.; RAMLAL, H.; PEZO, D. 1992. Feeding resources for goats in Central America and the Caribbean Region. In: R.M. Acharya (ed.). 5th International Conference on Goats, New Delhi. Invited Papers, Vol 2, Part 1. New Delhi, India. Indian Council of Agricultural Research. p. 134-142.
- BLAIR, G. J. 1990. The diversity and potential value of shrub and tree fodders. In: C. Devendra (ed.). Shrubs and Tree Fodders for Farm Animals. Proceedings of a Workshop held in Denpasar, Indonesia, July 24-29, 1989. Ottawa, Canada. IDRC. p. 2-11.
- BLAIR, G. J.; CATCHPOOLE, D.; HOME, P. 1990. Forage tree legumes: their management and contribution to the nitrogen economy of wet and humid tropical environments. *Advances in Agronomy* 44: 27-54.
- BOREL, R.; ROMERO, F. 1991. On-farm research in a silvopastoral project: a case study. *Agroforestry Systems* 15: 245-257.
- BRONSTEIN, G. E. 1984. Producción comparada de una pastura de *Cynodon nlemfuensis* asociada con árboles de *Erythrina poeppigiana* y sin árboles. Turrialba, Costa Rica. Tesis Mag. Sc. UCR-CATIE. 110 p.
- BUDOWSKI, G. 1987. Living fences: a widespread agroforestry practice in Central America. In: H. L. Gholz (ed.). *Agroforestry: Realities, Possibilities and Potentials*. Martinus Nijhoff, Dordrecht, The Netherlands. p. 169-178.
- BUDOWSKY, G. 1993. The scope and potential of agroforestry in Central America. *Agroforestry Systems* 23: 121-131.
- BUSTAMANTE, J. 1991. Evaluación del comportamiento de ocho gramíneas forrajeras asociadas con poró (*Erythrina poeppigiana*) y solas. Turrialba, Costa Rica, Tesis Mag. Sc. CATIE. 121 p.
- CATIE. 1991. Sistemas silvopastoriles para el trópico húmedo bajo. Segundo Informe Anual, II Fase, Proyecto CATIE/MAG/IDA/CIID. Turrialba, Costa Rica, CATIE. 148 p.
- CATIE. 1992. Sistemas silvopastoriles para el trópico húmedo bajo. Tercer Informe Anual, III Fase, Proyecto CATIE/MAG/IDA/CIID. Turrialba, Costa Rica. CATIE. 47 p.
- COUTO, L.; ROATH, R. L.; BETTERS, D. R.; GARCÍA, R.; ALMEIDA, J. C. C. 1994. Cattle and sheep in eucalyptus plantations: a silvopastoral alternative in Minas Gerais, Brazil. *Agroforestry Systems* 28: 173-185.
- FAUSTINO, J. 1994. Conservación de suelos en parcelas de elevada pendiente con plantación de leñosas forrajeras y pasto. In: J.E. Benavides (ed.) *Arboles y Arbustos Forrajeros en América Central*. Turrialba, Costa Rica. CATIE. Serie Técnica. Informe Técnico. No. 236, Vol. 2. p. 583-600.
- HERNANDEZ, D.; HERNANDEZ, Y.; HERNANDEZ, C. A.; CARBALLO, M.; CARNET, R.; MENDOZA, R.; MENDOZA, C.; RODRÍGUEZ, N. 1992. Ceba de novillos con *Andropogon gayanus* CIAT 621 complementado con un banco de proteína de *Leucaena leucocephala* y *Nenotonia wightii*. *Pastos y Forrajes (Cuba)* 15: 153-163.

- HERNANDEZ, M.; BENAVIDES, J. E. 1994. Podas estratégicas en cercos vivos de piñón cubano (*Gliricidia sepium*) para la producción de forraje en la época seca. In: J.E. Benavides (ed.). Arboles y Arbustos Forrajeros en América Central. Turrialba, Costa Rica. CATIE. Serie Técnica. Informe Técnico No. 236, Vol. 2. p. 559-582.
- HOLMANN, F.; ROMERO, F.; MONTENEGRO, J.; CHANA, C.; OVIEDO, E.; BAÑOS, A. 1992. Rentabilidad de los sistemas silvopastoriles con pequeños productores de leche en Costa Rica: primera aproximación. Turrialba 42: 79-89.
- HORNE, P. M.; BLAIR, G. J. 1991. Forage tree legumes. IV. Productivity of *Leucaena*/grass mixtures. Australian Journal of Agricultural Research 42: 1231-1250.
- HUTTON, E. M. 1974. Tropical pastures and beef production. World Animal Review 12: 1-7.
- IVORY, D. A. 1990. Major characteristics, agronomic features and nutritional value of shrubs and tree fodders. In: C. Devendra (ed.). Shrubs and Tree Fodders for Farm Animals, Proceedings of a Workshop held in Denpasar, Indonesia, July 24-29, 1989. Ottawa, Canada. IDRC. p. 22-38.
- JANSEN, H. G.; NIEUWHUYSE, A.; IBRAHIM, M.; ABARCA, S. 1997. Evaluación económica de sistemas mejorados de producción de ganado vacuno en la Zona Atlántica de Costa Rica. Agroforestería en las Américas 4 (15): 9-15.
- JONES, R. M. 1994. The role of *Leucaena* in improving the productivity of grazing cattle. In: Gutteridge, R.C. and Shelton, H. M. (eds.). Forage Tree Legumes in Tropical Agriculture. Wallingford, U.K. CAB International. p. 232-244.
- KASS, D.; FOLETTI, C.; SZOTT, L.; LANDAVERDE, R.; NOLASCO, R. 1993a. Traditional fallow systems of the Americas. Agroforestry Systems 23: 207-218.
- KASS, M.; PEREZ, A.; RODRÍGUEZ, G. 1993b. Valor nutritivo de la biomasa comestible de diferentes especies y clones del género *Erythrina*. In: S.B. Westley y M. H. Powell (eds.). *Erythrina* in the New and Old Worlds. Hawaii, U.S.A. NFTA. p. 217-222.
- KASS, M.; PEZO, D.; ROMERO, F.; BENAVIDES, J. 1993c. Las leguminosas arbóreas como suplemento proteico para rumiantes. In: I Simposium sobre Leguminosas Forrajeras Arbóreas, Maracaibo (Venezuela) 28-29 de abril de 1993. Maracaibo, Venezuela Sociedad Venezolana de Pastizales y Forrajes, Capítulo Zuliano y Universidad del Zulia. 16 p. (mimeo).
- KIRMSE, R. D.; PROVENZA, F. D.; MALECHEK, J.C. 1987. Clearcutting Brazilian caatinga: assessment of a traditional grazing management practice. Agroforestry Systems 5: 429-441.
- LASCANO, C. E. y PEZO, D. A. 1994. Agroforestry systems in the humid forest margins of Tropical America from a livestock perspective. In: Copeland, J.W., Djajanegara, A. and Sabrani, M. (eds.). Agroforestry and Animal Husbandry for Human Welfare. Proceedings, International Symposium, Bali, Indonesia. July 11-16, 1994. ACIAR Proc. No. 55. p. 17-24.

- LEONARD, H. J. 1987. Recursos Naturales y Desarrollo Económico en América Central: Un Perfil Ambiental Regional. CATIE. Serie Técnica. Informe Técnico No. 127. Turrialba, Costa Rica. CATIE. 268 p.
- LIBREROS, H. F.; BENAVIDES, J. E.; KASS, D.; PEZO, D. 1994a. Productividad de una plantación asociada de poró (*Erythrina poeppigiana*) y King grass (*Pennisetum pupureum* x *P. typhoides*). I. Efecto de la adición de follaje al suelo sobre la producción y calidad de la biomasa. In: J. E. Benavides (ed.). Árboles y Arbustos Forrajeros en América Central. CATIE. Serie Técnica. Informe Técnico No. 236, Vol. 2. Turrialba, Costa Rica. p. 453-474.
- LIBREROS, H. F.; BENAVIDES, J. E.; KASS, D.; PEZO, D. 1994b. Productividad de una plantación asociada de poró (*Erythrina poeppigiana*) y King grass (*Pennisetum pupureum* x *P. typhoides*). II. Movilización de minerales. In: J. E. Benavides (ed.). Árboles y Arbustos Forrajeros en América Central. Turrialba, Costa Rica. CATIE. Serie Técnica. Informe Técnico No. 236, Vol. 2. p. 475-494.
- LOPEZ, G. Z.; BENAVIDES, J.; KASS, M.; FAUSTINO, J. 1994. Efecto de la frecuencia de poda y la aplicación de estiércol sobre la producción de biomasa de amapola (*Malvaviscus arboreus*). In: J. E. Benavides (ed.). Árboles y Arbustos Forrajeros en América Central. Turrialba, Costa Rica. CATIE. Serie Técnica. Informe Técnico No. 236, Vol. 2. p. 531-544.
- MASCARY, M.; RANDEL, P. F.; RIQUELME-VILLAGRAN, E. 1992. Suplementación de vacas lecheras mediante apacentamiento en *Leucaena leucocephala* por 3 horas diarias durante la sequía y la época lluviosa. Journal of Agriculture of the University of Puerto Rico 76: 83-91.
- MOCHIUTTI, S. 1995. Comportamiento agronómico y calidad nutritiva de *Gliricidia sepium* (Jacq.) Walp. bajo defoliación manual y pastoreo en el trópico húmedo. Turrialba, Costa Rica. Tesis Mag. Sc. CATIE. 144 p.
- NFTA. 1989. *Gliricidia* Production and Use. N. Glover (ed.). Hawaii, U.S.A. NFTA. 44 p.
- OVIEDO, F.J. 1995. Morera (*Morus sp.*) en asocio con poró (*Erythrina poeppigiana*) y como suplemento para vacas lecheras en pastoreo. Turrialba, Costa Rica. Tesis Mag. Sc. CATIE. 87 p.
- PEZO, D.; KASS, M. L.; ROMERO, F.; BENAVIDES, J. 1993. Fodder production and use. In: M.H. Powell y S.B. Westley (eds.). *Erythrina* Production and Use: A Field Manual. NFTA/CATIE. Hawaii, U.S.A. NFTA. p. 22-25.
- POUND, B.; MARTINEZ L. 1983. *Leucaena*, its cultivation and uses. London, Overseas Development Administration. 287 p
- PULVER, E.; ARYA, L.; TZUL, F.; CLARE, D. 1996. Conservation-effective livestock production. Belmopan, Belize. NARMAP. 7 p.
- RENOLFI, R. F. 1989. Producción y manejo de forrajeras nativas e introducidas en el Chaco Semiárido. In: Forrajeras y Cultivos Adecuados para la región Chaqueña Semiárida. Curso Taller Internacional. La Rioja 23-27 agosto, 1988. Santiago, Chile. FAO. p. 59-70.

- RODRIGUEZ, F.; R. A. 1985. Producción de biomasa de poró gigante (*Erythrina poeppigiana* (Walpers) O.F. Cook) y King grass (*Pennisetum purpureum* x *P. typhoides*) intercalados, en función de la densidad de siembra y la frecuencia de poda del poró. Turrialba, Costa Rica. Tesis Mag. Sci. CATIE/UCR. 96 p.
- ROMERO, F.; ABARCA, S.; CORADO, L.; TOBÓN, J.; KASS, M.; PEZO, D. 1993. Producción de leche de vacas en pastoreo suplementadas con poró (*Erythrina poeppigiana*) en el trópico húmedo de Costa Rica. In: S.B. Westley y M. H. Powell (eds.). *Erythrina in the New and Old Worlds*. Hawaii, U.S.A. NFTA. p. 223-230.
- ROMERO, F., CAMERO, L.; SÁNCHEZ, L., MONTENEGRO, J.; CHANA, C. 1990. Proyecto Sistemas Silvopastoriles - Costa Rica. In: A. Ruiz y M.E. Ruiz (eds.). Informe IX Reunión General de la Red de Investigación en Sistemas de Producción Animal en Latinoamérica (RISPAL), Zacatecas, México, Abril 18-26, 1990. San José, Costa Rica. IICA. p. 135-162.
- ROMERO, F.; MONTENEGRO, J.; CHANA, C.; PEZO, D.; BOREL, R. 1993. Cercas vivas y bancos de proteína de *Erythrina berteriana* manejados para la producción de biomasa comestible en el trópico húmedo de Costa Rica. In: S.B. Westley y M. H. Powell (eds.). *Erythrina in the New and Old Worlds*. Hawaii, U.S.A. NFTA. p. 205-210.
- RUIZ, C. 1992. Aceptabilidad por bovinos de la biomasa comestible de procedencias, familias e individuos de *Glicidia sepium*, en Guápiles, Costa Rica. Turrialba, Costa Rica. Tesis Mag. Sc. CATIE. 99 p.
- RUSSO, R. O. 1993. The use of *Erythrina* species in the Americas. In: S.B. Westley y M. H. Powell (eds.). *Erythrina in the New and Old Worlds*. Hawaii, U.S.A. NFTA. p. 217-222.
- SERRÃO, E. A. S.; TOLEDO, J. M. 1990. The search for sustainability in Amazonian pastures. In: A.B. Anderson (ed.). *Alternatives to Deforestation: Steps Toward Sustainable Use of the Amazon Rain-Forest*. New York. Columbia Univ. Press. p. 195-214.
- SHELTON, H. M.; STÜR, W.W. 1990. Forages for plantation crops. ACIAR Proceedings. No. 32. 162 p.
- SOMARRIBA, E. 1985a. Arboles de guayaba (*Psidium guajaba* L.) en pastizales. 1. Producción de fruta y potencial de dispersión de semillas. Turrialba 35: 289-295.
- SOMARRIBA, E. 1985b. Arboles de guayaba (*Psidium guajaba* L.) en pastizales. 2. Consumo de fruta y dispersión de semillas. Turrialba 35: 329-332.
- SOMARRIBA, E. 1985c. Arboles de guayaba (*Psidium guajaba* L.) en pastizales. 3. Producción de leña. Turrialba 35: 333-338.
- SOMARRIBA, E. 1992. Revisiting the past: an essay on the agroforestry definition. *Agroforestry Systems* 19: 233-240.
- SOMARRIBA, E.; LEGA, F. 1991. Cattle grazing under *Pinus caribaea*. 1. Evaluation of farm historical data on stand age and animal stocking rate. *Agroforestry Systems* 13: 177-185.

- STEINEN, H. 1990. The agroforestry potential of combined production systems in north-eastern Mexico. *Agroforestry Systems* 11:45-69.
- SUZANO-HERNANDEZ, R. 1981. Especies arbóreas forestales susceptibles de aprovecharse como forraje. *Revista Ciencia Forestal (México)* 29: 31-39.
- SZOTT, L. T.; FERNANDES, E. C. M.; SANCHEZ, P. A. 1991. Soil-plant interactions in agroforestry systems. *Forest Ecology and Management* 45: 127-152.
- VALERIO, S. 1990. Efecto del secado y métodos de análisis sobre los estimados de taninos y la relación de éstos con la digestibilidad *in vitro* de algunos forrajes tropicales. Turrialba, Costa Rica. Tesis Mag. Sc. CATIE. 94 p.
- VIQUEZ, E.; ROMERO, F.; BUDOWSKI, G. 1993. Live fenceposts. *In: M.H. Powell y S.B. Westley (eds.). Erythrina Production and Use: A Field Manual.* Hawaii, U.S.A.NFTA/CATIE. NFTA. p. 19-21.

Arboles y arbustos forrajeros: una opción agroforestal para la ganadería

Jorge E. Benavides

- **Introducción**
- **La investigación en árboles forrajeros**
- **Conclusiones**
- **Bibliografía**

Arboles y arbustos forrajeros: una opción agroforestal para la ganadería

Introducción

Entre el 45% y 78% de los productores agrícolas del Istmo posee fincas entre 3,5 y 10 ha, las cuales ocupan entre el 0,4 y el 10,0% de la tierra cultivada (CATIE, 1985). Las restricciones de tierra y capital en cada país y la ubicación de una gran proporción de las pequeñas fincas en zonas no aptas para las actividades agropecuarias, limitan o imposibilitan la explotación bovina. En tales condiciones la energía presente de los alimentos disponibles en la mayoría de estas fincas, apenas es suficiente para satisfacer los requerimientos de mantenimiento de los vacunos (Raun, 1982).

