

Tema 4

Agroforestería en el Manejo de Cuencas Hidrográficas

Francisco Jiménez

AGROFORESTERÍA PARA EL MANEJO DE CUENCAS HIDROGRÁFICAS

El manejo de cuencas es un proceso integrado donde se conjugan dos grupos de acciones complementarias: las orientadas a aprovechar los recursos naturales presente en la cuenca (usarlos, transformarlos, consumirlos) con propósitos de crecimiento económico y otras orientadas a manejarlos (conservarlos, recuperarlos, protegerlos) con el fin de buscar la sostenibilidad ambiental y el uso adecuado de los recursos. Estos dos grupos de acciones deben ejecutarse en función de la intervención humana y sus necesidades, lo que requiere la participación directa de los usuarios, habitantes y actores que tienen intereses en la cuenca, con el fin de buscar la equidad social y el desarrollo del hombre.

El enfoque antropocéntrico es fundamental en el manejo de cuencas; las actividades que realiza el hombre, sus actitudes, la forma como desarrolla y maneja los sistemas productivos, son las que definen el estado de la cuenca. En este contexto, la unidad de producción es el centro de intervención y manejo, mientras que la cuenca es la unidad de análisis y planificación para ordenar, conocer las potencialidades y evaluar los impactos.

Un objetivo fundamental del manejo de cuencas es conocer las interrelaciones hidrológicas, ecológicas, biofísicas y humanas y luego aplicar este conocimiento a la rehabilitación de áreas degradadas, a la conservación de los recursos naturales y a mejorar el uso de la tierra. Es aquí donde la agroforestería se convierte en una opción tecnológica importante para cumplir con ese objetivo.

SISTEMAS AGROFORESTALES PARA EL MANEJO DE CUENCAS HIDROGRÁFICAS

Las posibles contribuciones de la agroforestería en el manejo de cuencas son múltiples e incluye tanto aspectos biofísicos como socioeconómicos (acetatos 1 y 2). En muchas zonas tropicales con agricultura en zonas de ladera, las cuencas se encuentran seriamente degradadas y se ciernen múltiples riesgos ambientales asociados a la agricultura convencional, basada en búsqueda de incrementos en la producción vegetal, con poca atención al deterioro de los recursos naturales. El uso intensivo e indiscriminado de fertilizantes químicos, irrigación inadecuada, lucha química contra plagas y enfermedades, monocultivo, etc., son problemas reales que generan estos riesgos ambientales en las cuencas y para algunos de los cuales, la agroforestería puede constituirse en una

herramienta útil para su solución o, al menos su reducción (acetatos 3 y 4).

En la protección y rehabilitación de cuencas se utilizan diferentes opciones agroforestales: el cultivo mixto de especies arbóreas y agrícolas, sistemas agroforestales con cultivos perennes para protección de cuencas, barreras vivas para conservación de suelos y formación lenta de terrazas en parcelas agrícolas, estabilización de cárcavas en parcelas agrícolas, estabilización de taludes para la protección de las parcelas agrícolas, estabilización de riberas de ríos y quebradas para la protección de las parcelas agrícolas, estabilización de canales, acequias y muros de contención, cultivo en callejones para conservación del suelo, cercas vivas para protección de cultivos y animales, cortinas rompevientos con propósitos múltiples, cortinas de vegetación contra las heladas, pasturas asociadas con especies leñosas y follaje de especies leñosas como fuente de forraje. A continuación se describe con más detalle cada una de esas prácticas.

EL CULTIVO MIXTO DE ESPECIES ARBÓREAS Y AGRÍCOLAS (acetato 5)

Una práctica común en muchas cuencas es la combinación simultánea de árboles para madera, sombra, frutales y cultivos, a distancias mayores que los que corresponden a una plantación forestal o frutal, dejando espacio para el crecimiento de cultivos. De esta manera, se obtiene producción forestal o frutal y agrícola en la misma área. Tradicionalmente, el arreglo de los árboles no obedece a un esquema rígido, sino que está en función del espacio disponible, del gusto del agricultor, de la forma de la parcela, la distribución de los suelos, las fuentes de agua y las pendien-

tes. La densidad de los árboles es variable y la distribución no es sistemática como lo muestra, por ejemplo, un estudio realizado por Pastrana *et al.* (1999) (acetato 6).

SISTEMAS AGROFORESTALES CON CULTIVOS PERENNES (acetato 7)

Muchas de las cuencas de zonas tropicales son cuencas de montaña, con mucha pendiente, donde el avance de la frontera agropecuaria ha llevado a una presión fuerte sobre los recursos naturales y a usos de la tierra muy diferentes a los recomendados. Esto unido a prácticas agrícolas, forestales y ganaderas inapropiadas se convierten en la punta de lanza del conjunto de factores que degradan las cuencas. Bajo estas condiciones, el establecimiento de sistemas agroforestales con cultivos perennes representa una opción valiosa en términos de producción y conservación. La cobertura vegetal proveniente de la combinación de cultivos como café, cacao, té con especies de árboles maderables o de servicio, tiene un papel importante en la protección del suelo, la regulación hidrológica y la reducción de riesgos de inundaciones, avalanchas, sedimentación, etc. en las partes bajas de las cuencas. Sin embargo, la función productora y protectora de los sistemas agroforestales con cultivos perennes no solamente se evidencia en cuencas de montaña, sino también en cuencas de topografía más plana, como lo evidencia, por ejemplo, la producción de cacao en el trópico húmedo de Costa Rica y Panamá (Somarriba *et al.*, 1996; Somarriba *et al.*, 1997) (acetato 8). El impulso que actualmente tienen actividades como la producción de café y cacao orgánico, para lo cual es fundamental la asociación con especies arbóreas, podrían convertir a este uso de la tierra en uno de los favoritos

para producir conservando y conservar produciendo en las cuencas hidrográficas.

BARRERAS VIVAS PARA CONSERVACIÓN DE SUELOS Y FORMACIÓN LENTA DE TERRAZAS (acetato 9)

Es una práctica común en cuencas que tienen desarrollo agrícola en zonas de ladera. Consiste en bandas de vegetación leñosa, con frecuencia especies fijadoras de nitrógeno que se establecen siguiendo curvas a nivel, perpendicular a la dirección de la pendiente. La densidad de siembra es muy alta, generalmente de 2 a 5 cm entre árboles, y se complementa con tejidos de ramas en la parte inferior para favorecer la retención de suelo que es arrastrado por el agua de escorrentía y promover la formación de las terrazas. En terrenos de pendientes muy fuertes, la barrera viva por sí sola no es suficiente para reducir la erosión por lo que se combina la barrera con obras físicas como las acequias de ladera. Las barreras permiten también la hidrorregulación, principalmente en las partes bajas de las cuencas, ya que los flujos irregulares de agua provenientes de la lluvia en las zonas altas de la cuenca son captados y retenidos por las barreras y difundidos luego lentamente. Con ello se logra también la recarga de los mantos acuíferos mediante la infiltración, se previenen avalanchas de agua y lodo y se reduce el transporte de sedimentos. En zonas como la Cuenca del Río Las Cañas en El Salvador y la Región Central y Pacífica de Nicaragua (acetato 10), las barreras vivas, asociadas a las prácticas de conservación de suelos, han sido de mucha aceptación por los agricultores.

ESTABILIZACIÓN DE CÁRCAVAS EN PARCELAS AGRÍCOLAS (acetato 11)

El avance de la erosión hídrica provoca que se vayan ampliando las pequeñas zanjas o surcos a causa del movimiento de las corrientes de la escorrentía hasta niveles que se forman grandes grietas que disectan profundamente el suelo, dando origen a lo que se conoce como cárcavas, las cuales tienen efectos perjudiciales no solo sobre la propia finca donde ocurren, sino sobre toda la cuenca, produciendo avalanchas, arrastre de sedimentos, destrucción de caminos, daños a la infraestructura, etc. (Sharma, 1993). La deliberada introducción de árboles y arbustos asociada a otras prácticas, puede ayudar a prevenir y controlar este problema, salvaguardando la parcela. Las especies arbóreas son utilizadas principalmente como barrera viva o dique dentro del canal de la cárcava y en los márgenes de la misma para proteger y estabilizar los taludes. Los diques con portes o estacones prendedizos se colocan en alineación vertical a lo ancho de la cárcava, dejando varios estacones más cortos en el centro, que sirven de vertedero. En las zonas de ladera de Nicaragua, por ejemplo, las especies vegetales más utilizadas para este fin son el madero negro o madreño (*Gliricida sepium*), el indio desnudo (*Bursera simarouba*), el chilamate (*Ficus* spp.), el izote (*Yucca elephantipes*) y la cinta (*Dracaena* spp). Los agricultores aprovechan la humedad en la cárcava y sus alrededores para sembrar cultivos y pastos que ayudan a estabilizar la cárcava (Meyrat, 1993) (acetato 12).

ESTABILIZACIÓN DE TALUDES PARA LA PROTECCIÓN DE LAS PARCELAS AGRÍCOLAS (acetato 13)

En zonas de relieve muy quebrado es frecuente la existencia de taludes en áreas adyacentes a las parcelas agrícolas, caminos, etc., los cuales pueden derrumbarse ocasionando perjuicios al productor y alterando la cuenca. La introducción de especies leñosas en los taludes permite su protección contra la erosión, evitando daños sobre las áreas agrícolas y favoreciendo la hidrorregulación en la cuenca debido a que favorecen la infiltración del agua, reducen la velocidad de los flujos superficiales y atrapan sedimentos erosionados. Generalmente se recomiendan especies arbustivas asociadas con plantas herbáceas o gramíneas.

