

Serie Materiales de Enseñanza No. 46



Colección Módulos de Enseñanza Agroforestal
Módulo No. 6

FUNCIONES Y APLICACIONES DE SISTEMAS AGROFORESTALES

✓
Francisco Jiménez
Reinhold Muschler
Edgar Köpsell
(Editores)

Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza CATIE
Proyecto Agroforestal CATIE/GTZ
Turrialba, Costa Rica
2001

CONTENIDO

Presentación	v
Prefacio	vii
Introducción a la Colección de Módulos de Enseñanza Agroforestal	ix
Guía del Módulo Introducción a los Sistemas Agroforestales	xi
Objetivos del Módulo Introducción a los Sistemas Agroforestales	xiii
Tema 1: Introducción a la Agroforestería	1
Definición y atributos de la agroforestería.....	1
Funciones, ventajas y limitaciones de la agroforestería.....	2
Clasificación de los sistemas agroforestales.....	4
1. Sistemas agrosilviculturales (cultivos + especies leñosas).....	4
2. Sistemas silvopastoriles (especies leñosas + pasturas/animales).....	6
3. Sistemas especiales (silventomología y silvoacuicultura).....	7
Acetatos.....	8
Literatura citada.....	23
Tema 2: Agroforestería y Recursos Naturales	25
Situación actual de los recursos naturales.....	25
Potencial de la agroforestería en el manejo y conservación de los recursos naturales.....	27
Agroforestería para manejo y conservación de la vegetación.....	28
Agroforestería para manejo y conservación del suelo.....	29
Agroforestería para manejo y conservación del agua.....	29
Agroforestería en el manejo y conservación de la biodiversidad.....	30
Acetatos.....	31
Literatura citada.....	44
Tema 3: Agroforestería y Agricultura Sostenible: Bases Ecológicas y Limitantes	47
Introducción.....	47
¿Cómo y dónde funcionan los SAF?.....	48
Limitantes para el éxito de SAF.....	49
Perspectivas para los SAF.....	50
Acetatos.....	52
Literatura citada.....	57
Tema 4: Agroforestería en el Manejo de Cuencas Hidrográficas	59
Agroforestería para el manejo de cuencas hidrográficas.....	59
Sistemas agroforestales para el manejo de cuencas hidrográficas.....	59
El cultivo mixto de especies arbóreas y agrícolas.....	60
Sistemas agroforestales con cultivos perennes.....	60
Barreras vivas para conservación de suelos y formación lenta de terrazas.....	61
Estabilización de cárcavas en parcelas agrícolas.....	61
Estabilización de taludes para la protección de las parcelas agrícolas.....	62
Estabilización de riberas de ríos y quebradas de las parcelas agrícolas.....	62
Estabilización de canales, acequias y muros de contención.....	62
Cultivo en callejones.....	62
Cercas vivas.....	63
Cortinas rompevientos.....	63
Árboles en linderos.....	63
Cortinas de vegetación contra las heladas.....	64
Pasturas asociadas con especies leñosas.....	64
Especies leñosas como fuente de forraje para reducir la presión sobre recursos de las cuencas.....	64
Acetatos.....	66
Literatura citada.....	94

Tema 5: Agroforestería y Biodiversidad	95
¿Qué es la biodiversidad?	95
¿Por qué conservar la biodiversidad?	95
Estrategias para conservar la biodiversidad	96
Biodiversidad en sistemas agroforestales	97
Estudios de caso sobre biodiversidad en sistemas agroforestales	98
Estudio de caso 1:	
Biodiversidad en plantaciones de café con sombra	99
Estudio de caso 2: Biodiversidad en agrobosques	102
Estudio de caso 3:	
Biodiversidad en barreras y cortinas rompevientos	103
Estudio de caso 4:	
Árboles dispersos en pastizales y la biodiversidad	105
Estudio de caso 5: Huertos caseros y biodiversidad	107
Diseño y manejo de sistemas agroforestales para incrementar la biodiversidad	108
¿Son compatibles el diseño y manejo de los sistemas agroforestales para la conservación de la biodiversidad con los objetivos de productividad?	110
Conclusiones	111
Acetatos	113
Literatura citada	136
Tema 6: Agroforestería, Zonas de Amortiguamiento y Áreas Protegidas	139
Introducción	139
Agroforestería, zonas de amortiguamiento y áreas protegidas	140
Ejemplos de implementación de prácticas agroforestales en zonas de amortiguamiento	141
Conclusiones	142
Acetatos	144
Literatura citada	154
Tema 7: Agroforestería y Desertificación	157
Concepto e importancia	157
Causas, mecanismos y consecuencias de la desertificación	157
El papel de la agroforestería en la lucha contra la desertificación	158
Función productiva	158
Función organizadora	158
Función climática	159
Función modificadora del suelo	159
Utilización de la agroforestería en el combate de la desertificación en algunas partes del mundo	159
América Latina	159
El Sahel	160
Norte de África	160
Cercano Oriente	161
Asia y el Pacífico	161
Algunos ejemplos de sistemas agroforestales utilizados en la lucha contra la desertificación en el Sahel	162
Sistema agrosilvopastoril utilizando <i>Faidherbia albida</i>	162
Combinación de <i>Acacia senegal</i> con pastoreo semi-nómada	163
Agroforestería combinado <i>Acacia Senegal</i> con agricultura de cecano	163
Acetatos	164
Literatura citada	187



PRESENTACIÓN

La degradación de los recursos naturales, base de los sistemas de producción agropecuaria y forestal, se ha convertido en una problemática prioritaria en América Latina desde la década de los ochenta. Parte del quehacer del CATIE para enfrentar y solucionar dicha problemática, ha sido el diseño, la evaluación y la diseminación de sistemas mejorados de producción agrícola y forestal.

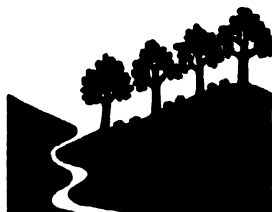
Entre estas opciones destaca la investigación, la transferencia de tecnología, la capacitación y la enseñanza sobre sistemas agroforestales, un área en la cual el CATIE ha logrado acumular una amplia experiencia y liderazgo regional durante más de cinco décadas. Con el fin de diseminar y proyectar las tecnologías y los conocimientos agroforestales generados en el CATIE, nos complace poner a su disposición la Colección de Módulos de Enseñanza Agroforestal, la cual es el resultado de un gran esfuerzo conjunto por parte del personal del Proyecto Agroforestal CATIE/GTZ y el Área de Cuencas y Sistemas Agroforestales (ACSAF) de nuestra Institución.