Numerosas prácticas tradicionales de uso de la tierra (deforestación, pastoreo extensivo y extractivo, ausencia de técnicas para controlar erosión, actividades agropecuarias en zonas no aptas, etc.), conllevan deterioros del equilibrio ecológico y de la capacidad productiva de los suelos (Garriguez, 1983; Jiménez, 1983; Heuvelodop y Chang, 1981). Por otra parte, la producción y calidad de los pastos en el trópico son afectadas, tanto por factores climáticos (Minson y McLeod, 1970; Stobbs, 1975; Cubillos *et al.*, 1975), como por las restricciones de tierra y capital imperantes en la mayoría de las pequeñas fincas (Avila *et al.*, 1982).

Lo señalado anteriormente se relaciona con las condiciones ecológicas de la región y con el tipo de tecnología agropecuaria que históricamente se aplica en América Central desde la Colonia. En la época precolombina los grandes herbívoros del pleistoceno habían desaparecido (Jansen y Martin, 1982) y no se explotaban rumiantes en forma doméstica. En dicha época los únicos rumiantes autóctonos eran venados que son eminentemente ramoneadores (Sands, 1983; Morales, 1983). Por otra parte, en todas las zonas de vida, la vegetación predominante era de tipo arbóreo y arbustivo y, con la excepción del maíz, había muy poca presencia de gramíneas y éstas no representaban una fuente importante de alimentos para los herbívoros endémicos (Jansen y Martin, 1982; UNESCO, 1979; National Geographic, 1992; Skerman y Rivero, 1992). Lo anterior indica una vocación natural de la tierra hacia formaciones vegetales muy diferentes a las que existen actualmente en la mayor parte de la región.

El asentamiento de los colonos españoles en Mesoamérica introdujo tecnologías de uso de la tierra diferentes a las utilizadas por los indígenas, en las cuales destacan el uso del arado y la ganadería con la necesaria siembra de gramíneas para alimentar a los animales (Meza y Bonilla, 1990; Tosi Jr. y Voertman, 1977). Tales tecnologías, que se siguen aplicando hasta nuestros días, han contribuido en forma significativa al deterioro y eliminación de la cobertura natural de la tierra, con sus subsecuentes efectos negativos sobre el suelo y la biodiversidad. Así mismo, ha significado esquivar las posibilidades

de utilización racional de los bosques, en aras de una productividad cuestionable en el mediano y largo plazo. En relación con la ganadería tradicional, "...es un hecho poco alentador, para los expertos en prados de gramíneas, darse cuenta de que probablemente son más los animales que se alimentan de arbustos y árboles, o de asociaciones en las que las leñosas desempeñan un papel importante, que sobre verdaderos prados de gramíneas y leguminosas" (Commonwealth Agricultural Bureau Publication, No. 10, 1974, citado por Skerman *et al.*, 1991).

El deterioro de las tierras vírgenes es un proceso que se inicia con la siembra de granos, aprovechando la fertilidad presente después de la tumba del bosque. Una vez que esta fertilidad decae, la tierra se abandona o se destina a la agricultura intensiva o a la ganadería que, en la mayor parte de los casos, es de tipo extensivo y extractivo (Sands, 1983). A partir de la década de los años cincuenta, más del 50% de los bosques ha sido sustituido por la agricultura migratoria o por pastizales (Collins, 1990; UNESCO, 1979; National Geographic, 1992), que en la mayoría de los casos son sobrepastoreados en pequeñas fincas, o sólo son capaces de soportar muy poco número de animales por unidad de área en las grandes explotaciones (Collins, 1990). En América Central, si no es con el uso de gran cantidad de insumos y mano de obra, no se puede mantener una alta productividad de los pastos debido, entre otros factores, a la rápida invasión de leñosas autóctonas que pugnan por establecerse. "...mientras el hombre se empeña en mantener los pastizales, la naturaleza lucha por el desarrollo de los bosques" (Skerman y Rivero, 1992).

La investigación en árboles forrajeros

Para que un árbol o arbusto pueda ser calificado como forrajero debe reunir ventajas en términos nutricionales, de producción de materia comestible y de versatilidad agronómica, sobre otros forrajes utilizados tradicionalmente. En tal sentido, los requisitos para dicha calificación son: i) que su consumo por los animales sea adecuado como para esperar cambios en sus parámetros de respuesta; ii) que el contenido de nutrimentos y ausencia de factores anti-nutricionales sea adecuado para la producción animal; iii) que sea tolerante a la poda y iv) que se puedan mantener niveles significativos de producción de biomasa comestible por unidad de área.

Identificación y caracterización de especies

Datos obtenidos con los productores y de la literatura indican la presencia de leñosas con potencial forrajero en el trópico húmedo de la costa Atlántica de Costa Rica y en el Petén en Guatemala; en sitios semiáridos en República Dominicana y cercanos a la costa del Sur de Honduras; en zonas montañosas con periodos largos de sequía y serios problemas de erosión en la vertiente Pacífica de Costa Rica y en sitios de clima templado por encima de 1000 msnm en los altiplanos de Guatemala y Costa Rica. La

observación directa de los animales ha permitido localizar especies que son particularmente apetecidas y que contienen altos valores de digestibilidad *in vitro* de la materia seca (DIVMS) y elevados contenidos de proteína cruda (PC). Ello ha permitido identificar especies que normalmente no tienen ningún valor de uso y ampliar la utilidad de aquellas forrajeras que normalmente tienen otros propósitos.

Una de las maneras de identificar especies con potencial forrajero es mediante la observación de las preferencias de los animales en pastoreo o ramoneando. Trabajando con cabras en un bosque del trópico húmedo se encontró que, de 84 especies consumidas por lo menos una vez, nueve de ellas representaron el 54% del total de bocados de los animales. Así mismo, se encontró que las dos especies más apetecidas fueron las de mayor contenido de PC y DIVMS (Cuadro 1).

Cuadro 1. Frecuencia de consumo y calidad bromatológica de especies botánicas seleccionadas por cabras en un bosque secundario del trópico húmedo¹.

Especies	Frecuencia consumo	MS	PC	DIVMS
<i>Vernonia brachiata</i>	10,1	22,6	29,6	68,4
<i>Acalypha macrostachya</i>	7,9	22,3	30,1	68,0
<i>Heliconia</i> sp. ²	7,6	23,4	20,0	38,1
<i>Panicum maximum</i>	6,7	22,6	16,9	54,1
<i>Clibadium</i> sp.	4,7	25,7	26,2	47,3
Helechos	4,6	30,7	20,1	26,3
<i>Croton schiedeanus</i>	4,4	32,7	27,1	23,4
<i>Govania polygama</i>	4,4	40,5	20,8	40,8
<i>Trofis</i> sp.	3,8	37,0	15,8	65,2
Otras especies ³	45,8	---	---	---

¹ Turrialba, Costa Rica. ² *Acalypha*.
Fuente: Rodríguez, 1982, citado por Benavides, 1991.

³ 75 especies

Evaluación bromatológica

La mayoría de las especies muestra contenidos de PC que duplican o triplican al de los pastos tropicales y, en varios casos, superiores al de los concentrados comerciales. Así mismo, la DIVMS de algunos follajes es muy elevada. Por su gran calidad nutricional destacan dos especies de euforbiáceas, chicasquil fino (*Cnidioscolus acotinifolius*) y chicasquil ancho (*C. chayamansa*), cuyo follaje también es utilizado para consumo humano (Araya, 1991). Además, sobresalen, con niveles de PC superiores al 20% y de DIVMS por encima del 70%, dos especies de moráceas: la morera (*Morus* sp.) y una especie de *Ficus* (amate) del Petén en Guatemala; dos malváceas que son la amapola (*Malvaviscus arboreus*) y

el clavelón (*Hibiscus rosa-sinensis*) y tres especies de la familia Asteraceae: chilca (*Senecio* sp.), tora blanca (*Verbesina turbacensis*) y tora morada (*V. myriocephala*) (Cuadro 2).

Cuadro 2. Contenido de materia seca (MS), proteína cruda (PC) y digestibilidad (DIVMS) del follaje de plantas leñosas con potencial forrajero en América Central

Especie	MS (%)	PC (%)	DIVMS (%)
Chicasquil fino (<i>Cnidocolus aconitifolius</i>)	16,5	42,4	86,6
Morera (<i>Morus</i> sp.)	28,7	23,0	79,9
Jícaro (<i>Crescentia alata</i>) (flores)	---	11,0	77,6
Chicasquil ancho (<i>Cnidocolus chayamansa</i>)	9,3	30,8	74,8
Tora morada (<i>Verbesina myriocephala</i>)	19,8	23,0	71,5
Chilca (<i>Senecio salignus</i>)	26,5	23,4	71,5
Amate (<i>Ficus</i> sp.)	---	14,4	71,3
Tora blanca (<i>Verbesina turbacensis</i>)	20,6	20,8	70,8
Clavelón (<i>Hibiscus rosa-sinensis</i>)	24,8	21,0	70,0
Chaperno (<i>Lonchocarpus guatemalensis</i>)	---	19,5	69,4
Ramón blanco (<i>Brosimum alicastrum</i>)	---	12,7	67,2
Zorrillo (<i>Roupala complicata</i>)	26,6	42,5	66,9
Amapola (<i>Malva viscus arboreus</i>)	16,5	22,4	64,5
Chichipince (<i>Hamelia patens</i>)	---	17,5	61,6
Carbón blanco (<i>Mimosa platycarpa</i>)	---	16,0	60,0
Madero negro (<i>Gliricidia sepium</i>)	25,1	21,6	59,2
Nacascolo (<i>Libidibia coriaria</i>)	---	16,0	59,0
Ramón colorado (<i>Trophis racemosa</i>)	---	12,9	56,5
Poró enano (<i>Erythrina berteroana</i>)	22,9	24,3	55,0
Guácimo (<i>Guazuma ulmifolia</i>)	37,6	15,6	54,3
Mano de león (<i>Dendropanax arboreus</i>)	---	12,1	52,7
Guarumo (<i>Cecropia peltata</i>)	19,7	19,8	51,8
Poró gigante (<i>Erythrina poeppigiana</i>)	24,0	23,8	51,3
Poró de cerca (<i>Erythrina cocleata</i>)	24,3	21,6	51,2
Copal (<i>Stemmadenia donnel-Smithii</i>)	19,1	24,4	50,6
Bilil (<i>Polimnia</i> sp)	17,9	22,1	45,2
Tiguilote (<i>Cordia dentata</i>)	41,0	16,0	36,0

Adaptado de: Hernández y Benavides, 1993; Araya et al., 1993; Mendizábal et al., 1993; Reyes y Medina, 1992; Godier et al., 1992; Medina, 1994; Rodríguez et al., 1987.

El contenido en nutrientes es afectado por la edad del rebrote, por la posición de la fracción en la rama y por el componente de la rama. En el follaje de poró (*Erythrina poeppigiana*), bajo condiciones de trópico húmedo, se han observado fuertes variaciones en los niveles de PC y DIVMS entre fracciones de la biomasa (Cuadro 3). Parece lógico presumir que este comportamiento está relacionado con las diferentes edades que tiene cada fracción dentro de la rama.

Cuadro 3. Materia Seca (MS), Proteína Cruda (PC), Digestibilidad *in vitro* de la Materia seca (DIVMS) y Energía Digestible (ED) de diferentes fracciones del follaje de *Erythrina poeppigiana*.

Fracción	MS (%)	PC (%)	DIVMS (%)	ED (Mcal/kg MS)
Hoja apical	17,5	38,4	74,1	3,27
Hoja intermedia	25,5	30,5	33,5	1,48
Hoja basal	26,2	27,1	37,4	1,65
Tallo apical	17,0	12,2	54,4	2,40
Tallo intermedio	20,1	10,6	47,4	2,09
Tallo basal	21,5	9,2	34,1	1,50
Corteza	17,0	14,1	78,3	3,45

Fuente: Benavides, 1991.

El estudio de sustancias antinutricionales es importante en el caso de detectar problemas de aceptabilidad y consumo. Con el follaje de madero negro, conocido por su contenido de cumarina, se han detectado limitaciones de consumo cuando el material es joven y con mayor DIVMS. Este problema parece estar relacionado con la procedencia del follaje, ya que durante una comparación con poró, se utilizó follaje de madero negro proveniente de dos sitios y aparentemente, existe una importante relación del sitio y la edad con el nivel de consumo (Cuadro 4).

Cuadro 4. Calidad de la dieta y consumo de madero negro (*Gliricidia sepium*) y poró (*Erythrina poeppigiana*) por cabras en diferentes periodos.

Parámetros	Período 1	Período 2	Período 3
Procedencia del follaje utilizado	Follaje sitio 1 con más de 4 meses de rebrote	Follaje sitio 2 con menos de 3 meses de rebrote	Follaje sitio 1 con menos de 3 meses de rebrote
Madero negro			
Consumo de MS (kg/an/día)	1,7	0,6	0,4
MS de biomasa (%)	32,1	23,2	20,5
PC de la biomasa (%)	18,4	22,1	23,0
DIVMS biomasa (%)	51,2	60,1	63,4
Poró			
Consumo de MS (kg/an/día)	1,2	1,1	1,2
MS de la biomasa (%)	19,8	19,7	19,6
PC de la biomasa (%)	20,5	29,7	21,1
DIVMS biomasa (%)	45,3	43,7	46,8

Fuente: Rodríguez *et al.*, 1987.

Respuesta animal

El poró (*E. poeppigiana*) es una de las especies que han sido más estudiadas, observándose consumos superiores al 3.0% del peso vivo cuando fue suministrado como dieta única a cabras lactantes (Benavides y Pezo, 1986). Con el follaje de Guácimo (*Guazuma ulmifolia*) y de Tiguilote (*Cordia dentata*) se han obtenido niveles satisfactorios de ingestión con cabritos en crecimiento y se ha observado que, con algunas especies, ha sido necesario esperar hasta ocho semanas de adaptación antes que el consumo se estabilice (Cuadro 5). Con especies comunes en sitios de barbecho y sotobosques del subtrópico húmedo en el Petén, Guatemala, se han reportado altos consumos cuando se suministra su follaje como suplemento a animales en pastoreo (Cuadro 6). No obstante, los mayores consumos observados han sido con el follaje de morera, con el cual se han alcanzado niveles superiores al 3,5% del peso vivo en base seca en dietas con una base de pasto. En estos mismos ensayos el consumo total ha sido superior al 5,5% del PV.

Cuadro 5. Variación del consumo (g MS/an/día) de follaje de leñosas forrajeras por cabras jóvenes estabuladas en la zona sur de Honduras.

Alimento	Inicio	Semana 3	Semana 6	Semana 9
Guácimo	354	359	741	861
Tiguilote	278	273	365	498
Pasto Guinea	161	157	425	402

Fuente: Medina, 1994.

Cuadro 6. Consumo de materia seca por ovinos de especies leñosas del bosque secundario en el Petén, Guatemala.

Especies	Consumo, % PV ¹	Desviación estándar
<i>Cecropia peltata</i>	2,1 ^a	0,4
<i>Brosimum alicastrum</i>	2,0 ^a	0,9
<i>Lonchocarpus</i> sp.	1,4 ^{bc}	0,4
<i>Hamelia patens guatemalensis</i>	1,3 ^{bc}	0,3
<i>Dendropanax arboreus</i>	1,1 ^c	0,4
<i>Trophis racemosa</i>	1,1 ^c	0,7
<i>Ficus</i> sp.	0,5 ^d	0,2
<i>Spondias mombin</i>	0,3 ^d	0,2

1: Valores con letras iguales no difieren significativamente, $p < 0,05$.

Fuente: Adaptado de Hernández y Benavides (1993).

Cuando se cuenta con poco follaje, ya sea porque la plantación es pequeña o porque se trabaja con la biomasa producida por plantas que crecen naturalmente, se han improvisado algunos procedimientos de observación para calificar la aceptabilidad de los materiales. En este caso se ofrece el follaje de diferentes especies al mismo tiempo y a medida que transcurre la prueba, se eliminan las

más consumidas para conocer el nivel de consumo de las restantes. No necesariamente las especies con mayor DIVMS y PC, son las más apetecidas inicialmente por los animales y que, tal como se mencionó anteriormente para algunas especies, son necesarios periodos de adaptación superiores a los utilizados con forrajes tradicionales. Con cabras jóvenes, a las que se les ofrecieron simultáneamente cantidades similares de follaje de chिकासquil ancho, chिकासquil fino, jocote (*Spondias purpurea*) y guácimo, se observó que al eliminar sucesivamente el follaje más consumido, se incrementó el consumo de los restantes. Así mismo, se encontró que, con la excepción del período en el que se utilizó sólo el follaje de menor calidad, la sumatoria del consumo de todos los follajes se incrementó entre periodos experimentales (Cuadro 7).