ESTABILIZACIÓN DE RIBERAS DE RÍOS Y QUEBRADAS PARA LA PROTECCIÓN DE LAS PARCELAS AGRÍCOLAS (acetato 14)

El curso de los ríos o quebradas puede generar erosión en sus márgenes, problema común en muchas áreas de cultivo de zonas tropicales, donde han desaparecido los bosques de galería. Como consecuencia de este proceso, las parcelas agrícolas y la cuenca de manera integral se ve perjudicada. Para contrarrestar este efecto, se siembran las orillas de las corrientes de agua con vegetación leñosa que permite su estabilización, reduce la contaminación del agua, provee de hábitat a diferentes animales y puede además, ser fuente de diversos productos forestales y alimenticios. La eficiencia de esta práctica se optimiza cuando se establecen especies de diferentes portes que permiten una estructura multiestratificada (herbácea, ar-

bustiva, arbórea). Se considera que la zona de protección debe ser de al menos 15 m. El complejo de biomasa aérea y radical de los árboles y arbustos también limitan la erosión del suelo y la obstrucción de ríos y mejoran las características físicas, químicas y biológicas de las corrientes de agua, generando de esta manera beneficios múltiples sobre toda la cuenca. Especies como el sotacaballo, la bambú, el izote y gramíneas son utilizadas para ese fin.

ESTABILIZACIÓN DE CANALES, ACEQUIAS Y MUROS DE CONTENCIÓN (acetato 15)

Las orillas de los canales de drenaje, acequias, muros, etc. pueden ser erosionadas, desestabilizadas y destruidas por las corrientes de agua que escurren superficialmente. Estos efectos son más evidentes en obras orientadas en el sentido de la pendiente en terrenos quebrados y donde hay cambios de dirección del flujo de agua. En tales casos resulta de gran beneficio la introducción de especies leñosas, principalmente arbustivas, para mejorar la estabilidad de las obras físicas. Estas especies se siembran en las orillas de las obras, a cortas distancias (1 m), de manera haya traslape entre los sistemas radiculares de los arbustos.

CULTIVO EN CALLEJONES (acetato 16)

El follaje de algunas especies arbóreas, principalmente leguminosas, posee gran cantidad de nutrientes que pueden mejorar la fertilidad del suelo, además aportan materia orgánica que mejora las características físicas y biológicas del suelo. Esta propiedad es aprovechada para establecer

el sistema agroforestal llamado cultivo entre hileras o callejones (Jiménez *et al.*, 1998), en el cual especies agrícolas anuales como maíz, frijol, sorgo, etc., se siembran entre hileras de árboles, distanciadas entre 6 y 12 m. Estos árboles se podan al inicio del ciclo de los cultivos y la biomasa podada se incorpora al suelo; las hileras de árboles permiten formar terrazas naturales cuando se ubican en zonas de ladera (acetato 17). Esta es una práctica de gran importancia en el manejo y restauración de cuencas degradadas, en las cuales el suelo es el recurso base que más limita la producción.

CERCAS VIVAS (acetato 18)

Consiste de un cinturón de plantas leñosas de porte bajo. Los objetivos principales son la creación de condiciones microclimáticas confortables para los agricultores y favorables para la producción, la protección de los cultivos de los animales, delimitar áreas de manejo dentro de la finca, servir como barreras contra insectos y patógenos de los cultivos, y proteger las áreas de cultivo contra el viento y heladas (Otárola, 2000). Estas cercas vivas, además de constituir un mecanismo para reducir la presión sobre el bosque, sirven para la obtención de leña, producir postes, delimitar la propiedad, aportar materia orgánica, etc. Cuando las cercas vivas están constituidas de árboles forrajeros, la biomasa producida puede ser podada y utilizada en la alimentación de animales (acetato 19). Al igual que otras prácticas agroforestales, las cercas vivas reducen la presión sobre otros recursos de la cuenca, ayudando a su manejo, protección y rehabilitación.

CORTINAS ROMPEVIENTOS (acetato 20)

Es una práctica común dentro de las tecnologías de manejo de cuencas para protección de las mismas. Consiste en el establecimiento de barreras vivas en los campos de cultivo, en dirección perpendicular a los vientos dominantes (Faustino, 2000). Idealmente debe estar constituido por diferentes estratos con diferentes especies. Su función principal es la de disminuir o neutralizar el efecto perjudicial del viento sobre los cultivos y el suelo, pero tiene beneficios múltiples como son la regulación microclimática, la producción de madera, leña y otros productores forestales, dependiendo de las especies que se utilicen. Por ejemplo, parte de los logros del proyecto de cortinas rompevientos en la cuenca del Río Lagarto, Monte Verde, Costa Rica, se presentan en el acetato 21.

ÁRBOLES EN LINDEROS (acetato 22)

Los linderos consisten en la siembra de árboles en línea en los límites de las unidades de producción o fincas (Beer, 2000), plantados con objetivos múltiples: delimitación de la propiedad, aprovechamiento forestal (madera, postes, etc), alimentación animal y humana, ambiental (microclima más favorable, paisaje agradable, promoción de la biodiversidad, fijación de carbono, etc). Esta multiplicidad de posibles funciones, hacen de los linderos un sistema agroforestal de uso cada vez más frecuente en los programas de manejo y rehabilitación de cuencas hidrográficas. Por ejemplo, estudios realizados por el CATIE en la cuenca del Río Sixaola, Costa Rica (Lujan *et al.*, 1996) han mostrado excelente crecimiento de varias especies maderas.

bles (acetato 23) bajo esta forma de sistema agroforestal.

CORTINAS DE VEGETACIÓN CONTRA LAS HELADAS (acetato 24)

Es una práctica común en zonas de frío intenso y altitud elevada. Consiste en el establecimiento de cercos vivos de árboles en el perímetro de la parcela de cultivos, plantados a espaciamentos muy reducidos, de modo que se tenga un cinturón denso que reduzca el paso de heladas. Las heladas se forman generalmente como resultado del descenso de masas de aire frío (más pesado) por las laderas hacia la parte inferior del terreno, desplazando a su paso el aire caliente. El papel de estas cortinas es neutralizar el paso de ese aire frío hasta la zona de los cultivos y animales. Estos cercos pueden, además, ser fuente de otros materiales y productos arbóreos ya mencionados. Las especies forestales que se utilicen deben ser resistentes al frío y tener follaje denso. En la zona andina es común el uso de especies como quinal (*Polylepis incana*), colle (*Buddleja coriacea*) y chachacombo (*Escallonia resinosa*). Dado que las heladas generalmente están constituidas por flujos de aire cercanos al suelo, es deseable establecer arbustos pequeños para hacer más densa la barrera en la parte inferior.

PASTURAS ASOCIADAS CON ESPECIES LEÑOSAS (acetato 25)

Una de las principales causas de deterioro de las cuencas es el sobrepastoreo. Sus efectos se hacen sentir no solamente sobre la productividad y fertilidad del suelo sino también sobre producción ganadera, los recursos base de la cuenca y la misma población. La combinación de pasturas con

leñosas perennes puede ocurrir de forma natural o puede ser el resultado de la intervención del hombre, ya sea a través del manejo selectivo de árboles y arbustos o de la introducción de árboles en los potreros ya existentes. En algunos casos se prefieren especies leguminosas, en otras fincas se establecen grupos de árboles frondosos, altos de copas grandes y preferiblemente extendidas que proveen a los animales de condiciones favorables para refugiarse cuando las condiciones atmosféricas son desfavorables (viento, lluvia, mucha radiación, frío, etc.). Los beneficios principales de esta asociación son la producción pecuaria y forestal simultánea en la misma área, el mejoramiento de las condiciones microclimáticas que puede favorecer la reproducción y producción animal, mejoramiento del suelo y de la producción de forraje (acetato 26) así como un mejoramiento de indicadores biofísicos, socioeconómicos y ambientales de la cuenca.

ESPECIES LEÑOSAS COMO FUENTE DE FORRAJE PARA REDUCIR LA PRESIÓN SOBRE RECURSOS DE LAS CUENCAS (acetato 27)

Las sequías y otros fenómenos como las heladas pueden disminuir considerablemente la disponibilidad de forraje para los animales. Esta situación repercute directamente sobre los recursos de la cuenca y acelera los procesos degradativos en la misma. El forraje de ciertas especies leñosas como *Leucaena leucocephala*, *Erythrina berteroana*, *E. fusca*, *E. poeppigiana*, *Gliricidia sepium*, *Morus* spp. puede ser una fuente importante para suplir las necesidades de alimento y proteína de los animales en estas épocas críticas (acetato 28). Muchas de estas especies tienen mayor resistencia natural para resistir condi-

ciones desfavorables como el estrés hídrico. Este forraje puede provenir de cercas vivas o de bancos forrajeros que consiste de un sistema de cultivo en el cual las le-

ñosas perennes crecen en un bloque compacto y de alta densidad, con miras a maximizar la producción de fitomasa de alta calidad nutritiva.