La colección ha sido desarrollada con el fin de responder a la sentida necesidad regional de contar con material didáctico de alta calidad sobre sistemas agroforestales. Se espera que los módulos sean herramientas útiles para la capacitación y enseñanza de docentes y estudiantes, en las universidades y escuelas técnicas latinoamericanas, así como de técnicos de instituciones gubernamentales y organizaciones no gubernamentales comprometidos con el desarrollo regional, el combate de la pobreza, la seguridad alimentaria y la conservación del ambiente y de los recursos naturales.

La formación de recursos humanos que tengan un impacto directo y duradero en sus países es una acción prioritaria del CATIE. En este contexto, se espera que la Colección sea una herramienta importante para lograr un mejor entendimiento y por ende, un uso más frecuente de la agroforestería por parte de capacitadores, docentes, estudiantes y técnicos de proyectos de desarrollo.

A largo plazo, la Colección de Módulos de Enseñanza Agroforestal pretende lograr una mayor adopción de los sistemas agroforestales en América Latina como opción sostenibles de producción sostenible agropecuaria y forestal. Dicha estrategia representa un ejemplo más de la visión del CATIE de "Producir conservando y conservar produciendo".

Pedro Ferreira
Director General



PREFACIO

El Proyecto Agroforestal CATIE/GTZ, gracias a la cooperación técnica Alemana, a través de la "Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit" (GTZ) GmbH, ha trabajado en investigación y enseñanza agroforestal en América Central por más de una década. En su fase actual, el Proyecto se enfoca hacia la disseminación y transferencia del conocimiento agroforestal generado durante estos años. Para cumplir con ese objetivo, se creó la Colección de Módulos de Enseñanza Agroforestal, con la cual se busca promover ampliamente la enseñanza de esta disciplina en América Latina.

La elaboración de los Módulos Agroforestales surge de la gran demanda en la región por materiales de alta calidad para la capacitación y la enseñanza de la temática. Como respuesta a esta necesidad, el personal del Proyecto Agroforestal CATIE/GTZ asumió la responsabilidad de coordinar la producción de la Colección, en coordinación con el Área de Cuencas y Sistemas Agroforestales (ACSAF) del CATIE. Los autores de los diferentes Módulos de la Colección son, principalmente, personal del Proyecto Agroforestal CATIE/GTZ y profesores/investigadores del ACSAF. Además se incluyen contribuciones de otros reconocidos expertos regionales en el área agroforestal.

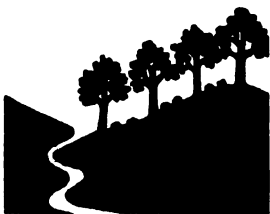
Esperamos que los capacitadores, instructores, docentes, técnicos y estudiantes hagan uso de este material de enseñanza-aprendizaje y nos dejen saber su opinión, comentarios y críticas constructivas. Con este proceso de retroalimentación esperamos incorporar las experiencias de los usuarios en las ediciones futuras.

Nos complace poner esta primera edición del módulo "Funciones y aplicaciones de la agroforestería" a la disposición de quienes trabajan en el manejo de los recursos naturales. Esperamos que su utilización redunde en una mayor conciencia y en una amplia disseminación de la importancia y utilidad de los sistemas agroforestales en el manejo sostenible de los recursos naturales del trópico americano.

Turrialba, Costa Rica, mayo del 2001

Dr. Reinhold Muschler
Líder, Proyecto Agroforestal CATIE/GTZ
Jefe, Área de Agricultura Ecológica
CATIE

Dr. John Beer
Jefe, Área de Cuencas y
Sistemas Agroforestales,
CATIE



Introducción a la Colección de Módulos de Enseñanza Agroforestal

OBJETIVOS

- Contribuir a la difusión de sistemas, tecnologías, metodologías y herramientas agroforestales en la América Latina, con base en el conocimiento generado, principalmente en el CATIE, durante más de cinco décadas.
- Responder a la necesidad de materiales didácticos sobre agroforestería que permitan optimizar el proceso de enseñanza-aprendizaje.
- Lograr un mejor entendimiento de los sistemas agroforestales y enfocar su manejo desde perspectivas biofísicas, agroecológicas, económicas, sociales y de producción/conservación.

GRUPOS META

Los módulos están diseñados para ser utilizados por capacitadores y extensionistas para la formación del personal técnico de proyectos y programas de desarrollo. Además pueden emplearse en la enseñanza universitaria, y con algunas adaptaciones, en la educación técnica a nivel de secundaria y productores.

Beneficiarios directos: capacitadores, extensionistas, instructores, docentes y técnicos que utilizarán los módulos como base para impartir enseñanza agroforestal.

Beneficiarios indirectos: todos aquellos que reciban la instrucción por parte de los beneficiarios directos, causando así un efecto multiplicador:

- Técnicos de instituciones gubernamentales o no gubernamentales y técnicos de proyectos y programas de desarrollo y extensión.
- Estudiantes universitarios (a nivel de pregrado y maestría).
- Productores.



Guía del Módulo Funciones y Aplicaciones de la Agroforestería

DESCRIPCIÓN GENERAL

El presente Módulo sobre Funciones y Aplicaciones de la Agroforestería está organizado en forma temática. No se pretende hacer una revisión exhaustiva y profunda de cada tema, sino integrar y destacar las funciones reales y potenciales que tienen estos sistemas de uso de la tierra para el manejo sostenible y la conservación de los recursos naturales bajo muchos escenarios biofísicos y socioeconómicos.

Para responder a los diferentes enfoques e intereses de los usuarios, los materiales se presentan de manera que se puede enseñar cada tema como una unidad independiente. El contenido de cada tema se resume en "acetatos", que son la base para la presentación visual de la información. Esperamos que la concentración de la información en transparencias, en lugar de largas secciones de texto, facilitarán un proceso eficiente de enseñanza-aprendizaje que requiere relativamente poco tiempo para la preparación del instructor.

Los "acetatos" fueron numerados dentro de su respectivo tema. El título del tema, indicado en el encabezado, permite la identificación única de cada uno de ellos. Esto permitirá incluir o excluir transparencias en ediciones futuras sin afectar su numeración en otros temas.

Es importante indicar que los módulos forman una base general para enseñar sobre sistemas agroforestales. Sin embargo, es conveniente complementar la información contenida en los módulos con ejemplos y estudios de caso de los diferentes países en los cuales se utilicen. Además, los instructores deben revisar el contenido del módulo y definir si es necesario utilizar todo el material o solamente una parte. El conjunto de temas contenidos en el módulo ofrece información amplia, pero no será necesario impartirlo completo en todos los casos. El instructor puede seleccionar el material adecuado para cada grupo específico.

METODOLOGÍAS DE ENSEÑANZA SUGERIDAS

- Charlas participativas.
- Trabajo en grupos pequeños (3 a 5 personas).
- Discusiones de grupo.
- Giras de campo.
- Revisiones bibliográficas complementarias.
- Ilustración de casos con vídeos, películas, diapositivas, etc.