Cuadro 7. Efecto de la sustracción del follaje más consumido en una dieta, sobre el consumo de otros follajes por cabras jóvenes alimentadas con una dieta basal de pasto *Brachiaria*.

Consumo MS forraje, g/an/día	Período 1	Período 2	Período 3	Período 4
Guácimo	42	88	233	336
Chिकासquil ancho	35	121	237	-
Chिकासquil fino	92	115	-	-
Jocote	114	-	-	-
Total suplementos	283	324	476	336

Fuente: Vallejo *et al.*, 1993

Debido a su mediana digestibilidad, la complementación energética de raciones con follaje de *E. poeppigiana* mejora notablemente los parámetros de respuesta de los animales y que con fuentes almidonadas el comportamiento productivo es mayor que con azúcares más simples. Al evaluar el efecto de cuatro fuentes energéticas sobre el consumo de poró y el crecimiento en corderos se encontró que, en todos los casos donde los animales recibieron suplementación energética, el consumo y la ganancia de peso fueron mayores que los observados en los animales que consuman sólo follaje. Así mismo, se encontró mejor respuesta con el fruto verde de banano (*Mussa AAA*) y el ñame (*Dioscorea* sp.) (almidones) que con la melaza (carbohidratos simples) (Cuadro 8).

Cuadro 8. Ganancia de peso y consumo en corderos "Black belly" al consumir follaje de poró y diferentes fuentes energéticas.

Parámetros	Nada	Melaza	B ² . verde+ melaza	B. verde	Ñame
Peso promedio (kg)	22,2	23,0	23,1	20,8	22,8
Ganancia (g/an/día) ¹	74,0 ^c	92,0 ^{ab}	91,0 ^c	112,0 ^{ab}	128,0 ^a
Consumo de MS (% PV)					
Poró	3,5	3,2	3,3	3,3	3,0
Suplemento	0,0	0,8	0,9	1,1	1,3
Total	3,5	4,0	4,2	4,4	4,3

1/ Valores con igual letra no difieren significativamente, p<0,05. 2/ Banano verde.

Fuente: Benavides y Pezo, 1986.

Una adecuada proporción entre las fuentes de proteína (follaje de poró) y energía (fruto de plátano) es importante también al utilizar dichos ingredientes en la dieta. Esto se desprende de un trabajo en el cual se ofreció, a cabras lecheras, dos niveles suplementarios de forraje de poró y dos de fruto verde de plátano (*Musa AAB*) y en el que la mayor producción de leche ocurrió en aquellos tratamientos con una relación proteína/energía similar (Cuadro 9).

Cuadro 9. Producción de leche y relación proteína/energía de la dieta en cabras alimentadas con pasto y suplementadas con diferentes niveles de poró y plátano verde.

	Alto	Bajo	Alto	Bajo
Nivel de plátano	Alto	Bajo	Alto	Bajo
Nivel de poró	Alto	Alto	Bajo	Bajo
Leche (kg/an/día)	1,27	1,09	1,09	1,13 ¹
PC/ED (g/Mcal)	40,0	45,0	35,0	40,0

1/ Interacción entre factores significativa, p<0,05.

Fuente: Adaptado de Castro, 1989.

Con las especies de mayor nivel de PC y DIVMS, se han obtenido los niveles de producción de leche más elevados, y se ha observado una respuesta muy significativa al suministrar niveles crecientes de follaje en animales que reciben una dieta base de pasto king grass (*Pennisetum purpureum* x *P. thyphoides*). Tal es el caso del follaje de amapola y morera, con los que se han observado rendimientos crecientes de leche a medida que aumenta la cantidad de follaje en la ración, alcanzándose producciones de leche superiores a 2,2 y 2,6 kg/an/día, respectivamente, y normalmente posibles sólo con el uso de concentrados comerciales (Cuadro 10). Con estas dos especies se reportan consumos de materia seca superiores al 5% del peso vivo.

Cuadro 10. Efecto de la suplementación con follaje de amapola y morera sobre la producción de leche de cabras.

Consumo MS de morera (% PV) ¹	1,0	1,8	2,6	3,5
Consumo de MS de k. grass (% PV)	3,2	2,9	2,6	2,1
Consumo de MS total (% PV)	4,3	4,7	5,2	5,6
Leche (kg/an/día)	2,0 ^b	2,3 ^a	2,5 ^a	2,5 ^a
Consumo MS de amapola (% PV) ²	1,0	1,8	2,6	3,5
Consumo de MS de k. grass (% PV)	2,9	2,5	2,1	1,6
Consumo de MS total (% PV)	3,8	4,2	4,7	5,1
Leche (kg/an/día)	1,5 ^b	1,6 ^b	1,9 ^a	2,2 ^a

1/ López *et al.* 1993. 2/ Rojas y Benavides, 1992. 2/ Valores con igual letra no difieren significativamente, $p < 0,01$.

Bajo condiciones del trópico húmedo, en un módulo en el que se han manejado dos cabras durante tres años, alimentadas sólo con hojas de morera y pasto, se han obtenido rendimientos superiores a 800 kg de leche/an/lactancia de 300 días (Cuadro 11). En este mismo módulo se reporta, durante el mes pico de lactancia, producciones superiores a 4,0 kg/an/día. También con morera se han encontrado, en corderos, ganancias de peso superiores a 100 g/an/día, al aumentar la proporción de este forraje en la dieta (Cuadro 12).

Cuadro 11. Producción de leche (kg/an/día) por lactancia de cabras alimentadas solamente con pasto y hojas de morera en un módulo agroforestal.

Mes	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Cabra 1	3,22	3,46	3,47	3,41	2,65	2,69	2,23	2,44	2,53
Cabra 1	3,41	3,93	3,53	3,44	2,91	2,67	2,68	1,86	1,71

Fuente: Oviedo *et al.*, 1993

Cuadro 12. Ganancia de peso y consumo en corderos "Black Belly" alimentados con pasto y suplementados con varios niveles de follaje de morera.

Parámetro	Consumo de MS de morera (% PV) ¹			
	0	0,5	1,0	1,5
Peso inicial, kg	15,7	15,8	15,8	15,1
Ganancia (g/an/día) ²	60 ^a	75 ^a	85 ^{ab}	101 ^a
Consumo MS (kg/an/día)				
King-grass ³	0,7	0,6	0,6	0,6
Morera	0,0	0,1	0,2	0,3
Total	0,7	0,7	0,8	0,9
Consumo (% PV)	3,5	3,7	4,0	4,3

1/ Como porcentaje del peso corporal. 2/ Valores con igual letra no difieren significativamente, p<0,01.

3/ *Pennisetum purpureum* x *P. typhoides*.

Fuente: Benavides, 1986.

Oviedo (1995) al comparar el follaje de morera con el concentrado, como suplemento a vacas en pastoreo, obtuvo un nivel de producción de leche similar (13,2 y 13,6 kg/an/día, respectivamente) para cada suplemento a iguales niveles de consumo de MS (1,0% del PV) y muy superior al obtenido con sólo pastoreo (11,3 kg/an/día). El uso de morera en la dieta no afectó el contenido de grasa, proteína y sólidos totales de la leche pero sí mejoró el beneficio neto en comparación con el concentrado (US\$ 3,29 vs \$2,84, respectivamente). Esquivel *et al.* (1996), al reemplazar el 0, 40 y 75% del concentrado por follaje de morera tampoco encontraron diferencias significativas en la producción de leche de vacas Holstein en pastoreo (Cuadro 13). También en este trabajo, considerando sólo los costos de alimentación, el ingreso neto por animal fue 11,5% superior con el máximo nivel de morera al del obtenido con el concentrado.

Con bovinos se han obtenido ganancias de peso biológicamente atractivas al utilizar el follaje de morera como suplemento. En el trópico húmedo de Turrialba, con vaquillas de reemplazo Jersey x Criollo en pastoreo y suplementadas con morera, la ganancia de peso fue superior (610 g/an/día) a la observada al suplementar con concentrado (410 g/an/día) (Oviedo, 1995).

Cuadro 13. Efecto de la sustitución de concentrado por follaje de morera (*Morus alba*) sobre la producción de leche y el consumo de vacas Holstein pastoreando kikuyo (*Pennisetum clandestinum*).

Parámetro	Relación concentrado/morera		
	100/0	60/40	25/75
Leche (kg/an/día)	14,2	13,2	13,8
Consumo (kg MS/an/día)			
Concentrado	6,4	4,2	1,9
Morera	0,0	2,8	5,5
Pasto	9,3	7,8	6,2
Total	15,7	14,8	13,6

Fuente: Esquivel *et al.*, 1996.

Con toretes Criollos Romosiruanos recibiendo una dieta basal de pasto elefante (*Pennisetum purpureum*), se observaron incrementos de peso de 40, 690, 940 y 950 g/an/día al suplementar con morera en niveles equivalentes al 0; 0,90; 1,71 y 2,11% del PV (González, 1996). En este trabajo el estudio de presupuesto parcial arrojó una relación ingreso/costo de 0,10; 1,11; 1,18 y 0,97 para cada nivel de ganancia de peso, respectivamente.

Uno de los problemas más serios de la ganadería es la drástica disminución de la disponibilidad y calidad del pasto durante la sequía. Entre las alternativas utilizadas está la de conservar el forraje como ensilaje para utilizarlo en la sequía. Estos ensilajes normalmente se hacen con gramíneas tropicales que contienen un alto nivel de fibra y poca presencia de carbohidratos solubles, lo que afecta la fermentación y da como resultado un material de baja calidad. Debido a su poca fibra y alto nivel de carbohidratos el follaje de Morera puede ensilarse sin aditivos, mostrando un patrón láctico de fermentación, con pocas pérdidas en PC (entre 16 y 21% de PC) y manteniendo entre 66 y 71% de DIVMS (Vallejo, 1995; González, 1996), parámetros muy superiores a los de ensilajes fabricados con forrajes tropicales.

Al utilizar ensilaje sin aditivos de planta entera de Morera como suplemento a toretes en confinamiento, alimentados con una dieta basal de pasto Elefante, se han obtenido ganancias de peso superiores a 600 g/an/día con un consumo de Morera de 1,1% del PV en base seca (González, 1996). Por otra parte, cabras consumiendo ensilaje de morera como dieta única, mostraron un consumo del 5,0% del PV en base seca y un rendimiento de 2,0 kg/an/día de leche (Vallejo, 1995).

Evaluaciones agronómicas

El uso de estacas es la técnica de propagación más adecuada ya que permite periodos de establecimiento más cortos, es de fácil ejecución y bien conocida por los productores. En algunas especies es posible plantar las estacas enterradas en forma horizontal. De esta forma se obtienen varias plantas por estaca y se ahorra material de propagación. Sin embargo, existen variaciones entre especies que es importante conocer antes de decidir sobre la técnica a utilizar (Cuadro 14).

Cuadro 14. Efecto de la posición de siembra de estacas de *Malvicus arboreus* (amapola), *Morus* sp. (morera) y *Sambucus* sp. (sauco) sobre la germinación y número de rebrotes

Especie	Posición de siembra			
	Horizontal		Vertical	
	Germ., %	Reb/estaca	Germ., %	Reb/estaca
<i>Malvicus arboreus</i>	58,0	1,0	87,5	4,3
<i>Morus alba</i>	90,4	2,1	100,0	3,1
<i>Sambucus</i> sp.	53,8	1,1	60,4	1,5

Fuente: Esquivel y Benavides, 1993. Sin publicar

La asociación de árboles leguminosos con gramíneas es una de las alternativas que más posibilidades tiene. Estas prácticas pueden enfocarse de dos maneras. En la primera se aprovecha tanto la producción de la gramínea, como la producción del árbol asociado como forraje. Los resultados de un trabajo realizado en el trópico húmedo, en el que se intercaló pasto king-grass con poró (*E. poeppigiana*), y en donde no hubo reposición de nutrientes al suelo y toda la biomasa producida se extrajo del sitio, han permitido establecer que la producción de pasto no se afecta por la presencia del árbol, ya que su poda frecuente disminuye la competencia por luz. También se encontró que se pueden obtener rendimientos de proteína cruda, por unidad de área, que triplican la obtenida con el pasto en monocultivo (Cuadro 15). No obstante, a corto plazo, en el caso del pasto, y a mediano plazo, en el caso del poró, la producción decae por la extracción frecuente de material.

Cuadro 15. Producción de materia seca y proteína cruda de poró y pasto King-grass sembrados en asociación y del pasto en monocultivo

Parámetros	Año 1	Año 2	Promedio
Pasto y poró en asociación			
Materia seca (t/ha/año)	35,0	26,8	30,9
Proteína cruda (t/ha/año)	2,87	2,74	2,81
Pasto en monocultivo			
Materia seca (t/ha/año)	25,8	19,8	22,8
Proteína cruda (t/ha/año)	1,18	0,94	1,03

Fuente: Benavides *et al.*, 1989

La otra vía es utilizar el follaje de poró (*E. poeppigiana*) asociado como abono verde para la gramínea. También, bajo condiciones de trópico húmedo y en un suelo de baja fertilidad, se observó que los rendimientos del pasto se incrementan al aplicar al suelo cantidades crecientes de follaje de poró. Así mismo se encontró que la sola presencia del árbol, aún sin depositar su follaje, estimula una mayor producción de pasto que la obtenida en el pasto sin árboles.

Tradicionalmente, en la ganadería, la relación entre los animales y el componente vegetal es en un solo sentido y el animal se beneficia de este último al obtener de él su alimento, pero no participa en su generación. En los sistemas de producción, en donde se manejan los animales estabulados, es posible establecer una relación en los dos sentidos al utilizar la mayor parte del estiércol como fertilizante. Por otra parte, las especies con las mejores características forrajeras son grandes extractoras de nutrientes del suelo y no tienen la capacidad, como las leguminosas, de fijar nitrógeno, necesitando de la aplicación de altos niveles de fertilizante químico. Para encontrar una solución ecológicamente racional, se ha probado el uso de estiércol de cabra como abono en plantaciones de leñosas forrajeras, en las que se han obtenido altos y sostenidos rendimientos de biomasa que, en algunos casos, se incrementan a medida que transcurren los años

En un experimento con morera de tres años de duración en donde se adicionaron al suelo niveles crecientes de estiércol, la producción de biomasa se incrementó significativamente y, a niveles isonitrogenados, los rendimientos fueron mayores que los obtenidos con el uso de fertilizante químico ($\text{NH}_4\text{-NO}_3$). Además se observó un incremento importante, entre años, en la producción de biomasa (Cuadro 16). Similares tendencias se han observado en una plantación de Amapola con el uso de cantidades iguales de estiércol, sin embargo, los rendimientos totales fueron menores y la producción con fertilizante químico fue mayor (Cuadro 17).

Cuadro 16. Producción entre años de biomasa total de morera por efecto de la aplicación de estiércol de cabra al suelo

Año (t MS/ha)	Nivel de estiércol (kg N/ha/año)				NH_4NO_3 480
	0	240	360	480	
1	23,0 ^c	24,4 ^{bc}	26,6 ^b	31,1 ^a	26,7 ^b
2	21,3 ^c	25,2 ^b	27,6 ^{ab}	33,4 ^a	29,7 ^b
3	22,9 ^d	28,2 ^c	32,6 ^b	38,2 ^b	29,2 ^b

Valores con igual letra en la misma línea no difieren significativamente, $p < 0,001$.

Cuadro 17. Materia seca producida (t/ha/año) por componente de la biomasa de amapola, según nivel de estiércol aplicado al suelo.

Componente	Nivel de estiércol (kg de N/ha/año)				NH ₄ -NO ₃ ¹
	0	240	360	480	480
Hojas ²	5,8 ^c	6,2 ^{bc}	6,9 ^b	7,1 ^b	8,1 ^a
Tallo tierno	1,9 ^b	2,1 ^b	2,1 ^b	2,4 ^{ab}	2,7 ^a
Tallo leñoso	6,3 ^c	6,6 ^c	7,9 ^b	7,6 ^b	8,9 ^a
Total	14,0 ^c	14,9 ^{bc}	16,9 ^b	17,1 ^b	19,7 ^a
Comestible	7,7 ^c	8,3 ^{bc}	9,0 ^{bc}	9,5 ^b	10,8 ^a

Valores con igual letra en la misma línea no difieren estadísticamente, p<0,05.