Contribuciones de la agroforestería al manejo de cuencas hidrográficas

- Captación, almacenamiento y regulación de las corrientes o flujos de agua, reduciendo la incidencia y la magnitud de las inundaciones y los estiajes.
- Efecto esponja de la vegetación (cultivos y leñosas).
- Regulación del flujo hídrico subsuperficial.
- Recarga y mantenimiento del manto freático y las aguas subterráneas.
- Mejoramiento de la calidad de las aguas.
- Estabilización del flujo hídrico base y control de torrentes.
- Contribución a la estabilidad, formación y fertilidad de los suelos.
- Control de erosión, deslizamientos y arrastre en masas.



Contribuciones de la Agroforestería al manejo de cuencas hidrográficas

- Protección de infraestructuras civiles.
- Mejoramiento de la estabilidad de la cuenca y mantenimiento de su potencial productivo.
- Reducción de los factores de tensión o desestabilizadores asociados a la agricultura migratoria, ganadería intensiva, incendios forestales, deforestación y la cacería indebida.
- Mantenimiento de la calidad de la atmósfera, evitando la alteración en la composición o proporción de sus gases (vertical y horizontalmente).
- Regulación de la temperatura ambiental, evitando los extremos de máximas y mínimas capaces de afectar el desarrollo normal de los organismos.
- Regulación de vientos locales, lo que ayuda a mantener la estabilidad y la dinámica de los ecosistemas.
- Mantenimiento de la diversidad genética, esencial para el desarrollo de la agricultura, la industria y la medicina.



Posibilidades de la agroforestería en cuencas con riesgos ambientales asociados al incremento de la producción vegetal

Riesgos ambientales	Posibilidades de la agroforestería
<ul style="list-style-type: none"> • Desertificación y modificaciones del clima (evapotranspiración, albedo, temperatura, etc). • Riesgos para la fauna, por eliminación de sitios pantanosos que sirven para la reproducción de peces o descanso de aves migratorias. • Salinización de suelos por evaporación muy rápida o por utilización de aguas saladas o alcalinas. • Desarrollo de ciertas enfermedades de humanos y de animales, debido al agua o a vectores. 	<ul style="list-style-type: none"> • Leñosas de uso múltiple asociadas a pasturas o cultivos en diferentes arreglos espaciales y cronológicos. • Los grupos de árboles bien distribuidos y aún leñosas aisladas, pueden servir de abrigo a la caza irracional. • Utilización de leñosas que "bombean" la sal (ej. <i>Tamarix senegalensis</i>) y de leñosas halófitas (principalmente para forraje y combustible). • Multiplicación de leñosas utilizadas por los nativos contra esas enfermedades o vectores.

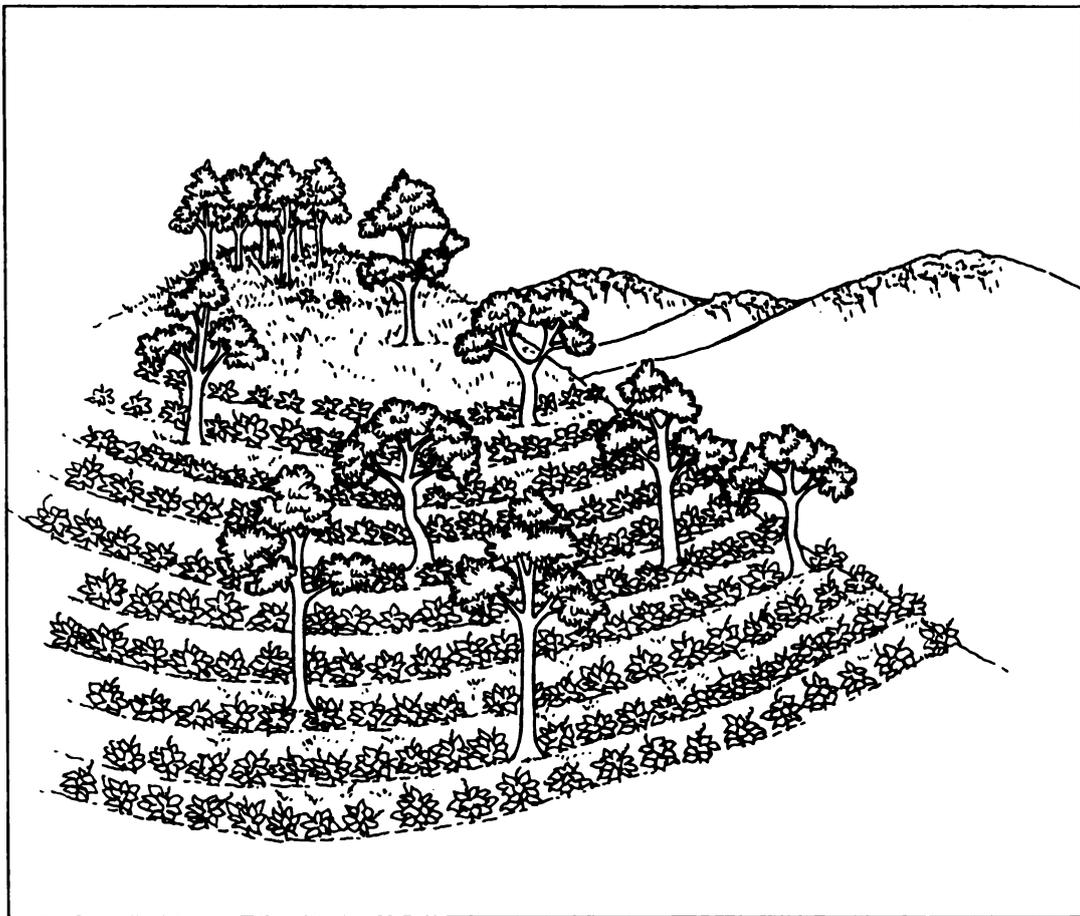


Posibilidades de la agroforestería en cuencas con riesgos ambientales asociados al incremento de la producción vegetal

Riesgos ambientales	Posibilidades de la agroforestería
<ul style="list-style-type: none"> • Riesgo de erosión del suelo. • Peligro de pérdida de potencial genético a causa del monocultivo o por la destrucción de biotipos. • Riesgos de contaminación de aguas, de acidificación, alcalinización o toxicidad por fertilizantes. • Riesgos de acumulación de pesticidas en el suelo, el agua, en las plantas y en los alimentos. • Riesgo de contaminación del suelo y del agua por desechos. • Peligro de desaparición de especies y biotopos. 	<ul style="list-style-type: none"> • Plantación de leñosas (ej. barreras vivas). • Utilización de mezclas de especies (cuando sea posible). • Utilización de leñosas fijadoras de nitrógeno u leñosas que permitan purificar el agua. • Utilización de leñosas con propiedades insecticidas, combinación de especies y especies trampa. • La agroforestería favorece el compostaje de desechos orgánicos. • Utilización de especies en peligro, en las combinaciones de especies.



**El cultivo mixto de especies arbóreas y agrícolas:
una opción agroforestal que utilizan muchos agricultores
y que ayudan al manejo sostenible de las cuencas**





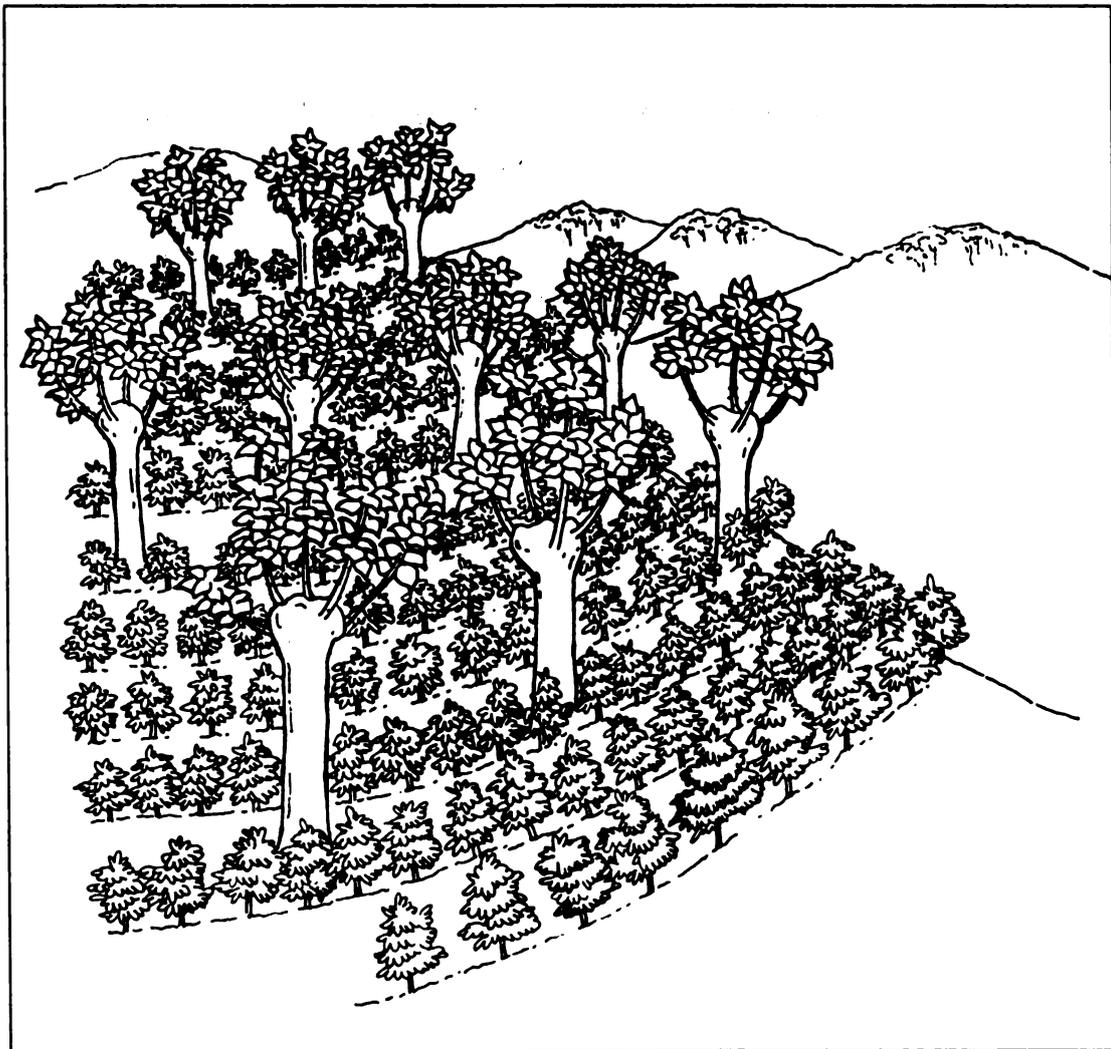
**Densidad de árboles maderables en fincas indígenas Ngöbe,
cuenca del Río Changuinola, Panamá**