MATERIAL Y EQUIPO:

- Proyector de acetatos, diapositivas y vídeos.
- Transparencias y diapositivas.
- Películas, vídeos.
- Pizarra.

TIEMPO APROXIMADO:

- Charlas participativas en el aula: un día.
- Gira: 1-2 días
- Trabajos en grupo y discusiones: un día
- Búsquedas bibliográficas: un día



Objetivos del Módulo Funciones y Aplicaciones de la Agroforestería

OBJETIVO GENERAL

Presentar conocimientos básicos de los sistemas agroforestales (SAF) y analizar su importancia, características, funciones, aplicaciones e interacciones con otras disciplinas agrícolas y de manejo de los recursos naturales bajo diferentes escenarios biofísicos y socioeconómicos.

OBJETIVOS GENERALES DE ENSEÑANZA-APRENDIZAJE

Al finalizar el módulo los estudiantes serán capaces de:

- Conceptualizar, describir y clasificar los sistemas agroforestales.
- Analizar, discutir y describir el papel de la agroforestería en la agricultura sostenible con énfasis en sus bases ecológicas y limitantes.
- Identificar y analizar las relaciones y potencialidades de la agroforestería en el manejo de recursos naturales.
- Analizar, discutir y describir el papel de la agroforestería en el manejo de cuencas hidrográficas.
- Analizar, explicar y sustentar como la agroforestería puede contribuir a la conservación de las áreas protegidas y al manejo de las zonas de amortiguamiento.
- Fundamentar y analizar el rol de los sistemas agroforestales en el manejo y conservación de la biodiversidad.
- Analizar, discutir y explicar el papel de la agroforestería en la lucha contra la desertificación.



TEMA 1

Introducción a la Agroforestería

Francisco Jiménez, Reinhold Muschler

DEFINICIÓN Y ATRIBUTOS DE LA AGROFORESTERÍA

No existe una definición universalmente aceptada y satisfactoria para agroforestería. El interés y preocupación por definir la agroforestería surgió a finales de los años setenta (Combe y Budowski, 1979). El Centro Internacional de Investigación en Agroforestería (ICRAF) en Kenya definió como agroforestería aquellos sistemas de uso de la tierra donde especies leñosas perennes se usan y manejan deliberadamente junto con cultivos agrícolas y/o animales; las interacciones ecológicas y económicas entre componentes surgen de arreglos espaciales y/o temporales (Lundgren y Raintree, 1982). Posteriormente, Sommarriba (1990) simplificó la definición a la forma en que se presenta en el **acetato 1**.

El concepto central de la agroforestería gira en integrar plantas leñosas, principalmente árboles y arbustos, en sistemas agrícolas incluyendo ganadería. Las plantas leñosas se distinguen de otras plantas por contener lignina, un compuesto que impregna y une sus células y las fibras dándoles las características de la madera; la mayoría de las plantas leñosas son perennes.

El desarrollo de la agroforestería responde a las necesidades y condiciones de muchas zonas tropicales, donde la agricultura y forestería convencionales, por sí solas, no han podido satisfacer las diferentes de-

mandas. La necesidad de proteger las tierras bajo cobertura forestal y la demanda por más tierras para la producción de alimentos y la ganadería justifica la agroforestería, ya que puede conciliar objetivos múltiples de producción y conservación a largo plazo (**acetato 2**).

Para alcanzar sus efectos potenciales, los sistemas agroforestales (SAF) deben tener tres atributos: productividad, sostenibilidad y adoptabilidad (**acetato 3**). La productividad significa que el sistema debe ser capaz de producir los bienes requeridos por los productores, ya sea para subsistencia o fines comerciales. Entre las formas como la agroforestería puede mejorar la productividad están el aumento en los rendimientos de los cultivos asociados y de los productos arbóreos, la reducción de necesidad de insumos externos y una mayor eficiencia de la mano de obra. La sostenibilidad se refiere a la capacidad del sistema para permanecer productivo indefinidamente. Para alcanzar este fin, hay que conservar los recursos naturales agua, suelo y biodiversidad incluyendo plantas y animales, ya que ellos son la base de la producción actual y futura. La adoptabilidad implica que el agricultor acepta el sistema dentro de sus limitantes de mano de obra, recursos económicos, insumos y servicios disponibles. La adoptabilidad es de importancia especial para prácticas agroforestales nuevas o mejoradas que se introducen por primera vez en una zona determinada.

FUNCIONES, VENTAJAS Y LIMITACIONES DE LA AGROFORESTERÍA

La agroforestería tiene como objetivos principales aumentar los rendimientos y los productos obtenidos, así como la fertilidad del suelo para mejorar el nivel de vida de los productores. Se considera una herramienta fundamental en la búsqueda de la seguridad alimentaria, la autosuficiencia de los agricultores y la conservación de los recursos naturales. Como ciencia moderna, la agroforestería busca validar y maximizar los beneficios de las interacciones entre suelo, plantas, animales, atmósfera y el hombre. Para implementar estos beneficios, los agroforestales buscan prácticas para enfrentar al crecimiento acelerado de la población, la pobreza rural y la degradación ambiental.

Si bien la agroforestería se puede aplicar en sistemas de producción intensivos y extensivos y está bien adaptada a pequeños productores y agricultura de subsistencia (incluyendo sistemas mixtos como huertos caseros y agricultura migratoria), también existen prácticas agroforestales que pueden ser utilizadas en sistemas grandes. Ejemplos de la utilización de árboles para diferentes fines se presentarán más adelante en este capítulo.

Los árboles de uso múltiple, frecuentemente utilizados en agroforestería, pueden contribuir significativamente a diferentes funciones productivas y de servicios ecológicos o de protección (acetatos 4 y 5). Sin embargo, a pesar de sus funciones positivas, los árboles en los SAF también pueden tener efectos negativos sobre los cultivos y el ambiente. Por ejemplo, pueden causar sombra excesiva, competir con los cultivos por radiación, nutrientes o agua,

hospedar plagas y en algunos casos tener efectos alelopáticos (acetato 6).

Aunque la agroforestería no es una panacea para resolver todos los problemas de desarrollo rural, ésta contribuye a solventar problemas bien conocidos en tres situaciones comunes en el trópico (Nair y Muschler, 1993) (acetato 7):

- En los trópicos húmedos, la agroforestería puede jugar un papel importante para mantener la fertilidad del suelo.
- En zonas con pendientes fuertes (laderas, colinas, montañas), la agroforestería puede contribuir a controlar la erosión.
- En zonas semiáridas y subhúmedas, frecuentemente bajo uso extensivo para pastoreo, la agroforestería puede ayudar a combatir la desertificación (ver capítulo 7).