Trabajando con tres variedades de Morera en tres sitios de Costa Rica (Puriscal, Coronado y Paquera), Espinoza (1996) reporta rendimientos de MS total entre 14,1 y 25,4 tm/ha/año. El mismo autor determinó diferencias en la producción atribuibles a factores climáticos. En Paquera, a pesar de sufrir un largo periodo de sequía, la producción promedio de todas las variedades (31,2 tm MS/ha/año), duplicó la de Coronado (15,5 tm MS/ha/año) a pesar de su mejor régimen de lluvia. Esto se atribuye a la mayor luminosidad y mayores temperaturas de Paquera y a la alta nubosidad y menor temperatura de Coronado ubicado en una zona montañosa.

Un aspecto importante, en sitios con un tipo bimodal de precipitación, es la evaluación de técnicas de poda que permitan la producción de biomasa durante el verano. Para ello se ha investigado sobre el efecto de las podas al final de la poca lluviosa sobre la producción de biomasa en el periodo de sequía. En República Dominicana, la poda de madero negro en octubre, noviembre y diciembre, además de detener su floración, provoca rendimientos elevados y crecientes de biomasa comestible durante los meses de menor precipitación en el verano (Cuadro 18).

Cuadro 18. Efecto de la poda al final de la época lluviosa sobre la producción de biomasa (g/árbol/corte) de *Gliricidia sepium* en el periodo seco.

Componente	Mes de poda final ¹			
	Febrero	Marzo	Abril	Mayo
Tallos tiernos	66 ^b	60 ^c	69 ^b	96 ^a
Tallos leñosos	118 ^c	222 ^{bc}	315 ^b	569 ^a
Hojas	288 ^b	342 ^b	373 ^b	528 ^a
Comestible	355 ^b	402 ^b	442 ^b	624 ^a
Total	457 ^c	617 ^{bc}	755 ^b	1192 ^a

1/ Promedio de podas iniciales en Octubre, noviembre y diciembre.

Valores con igual letra en la misma línea no difieren significativamente, p<0,02.

Fuente: Adaptado de Hernández, 1988.

Validación de tecnologías y evaluación económica

Para los aspectos económicos se han utilizado análisis de presupuesto parcial en los experimentos que se ejecutan a nivel de estación; análisis de rentabilidad (flujo e ingreso netos) *ex post* de las tecnologías implementadas en módulos demostrativos y análisis del beneficio familiar y del flujo e ingreso netos a nivel de finca. Los análisis efectuados hasta ahora indican que la aplicación de las tecnologías con árboles forrajeros en las fincas, es económicamente rentable y que su presencia contribuye a mejorar la situación de la economía familiar.

En cabras lactantes alimentadas con una dieta basal de pasto, el uso de follaje de *E. poeppigiana* y otros subproductos de la agricultura (banano de rechazo) como suplemento, es más rentable que el uso de concentrados a pesar de obtenerse una mayor producción con estos últimos (Cuadro 19).

Cuadro 19. Producción de leche, consumo de materia seca y beneficio económico obtenidos con dos dietas suministradas a cabras lactantes estabuladas.

Parámetros	Pasto+ Poró + Banano	Pasto + concentrado
Leche (kg/an/día)	1,1	1,3 ¹
Consumo (kg MS/an/día)		
King-grass	0,5	0,5
Banano maduro	0,6	-
Poró	0,4	-
Concentrado		0,7
Total	1,5	1,2
Beneficio parcial, US\$/an/día	0,6	0,5

1/ $p < 0,05$. Fuente: Gutiérrez, 1985.

El costo total (desde la siembra hasta el suministro) del follaje de algunas especies forrajeras, nutricionalmente similares a los concentrados comerciales, es mucho menor que el de estos últimos. Estudios realizados en Turrialba han permitido encontrar que el costo de un kilogramo de materia seca de concentrado, morera y pasto king-grass, puesto en el comedero, es de US\$ 0,147; 0,044 y 0,035, respectivamente (Rojas, 1992). Esto en parte explica la rentabilidad encontrada en un módulo demostrativo agroforestal con cabras, que opera en el CATIE y en el que los animales se alimentan sólo con morera y pasto (Cuadro 20).

Evaluación del impacto ambiental de las tecnologías

Estas evaluaciones se realizan con el propósito de elaborar recomendaciones orientadas a asegurar la sostenibilidad de la producción y optimizar la utilización de los recursos naturales. En el suelo, es importante conocer el efecto de las tecnologías utilizadas sobre sus características químicas y físicas y aunque estos efectos se detectan generalmente a largo plazo, la información que se recabe es útil para el monitoreo de los cambios.

Cuadro 20. Flujo de caja (US\$) para el análisis financiero del módulo agroforestal demostrativo con cabras en Turrialba, Costa Rica.

Descripción	Años		
	1991/92	1992/93	1993
A. Costos			
A.1 Inversiones ¹	72,3	72,3	45,2
A.2 Costo Oportunidad de la tierra	21,2	21,2	13,2
A.3 Variables, Mano de obra ²	455,3	511,7	319,4
Costo total	527,7	584,1	377,8
Costo actualizado	610,8	643,9	396,7
B. Ingresos			
B.1 Producción de leche	672,7	814,0	549,0
Ingresos actualizados	778,7	897,4	576,5
C. B - A actualizados	167,9	253,5	179,8
B/C: 1,36	1,3	1,4	1,5
VAN: 601,1			

1/ Plantaciones de morera-poró y de pasto-poró; instalaciones y pie de cría.

2/ Corte, chapia y acarreo forraje; deshoje, picado y suministro forraje; ordeño; limpieza; fertilización con estiércol; sal mineral, desparasitante y mantenimiento.

Fuente: Oviedo *et al.*, 1993.

Parte de la investigación con árboles forrajeros es el desarrollo de técnicas de plantación que permitan la conservación del suelo en áreas con problemas de erosión. Asimismo las especies arbustivas pueden utilizarse para controlar las pérdidas de suelo gracias a que pueden plantarse en alta densidad, a que son perennes y a que permiten la asociación con otros cultivos. Durante tres años, en un sitio de elevada pendiente se establecieron dos tipos de plantación con amapola (amapola en alta densidad, sembrada en contorno y asociada con pasto de piso y amapola en contorno, mayor separación entre líneas y asociada con maíz) que se compararon con una plantación de maíz cultivado de forma tradicional (suelo desnudo). La medición de la cantidad de suelo lavado por año indicó que en las dos plantaciones con amapola ocurrió una pérdida de suelo menor, aunque en todos los casos fue baja, que la observada en la plantación de maíz (Cuadro 21).

Cuadro 21. Pérdida de suelo (kg/ha/año) por escorrentia en tres tipos de plantación en áreas de ladera de la región de Puriscal.

Tipo de plantación	Año 1	Año 2
Maíz tradicional	1903	480
Amapola - Maíz	No hay datos	270
Amapola - Pasto	75	33

Adaptado de Faustino, 1992.

Conclusiones

Principales resultados.

La investigación realizada hasta ahora por el CATIE sobre árboles forrajeros muestra que:

1. El follaje de numerosas especies de árboles y arbustos puede mejorar la calidad de las dietas tradicionalmente usadas para la alimentación de los animales. El contenido en proteína cruda de este follaje generalmente duplica o triplica al de los pastos y, en varios casos, el contenido energético es también muy superior, llegando, comparándose incluso con el de los concentrados comerciales. La presencia de estos follajes en las dietas incrementa significativamente la producción de leche y las ganancias de peso de los animales.
2. Numerosas especies de árboles producen abundantes niveles de biomasa comestible por unidad de área, son tolerantes a la poda y fácilmente manejables desde el punto de vista agronómico. En asociaciones de gramíneas con leñosas forrajeros se puede incrementar significativamente la producción de proteína cruda por unidad de área con respecto a la obtenida con el pasto en monocultivo.
3. En asociación con pasturas, algunas especies de árboles no afectan o pueden incrementar significativamente la producción de las gramíneas.
4. En época de sequía, los árboles pueden producir cantidades superiores de forraje que las obtenidas con el pasto y tal producción es mucho más sostenida que la del pasto en condiciones en las que no se utiliza fertilizante químico.
5. Por encontrarse especies forrajeras en la mayoría de las zonas de vida de América Central, se pueden desarrollar sistemas silvopastoriles en diversas condiciones ecológicas. Además, por su versatilidad de manejo agronómico, pueden ser utilizados en sitios y fincas con limitaciones de área y propiciar una sostenibilidad de la producción de forrajes.

Impactos de la investigación agroforestal con cabras.

Un buen ejemplo del efecto que han tenido las tecnologías desarrolladas, son los cambios que se han operado en las explotaciones con cabras en Costa Rica en la última década. En este país, al mismo tiempo que se ha incrementado la utilización de leñosas forrajeras y se ha disminuido el uso de gramíneas de piso, se ha observado un sustancial incremento en el tamaño de los hatos y en los niveles de producción de leche por animal.

En síntesis, la investigación con árboles y arbustos forrajeros realizada por el CATIE ha permitido demostrar la factibilidad de introducir el enfoque agroforestal como una alternativa no tradicional de investigación pecuaria. También ha sido posible desarrollar tecnologías de producción silvopastoril que implican un considerable incremento de la sostenibilidad y productividad por unidad de área y que pueden ser transferibles a las pequeñas y medianas fincas y adaptables a las condiciones de los grandes productores.

Bibliografía

- ARAYA, J.; BENAVIDES, J. E.; ARIAS, R.; RUIZ, A. 1993. Identificación y caracterización de árboles y arbustos con potencial forrajero en Puriscal, Costa Rica. *In: Seminario Centroamericano y del Caribe sobre Agroforestería y Rumiantes Menores.* (2., 1993, San José, Costa Rica). Memorias. Turrialba, Costa Rica., Comisión Nacional para el Desarrollo de la Actividad Caprina. p. irr. sin publicar
- AVILA M.; NAVARRO L. A.; LAGEMANN J. 1982. Improving the small farm production systems in Central America. Preparado para la XVIII Conferencia Internacional de Economistas, Jakarta, Indonesia; CATIE, Turrialba, Costa Rica.
- BENAVIDES, J. E. 1986. Efecto de diferentes niveles de suplementación con follaje de morera (*Morus sp.*) sobre el crecimiento y consumo de corderos alimentados con pasto (*Pennisetum purpureum*). *In: Resumen de las investigaciones realizadas con rumiantes menores, cabras y ovejas. Proy. Sistemas de Producción Animal.* CATIE, Turrialba, C.R. 1986. Serie Técnica. Informe Técnico No. 67, p. 40-42.
- BENAVIDES, J. E. 1991. Integración de árboles y arbustos en los sistemas de alimentación para cabras en América Central: un enfoque agroforestal. *El Chasqui (C.R.)* No. 25:6-35.
- BENAVIDES, J. E.; LACHAUX, M.; FUENTES, M. 1993. Efecto de la aplicación de estiércol de cabra en el suelo sobre la calidad y producción de biomasa de morera (*Morus sp.*). *In: Seminario Centroamericano y del Caribe sobre Agroforestería y Rumiantes Menores.* (2., 1993, San José, Costa Rica). Memorias. Turrialba, Costa Rica., Comisión Nacional para el Desarrollo de la Actividad Caprina. p. irr. sin publicar
- BENAVIDES, J. E.; PEZO, D. 1986. Evaluación del crecimiento y del consumo de materia seca en corderos alimentados con follaje de poró (*Erythrina poeppigiana*) ad lib., suplementados con diferentes fuentes de energía. *In: Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza. Resumen de las investigaciones realizadas con rumiantes menores, cabras y ovejas, en el Proyecto de Sistemas de Producción Animal.* CATIE. Serie Técnica. Informe Técnico No. 67. p. 43-47.
- BENAVIDES, J. E.; RODRIGUEZ, R. A.; BOREL, R. 1989. Producción y calidad nutritiva del forraje de pasto King-grass (*Pennisetum purpureum* x *P. typhoides*) y Poró (*Erythrina poeppigiana*) sembrados en asociación. *In: Symposium sur l'alimentation des ruminants en milieu tropical* (1., 1989, Point- -Pitre, Guadeloupe, France). Paturages et alimentation des ruminants en zone tropicale humide. Ed. por A. Xande; G. Alexandre. Point-a-Pitre, Guadeloupe, France, INRA, Station de Recherches Zootechniques. p. 367-376.

- CATIE. 1985. Programa regional de capacitación para el desarrollo agrícola y la alimentación en el Istmo Centroamericano y la República Dominicana. In Políticas de investigación y desarrollo agropecuario (Turrialba, C.R., nov., 1984). Memorias. Turrialba, C.R., CATIE.
- COLLINS, M., Ed. 1990. The last rain forests. Mitchell Breazley Publishers. IUCN. 200 p.
- CUBILLOS, G.; VONHOUT, K.; JIMENEZ, C. 1975. Sistemas intensivos de alimentación del ganado en pastoreo. In: El potencial para la producción del ganado de carne en América Tropical. CIAT., Cali, Colombia, Serie CS-10. p. 125-142.
- ESQUIVEL, J.; BENAVIDES, J. E.; HERNANDEZ, I.; VASCONCELOS, J.; GONZALEZ, J.; ESPINOZA, E. 1996. Efecto de la sustitución de concentrado con morera (*Morus alba*) sobre la producción de leche de vacas en pastoreo. In: Resúmenes. Taller Internacional «Los árboles en la producción ganadera». EEPF «Indio Hatuey», Matanzas, Cuba. p. 25.
- ESPINOZA, 1996. Efecto del sitio y de la fertilización nitrogenada sobre la producción y calidad de la biomasa de tres variedades de morera (*Morus alba*). Tesis Mag.Sc. Turrialba, C.R., CATIE. 86 p.
- FAUSTINO, J. 1992. Efectos de la erosión hídrica y conservación de suelos en parcelas con pastos y árboles forrajeros. In: Seminario Internacional de Investigación en Cabras (1., 1991, El Zamorano, Hond.) Memorias. El Zamorano, Hond., SRN v.1, p irr.
- GARRIGUEZ, R. L. 1983. Sistemas silvopastoriles en Puriscal. In: El componente arbóreo en Acosta y Puriscal, Costa Rica. Ed. por J. Heuveltop y L. Espinoza. CATIE, Turrialba, C.R. p. 85-89.
- GODIER, S.; MEDINA, J. M.; BRUNSCHWIG, G.; WAELPUT, J. J. 1991. Comportamiento alimenticio de un rebaño de cabras al pastoreo en una finca tradicional de la región Sur de Honduras. In: Seminario Internacional de Investigación en Cabras (1., 1991, El Zamorano, Hond.). Memoria. El Zamorano, Hond., Secretaría de Recursos Naturales, Dirección General de Ganadería. p. irr.
- GONZALEZ, J. 1996. Evaluación de la calidad nutricional de la Morera (*Morus sp.*) fresca y ensilada, con bovinos de engorda. Tesis Mag.Sc. Turrialba, C.R., CATIE. 84 p.
- GUTIERREZ, R. 1985. Utilización del follaje de Poró (*Erythrina poeppigiana*) en combinación con Banano (*Musa sp. cv. «Cavendish»*) como suplemento al pasto King-grass (*Pennisetum purpureum x P. typhoides*) en cabras lecheras estabuladas. Turrialba, C.R., CATIE. 15 p. Inf. de trabajo especial para optar al grado de M.Sc.
- HERNANDEZ, M. 1988. Efecto de las podas al final de la época lluviosa en cercos vivos de Piñón Cubano (*Gliricidia sepium*) sobre la producción y calidad nutritiva de la biomasa en la época seca. Tesis Mag. Sc. Turrialba, C.R., CATIE. 84 p.
- HERNANDEZ, S.; BENAVIDES, J. E. 1993. Caracterización del potencial forrajero de especies leñosas de los bosques secundarios de El Petén, Guatemala. In: Seminario Centroamericano de Agroforestería y Rumiantes Menores (1., 1992, Chiquimulas, Gua.) Memorias. s.n.t. s.p. Sin publicar.