Uso de la Tierra	No. fincas (n=30)	Densidad de árboles (árboles ha⁻¹)
Cacao	29	33
Cultivos anuales	16	23
Musáceas	10	20
Potrero (pastizales)	18	35
Huerto casero	16	5

Fuente: Pastrana et al., 1999.



**Los sistemas agroforestales con cultivos perennes como café
representan una opción tecnológica para el manejo,
rehabilitación y la protección de las cuencas**





Crecimiento y producción de madera y cacao en sistemas agroforestales en la cuenca del Río Changuinola, Panamá

Especie	Densidad (árboles ha⁻¹)	Altura (m)	Diámetro copa (m)	Volumen (m³/ha)	Producción cacao seco** (kg ha⁻¹ año⁻¹)	DAP (cm)
<i>Cordia alliodora</i>	179	19.1	6.0	80	762	25.4
<i>Terminalia ivorensis</i>	170	19.7	8.6	91	726	27.5
<i>Tabebuia rosea</i>	177	12.3	7.2	40	863	22.7
<i>Inga spp.</i>	158	*	*	*	772	20.2

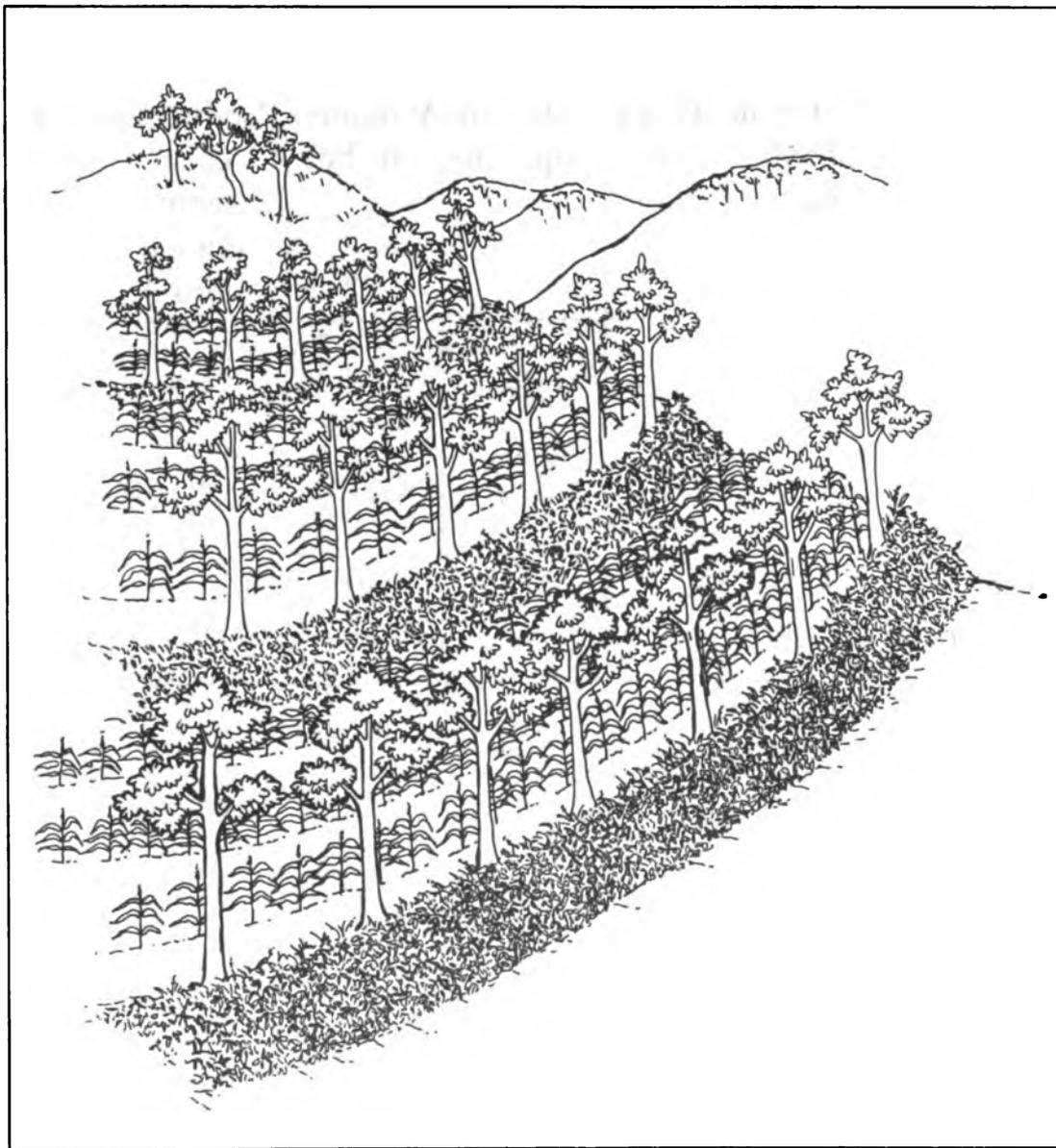
*Se podó.

** Promedio de los ciclos 92-93, 93-94, 94-95.

Fuente: Somarriba et al., 1996.



Las barreras vivas con especies leñosas ayudan en la conservación del suelo y el mantenimiento de su fertilidad, objetivos fundamentales en el manejo de cuencas





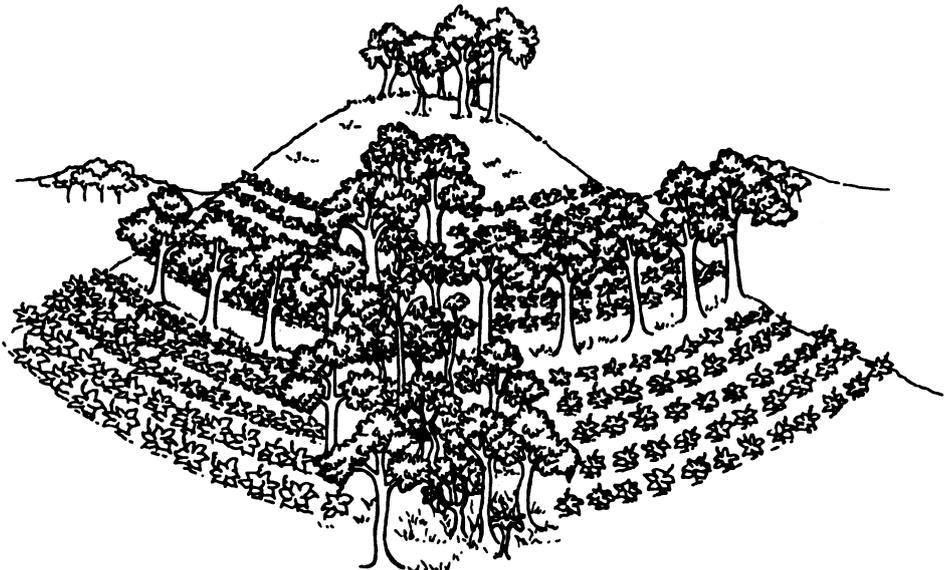
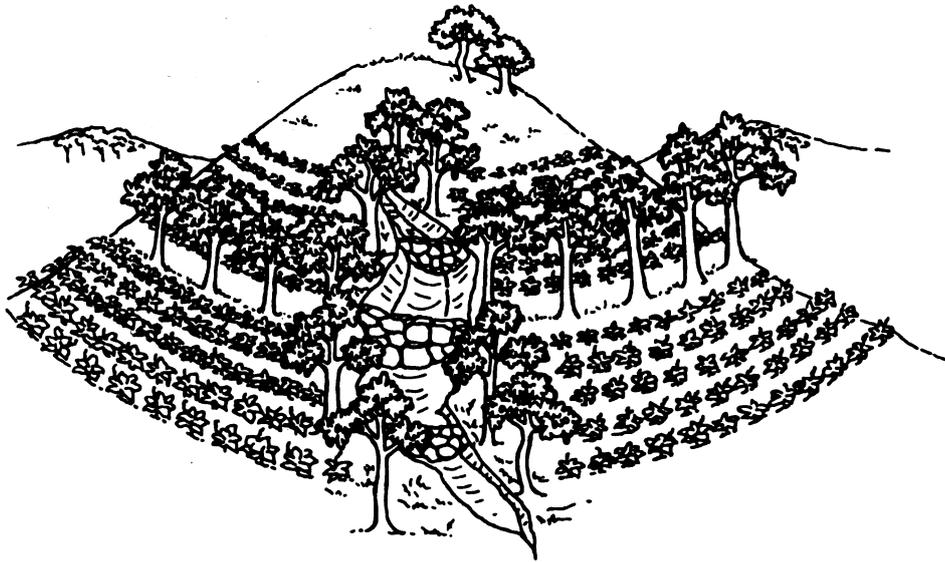
Barreras vivas para conservación de suelos y aguas en zonas de ladera de Nicaragua