La interacción de los componentes de los SAF puede ser positiva (por ej. complementariedad) o negativa (por ej. competencia) (Muschler, 1993). Con frecuencia, las potencialidades de la agroforestería han sido sobreestimadas porque las experiencias provenían de estudios en sitios donde el agua, la cantidad de luz y los nutrientes no fueron limitantes. En estas condiciones, con abundancia de los recursos necesarios para el crecimiento y la producción, la competencia entre árboles y cultivos se manifiesta muy poco. Estudios posteriores, bajo condiciones en las que uno o varios factores son limitantes, han demostrado que la magnitud de los efectos positivos depende fuertemente de las condiciones ambientales responsables para la expresión de la competencia. Varios autores (Budowski, 1981; Young, 1989; Wilson 1990; Van Noordwijk y Dommergues, 1990; Ong *et al.*, 1995) han opinado sobre estas posibles ventajas y limitaciones de los SA (acetatos 8 al 11).

Recientemente Sánchez (1995) y Huxley (1999) resumieron los argumentos a favor de la agroforestería, los cuales fueron incorporados en el cuadro 1.

Cuadro 1. Posibles ventajas de los sistemas agroforestales y disponibilidad de información para evaluarlas.	
Se plantea que SAF pueden:	Disponibilidad de información
1. Mejorar el aprovechamiento de recursos naturales (agua, luz, nutrimentos), y por ende, la productividad.	Probado para productos múltiples (madera, leña, frutos, forraje, etc.).
2. Aumentar la estabilidad de producción y reducir riesgos.	Probado para cacao y café en América Central.
3. Moderar el microclima y proteger a cultivos y animales.	Probado.
4. Proveer hábitat para mantener biodiversidad (por ej., controladores biológicos y aves migratorias).	Probado para aves.
5. Reducir la diseminación y daño causado por plagas y enfermedades.	Probado en algunos casos, rechazado en otros; falta corroboración.
6. Mejorar la calidad de productos.	Probado para café en ambientes no óptimos; controversial para calidad de madera.
7. Reducir gastos para insumos (agroquímicos) y productos externos (por ej., madera).	Probado para productos externos; evidencia parcial para reducir fertilizantes y herbicidas.
8. Reducir externalidades ecológicas (contaminación de acuíferos y suelos).	Evidencia para sistemas de producción orgánica o de bajos insumos.
9. Reducir la escorrentía superficial y erosión de suelo.	Probado en hileras en contorno y sistemas multiestratos, especialmente en pendientes fuertes.
10. Mantener la materia orgánica (MO) y la fertilidad del suelo.	No probado para todos los SAF porque no hay umbrales fijos de MO relacionados a la fertilidad del suelo. Incrementos de MO han sido detectados temporalmente en suelos arenosos bajo cultivo en callejones.
11. Mantener o mejorar propiedades físicas del suelo (más favorables que en los sistemas agrícolas).	Parcialmente probado para suelos bajo hileras en contorno.
12. Aumentar el ingreso de nitrógeno mediante árboles fijadores.	Probado para algunas especies, pero pocos datos sobre la absorción de N fijado por los cultivos.
13. Capturar y reciclar nutrientes (por raíces de árboles) de capas profundas del suelo que no son accesibles para los cultivos (principalmente en zonas secas).	Probado para captura de nitratos en subsuelos óxicos con carga positiva. Falta comprobarlo más ampliamente.
14. Llevar a un ciclaje de nutrientes más cerrado y eficiente con menor pérdida por lavado y lixiviación.	Probado parcialmente, pocos datos.
15. Reducir la acidez del suelo mediante las bases acumuladas en hojarasca y raíces de los árboles.	Probado para hojarasca alta en calcio y magnesio. Falta comprobarlo para SAF.
16. Ayudar a recuperar suelos degradados.	Probado en suelos alcalinos y salinos. Probado en suelos agotados de N en Zambia con barbechos de <i>Sesbania</i> sp.
17. Mejorar la actividad biológica y mineralización del nitrógeno (a través de la sombra de los árboles).	Probado.
18. Aumentar la actividad microbial (fijadores de N y micorrizas) por el asocio de raíces de árboles con las de los cultivos.	No ha sido probado. Altamente controversial.

Fuente: basado parcialmente en Sánchez, 1995 y Huxley, 1999.

CLASIFICACIÓN DE LOS SISTEMAS AGROFORESTALES

La clasificación de los SAF es necesaria para su caracterización, evaluación y mejoramiento (Nair, 1997). La complejidad de los SAF hace difícil su clasificación bajo un solo esquema. Los criterios de clasificación más frecuentes son: la estructura o función del sistema, las zonas agroecológicas donde el sistema existe o es adoptable y el escenario socioeconómico (escalas de producción y nivel de manejo del sistema) (acetato 12). Sin embargo, estos criterios no son independientes ni excluyentes. La clasificación estructural basada en la naturaleza de los componentes (acetato 13) es la más utilizada. La clasificación de los SAF basada en la naturaleza o tipo de componente: sistemas agrosilviculturales, sistemas silvopastoriles, sistemas agrosilvopastoriles y sistemas especiales permite agrupar fácilmente las diferentes prácticas agroforestales (acetatos 14 y 15), como se detalla a continuación:

1. Sistemas agrosilviculturales (cultivos + especies leñosas)

Agricultura migratoria. Es un sistema en el cual el bosque se corta y se quema para cultivar la tierra por un periodo de 2 a 5 años; luego del periodo de cultivo continúa la fase de descanso o barbecho, que dura generalmente de 5 a 20 años. Durante ese periodo se desarrolla un bosque secundario, se acumulan de nuevo nutrientes en la vegetación, se restablece la producción de residuos vegetales (materia orgánica y nutrientes) y el suelo recupera una gran parte de su fertilidad original. Algunos autores no consideran a la agricultura migratoria como un sistema agroforestal debido a la falta de un manejo deliberado a los árboles.

Barbecho mejorado. Es un sistema rotacional en el cual se favorecen ciertos árboles de regeneración natural y/o se plantan nuevos árboles (Kass, 1998). Usualmente se prefieren leguminosos fijadores de nitrógeno o de valor comercial (además de los árboles se pueden sembrar leguminosas herbáceas). Cuando se busca principalmente un beneficio económico, la vegetación de barbecho se enriquece con árboles frutales, maderables o de otros usos importantes. Cuando se busca un beneficio biológico, el barbecho se enriquece con especies leguminosas para acelerar la producción de biomasa, acumular nutrientes en el sistema, mejorar las propiedades del suelo y acortar el periodo de la recuperación de la fertilidad del suelo.