- HEUVELDOP, J.; CHANG, B. 1981. Agroforestry for improvements of deforested mountains lands in Costa Rica: a pilot study. (Trabajo presentado en el 7mo. Congr. Mundial de IUFRO, Kyoto, Japón. 6-12 sept. 1981). Turrialba, Costa Rica. 6 p.
- JANZEN, D. H.; MARTIN, P. S. 1982. Neotropical anachronisms: The fruits the gomphotheres ate. *Science* (Washington), 215: 19-27.
- JEGOU, D.; WAELPUT, J. J.; BRUNDSCHWIG, G. 1994. Consumo y digestibilidad de la materia seca y del nitrógeno del follaje de Morera (*Morus* sp.) y Amapola (*Malvabiscus arboreus*) en cabras lactantes. In: J.E. Benavides ed «Árboles y arbustos forrajeros en América Central». Vol. I. Serie técnica, Informe técnico No. 236. Turrialba, C.R. CATIE. p. 155-162.
- JIMENEZ, R. 1983. Situación forestal y medidas proteccionistas. In: El componente arbóreo en Acosta y Puriscal, Costa Rica. Ed. por J. Heuvel dop y L. Espinoza. CATIE, Turrialba, C.R. p. 27-32.
- LIBREROS, H. F.; BENAVIDES, J. E.; KASS, D.; PEZO, D. 1993a. Productividad de una plantación asociada de Poró (*Erythrina poeppigiana*) y King Grass (*Pennisetum purpureum* x *P. typhoides*). I. Efecto de la adición de follaje al suelo sobre la producción y calidad de la biomasa. In: Seminario Centroamericano y del Caribe sobre Agroforestería y Rumiantes Menores. (2., 1993, San José, Costa Rica). Memorias. Turrialba, Costa Rica. Comisión Nacional para el Desarrollo de la Actividad Caprina. p. irr. s.p. Sin publicar.
- LOPEZ, G. Z.; BENAVIDES, J. E. KASS, M.; FAUSTINO, J. 1993. Efecto de la frecuencia de poda y la aplicación de estiércol sobre la producción de biomasa de Amapola (*Malvaviscus arboreus*). In: Seminario Centroamericano y del Caribe sobre Agroforestería y Rumiantes Menores. (2., 1993, San José, Costa Rica). Memorias. Turrialba, Costa Rica. Comisión Nacional para el Desarrollo de la Actividad Caprina. p. irr. s.p. Sin publicar.
- LOPEZ, G. Z.; BENAVIDES, J. E. KASS, M.; FAUSTINO, J. 1993. Efecto de la suplementación con follaje de Amapola (*Malvaviscus arboreus*) sobre la producción de leche en cabras estabuladas. In: Seminario Centroamericano y del Caribe sobre Agroforestería y Rumiantes Menores. (2., 1993, San José, Costa Rica). Memorias. Turrialba, Costa Rica. Comisión Nacional para el Desarrollo de la Actividad Caprina. p. irr. s.p. Sin publicar.
- MEDINA, J. M. 1994. Observaciones sobre el consumo de follaje de Guácimo (*Guazuma ulmifolia*), Tiguilote (*Cordia dentata*) y pasto Guinea (*Panicum maximum*) por cabras semi-estabuladas. In: «Árboles y arbustos forrajeros en América Central». J.E. Benavides ed. CATIE, Turrialba, Costa Rica. p 249-256
- MEDINA, J. M.; ROUYER, B.; TEJADA, M.; LAYUS, M.; BOIRON, B. 1991. Evaluación preliminar de producción de biomasa de nueve especies de árboles en plantaciones naturales. In: Reunión Anual del Programa de Cabras del Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (3., 1991, El Zamorano, Hond.). Memorias. Tegucigalpa, C.R. CATIE. p.irr. (mimeo.).
- MENDIZABAL, G.; ARIAS, R.; BENAVIDES, J.E.; RIOS, E.; MARROQUIN, F. 1993. Utilización del follaje de plantas silvestres en la alimentación de rumiantes, en el Altiplano Occidental de Guatemala. s.n.t. 33 p. Sin publicar.

- MEZA, T.A.; BONILLA, H. 1990. Áreas naturales protegidas de Costa Rica. Ed. Tecnológica de Costa Rica. Cartago, C.R. 320 p.
- MINSON, D.J.; McLEOD M. N. 1970. The digestibility of temperate and tropical grasses. Proc. XI Int. Grassl. Congr., Surfers Paradise, Queensland, Australia. p. 719-722.
- MORALES, M. A. 1983. Preferencias alimenticias entre dos especies de herbívoros (ganado vacuno y venado cola blanca). In: Conservación y manejo de la fauna silvestre en Latinoamérica. (Simposio, 10-11 oct., 1983, Arequipa, Perú). Contribuciones. Aguilar F., P.G., Ed. Lima, Perú. WWF/APECO. p. 99
- NATIONAL GEOGRAPHIC SOCIETY. 1992. The coexistence of indigenous peoples and the natural environment in Central America. Color (mapa).
- OVIDO, J. F. 1995. Morera (*Morus* sp.) en asocio con Poró (*Erythrina poeppigiana*) y como suplemento para vacas lecheras en pastoreo. Tesis M.Sc. Turrialba, C.R., CATIE. 86 p.
- OVIDO, F.J.; BENAVIDES, J.E.; VALLEJO, M. 1993. Evaluación bioeconómica de un módulo agroforestal con cabras en el trópico húmedo. In: Sem. Centroamericano y del Caribe sobre Agroforestería y Rumiantes Menores. (2., 1993, San José, Costa Rica). Memorias. Turrialba, Costa Rica. Comisión Nacional para el Desarrollo de la Actividad Caprina. p. irr. s.p. Sin publicar.
- RAUN, N. S. 1982. The emerging role of goats in world food production. In: International Conference of Goat Production and Disease, 3ra., Tucson, Ariz., EE.UU. Proceedings. Dairy Goat Journal, 1982. p. 133-141.
- REYES, E.; MEDINA, J.M. 1992. Comportamiento alimenticio de cabras pastoreando y ramoneando en un sitio de matorral de la zona Sur de Honduras. In: Sem. Centroamericano de Agroforestería y Rumiantes Menores (1., 1992, Chiquimulas, Gua.). Memorias. s.n.t. s.p.
- RODRIGUEZ, Z.; BENAVIDES, J. E.; CHAVES, C.; SANCHEZ, G. 1987. Producción de leche de cabras estabuladas alimentadas con follaje de Madero negro (*Gliricidia sepium*) y de Poró (*Erythrina poeppigiana*) y suplementadas con plátano pelipita (*Musa* sp. cv. "Pelipita"). In: *Gliricidia sepium* (Jacq.) Walp.: management and improvement (1987, Turrialba, C.R.). Proceedings of a Workshop. Ed. by D. Withington; N. Glover; J.L. Brewbaker. Honolulu, Hawaii, EE.UU., NFTA. p. 212-216.
- ROJAS, H. 1992. Análisis económico de la producción de leche de cabras alimentadas con diferentes niveles de Morera (*Morus* sp.) como suplemento al King grass (*Pennisetum purpureum* x *P. typhoides*). Borrador de informe de práctica dirigida para obtener el título de bachiller. San José C.R., Univ. Estatal a Distancia. s.p.
- ROJAS, H.; BENAVIDES, J. E. 1992. Producción de leche de cabras alimentadas con pasto y suplementadas con altos niveles de Morera. In: Sem. Centroamericano de Agroforestería y Rumiantes Menores (1., 1992, Chiquimulas, Gua.). Memorias. s.n.t. s.p.
- SANDS, M. W. 1983. Las cabras y la desertificación. Turrialba, C. R. CATIE. 23 p. In: Curso Intensivo de Producción Caprina. (1983, Turrialba, C.R.). p. irr.

- SKERMAN, P.J.; CAMERON, D. G.; RIVEROS, F. 1991. Leguminosas forrajeras tropicales. Roma, FAO. 707 p.
- SKERMAN, P. J.; RIVEROS, F. 1992. Gramíneas tropicales. Roma. FAO. 850 p.
- STOBBS, T. H. 1975. Factors limiting the nutritional value of grazed tropical pastures for beef and milk production. *Tropical Grasslands* 9(2): 141-150.
- TOSI Jr., J. A.; VOERTMAN, R. F. 1977. Máximo aprovechamiento de los bosques. México. *Bosque y fauna*. 14(1): 18-30
- UNESCO. 1979. Tropical grazing land ecosystems. France. UNESCO/FAO. 665 p.
- VALLEJO, M.; LAPOYADE, N.; BENAVIDES, J. E. 1993. Evaluación de la aceptabilidad de forrajes arbóreos por cabras estabuladas en Puriscal, Costa Rica. *In: Seminario Centroamericano de Agroforestería y Rumiantes Menores* (1., 1992, Chiquimulas, Gua.). Memorias. s.n.t. s.p.
- VALLEJO, M. A. 1995. Efecto del premarchitado y la adición de melaza sobre la calidad del ensilaje de diferentes follajes de árboles y arbustos tropicales. Tesis Mag.Sc. Turrialba, C.R., CATIE. 98 p.

Huertos caseros tropicales tradicionales: un nuevo enfoque

Rossana Lok

- **Concepto y definición**
- **Características sobresalientes**
- **Consideraciones relevantes**
- **Las funciones del huerto casero**
- **Bibliografía**

Los huertos caseros tropicales tradicionales: un nuevo enfoque

Concepto y definición

Los sistemas agroforestales están entre los más antiguos sistemas de cultivo utilizados en el mundo. Sin embargo, el interés en ellos, desde un punto de vista político y científico, empezó a tomar forma después de los años 70, a raíz de las crecientes dudas sobre la eficiencia de las políticas de desarrollo vigentes, que no parecían enfrentar adecuadamente las necesidades del creciente número de pobres en zonas rurales (Nair, 1993).

En América Latina, el interés por los huertos caseros tradicionales ha crecido debido principalmente al auge alcanzado por los sistemas agroforestales y el esfuerzo de muchas instituciones internacionales. Sin embargo, aunque se ha señalado la importancia de los huertos caseros para las poblaciones de bajos recursos, no ha habido esfuerzos serios para brindar apoyo institucional y político que fortalezca la investigación en estos sistemas, debido entre otros, a su gran complejidad (Budowski, 1990; Nair, 1993).

Los huertos caseros tropicales tradicionales ocupan un lugar muy singular en los sistemas agroforestales. Ningún otro es tan diverso en cantidad de especies y variedades, complejo y variado en estructuras y posibles asociaciones y tan completo en sus funciones como el huerto casero. Esto lo hace, a la vez, un sistema sumamente interesante pero complicado de entender, que requiere de un enfoque de estudio multidisciplinario e integrado, combinado con una visión de promoción/extensión abierta y tolerante hacia sus características principales. Más adelante en este capítulo se abordarán en detalle las diferentes calidades aquí mencionadas.

El asunto se complica por la variedad de términos que se utilizan para indicar el huerto; existen diferentes conceptos y sistemas que se quieren designar como "huerto" o "huerto casero". Por ende, existen muchas diferentes definiciones de lo que es un huerto casero (Gliessman, *et al.*; 1981; Brownrigg, 1985; Brierley, 1985; Fernandes y Nair, 1986; Barrantes, 1987; Niñez, 1987; Landauer y Brazil, 1990; Christanty, 1990; Karyono, 1990; José y Shanmugaratnam, 1993; Hoogerbrugge y Fresco, 1993). Falta un consenso universal sobre la definición del concepto (Budowski, 1990).

Solo en América Central y dentro de una misma zona geográfica, se han encontrado grandes diferencias en lo que se percibe como "huerto" incluyendo huertos de hortalizas, huertos mixtos agroforestales cuya producción es para la venta, huertos de frutales, huertos de hortalizas y tubérculos manejados de forma biointensiva, etc. En algunos lugares "la huerta" es la parcela agrícola. También se han encontrado diferentes nombres para designar lo que se conoce como huerto casero: solar, patio,

jardín y huerto son algunas variaciones dentro del mismo idioma. Es entonces imaginable la confusión que se da cuando se consideran huertos en diferentes zonas geográficas y en diferentes partes del mundo.

Por la gran diversidad en formas, composición y usos y por la falta de un consenso universal sobre la definición del concepto, es importante establecer la definición del huerto casero tropical tradicional como: *“una asociación íntima de árboles o arbustos de uso múltiple con cultivos anuales y perennes y animales en las parcelas de hogares individuales. El sistema es manejado con mano de obra familiar”* (Nair, 1993. Traducción al español del autor).

En Asia, especialmente en las islas Indonesas, es donde se ha profundizado más la investigación de los huertos caseros. Por lo tanto, existe mayor documentación de tipos y denominaciones. Los huertos caseros asiáticos se caracterizan por su alta diversidad de especies, uso intensivo de la tierra, numerosos estratos verticales y alta frecuencia en cuanto a tipos de uso de la tierra. En América Latina existe gran variación entre tipos de huertos caseros, debido a factores geofísicos, sociales y culturales. Aspectos como herencia cultural, acceso a la tierra y el arraigamiento de las comunidades con la tierra son factores que influyen en su variabilidad (Niñez, 1990).

En términos generales, el huerto casero agroforestal tradicional está compuesto por diferentes áreas de manejo, caracterizadas por su uso. Estas contienen diferentes combinaciones de especies animales y vegetales (Lok y Méndez, 1998; Lok, 1998).

La caracterización que se presenta difiere de aquellas encontrada en la literatura (Fernandes *et al.*, 1984; Fernandes y Nair, 1986; Anderson, 1987; Mergen, 1987; Christianty, 1990; Karyrono, 1990; Okigbo, 1990; Thaman, 1990; Hoogerbrugge y Fresco, 1993; Gillespie *et al.*, 1993; José y Shanmugaratnam, 1993) principalmente porque refleja el carácter de interrelación que existe entre el huerto y quien lo maneja. En esta introducción sobre el tema se considera las características sobresalientes del huerto casero tropical tradicional, específicamente de América Central, incluyendo su funcionalidad como proveedor de un paquete de recursos y beneficios a sus habitantes.

Nuestro enfoque se dirige a los huertos caseros tradicionales que se encuentran en zonas rurales y peri-urbanas de América Central. Pero cabe enfatizar que la importancia del huerto casero es también para la población urbana de escasos recursos.

Los huertos caseros tienen una fuerte tendencia a volverse cada vez más importantes en las zonas urbanas y peri-urbanas debido al crecimiento de la población de escasos recursos en esas áreas y a la creciente presión sobre la tierra. El huerto casero tradicional es uno de los componentes primordiales de lo que se conoce como la “Agricultura Urbana”, que hoy en día es practicada en la mayoría de las

ciudades de todos los países. La importancia de esta forma de producción agrícola urbana se refleja (entre otras cosas) en el hecho de que una tercera parte de los productos agrícolas consumidos por la población urbana provienen de ésta y se pronostica que para el año 2005 la producción aumentará a la mitad de los productos consumidos en las ciudades (Smit, 1996).

Características sobresalientes

Varios autores han caracterizado los huertos caseros tropicales tradicionales en diferentes partes del mundo (Fernandes *et al.*, 1984; Fernandes y Nair, 1986; Anderson, 1987; Mergen, 1987; Christianty, 1990; Kayrono, 1990; Okigbo, 1990; Thaman, 1990; Hoogerbrugge y Fresco, 1993; Gillespie *et al.*, 1993; José y Shanmugaratnam, 1993; Nair, 1993). Estas caracterizaciones reflejan las preferencias y prioridades de los autores mismos y el enfoque con el cual se realizó la investigación. Ejemplo de esto es el trabajo de Hoogerbrugge y Fresco (1993), en el cual, los huertos se caracterizan según su área total, la inversión en mano de obra, la inversión en capital y la diversidad de especies y variedades. En otros casos se caracterizan por estructura y función, como si hubiera "una" estructura en el huerto con tres a cinco estratos verticales (Fernandes y Nair, 1986).

En varias investigaciones realizadas se ha demostrado que en el huerto existen diferentes estructuras), no obstante, en esta introducción se prefiere caracterizar el huerto por su forma (que incluye un conjunto de estructuras) y su función.

La forma y la función del huerto casero están fuertemente relacionadas: la función de un huerto para sus habitantes, quienes lo manejan, determina su forma y de ambas resultan los productos, recursos y beneficios obtenidos. La forma puede, a su vez, generar una serie de funciones biológicas, ecológicas y geofísicas de importancia para la estabilidad del sistema agroecológico del huerto y para sus habitantes. Estas funciones pueden ser un deseo conciente de los habitantes, o una consecuencia de la forma del huerto de la cual los habitantes no están concientes, o no consideran una razón para adoptar tal forma. Un ejemplo son las funciones de protección ambiental logradas a través de la configuración multiestratificada que hay en un huerto casero (Fernandes y Nair, 1986; Gillespie *et al.*, 1993). De la misma manera, es poco probable que los habitantes del huerto estén concientes de los beneficios hidrológicos parecidos a los del bosque tropical que menciona Soemarwoto (1987) aunque saben que la forma de su huerto brinda el mejor funcionamiento del sistema.