- Se plantan especies leñosas y gramíneas perennes en curvas a nivel para la formación paulatina de terrazas o hileras paralelas a las obras de conservación para reforzarlas y protegerlas.
- Se utilizan principalmente gandúl, madero negro, leucaena (leñosas) y caña de azúcar, vetiver, pasto Taiwan (gramíneas).
- Han resultado exitosas en diferentes condiciones edáficas y climáticas de la Región Central y Pacífico de Nicaragua.
- La barrera viva combinada con labranza en curvas a nivel disminuyó la erosión en 75% comparada con labranza en sentido de la pendiente.
- Las especies leñosas las utilizan además para leña, para abono verde y postes.

Fuente: Meyrat, 1993



Las especies arbóreas pueden ser utilizadas en los campos agrícolas o fincas ganaderas para estabilizar cárcavas y evitar así, la degradación de la cuenca





Agroforestería para control y rehabilitación de cárcavas en zonas de ladera en Nicaragua

- Se construyen diques dentro de las cárcavas con postes prendedizos de madero negro, jiñocuabo, chilamate, izote y cinta o caña india.
- La construcción de los diques inicia en la cabecera de las cárcavas para disipar la energía y velocidad de los torrentes de agua.
- Los estacones se colocan a lo ancho de la cárcava, dejando los más cortos en el centro para que sirvan de vertedero.
- Los productores prefieren diques con estacones prendedizos, porque al enraizar son más duraderos y hay más fijación del suelo.
- Los productores aprovechan la humedad cerca de las cárcavas para cultivar plátano, caña de azúcar, pastos para ayudar a rellenar la cárcava.

Fuente: Meyrat, 1993.

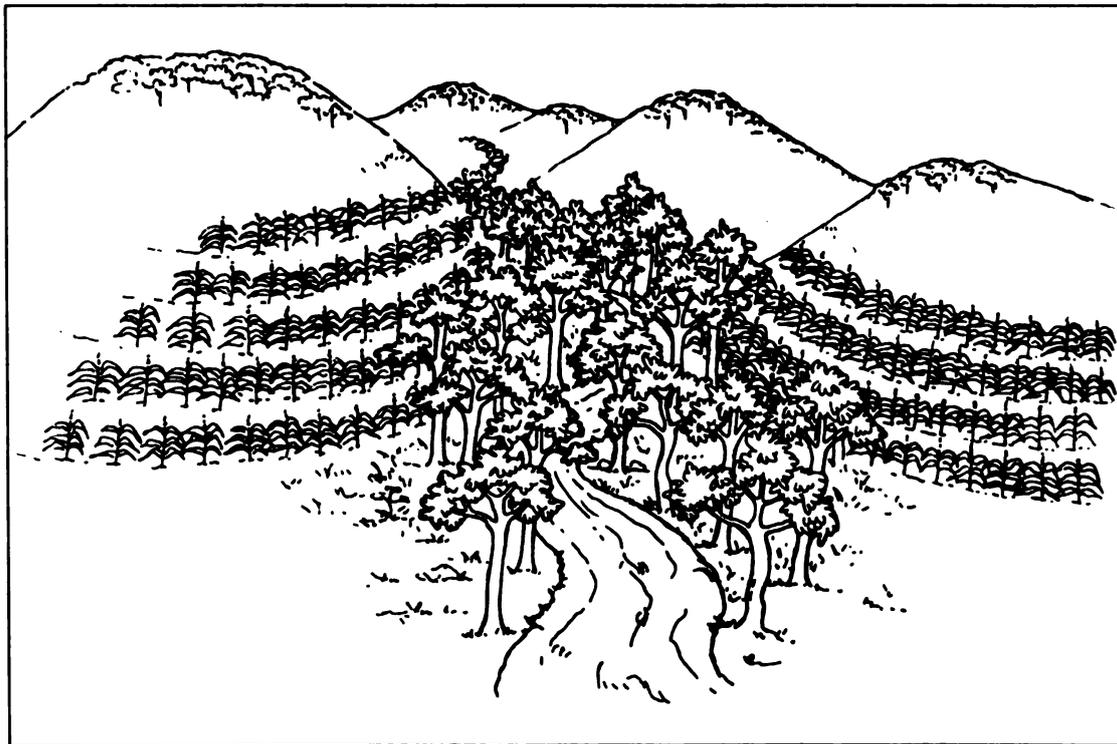


La estabilización de taludes en las parcelas agrícolas mediante el uso de especies leñosas evitan los derrumbes y favorecen la hidrorregulación de las cuencas



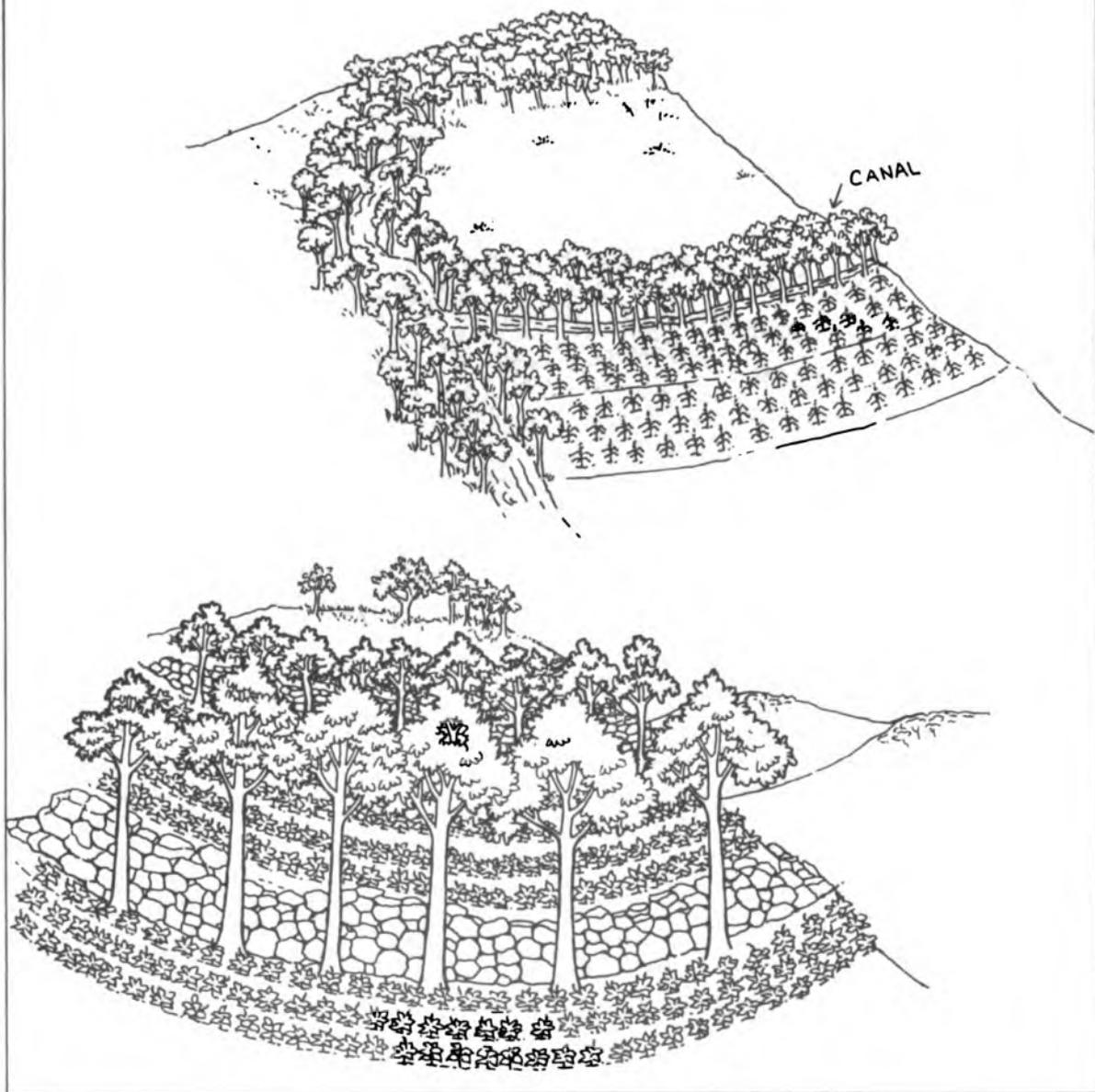


**La estabilización y protección de las riberas de ríos y quebradas
evitan daños a las parcelas agrícolas y a las cuencas**