Cultivo en plantaciones forestales y Taungya (ver módulo "Sistemas Taungya"). Son sistemas basados en plantaciones forestales asociadas con cultivos temporales (Taungya) o a cultivos más permanentes (cultivo en plantaciones forestales) con la finalidad de producir madera en su etapa final. En el Taungya, el cultivo agrícola se limita a un periodo de uno a cuatro años, hasta que los árboles plantados cierran su dosel. El cultivo en plantaciones forestales consiste en la siembra de cultivos como la naranjilla (*Solanum quitoense*), la mora (*Rubus glaucus*) y la granadilla (*Passiflora* spp.) en plantaciones forestales ya establecidas. Estos sistemas permiten una mejor utilización del espacio y del suelo, mejor protección del mismo, y reducen el costo de la limpieza de las plantaciones en comparación a una plantación establecida sin agricultura. Además, el agricultor puede obtener productos alimenticios a corto plazo, hacer más atractiva y rentable su inversión en reforestación y diversificar la producción.

Árboles en parcelas de cultivo (ver módulo "Plantación de árboles en línea"). Consiste en el uso de árboles distribuidos al azar o de manera sistemática dentro o en los bordes de las parcelas agrícolas. Dependiendo de las necesidades de la zona, los árboles pueden ser maderables, frutales, mejoradores del suelo, para leña, ornamentales, etc. Ejemplos de estos sistemas son los árboles en linderos, las cercas vivas, las cortinas rompeviento y los árboles dispersos en la parcela.

Los árboles en linderos y cercas vivas consisten en la plantación sistemática de árboles a lo largo de linderos, entre o alrededor de parcelas o campos de cultivo, de los caminos y canales, con espacios amplios entre los surcos y estrechos entre los árboles del surco. Se diferencia de las cortinas rompeviento porque la orientación, altura y estructura no son de tanta importancia como en éstas. Las cortinas rompeviento son hileras de árboles, arbustos, o ambos, generalmente de diferentes especies, dispuestos de manera perpendicular a la dirección dominante de los vientos con los objetivos de reducir su velocidad cerca del suelo, evitar la erosión eólica, reducir la acción mecánica del viento sobre los cultivos y contribuir a regular el microclima (Méndez *et al.*, 1998). Desde el punto de vista agroforestal, sus principales funciones son la protección de los cultivos y animales, la protección y conservación del suelo y el agua y la producción de madera, leña, frutos y otros productos.

Árboles con cultivos perennes (ver módulo "Árboles en cafetales"). Consiste en la combinación simultánea de árboles con cultivos perennes, tales como café (*Coffea arabica*), cacao (*Theobroma cacao*), té (*Camellia sinensis*) y cardamomo (*Elettaria cardamomum*). Generalmente son siste-

mas de cultivo intercalado donde el árbol contribuye productod adicionales, mejora el suelo o microclima o sirve de tutor para cultivos de enredadera como pimienta negra (*Piper nigrum*) o vainilla (*Vanilla planifolia*). Los árboles pueden ser maderables como por ejemplo *Cordia alliodora* o *Cedrela odorata*, especies leguminosas de uso múltiple como *Inga* spp., *Gliricidia sepium* y *Erythrina* spp. o frutales como *Citrus* spp., *Persea americana*, o *Macadamia* spp.

Leñosas como soportes vivos para cultivos trepadores o de enredadera. Este sistema se refiere a la utilización de especies leñosas como soporte o tutores de algunos cultivos, tales como el ñame (*Dioscorea* spp.), la maracuyá (*Passiflora edulis*), la pimienta negra (*Piper nigrum*), la vainilla (*Vanilla planifolia*) y hortalizas como el pepino (*Cucumis sativus*) o el tomate (*Lycopersicon esculentum*) (Jiménez, 1998). Los árboles o arbustos utilizados pueden tener otras funciones como producción de leña, postes, abono verde, forraje, conservación del suelo, etc. Entre las especies leñosas más utilizadas para este fin están la *Gliricidia sepium*, *Erythrina berteroana*, *Leucaena leucocephala* y *Flemingia macrophylla*.

Huertos caseros (ver módulo "Huertos caseros"). Estos sistemas figuran entre los mas complejos SAF debido a su gran diversidad de componentes de diferente tamaño y manejo; se combinan plantas que integran la producción agrícola (raíces, tubérculos, hortalizas, frutas) y forestal (madera, leña, postes), incluidas plantas medicinales, ornamentales y especies animales menores. Estos huertos se encuentran en los alrededores de las casas de los agricultores, son plantados y mantenidos por los miembros de la familia, y sus productos son dedicados principalmente al

consumo familiar. Su tamaño generalmente es menor de una hectárea. Cuando estos sistemas integran también la producción pecuaria (principalmente cerdos, gallinas, patos, gansos, ovejas y cabras) se clasifican como agrosilvopastoriles.

Cultivo en callejones. Consiste en la siembra de cultivos anuales en los espacios (callejones) entre hileras de especies leñosas, preferiblemente leguminosas de rápido crecimiento. Los árboles están orientados de manera que minimizan la sombra dentro de los callejones o en líneas a contorno en laderas para minimizar la erosión. Los árboles o arbustos se podan periódicamente durante la fase de cultivo para evitar el exceso de sombra o competencia radicular sobre el cultivo asociado. El follaje podado es incorporado al suelo como abono verde o usado como mulch o cobertura. Las especies leñosas más destacadas en el cultivo en callejones han sido *Leucaena leucocephala*, *Gliricidia sepium*, *Calliandra calothyrsus* y *Erythrina poeppigiana* (Jiménez et al., 1999). Los cultivos más usados han sido *Zea mays*, *Sorghum bicolor*, *Phaseolus vulgaris* y *Vigna sinensis*.

Árboles en estructuras y obras para conservación del suelo. Los árboles y arbustos que se plantan asociados a obras de conservación de suelos como acequias de ladera, drenajes, taludes, franjas antierosivas, terrazas, zanjas de infiltración, etc. constituyen sistemas cada vez más utilizados para introducir el componente leñoso en la producción agrícola. Su función básica es controlar la erosión, mantener la fertilidad del suelo o ambas, a través de la estabilización de las estructuras, reducción de la escorrentía superficial, aporte de biomasa y ciclaje de nutrientes. Muchas veces se combina con la producción

de leña, frutos, semillas, alimentos, forraje, etc. Uno de los ejemplos típicos de esta práctica agroforestal son las barreras vivas de leñosas, plantadas en contorno y a distancias muy cortas entre árboles (5-30 cm), con la base tejida con ramas y otros materiales para retener los sedimentos y para proteger obras de conservación, por ejemplo las acequias de ladera.

2. Sistemas silvopastoriles (especies leñosas + pasturas/animales) (Ver módulo: "Sistemas Silvopastoriles")

Cercas vivas. Consiste en la siembra de leñosas para la delimitación de potreros o propiedades, casi siempre complementada con el uso de alambre de púas. Cuando está asociada a cultivos agrícolas se le considera una práctica agrosilvicultural. Cada vez es más reconocida su importancia ya no solo para delimitar propiedades, sino a través de otras funciones como la producción de leña, postes, forraje, madera, alimentos, uso como ornamental, para regulación ambiental y promoción de la biodiversidad.