Forma y función se encuentran en dos extremos de un mismo eje, cruzado perpendicularmente por la relación dinámica entre el medio natural y social. Justo por medio de estos el huerto casero tropical tradicional se contrasta, por un lado, con los demás sistemas agroforestales convencionales, y por el otro lado, ya que sus características son el producto de la interdependencia dinámica entre el huerto y el medio que lo mantiene.

Para completar la visión sobre la complejidad estructural del huerto casero, cabe mencionar que tiene un componente cronológico. Jose y Shanmugaratnam (1993) identifican una "estructura cronológica" en los huertos caseros de Kerala, India. Según ellos, el huerto casero tiene una estructura dinámica en la cual, la sucesión ecológica es manipulada concientemente por el campesino para asegurar una producción sostenible y continua a través del tiempo. La estrategia del campesino es darle una dirección a la sucesión en lugar de tratar de pelear contra ésta. La permanencia estructural a través del tiempo es un factor clave en la homeostasis del sistema del huerto casero.

Altieri (1995) identifica un concepto análogo a la "estructura cronológica": la diversidad y continuidad espacial y temporal y lo presenta como una de las características ecológicas de la agricultura tradicional (en esta introducción se agrupan las características ecológicas del huerto casero bajo la función). La misma está altamente condicionada por el factor humano y se puede desarrollar en sentido positivo y en sentido negativo. Ejemplo del proceso dinámico involucrado es descrito por Okigbo (1990) para los Azande del sur de Sudán y Africa Central (traducción propia): "... Cuando se cambiaban los sitios de vivienda, se seguían cultivando los huertos familiares (por un tiempo), pero después se dejaban enrastrar, pues prácticamente se había desgastado la fertilidad que se había acumulado durante años de habitación humana ...".

En otras palabras, al establecer y mantener huertos caseros, los Azande aumentaban la fertilidad del suelo en el sitio. Sin embargo, después de haber cambiado sus sitios de vivienda, los huertos se dejaban enrastrar, y con el tiempo la fertilidad acumulada se perdía. En este caso la evolución del huerto es primera en un sentido positivo, mejorándole la fertilidad y por ende, también su producción; pero después, con el cambio de prioridades de la población, hay un cambio en sentido negativo, hasta el momento en el cual el huerto deja de existir.

El factor humano que rige la estructura cronológica del huerto esta condicionado por prioridades e intereses personales; por otro lado, el conocimiento, capacidad y herencia cultural juegan un papel importante. Así es como muchos grupos indígenas amazónicos, a lo largo de los siglos, han logrado desarrollar sistemas agroforestales sostenibles y que funcionan dentro del frágil ecosistema de la selva tropical (Budowski , 1990).

La forma

Por lo general los huertos caseros (tropicales tradicionales) se caracterizan por su tamaño reducido, una alta diversidad de especies y tres a cuatro estratos verticales diferentes (Nair 1993). La forma del huerto casero está compuesta por las varias estructuras que se encuentran en un huerto y que son una consecuencia de la división del espacio en el huerto en diferentes áreas de manejo. Muchos autores

(Fernandes, *et al.*, 1984; Fernandes y Nair, 1986; Anderson, 1987; Mergen, 1987; Christianty, 1990; Kayrono, 1990; Okigbo, 1990; Thaman, 1990; Hoogerbrugge y Fresco, 1993; Gillespie *et al.*, 1993; José y Shanmugaratnam, 1993; Nair, 1993) describen la estructura del huerto casero primeramente por la estratificación vertical, poniendo énfasis en los tres estratos principales (alto, medio y bajo) y las funciones ecológicas del sistema, en el cual se aplican muchos de los principios de la ecología del bosque tropical. Sin embargo, aún cuando este enfoque de la estructura tiene cierta validez, no provee una unidad de análisis que refleje claramente la realidad, ya que, por lo general, existen *varias* estructuras (horizontales y verticales) típicas en cada huerto casero tropical tradicional.

A continuación se agrupan las características de forma (estructura horizontal y vertical) sobresalientes bajo cuatro puntos claves, que parecen ser universales en los huertos caseros tropicales tradicionales:

- **Un huerto bien desarrollado es una imitación del bosque tropical**

La gran diversidad y complejidad que distinguen al huerto casero tropical de los demás sistemas agroforestales inducen a que muchos autores (Harwood, 1986; Mergen, 1987; Soemarwoto, 1987; Altieri, 1991; Hoogerbrugge y Fresco, 1993) consideren que un huerto bien desarrollado imita el ecosistema del bosque tropical natural, en el cual se encuentran diferentes estratos verticales. Sin embargo, cabe notar que las especies y variedades de vegetación que se encuentran en un huerto casero difieren considerablemente de las que se encuentran en la naturaleza circundante.

Se ha encontrado una relación entre el desarrollo de una economía de mercado y la disminución en la semejanza del huerto casero con el bosque tropical, debido a la siembra de más productos destinados a la venta (Soemarwoto, 1987). Por lo tanto, podemos postular que la semejanza del huerto casero con el bosque tropical se debe principalmente a la forma del huerto casero: la creación de nichos específicos, los diferentes niveles verticales y la competencia por luz, así como en las funciones agroecológicas asociadas (véase Función). En contraste, el ordenamiento espacial, la diversidad y las asociaciones de especies pueden ser diferentes de aquellas que se encuentran en el bosque tropical circundante.

House y Ochoa (1998) encontraron que en El Camalote, Copán, Honduras, en 10 huertos existían un total de 85 especies silvestres y 168 cultivadas. Además la estructura de los huertos fue tipificada como tridimensional, diferenciándose por ambos aspectos (el ordenamiento espacial y la diversidad con las asociaciones específicas) de la vegetación circundante.

- **El huerto casero es una composición de diferentes áreas de manejo**

En el huerto casero hay un mínimo de dos áreas (una de las cuales es habitacional). En cada área hay una estructura horizontal y vertical propia (no existe entonces una estructura del huerto casero), así

como una combinación de especies y variedades de vegetación únicas. Christianty (1990), caracteriza los huertos como un espacio libre y un espacio cultivado. Esto, aunque poco explícito, concuerda con la caracterización de zonas de manejo. Otros autores señalan zonas distintas dentro del huerto casero (Brierley, 1985; Anderson, 1987; Asare *et al.*, 1990; Okigbo, 1990; Padoch y de Jong, 1991; House, 1998). House y Ochoa (1998), por ejemplo, mencionan zonas horizontales en los jardines de Camalote. Okigbo (1990) menciona el trabajo de De Schlippe (1956) sobre los sistemas de producción agrícola de los Azande en Africa Central y el Sur de Sudán, en el cual, se anotan 11 ambientes especializados con cultivos especiales. Sin embargo, los estudios se limitan a una descripción de esas zonas, sin señalar que son en realidad una de las características básicas (encontradas en diferentes partes del mundo) de los huertos caseros tropicales tradicionales.

Además, muchas de las representaciones de la composición estructural del huerto no contemplan estas zonificaciones horizontales con diferentes estructuras verticales. Al contrario, se utilizan los transectos para demostrar una zonificación vertical (por estratos) que no alcanza para representar la estructura tridimensional de un huerto. Ilustrativa en este sentido es la figura 1, en la cual se representa la estructura en el huerto con énfasis en esta estratificación (ver nombres científicos en anexo No. 1).

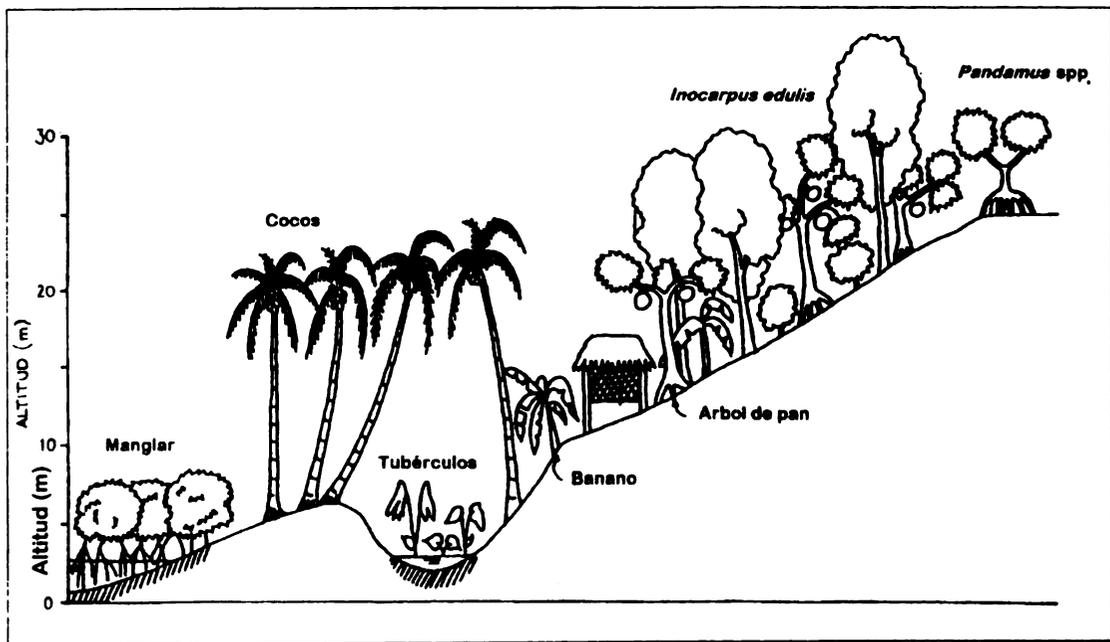


Figura 1: Representación tradicional de la estructura vertical de un huerto casero.
Fuente: Fernandes y Nair, 1986.

Los transectos, en cambio, tienen utilidad para ilustrar la relación entre el uso de la tierra y sus

características biofísicas (figuras 2 y 3) y de esta manera complementan el cuadro que uno se puede formar de los diferentes aspectos de un huerto casero.

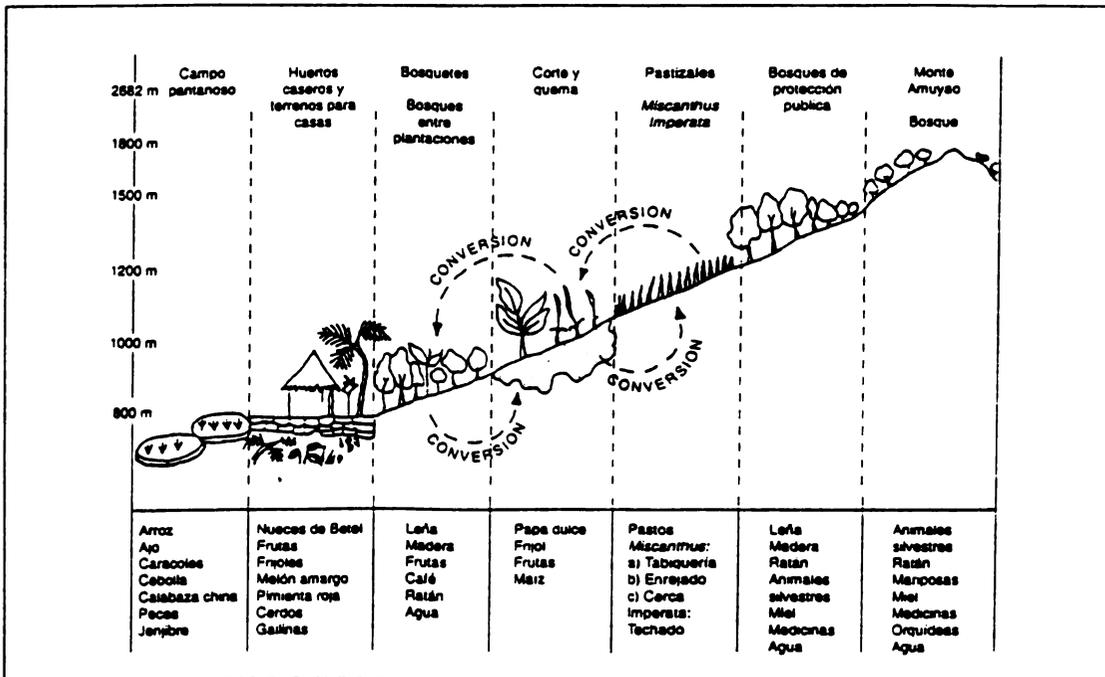


Figura 2: Transecto de uso de la tierra de la cuenca de Ifugao Monte Amuyao.

Fuente: Klock y Tindogan, 1997.

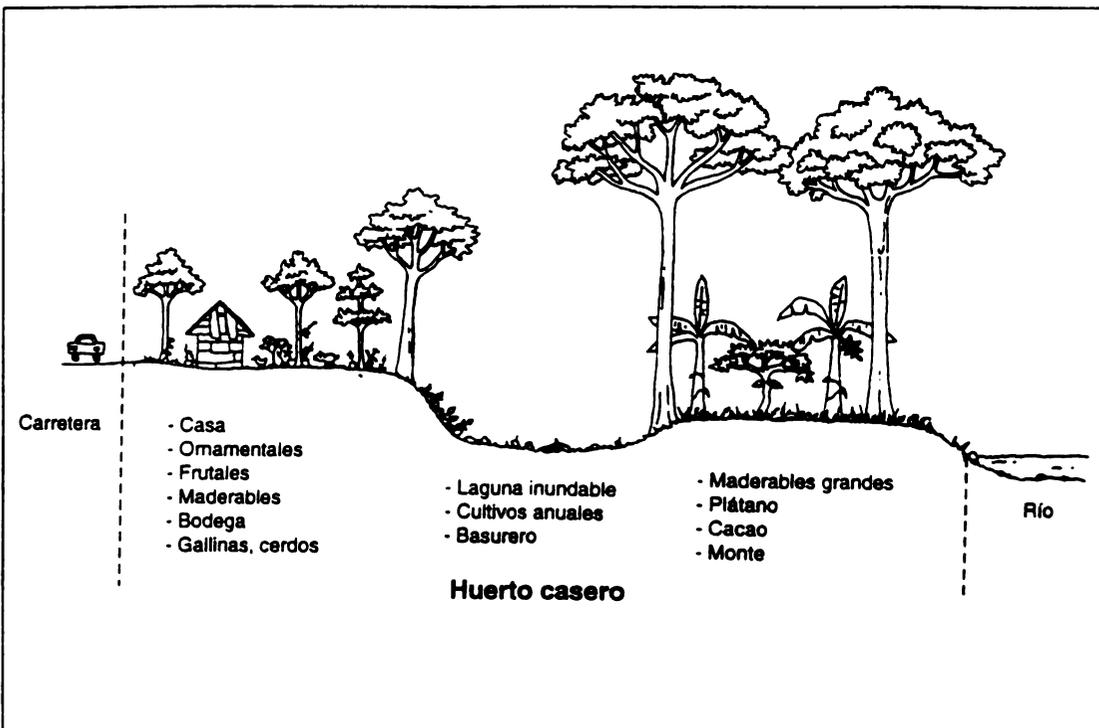


Figura 3: Caracterización de un tipo de huerto casero según uso de la tierra y sus características biofísicas.

Fuente: Lok et al., 1998.

La falta de una representación tridimensional contribuye a que el huerto casero agroforestal tradicional no sea entendido como sistema de producción. Excepción muy ilustrativa en este sentido es la estructura horizontal de un huerto (Fig. 4), en la cual el autor distingue zonas por su uso.