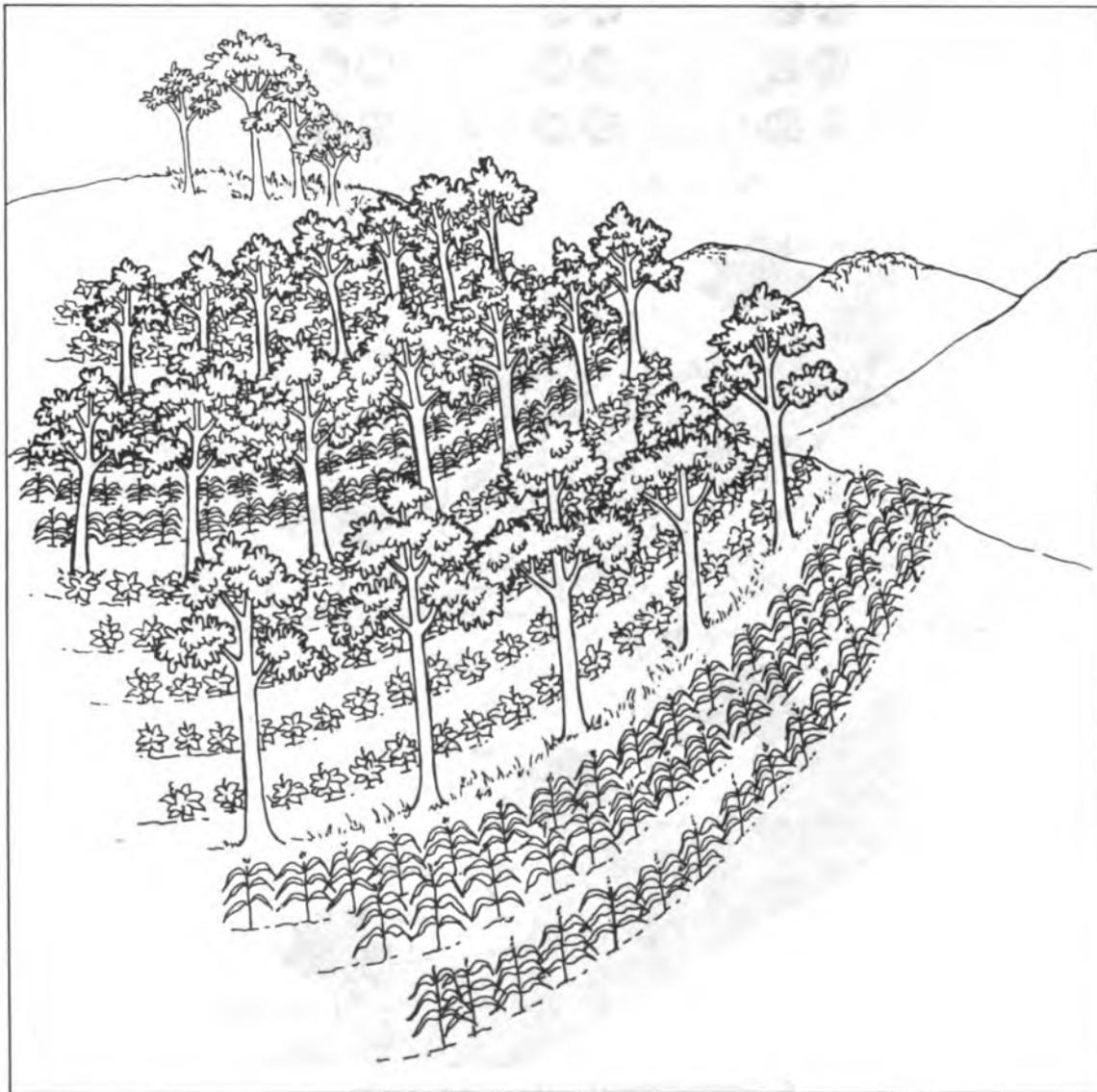


Las especies leñosas contribuyen al manejo de cuencas mediante la estabilización de los bordes de los canales y acequias (A), así como de muros y barreras de contención (B) dentro de parcelas agrícolas



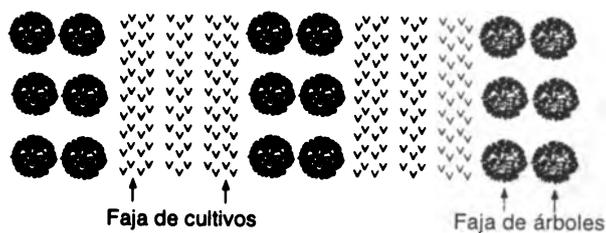


El cultivo en callejones es una práctica de gran importancia en el manejo y restauración de cuencas degradadas, en las cuales el suelo es el recurso base que más limita la producción





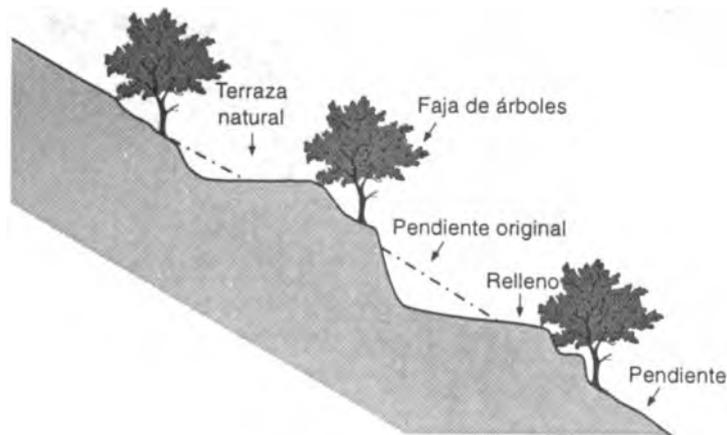
El cultivo en callejones ayuda en la lucha contra la desertificación mediante la conservación del suelo (formación de terrazas naturales)



A. Arreglo horizontal



B. Arreglo vertical

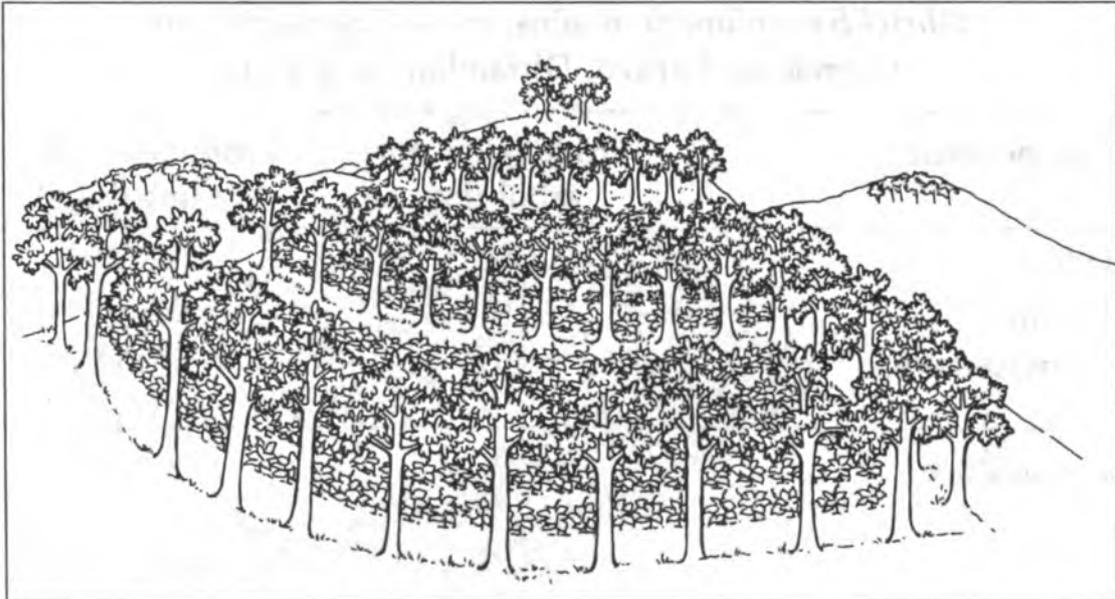


C. Terrazas formadas con ayuda de los árboles

Fuente: Vergara 1982, en Dover y Talbot, 1987).