Bancos forrajeros. Consiste en establecer áreas forrajeras en bloques compactos con especies leñosas sembradas a alta densidad. Se siembran en fincas ganaderas o sus alrededores con el propósito de maximizar la producción de biomasa de alta calidad nutritiva. Si la especie forrajera sembrada tiene más de 15% de proteína cruda, el bloque constituye un banco de proteína; si la especie forrajera presenta altos niveles de energía digerible (más de 70% de digestibilidad) el bloque constituye un banco energético y si cumple los dos requisitos anteriores se denomina un banco energético-proteico (Pezo y Ibrahim, 2000). Los bancos forrajeros tienen como propósito fundamental complemen-

tar la dieta alimenticia de los animales, especialmente durante la época de escasez de pastos. Entre las especies más utilizadas están *G. sepium*, *E. poeppigiana*, *E. berteriana*, *E. fusca* y *Morus* spp. (Pezo y Ibrahim, 2000).

Pastoreo en plantaciones forestales o frutales. Es un sistema en el cual se utilizan las plantaciones forestales o de frutales para el pastoreo de animales. Entre los casos más difundidos está el pastoreo en plantaciones de mangos, cítricos, palma aceitera (*Elaeis guineensis*), coco (*Cocos nucifera*), pejíballe (*Bactris gassipaes*) y pino (*Pinus* spp.), aunque según Pezo y Ibrahim (2000) estos sistemas aún no están muy difundidos en América.

Árboles y arbustos dispersos en potreros. Consiste de árboles, arbustos o ambos en los potreros, sin un arreglo espacial definido y con objetivos diversos como son: producción de madera, leña, frutos, fuente de ramoneo, provisión de sombra, mejoramiento del suelo bajo árboles y refugio para el ganado. El establecimiento de las especies leñosas puede provenir por diversos medios: remanentes del bosque original, como resultado de procesos de sucesión vegetal, a través de la plantación de árboles o el manejo selectivo de especies (Pezo y Ibrahim, 2000).

Pasturas en callejones. Es una modificación del sistema de cultivo en callejones, en el cual se utilizan especies forrajeras en lugar de los cultivos, como por ejemplo gramíneas forrajeras erectas para corte o pastoreo tales como *Pennisetum purpureum* y *Panicum maximum* o leguminosas como *Arachis pintoi*. Las especies leñosas generalmente son las mismas que en el

cultivo en callejones convencional. A veces el material de poda de las especies leñosas se utiliza como forraje en periodos de escasez. En tal caso hay que tomar en cuenta que ocurre una exportación de nutrientes del sistema que puede reducir su productividad a largo plazo.

Setos y bosquetes de uso agrosilvopastoril. Se incluyen aquí sistemas complejos de setos y bosquetes de usos múltiples que combinan componentes agrícolas, silvícolas y pecuarios para ramoneo, la producción de forraje, madera o leña, y la utilización de abono verde para cultivos, protección y recuperación de suelos, etc. Por sus diferentes componentes, estos sistemas también se pueden clasificar como sistemas agrosilvopastoriles.

3. Sistemas especiales (silvoentomología y silvoacuacultura)

Silvoentomología. Se refiere al aprovechamiento de especies leñosas para favorecer el manejo y la productividad de insectos específicos utilizados para producir bienes de consumo y que están bajo el control del hombre. Las dos actividades más clásicas son la apicultura (producción de miel y polen) y el gusano de seda. Se pueden combinar con otros sistemas como plantación de árboles en línea, setos vivos, etc.

Silvoacuacultura: Consiste en la siembra de especies leñosas junto o alrededor de los estanques con el fin de producir sombra, aportar materia orgánica al agua, utilizar las hojas y los frutos (por ej. *Ficus* spp.) como alimento para los peces, para cerca viva y para estabilizar el suelo en los bordes de los estanques.

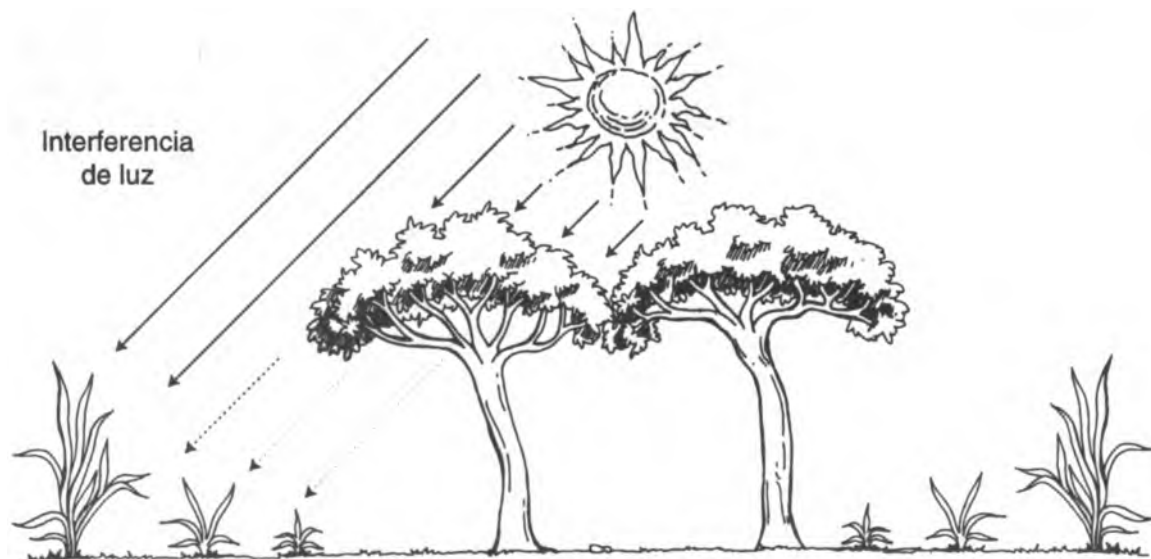


DEFINICIÓN DE AGROFORESTERÍA

(Somarriba, 1990)