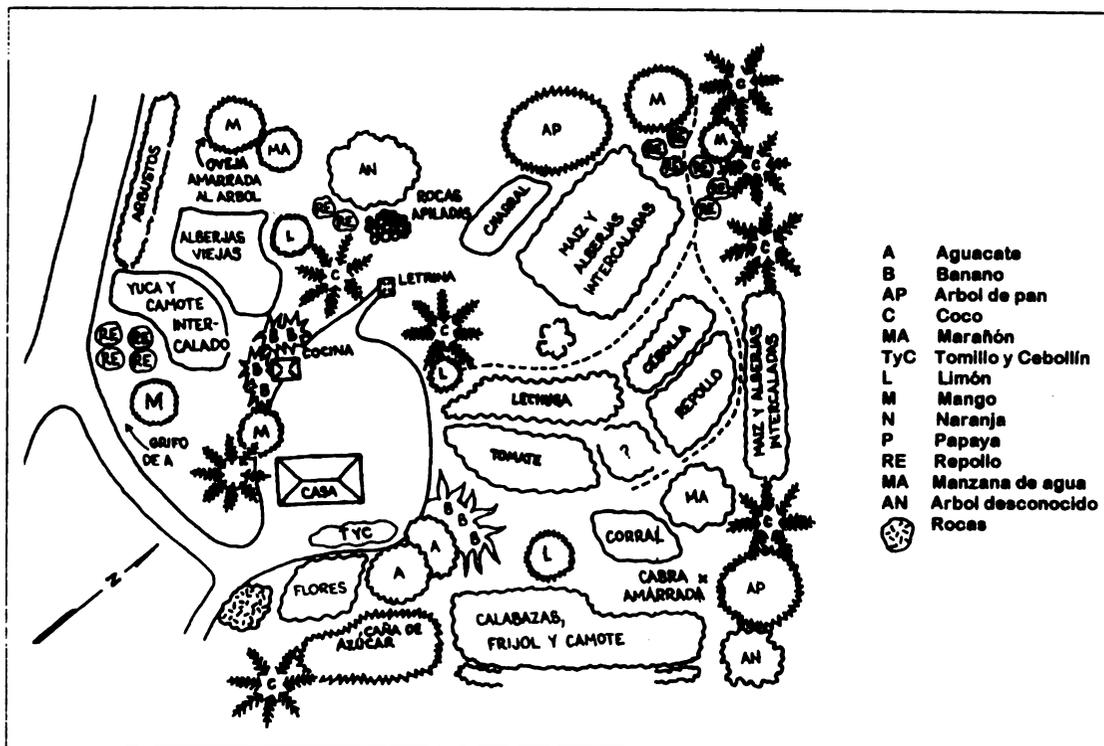


Figura 4: Ejemplo de la estructura horizontal de un huerto casero según zonas.

Fuente: Brierley, 1985.

El esquema de Brierley(1985) permite apreciar, por un lado, la disposición de diferentes áreas de cultivo en relación con la infraestructura en el huerto; así encontramos por ejemplo, muy cerca de la casa dos especias para uso en la cocina (CyT) y un área de hortalizas entre los drenajes. Por el otro lado, el dibujo provee información sobre la compleja estructura del huerto por área de cultivo.

Investigaciones recientes (Lok y Méndez, 1998; Lok, 1998) describen estas áreas de cultivo como áreas de manejo caracterizadas por su uso. Los factores que determinan qué tipo de área se establece (cuál será el manejo y su estructura vertical) pueden ser de carácter agroecológico, biofísico y/o socio-cultural.

Las áreas de manejo de huerto caracterizadas por uso son manejadas de forma distinta porque tienen una composición florística y una estructura particular, según la calidad del suelo, la pendiente y la existencia de vegetación original. Estas áreas de manejo son distintas por zona, comunidad o cultura bajo estudio, pero siempre se encuentran dos o más por huerto, incluyendo una "área residencial".

2-8

Esta caracterización del huerto por áreas de manejo facilita la investigación, el análisis y hasta la propagación de los huertos caseros tropicales tradicionales, desagregándolos en unidades comparables (entre huertos en la misma zona), con un funcionamiento, una estructura y una función propia dentro de un mismo sistema. En San Juan de Oriente, Nicaragua, por ejemplo, se observó la existencia de áreas sumamente complejas dentro de un mismo huerto, con un uso muy intensivo de la tierra y varios estratos verticales con diferentes intensidades de radiación (Wieman, 1994; Lok y Méndez, 1998), dentro de las cuales destaca el cultivo de medicinales, ornamentales, cultivos anuales y perennes, árboles frutales y maderables (figura 5).

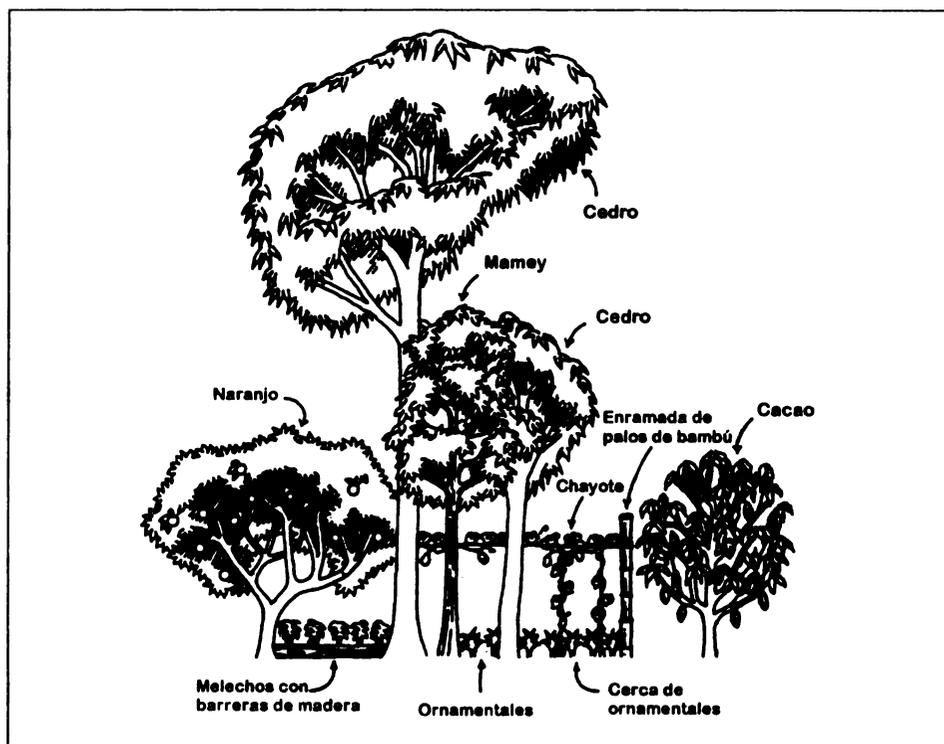


Figura 5: Ejemplo de estructura vertical en cinco niveles en una zona de manejo específica de carácter muy intensivo, San Juan de Oriente, Nicaragua.

Fuente: Wieman, 1994.

- **La prevalencia de la sombra**

La sombra es muy importante para sus habitantes (crea un microclima agradable y diferente al del resto de la finca). Difícilmente los productores se encontrarán en disposición de talar árboles del huerto para remplazarlos por un cultivo anual. Obviamente esto tiene consecuencias para los tipos de cultivos que se utilizan en el huerto. En estudios realizados por el Proyecto de Huertos Caseros en Honduras, Nicaragua y Costa Rica, se encontró una preferencia por cultivos resistentes a la sombra y que requieran poca inversión de mano de obra, cuando se trataba de cultivos para el autoconsumo.

- **Los límites del huerto casero se definen mediante de una mezcla de factores geofísicos, biofísicos y sociales**

Los huertos caseros tropicales tradicionales son espacios relativamente pequeños, en los cuales se invierten pocos insumos y mano de obra. Su tamaño depende de muchos factores: ubicación, densidad poblacional y presión sobre la tierra. En muchos casos no es tan fácil determinar donde termina el huerto y empieza la finca. Por esta razón, los límites del huerto casero. Se definen mediante de una mezcla de factores geofísicos, biofísicos y sociales. Algunas veces un huerto tiene límites geofísicamente claros, cuando colinda con una carretera o con la cerca del huerto vecino. Otras veces, los límites se establecen por medio de cambios de vegetación; por ejemplo, el huerto inicia donde termina el pasto y empieza una vegetación de varios estratos. A veces el huerto casero se delimita por el uso de la mano de obra familiar; en el huerto se utiliza sólo mano de obra familiar mientras que en la finca se contrata o intercambia periódicamente mano de obra. En la mayoría de los casos, los límites de los huertos caseros se establecen por una combinación de estos tres factores, debido a la fuerte interrelación entre el medio natural y social.

Las características de forma se resumen bajo los siguientes puntos claves:

- Un huerto bien desarrollado es una imitación del bosque tropical en cuanto a los estratos verticales, la competencia para luz y las funciones agroecológicas.
- El huerto casero es una composición de diferentes áreas de manejo, que tienen estructuras (horizontales y verticales) y combinaciones específicas, caracterizadas por su uso.
- Bajo el efecto del huerto casero, se genera un ambiente altamente valorado por sus habitantes. Este influye en las especies vegetales que se prefieren en un huerto casero.
- Los límites del huerto casero se definen por medio de una mezcla de factores geofísicos, biofísicos y sociales, que incluyen la mano de obra familiar y la cantidad de trabajo invertido en el huerto.

Consideraciones relevantes

Desde la perspectiva de quien habita y maneja el huerto es importante considerar los siguientes puntos para entender mejor el funcionamiento del huerto casero como sistema agroforestal:

- El huerto casero no es un ecosistema natural. Es un sistema hecho por y para el hombre.
- La percepción que el campesino tiene del huerto casero no es la de una "variación" del bosque tropical sino, de un espacio que pertenece a su ámbito como ser humano.

- La división del espacio y vegetación según áreas de manejo se relaciona con el género, de los miembros de la familia que atienden el huerto.

Los dos primeros puntos se relacionan estrechamente y son de validez general. Existe una discrepancia grave y grande entre la percepción científica y la campesina que puede resultar en una mala comprensión del funcionamiento (práctico y teórico) del huerto casero. Por ejemplo, Soemarwoto (1987) menciona que en Java (Indonesia) una persona se siente ofendida si se le dice que su huerto casero parece un bosque. La situación en Colombia y Costa Rica es comparable: para mucha de la población rural el bosque es un lugar poco apreciado (Lok, 1993; Nygren, 1993). Las "mejoras" son justamente las áreas en las cuales el bosque ha sido eliminado; además, el huerto casero es considerado como una parte del ámbito hogareño: una parte aculturada.

El tercer punto está fuertemente relacionado con los dos primeros: como parte aculturada, el huerto casero está sujeto a una división del espacio y de la vegetación en este espacio. Los espacios y la vegetación están relacionados en cuanto a acceso, uso y manejo con el género de las personas del hogar involucrado (Nakawe/SNV sf, Lok, 1994; House y Ochoa, 1998).

Estos tres puntos claves, junto con las características de forma mencionadas y las de función que se abarcan enseguida, determinan la necesidad de investigar los huertos caseros bajo un enfoque multidisciplinario, integrando las ciencias sociales, económicas y biofísicas.

Las funciones del huerto casero

Fernandes y Nair (1986) hicieron una evaluación de la estructura y función de diez tipos de huertos caseros seleccionados en diferentes partes del trópico. Incluyeron aspectos socioeconómicos y biofísicos y concluyeron que la función más importante del huerto casero es la producción de alimentos. Sin embargo, en su análisis, los autores consideraron sólo una serie de factores socioeconómicos fácilmente cuantificables, dejando de lado aquellos beneficios del huerto considerados intangibles. Otros autores (Anderson, 1987; Mergen, 1987; Soemarwoto 1987; Abdoellah, 1990; Altieri, 1991) consideran a los intangibles como funciones de gran importancia del huerto casero. A continuación se presenta un desglose más detallado de las funciones del huerto casero tropical tradicional.

- **El huerto casero garantiza al hogar una diversidad de productos en casi todas las épocas del año**

En contraste con otros sistemas agroforestales y hasta con la finca, la importancia del huerto casero está en su potencial de proporcionar y producir diferentes productos para el hogar durante casi todo el año, además de proveerle un microclima agradable. La meta principal de un huerto casero no es

una optimización de la producción como lo puede ser en la finca, sino garantizar al hogar una diversidad de productos en todas las épocas del año. Esto se logra a través de la gran diversidad de especies. Así el huerto tiene también una función de amortiguamiento en tiempos de escasez de comida y de ingresos. En América Central, la mujer es una de las actrices principales en su manejo, mantenimiento, transformación y eventualmente la venta de sus productos.

La diversidad de productos se deriva de la diversidad florística existente. Esta es una característica de los huertos caseros tropicales tradicionales en América Central. En Costa Rica, en 12 huertos individuales en tres comunidades (Pánica y San Isidro) y una pequeña ciudad (Paquera) en la Península de Nicoya se encontró que, en nueve huertos, existía una diversidad de más de 100 especies por hectárea y seis huertos (o sea la mitad) tenían más de 200 especies por hectárea (Cuadro 1). Nótese que el huerto de más alta diversidad y uno de los de más baja densidad están ambos en Paquera (zona semiurbana) (Lok *et al*;1998)

Cuadro 1. Total de especies por huerto; superficie total (ha) del huerto; diversidad de especies por ha.

	Huertos												Promedio
	1	12	2	5	4	6	8	7	10	9	3	11	
Total especies	79	75	61	57	72	55	41	45	57	61	32	149	66
Superficie (ha)	1,4	1,0	0,8	0,5	0,6	0,4	0,2	0,2	0,2	0,2	0,1	0,2	0,5
Total especies/ha	56	74	76	114	120	138	205	225	285	305	320	745	222
Parte de finca	si	no	no	no	no	si	si	si	no	si	si	no	

Fuente: Lok *et al.*, 1998.

El total de especies encontradas en estos 12 huertos fue de 289 con 63 variedades, es decir más de cuatro veces el promedio total por huerto. Por lo tanto, la mayoría de los huertos tienen menos de un 30% de todas las especies (Lok, 1998).

- **El huerto casero brinda al hogar un paquete de beneficios insustituibles para mejorar la calidad de vida local**

En primer lugar, el paquete de beneficios es diversificado y en segundo lugar los beneficios no tienen sustituto en la mayoría de los hogares ya que son:

- Una contribución a la serenidad y al estar contento, por su valor estético y recreativo.
- Una extensión de la casa.

- El taller de trabajo.
- El lugar donde se crían los hijos.
- Una fuente de alimentos y proteínas: frutas, verduras y tubérculos, huevos y carne.
- Un medio de amortiguamiento en tiempos de escasez de alimentos o dinero.
- Una farmacia en vivo (plantas medicinales).
- Una fuente de ingresos.

Cada huerto casero tiene funciones específicas, donde prevalecen unas sobre las otras, de acuerdo a prioridades, necesidades y condiciones de los habitantes. La gran cantidad de ornamentales, como en el caso de los huertos en la Península de Nicoya, es una indicación del valor estético y recreativo que tienen estos huertos. En los huertos caseros las plantas ornamentales son cultivadas por gusto (en algunos sitios se cultivan también para vender) y es difícil de medir en términos monetarios el valor que tiene esto para el bienestar de los miembros del hogar. Colores, formas y olores contribuyen a la creación de un ambiente en el cual los miembros del hogar encuentran tranquilidad y diversión.

Imaginar el huerto como extensión de la casa no es tan difícil si se considera que muchas de las casas rurales en América Central tienen solo dos o tres habitaciones. Muchas de las actividades de todos los días, como lavar la ropa o bañarse, se efectúan en el patio. Reuniones con grupos de personas o visitas de vecinos suelen tener lugar en la sombra del patio. En muchos lados el huerto funciona como taller de trabajo; especialmente para pequeñas empresas familiares en las cuales, se producen artesanías, o se procesa comida para la venta. Hasta pequeños carpinteros en San Juan de Oriente, Nicaragua trabajan en sus patios. Además, el huerto casero es el lugar donde muchos de los niños de las zonas rurales de Centro América pasan su tiempo jugando, investigando y aprendiendo.

El huerto casero aporta al ingreso total del hogar por medio de la venta de la producción. Ejemplos del aporte valioso del huerto casero a la economía del hogar en América Central se encuentran en: Samaniego y Lok, 1998; Marsh y Hernández, 1996.

Por último, la contribución del huerto casero es importante y significativa debido a la gran diversidad de productos que el huerto provee a sus habitantes durante todo el año comparado con la finca, donde la producción es limitada a ciertos períodos del año. Así, en el caso de los indígenas Ngöbe de Chiriquí, Panamá, se encontró que extrapolando el ingreso generado por los sistemas principales de la finca a la hectárea, el huerto es el sistema que aporta más ingresos en efectivo, en cuanto a productos de autoconsumo (Samaniego y Lok, 1998).