Las cercas vivas de especies arbóreas constituyen una opción agroforestal para la protección de los cultivos y el manejo sostenible de las cuencas hidrográficas



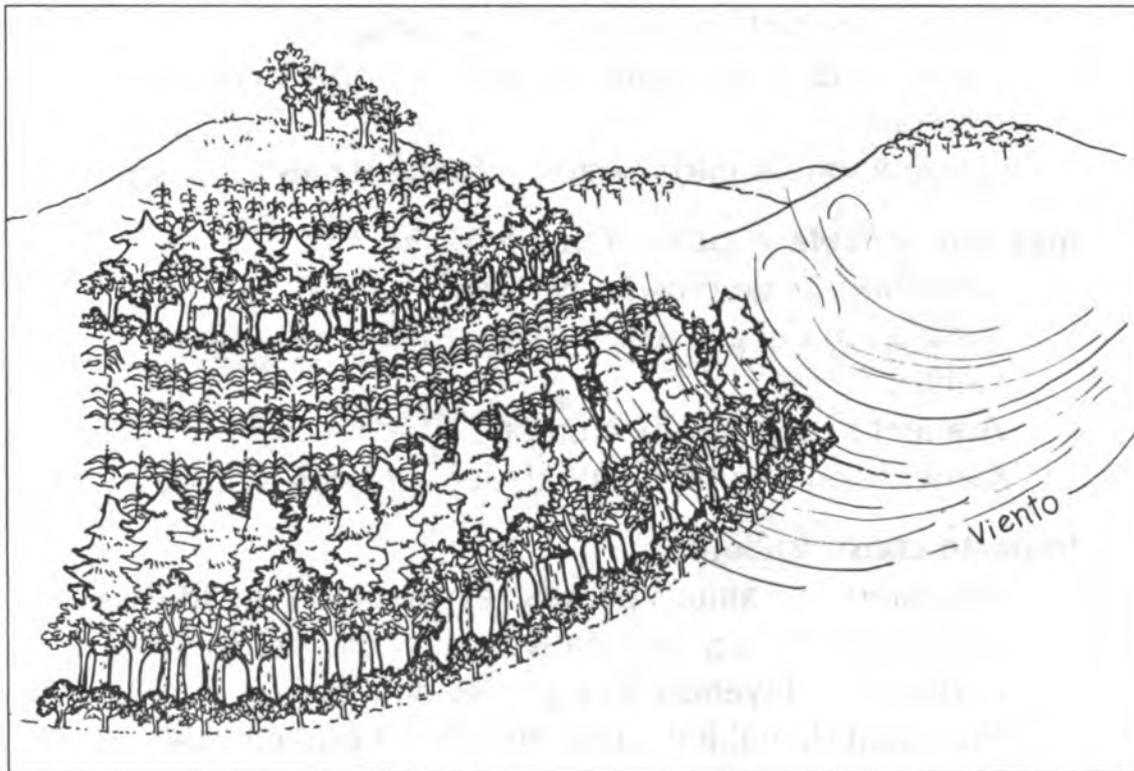


**Producción de biomasa aérea fresca de una cerca viva de
Gliricidia sepium de 6 años, en la Cuenca del río
Grande de Carazo, Diriamba, Nicaragua**

Componente	Producción por árbol (kg)	Producción por km lineal (kg)
Leña	21	21000
Forraje	9	9000
Biomasa aérea	30	30000

Fuente: Otárola, 2000

La utilización de cortinas rompevientos, dispuestas en la dirección predominante de los vientos más fuertes constituye una opción agroforestal común y valiosa en la protección de las parcelas agrícolas y el manejo integrado de las cuencas





Impactos del proyecto cortinas rompevientos en Monteverde, Cuenca del Río Lagarto, Costa Rica

Logros del proyecto:

- Más de 1000 cortinas rompevientos establecidas en 6 años, en 260 fincas, en 13 comunidades.
- Creación de una cultura de reforestación y comités forestales.
- Generación de información sobre especies y nativas.

Impacto agrícola y socioeconómico

- Disminución de erosión del suelo.
- Protección del ganado, pastos y cultivos contra el viento.
- Aumento en la producción de leche.
- Generación de una fuente de leña, postes y madera.

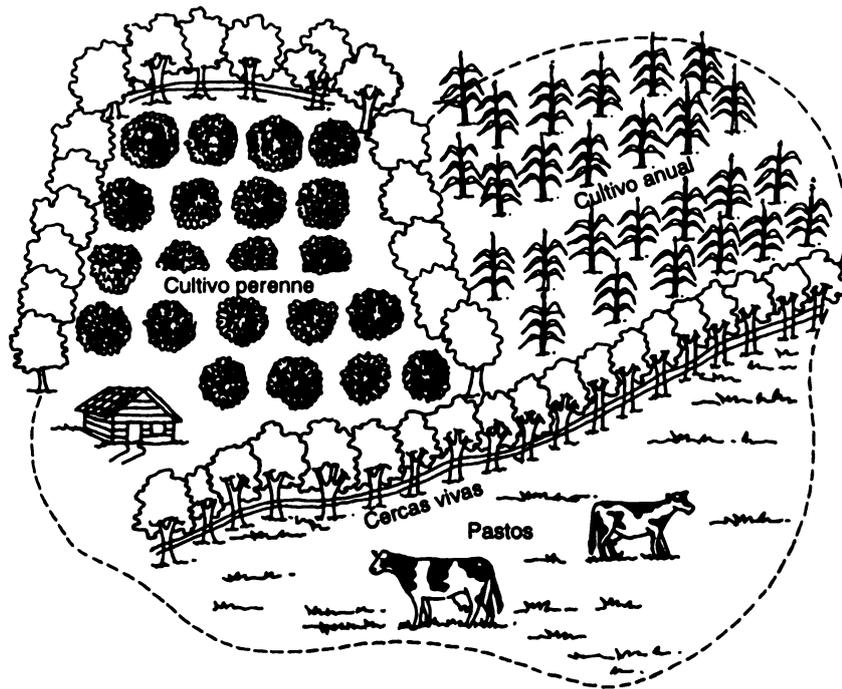
Impacto conservacionista

- Provisión de hábitats para la regeneración de árboles nativos (>214 especies nativas han colonizado las cortinas, incluyendo 90 especies de árboles).
- Provisión de hábitats para más de 50 especies de aves, incluyendo especies migratorias.
- Funcionan como corredores biológicos.
- Reforestación del paisaje deforestado.

Fuente: Varela y Harvey, 2000



La multiplicidad de posibles funciones (producción, protección, alimentación, delimitación, etc.) hacen de los linderos un sistema agroforestal de uso cada vez más frecuente en los planes y programas de rehabilitación y manejo de cuencas hidrográficas



Adaptado de: González, J.L. y Camacho, A. (1995).



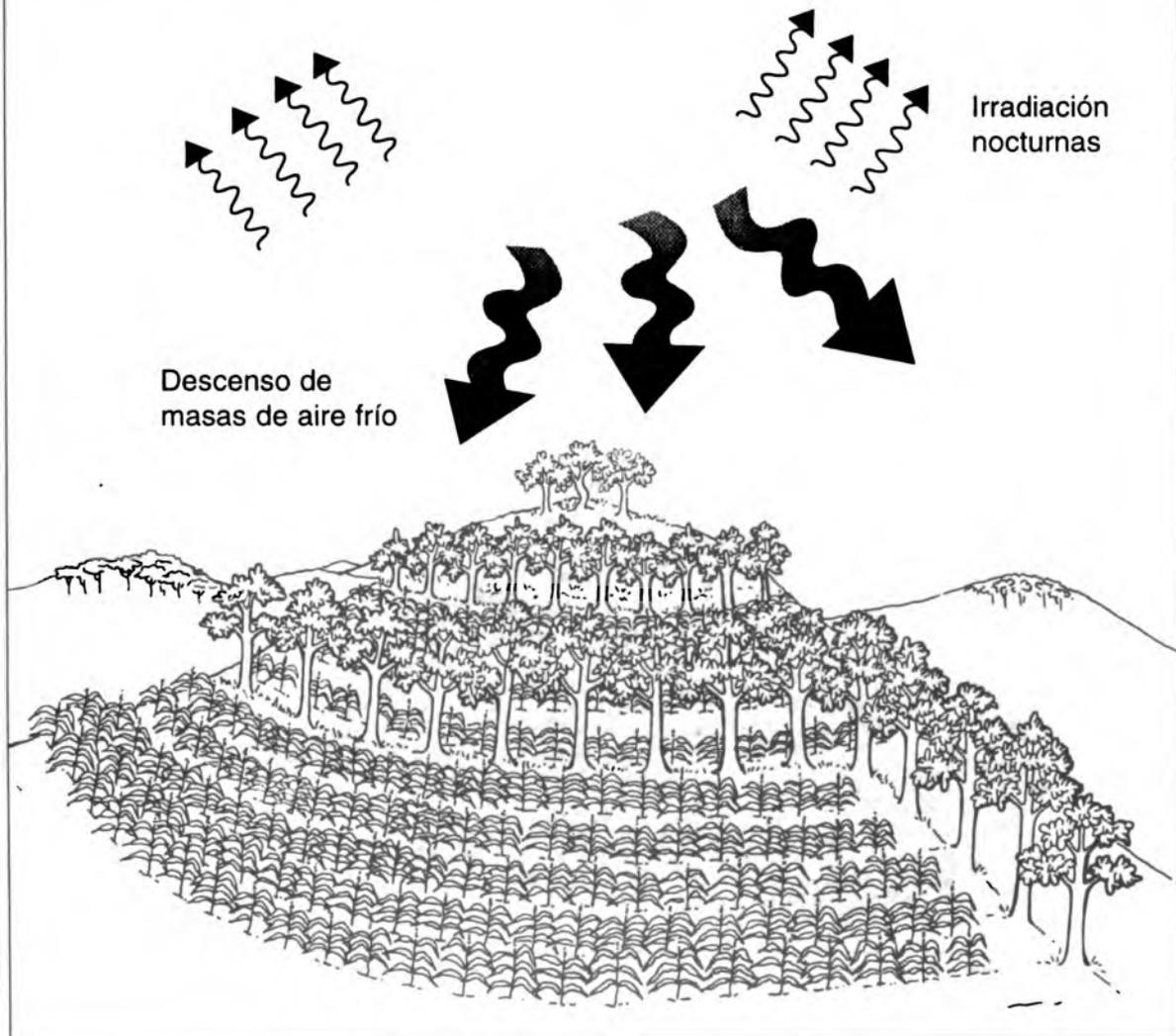
Crecimiento promedio de tres especies maderables, a los seis años, en sistemas agroforestales en linderos, en la cuenca del Río Sixaola, Costa Rica

Especie	Altura (m)	DAP (cm)	Diámetro copa (m)	Volumen (m³/km)
<i>Cordia alliodora</i>	16.7	24.8	7.1	75
<i>Eucalyptus deglupta</i>	26.7	28.8	10.5	160
<i>Terminalia ivorensis</i>	22.0	28.2	11.1	131

Fuente: Luján et al., 1996.