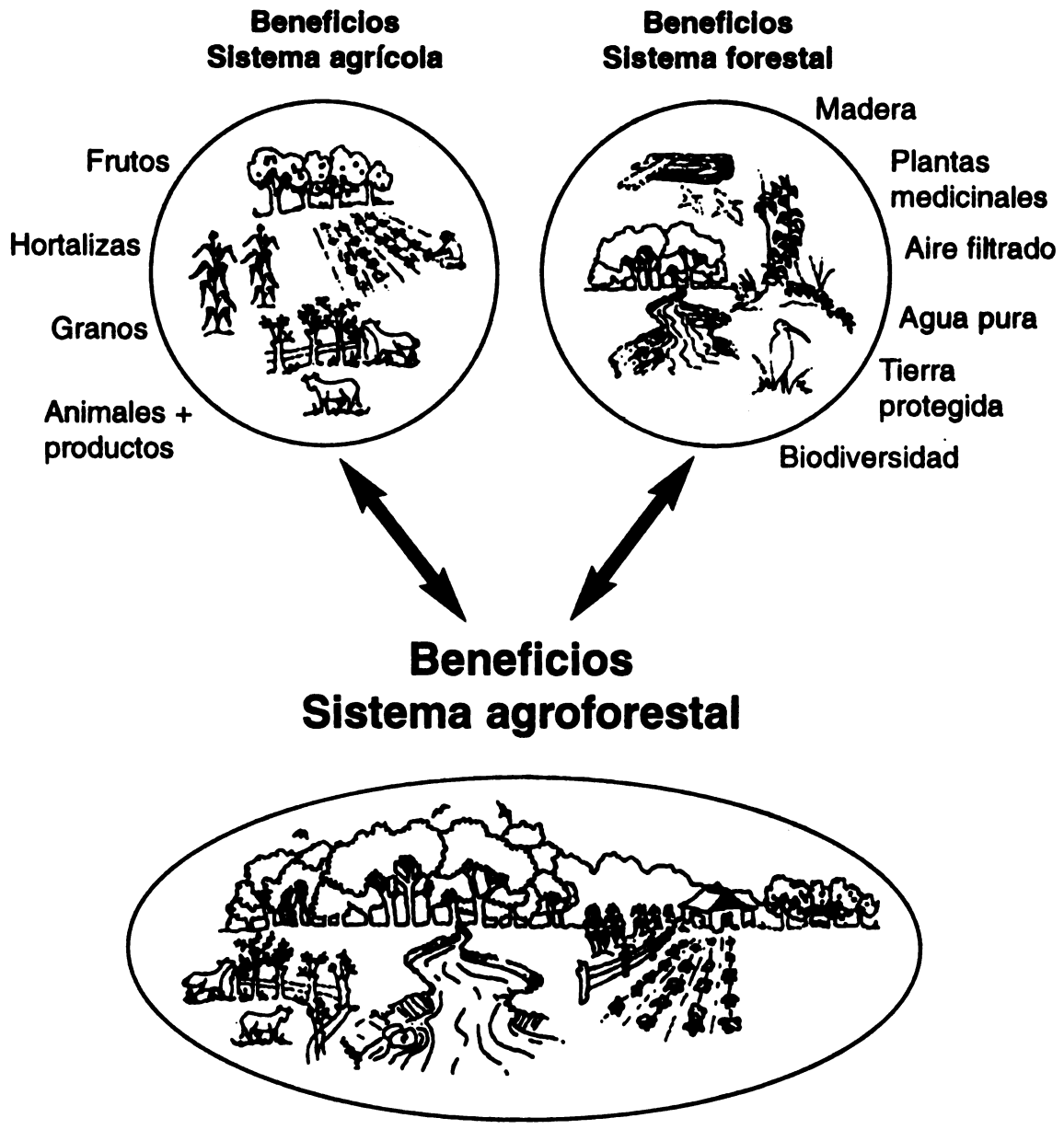
Agroforestería es una forma de uso de la tierra en la que se cumplen tres condiciones fundamentales:

1. Existen al menos dos especies de plantas que interactúan biológicamente;
2. Al menos uno de los componentes es una leñosa perenne;
3. Al menos uno de los componentes es una planta manejada con fines agrícolas (incluyendo pastos).





Sistemas agroforestales combinan beneficios agrícolas con beneficios forestales





Atributos deseables de los sistemas agroforestales

Productividad

El sistema produce bienes, mercancías y servicios requeridos por los productores.

Sostenibilidad

El sistema mantiene o aumenta su productividad en el tiempo:
producir conservando y
conservar produciendo.

Adoptabilidad

El sistema es aceptado por el agricultor, aún con las limitaciones socioeconómicas y biofísicas impuestas por el medio.



Funciones productivas de la agroforestería

- **Productos forestales:** madera, leña, carbón, estacones, postes, tutores, vigas, travesaños, papel.
- **Productos alimenticios para humanos y animales:** carne, frutos, flores, brotes, aceites comestibles, bebidas, forraje, miel.
- **Otros productos:** aceites, esencias, gomas, resinas, taninos, fibras, latex, lacas, esencias, fenoles, ceras, sustancias medicinales, cueros, artesanías, ornamentales incluyendo epífitas.