- **El huerto casero provee un aporte insustituible a la calidad de vida**

El huerto casero es insustituible debido a que provee a sus habitantes productos y servicios que no pueden comprar aunque tuvieran acceso al dinero. Existe el peligro de mal interpretar el valor económico de los productos y servicios cuantificables provenientes del huerto casero, tales como: proteínas, las frutas, verduras y tubérculos. Estudios en huertos caseros de poblaciones de bajos recursos en San Juan de Oriente, Nicaragua, y en Camalote, Copán, Honduras (Lok 1994a, 1994b) indicaron que si un producto no se cultiva en el huerto casero, en muchos casos no se compraba o se compraba muy esporádicamente, aún disponiendo de dinero. En ambos sitios se encontró que familias que habían dejado de mantener su huerto y que dispongan de dinero, tenían una dieta deficiente comparada con familias con menor liquidez y un huerto productivo.

- **El huerto casero cumple con una serie de funciones agroecológicas y biológicas de gran importancia.**

Debido a su diversidad, estructura y características únicas, el huerto casero tropical crea una interdependencia biológica que en cierta medida funciona como un sistema de manejo de plagas, un refugio silvestre, un eficiente sistema de reciclaje de nutrimentos y una fuente de germoplasma para la conservación *in situ*. Altieri (1991) describe la diversidad de especies como una de las características más importantes de los sistemas de agricultura tradicionales, ya que juega un papel importante en el mantenimiento de la fertilidad de la tierra, la reducción de enfermedades y pestes y en el control de malezas. El huerto casero tropical combina funciones ecológicas (incluyendo beneficios hidrológicos, modificaciones microclimáticas, control de la erosión y conservación de los recursos genéticos) del bosque con una habilidad continua de responder a las necesidades de la gente (Soemarwoto, 1987).

En cuanto a la función del huerto en la conservación *in situ* de germoplasma, House y Ochoa (1988) indican: "La importancia que los jardines juegan como guardianes de material genético no es exagerada. Por ejemplo, en Camalote hay varias plantas cultivadas, comestibles y frutales que hoy en día casi solo se encuentran dentro del huerto familiar; tal es el caso del chayote (*Cnidococcus chaymansa*), una verdura muy popular en Camalote. Fuera de este sector en Honduras, su uso es casi desconocido y toda su base genética se encuentra en jardines como los de Camalote. Además del chayote se encuentran el macuz, cuyas flores se cocinan como verdura, o el quilete que es un arbusto de hojas comestibles. Todas estas plantas están perfectamente adaptadas al ecosistema del huerto tradicional. Estas plantas son solamente algunas de las 22 hortalizas tradicionales que se encuentran en Camalote. No existe otra región en Honduras donde se encuentre tanta diversidad de hortalizas tradicionales".

En resumen, las características de función de los huertos caseros se agrupan bajo los siguientes puntos claves:

- El huerto casero garantiza al hogar una diversidad de productos en casi todas las épocas del año y a través del tiempo, actuando como amortiguador en tiempos de crisis. Para poder lograr esto, el huerto debe tener una alta diversidad biológica, la cual es característica de mayoría de los huertos caseros tropicales tradicionales.
- El huerto casero provee al hogar un paquete de beneficios diversificados, de carácter tangible e intangible, muchos de los cuales son insustituibles en su aporte al mejoramiento de la calidad de vida local.
- El huerto casero cumple con una serie de funciones agroecológicas y biológicas de gran importancia.

Así, el huerto tropical tradicional es desde el punto de vista social, económico, biológico y agroecológico un bien insustituible que merece ser entendido (investigación) y promocionado fuertemente en la región. Su existencia es en realidad una expresión explícita de la relación entre el medio social y natural.

En cuanto a la investigación: cada huerto es una colección única de especies manejada bajo criterios únicos sobre selección, asociación y cuidado. A esto se atribuye la falta de coordinación en investigación en huertos caseros (Nair, 1993). Se debe señalar que esta complejidad de forma y función, junto con la relación dinámica entre el huerto y sus cuidadores, requiere de métodos de investigación diferentes (y adaptados) a los que se utilizan tradicionalmente. Por consecuencia, surge la necesidad de enfocar una investigación en huertos caseros tropicales tradicionales hacia la diferenciación de las zonas de manejo caracterizadas por uso y tomar estas como unidades de investigación y análisis.

En cuanto a la promoción y disseminación, Altieri (1991) menciona que: "Los campesinos no buscan maximizar el rendimiento utilizando insumos externos, pero tratan de lograr una estabilidad a largo plazo por medio de la diversidad. En este sentido, los sistemas de producción tradicionales proporcionan un ejemplo de eficiencia y un manejo cuidadoso de suelo, agua, nutrimentos y recursos biológicos. Fortaleciendo estos sistemas -por medio de iniciativas a nivel local que involucran activamente a los campesinos locales- es la clave para exitosos programas de desarrollo de base. Es, por supuesto, obvio que la preservación de agroecosistemas tradicionales no se puede alcanzar aisladamente del conocimiento científico tradicional, la cultura y la organización social de la población local. La diversidad cultural es igual de crucial a la diversidad biológica en el desarrollo agrícola."

No se pretende en este documento abordar en detalle la problemática expresada, los temas y las metodologías vinculadas a una buena disseminación de los huertos caseros tradicionales. Nos limitamos, entonces a enfatizar que la disseminación de huertos caseros tropicales tradicionales se tiene que basar en el fortalecimiento de los sistemas existentes por medio de un enfoque participativo, en el cual se tome en cuenta el conocimiento local.

Algunas propuestas concretas de este enfoque de disseminación son:

- Promover el uso de una mayor diversidad: utilización de las especies nativas existentes dentro de una comunidad;
- Estimular el intercambio de material genético (vegetativo y en forma de semillas) entre la población local;
- Estimular la valoración y el uso de los recursos genéticos existentes;
- Respetar el orden y la diversidad existente de los huertos caseros locales, ya que estos tienen sus funciones específicas.

Bibliografía

- ABDOELLAH, O. S. 1990. Home gardens in Java and thier future development. *In: Tropical home gardens* (K. Landauer y M. Brazil, eds.). Tokyo, Japan. United Nations, University Press. p. 69-79.
- ALTIERI, M. A. 1991. Traditional farming in Latin America. *The Ecologist* 21 : 93-96.
- ALTIERI, M. A. 1995. Agroecology. The science of Sustainable Agriculture. Colorado, USA, Westview Press.
- ANDERSON, J. N. 1987. House gardens - An appropriate village technology. *In: Community Management. Asian Experience and Perspectives* (D.C. Korten, ed.). Conneticut, USA. Kumarian Pres. p. 105-112.
- ASARE, E.O.; OPPONG, S. K.; TWUM-AMPOFO, K. 1990. Home gardens in the humid tropics of Ghana. *In: Tropical home gardens* (K. Landauer y M. Brazil, eds.). Tokyo, Japan. United Nations University Press. p. 80-93.
- BARRANTES, U. 1987. Huertos mixtos tropicales: características y ventajas. Cartago, Costa Rica. Instituto Tecnológico de Costa Rica.
- BRIERLEY, J. S. 1985. West Indian kitchen gardens: a historical perspective with current insights from Grenada. *Food and Nutrition Bulletin* 7: 52-60.
- BROWNRIGG, L. 1985. Home gardening in international development: What the literature shows. Washington, D.C., The League for International Food Education (LIFE).

- BUDOWSKI, G. 1990. Home gardens in Tropical America: a review. *In: Tropical home gardens* (K. Landauer y M. Brazil, eds.). Tokyo, Japan. United Nations University Press. p. 3-8.
- CHRISTANTY, L. 1990. Home gardens in tropical Asia, with special reference to Indonesia. *In: Tropical home gardens* K. Landauer y M. Brazil, eds. Tokyo, Japan. United Nations University Press. p. 9-20.
- FERNANDES, E.C.M.; OKTINGATI, A.; MAGHEMBE, J. 1984. The Chagga home gardens: a multistoried agroforestry cropping system on Mt. Kilimanjaro (Northern Tanzania). *Agroforestry Systems* 2: 73-86.
- FERNANDES, E.C.M.; NAIR, P.K.R. 1986. An evaluation of the structure and function of tropical homegardens. *Agricultural Systems* 21: 279-310.
- GILLESPIE, A. R.; KNUDSON, D. M.; GEILFUS, F. 1993. The structure of four home gardens in the Petén, Guatemala. *Agroforestry Systems* 24: 157-170.
- GLIESSMAN, S. R.; GARCIA R.; AMADO, M. 1981. The ecological basis for the application of traditional agricultural technology in the management of tropical agro-ecosystems. *Agro-Ecosystems* 7: 173-185.
- JOSE, D.; SHANMUGARATNAM, N. 1993. Traditional homegardens of Kerala: a sustainable human ecosystem. *Agroforestry Systems* 24: 203-213.
- HARWOOD, R. R.; 1986. Desarrollo de la pequeña finca. IICA, San José, Costa Rica.
- HOOGERBRUGGE, I. D.; FRESCO, L. O. 1993. Homegarden systems: agricultural characteristics and challenges. IIED, Gatekeeper Series no. 39.
- HOUSE, P.; OCHOA, L. 1998. La diversidad de especies útiles en diez huertos en la aldea de Camalote, Honduras. *In: R. Lok (ed.) Huertos Caseros Tradicionales de América Central: características, beneficios e importancia desde un enfoque multidisciplinario.* Turrialba, Costa Rica. CATIE. p. 61-84.
- KARYONO. 1990. Home gardens in Java: their structure and function *In: Tropical home gardens* (K. Landauer y M. Brazil, eds.). Tokyo, Japan. United Nations University Press. p. 138-146.
- KLOCK, J. S.; TINDOGAN, M. 1997. El pasado y el presente: Una reunión de fuerzas para un futuro sostenible? *En: Bosques, Árboles y Comunidades Rurales* No. 29: 11-17.
- LANDAUER, K.; BRAZIL, M. 1990. Introduction. *In: Tropical home gardens* (K. Landauer y M. Brazil, eds.). Tokyo, Japan. United Nations University Press. p vii-xv.
- LOK, R. 1993. Local values and knowledge reflected in the design of homegardens. *In: Proceedings of the International Pithecanthropus Congress, University of Leiden, July 1993.* The Netherlands University of Leiden.
- LOK, R. 1994a. Estudio de base: San Juan de Oriente y el Castillo, Nicaragua. PHC-CATIE. Informe Interno.

- LOK, R. 1994b. Conclusiones y recomendaciones del Estudio de Caso I en el Camalote, Copán, Honduras, PHC-CATIE. Informe Interno.
- LOK, R.; MENDEZ, E. 1998. El uso del ordenamiento local del espacio para una clasificación de huertos en Nicaragua *In: R. Lok (ed.) Huertos Caseros Tradicionales de América Central: características, beneficios e importancia desde un enfoque multidisciplinario.* Turrialba, Costa Rica. CATIE. p. 129-150.
- LOK, R. 1998. Consideraciones finales. *In: R. Lok (ed.) Huertos Caseros Tradicionales de América Central: características, beneficios e importancia desde un enfoque multidisciplinario.* Turrialba, Costa Rica. CATIE. p. 223-232.
- LOK, R.; WIEMANN, A.; KASS, D. 1998. Influencia de las características de sitio y el acceso al agua en huertos de la Península de Nicoya, Costa Ric. *In: R. Lok (ed.) Huertos Caseros Tradicionales de América Central: características, beneficios e importancia desde un enfoque multidisciplinario.* Turrialba, Costa Rica. CATIE. p. 29-60.
- MARSH, R.; HERNÁNDEZ, I. 1996. El papel del huerto casero tradicional en la economía del hogar: casos de Honduras y Nicaragua. *Agroforestería en las Américas* No. 9: 8-16.
- MERGEN, F. 1987. Research opportunities to improve the production of homegardens. *Agroforestry Systems* 5: 57-67.
- NAIR, P.K.R. 1993. An introduction to agroforestry. Dordrecht, Países Bajos. Kluwer Academic Publishers. p. 85-97.
- NAKAWA/SNV, s.f. Si no fuera por el patio: un estudio sobre el aporte de mujeres a la economía familiar en zonas rurales. Managua, Nicaragua. Editorial Enlace.
- NIÑEZ, V. 1986. El huerto casero: un salvavidas? *Ceres* 112: 31-36.
- NIÑEZ, V. 1987. Household gardens: theoretical policy considerations. *Agricultural Systems* 23: 167-186.
- NIÑEZ, V. 1990. Garden production in Tropical America. *In: Tropical home gardens* K. Landauer y M. Brazil, eds. Tokyo, Japan. United Nations University Press. p. 186-192.
- NYGREN, A. 1993. El bosque y la naturaleza en la percepción del campesino costarricense: un estudio de caso. Turrialba, Costa Rica. CATIE. Serie Técnica. Informe Técnico No. 203.
- OKIGBO, B. N. 1990. Home gardens in Tropical Africa. *In: Tropical home gardens* K. Landauer y M. Brazil, eds. Tokyo, Japan. United Nations University Press. p 21-40.

- PADOCH, JONG C. W. 1991. The house gardens of Santa Rosa: diversity and variability in an Amazonian agricultural system. *Economic Botany* 45: 166-175.
- SAMANIEGO, G.; LOK, R. 1998. Valor de la percepción y del conocimiento local: un estudio socioeconómico y agroforestal de la Finca Indígena Ngnobe, Chiriquí, Panamá. *Agroforestería en las Américas* 5 (17-18): 12-16.
- SMIT, J. 1996. Urban agriculture, progress and prospect: 1975-2005. The Urban Agriculture Network (TUAN). Cities Feeding People Series, Report 18, Canada. IDRC.
- SOEMARWOTO, O. 1987. Homegardens: a traditional agroforestry system with a promising future. *In: Agroforestry: a decade of development* (P.K.R. Nair, ed.). Nairobi, Kenya. ICRAF. p. 157-170.
- THAMAN, R.R. 1990. Mixed home gardening in the Pacific Islands: present status and future prospects. *In: Tropical home gardens* K. Landauer y M. Brazil, eds. Tokyo, Japan. United Nations University Press. p. 41-65.
- WIEMAN, A. M. D. 1994. El huerto casero en San Juan de Oriente: una descripción agroecológica. Proyecto Huertos Caseros. Turrialba, Costa Rica. CATIE. Informe Interno.

Anexo No. 1. Nombres comunes y científicos de las especies mencionadas en el capítulo

Nombre común	Nombre científico
Aguacate	<i>Persea americana</i>
Ajo	<i>Allium sativum</i>
Alberja	<i>Pisum sativum</i>
Arbol de pan	<i>Artocarpus altilis</i>
Arroz	<i>Oriza sativa</i>
Banano	<i>Musa AAA</i>
Cacao	<i>Theobroma cacao</i>
Café	<i>Coffea arabica</i>
Caña de azúcar	<i>Saccharum officinarum</i>
Calabaza	<i>Cucurbita sp.</i>
Camote	<i>Ipomoea batatas</i>
Cebolla	<i>Allium cepa</i>
Cebollín	<i>Allium fistulosum</i>
Cedro	<i>Cedrela sp.</i>
Chayo	<i>Cnidioscolus chaymansa</i>
Chayote	<i>Sechium edule</i>
Coco	<i>Cocos nucifera</i>
Frijol	<i>Phaseolus vulgaris</i>
Jenjibre	<i>Zingiber officinale</i>
Lechuga	<i>Lactuca sativa</i>
Limón	<i>Citrus sp.</i>
Maíz	<i>Zea mayz</i>
Mamey	<i>Mammea americana</i>
Mangle	<i>Rhizophora sp.</i>
Mango	<i>Mangifera indica</i>
Manzana de agua	<i>Eugenia malaccensis</i>
Naranja	<i>Citrus sinensis</i>
Papa dulce	<i>Ipomoea batatas</i>
Papaya	<i>Carica papaya</i>
Plátano	<i>Musa AAB</i>
Repollo	<i>Brassica oleracea, var. capitata</i>
Tomate	<i>Lycopersicon esculentum</i>

Area de Cuencas y Sistemas Agroforestales

Proyecto Agroforestal CATIE/GTZ: Dr. Edgar Köpsell, Líder

**Edición: Francisco Jiménez
Arturo Vargas**

**Diagramación y diseño Ana Loaiza Madriz
Dhayra Machado**

Edición de 500 ejemplares. Impreso en Imprenta Belén, 1998.

████████████████████

DL



Proyecto Agroforestal CATIE/GTZ

Apdo. 126

CATIE 7170 Turrialba, Costa Rica

Tel: (506) 556 6438 Fax: (506) 556 1891

E-mail: gtz@catie.ac.cr

<http://www.catie.ac.cr>