En las zonas de frío intenso y elevada altitud, las cortinas de especies leñosas alrededor de las parcelas de cultivos reducen los riesgos de las heladas y favorecen el manejo integral de la cuenca





La combinación de pasturas con leñosas perennes ayuda a regular el microclima, a mejorar el suelo y se crea una base para revertir la condición de degradación de algunas áreas y un mejoramiento de indicadores biofísicos, socioeconómicos y ambientales de la cuenca

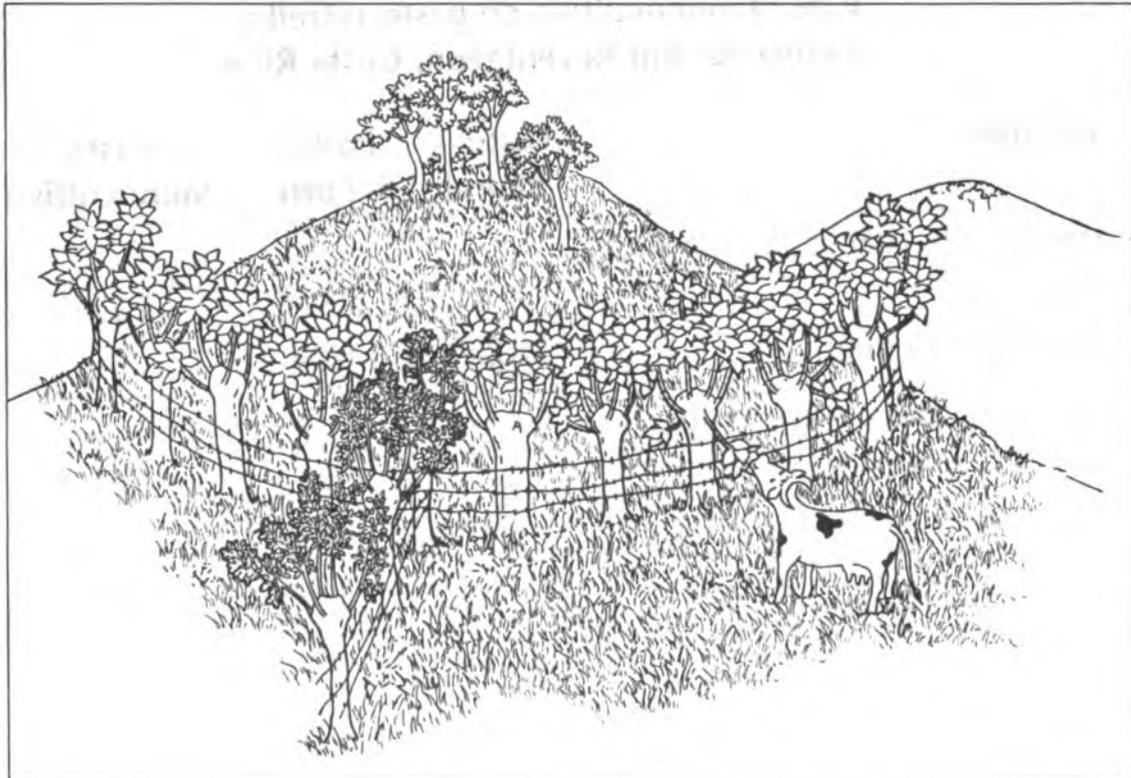


<p align="center">Producción de fitomasa herbácea y su calidad nutritiva en los sistemas asociados de pasto estrella (<i>Cynodon nlemfuensis</i>) con poró (<i>Erythrina poeppigiana</i>) o laurel (<i>Cordia alliodora</i>) y en el monocultivo de pasto estrella, cuenca del Río Reventazón, Costa Rica</p>			
Variable	Pasto + Laurel	Pasto + Poró	Pasto Monocultivo
Fitomasa herbácea (kg MS ha ⁻¹)			
Gramínea	4087	9311	2632
Maleza hoja ancha	1003	1090	---
Calidad nutritiva del pasto			
Proteína cruda (%)	6.4	9.5	6.1
Digestibilidad (%)	47.3	46.9	45.1

Fuente: Bronstein, 1984.



Las especies leñosas pueden ser fuente de forraje para los animales, principalmente en épocas de sequía, reduciendo el sobrepastoreo, la degradación del suelo y otros procesos degradativos que afectan los recursos de la cuenca





Calidad de la dieta y consumo de forraje de <i>Gliricidia sepium</i> y <i>Erythrina poeppigiana</i> por cabras		
Parámetros	<i>Gliricidia sepium</i>	<i>Erythrina poeppigiana</i>
Consumo de MS (kg animal ⁻¹ día ⁻¹)	1.7	1.2
MS de biomasa (%)	32.1	19.8
PC de biomasa (%)	18.4	30.5
DIVMS biomasa (%)	51.2	45.3
MS = materia seca, PC = proteína cruda DIVMS = digestibilidad <i>in vitro</i> de MS.		

Fuente: Rodríguez et al., 1987.

LITERATURA CITADA

- Beer, J. 2000. Linderos maderables. *In: Méndez, V.E.; Beer, J.; Faustino, J.; Otárola, A. Plantación de árboles en línea. Módulo de Enseñanza Agroforestal No. 1. 2ª ed. Turrialba, Costa Rica, CATIE. p. 69-100.*
- Bronstein, G. 1984. Producción comparada de una pastura de *Cynodon nlemfuensis* asociada con árboles de *Cordia alliodora*, con árboles de *Erythrina poeppigiana* y sin árboles. Turrialba, Costa Rica, Tesis Mag. Sc., CATIE. 121 p.
- Dover, M.; Talbot, L.M. 1987. To feed the Earth: agroecology for sustainable development. Washington, World Resources Institute. 88 p.
- Faustino, J. 2000. *In: Méndez, V.E.; Beer, J.; Faustino, J.; Otárola, A. Plantación de árboles en línea. Módulo de Enseñanza Agroforestal No. 1, 2ª ed. Turrialba, Costa Rica, CATIE. p. 23-68.*
- González, J.L.; Camacho, A. 1995. Linderos maderables. Turrialba, Costa Rica, CATIE. Serie Materiales de Enseñanza No. 31. 28 p.
- Jiménez, J.; Kass, D.; Jiménez, F. 1998. El cultivo en callejones. *In: Jiménez, F.; Vargas, A. (eds.) Sistemas Agroforestales: apuntes de clase del curso corto. Turrialba, Costa Rica, CATIE. Manual Técnico No. 32. 257-277.*
- Lujan, R.; Beer, J.; Kapp, G. 1996. Manejo y crecimiento de linderos de tres especies maderables en el valle de Sixaola, Talamanca, Costa Rica.
- Meyrat, A. 1993. Inventario de técnicas de conservación de suelo y agua en laderas en Nicaragua. León, Nicaragua. Informe de consultoría para PASOLAC. 20 p.
- Otárola, A. 2000. Cercas vivas. *In: Méndez, V.E.; Beer, J.; Faustino, J.; Otárola, A. Plantación de árboles en línea. Módulo de Enseñanza Agroforestal No. 1, 2ª ed. Turrialba, Costa Rica, CATIE. p. 101-134.*
- Pastrana, A.; Lok, R.; Ibrahim, M.; Viquez, E. 1999. El componente arbóreo en sistemas agroforestales tradicionales de los indígenas Ngöbe, La Gloria, Changuinola, Panamá. *Agroforestería en las Américas* 6 (23): 69-71.
- Rodríguez, Z.; Benavides, J.E.; Chaves, C.; Sánchez, 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*). *In: Withington, D.; Glover, N. Brewbaker, J.L. eds. Gliricidia sepium: management and improvement. Honolulu, Hawaii, NFTA. p. 212-216.*
- Sharma, P. 1993. Prevención y control de carcasas a nivel de finca por medio de métodos vegetativos y estructuras temporales en Honduras Tropical. Turrialba, Costa Rica, CATIE. 20 p.
- Somarriba, E.; Domínguez, L.; Lucas, C. 1996. Cacao bajo sombra de maderables en ojo de agua, Changuinola, Panamá: manejo, crecimiento y producción de cacao y madera. Turrialba, Costa Rica, CATIE. Informe Técnico No. 276. 47 p.
- Somarriba, E.; Meléndez, L.; Campos, W.; Lucas, C.; Luján, R. 1997. Cacao bajo sombra de leguminosas en Talamanca, Costa Rica. Turrialba, Costa Rica, CATIE. Proyecto Agroforestal CATIE/GTZ. Serie Generación y Transferencia de Tecnología No. 22. 52 p.
- Varela, O.; Harvey, C. 2000. Estudio de caso: cortinas rompevientos en Monteverde, Costa Rica. *In: Méndez, V.E.; Beer, J.; Faustino, J.; Otárola, A. Plantación de árboles en línea. Módulo de Enseñanza Agroforestal No. 1, 2ª ed. Turrialba, Costa Rica, CATIE. 115 p.*