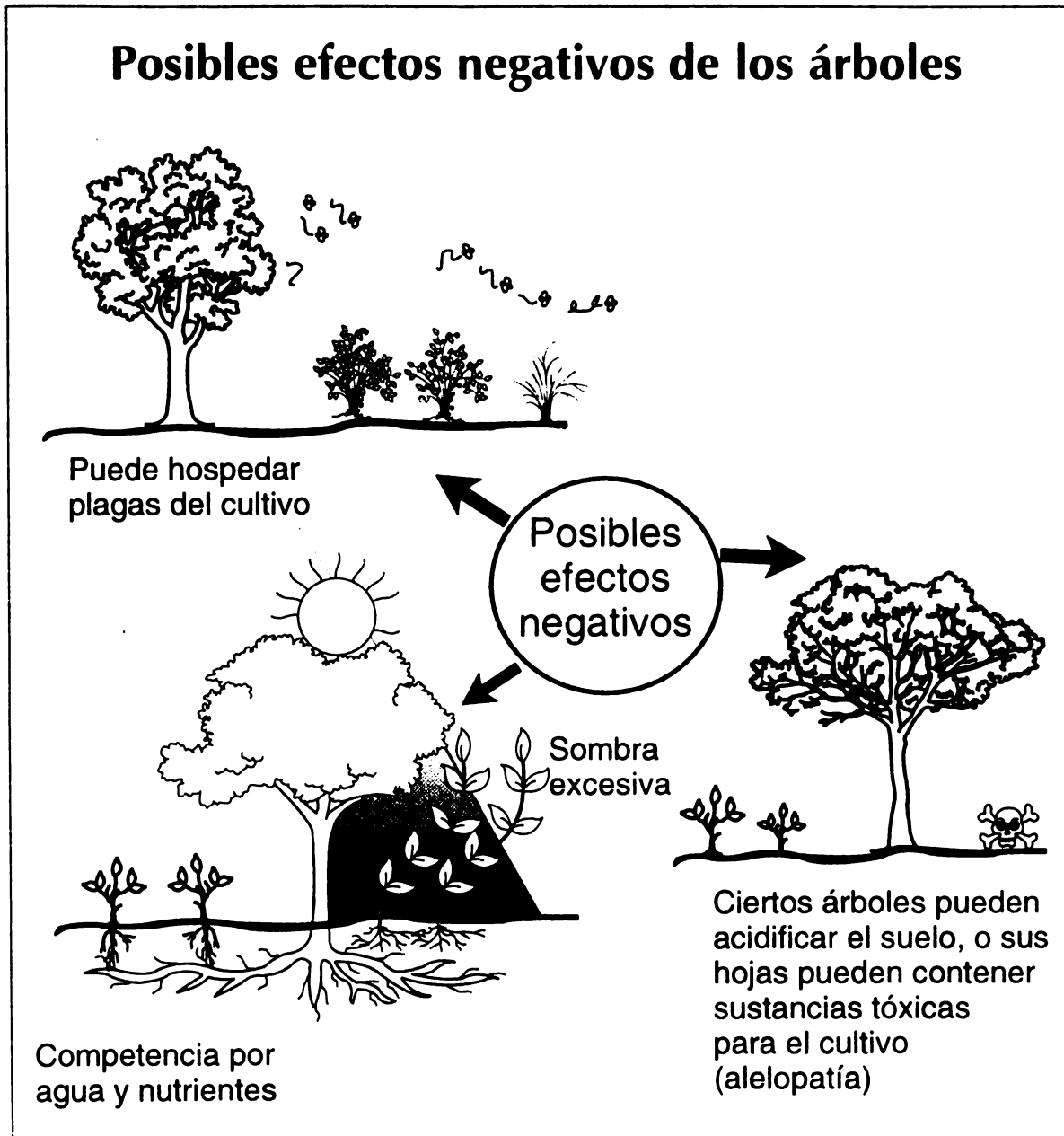


Funciones de servicio ecológico y protección de la agroforestería

- Conservación del agua, el suelo y su fertilidad.
- Mejoramiento el microclima para plantas, animales y el hombre (modificación de la incidencia de la radiación solar, la temperatura, la humedad del aire y del suelo y el viento).
- Protección de cultivos, animales y humanos (ej. rompevientos, fajas protectoras, estabilización de taludes, etc.).
- Control de malezas a través de sombreadamiento y cobertura.
- Servicios ambientales y ecológicos: regulación térmica e hidrológica, fijación de carbono y nitrógeno, provisión de oxígeno, limpieza de atmósferas contaminadas, conservación de biodiversidad (especies nativas, aves migratorias, hábitat, etc.), paisajismo, recreación, ecoturismo.



Posibles efectos negativos de los árboles



Fuente: modificado de Geilfus F, 1994. *El Árbol al Servicio del Agricultor. Manual de Agroforestería para el Desarrollo Rural*. Turrialba, Costa Rica: ENDA CARIBE/CATIE.



Contribución de la agroforestería en las principales zonas agroecológicas tropicales

- En los trópicos húmedos la agroforestería puede jugar un papel importante en el mantenimiento de la fertilidad del suelo.
- En las zonas con pendientes fuertes (laderas, colinas, montañas) la agroforestería puede contribuir a regular el flujo del agua y controlar la erosión.
- En zonas semiáridas y subhúmedas, frecuentemente usadas para pastoreo extensivo, la agroforestería puede ayudar a combatir la desertificación (ver capítulo 7).



Posibles ventajas biofísicas de los sistemas agroforestales con respecto al monocultivo

- Mejor utilización del espacio vertical y mayor aprovechamiento de la radiación solar entre los diferentes estratos vegetales del sistema.
- Microclima más moderado (atenuación de temperaturas extremas, sombra, menor evapotranspiración y viento).
- Mayor protección contra erosión por viento y agua (menos impacto erosivo de las gotas de lluvia y escorrentía superficial).
- Mayor posibilidad de fijación de nitrógeno atmosférico mediante los árboles.
- Mantener la estructura y fertilidad del suelo: aportes de materia orgánica, mayor actividad biológica, reducción de la acidez, mayor extracción de nutrientes de los horizontes profundos del suelo (principalmente en zonas secas).
- Ayudar a recuperar suelos degradados.
- Obtener productos adicionales: madera, frutos, leña, hojarasca, forraje, etc.
- Se puede tener mayor producción y calidad de las cosechas en ambientes marginales.
- Proveer hábitat para mayor biodiversidad (por ej. aves migratorias y controladores biológicos).
- Reducir la diseminación y daño por plagas y enfermedades.
- Reducir externalidades ecológicas (contaminación de acuíferos y suelos).



Posibles desventajas biofísicas de los sistemas agroforestales con respecto al monocultivo

- Puede disminuir la producción de los cultivos (principalmente cuando se utilizan demasiados árboles (competencia) y/o especies incompatibles).
- Pérdida de nutrientes cuando la madera y otros productos forestales son cosechados y exportados fuera de la parcela.
- Interceptación de parte de la lluvia, lo que reduce la cantidad de agua que llega el suelo (importante en zonas secas).
- Daños mecánicos eventuales a los cultivos asociados cuando se cosechan o se podan los árboles, o por caída de gotas de lluvia desde árboles altos.
- Los árboles pueden obstaculizar la cosecha mecánica de los cultivos.
- El microambiente puede favorecer algunas plagas y enfermedades.



Ventajas socioeconómicas de los sistemas agroforestales con respecto al monocultivo

- Los productores pueden reducir sus gastos al satisfacer necesidades de madera, leña y alimentos.
- Madera producida reduce la necesidad de extraerla del bosque.
- Constitución de un capital tangible y estable (caso de árboles maderables).
- Mayor estabilidad de la producción y menores riesgos (clima, mercados, plagas, etc.).
- Mayor diversidad de alimentos, incluyendo productos arbóreos que pueden mejorar la dieta familiar.
- Reducción potencial de requerimientos y gastos en insumos (fertilizante, herbicidas, etc.).
- Mejor distribución de las necesidades de mano de obra a través del año.
- Reforzamiento del derecho de la propiedad a través de siembra de árboles en linderos.
- Avance progresivo hacia prácticas conservacionistas de los recursos naturales.



Limitantes socioeconómicas de los sistemas agroforestales con respecto al monocultivo

- Puede requerir más mano de obra. Se convierte en un factor negativo cuando la mano de obra es escasa y cara y cuando la mecanización puede ser una mejor solución.
- Mayor complejidad puede dificultar labores de manejo.
- Resistencia a la plantación de árboles en zonas con poca disponibilidad de tierra o uso muy intensivo.
- Menor disponibilidad de crédito, asistencia técnica e incentivos gubernamentales.
- Menor conocimiento de potencialidades y manejo de los sistemas agroforestales.



Criterios para clasificar los sistemas agroforestales (Nair, 1997)

Base estructural

Se refiere a la clase de componentes y su distribución, considerando el arreglo espacial del componente leñoso, la estratificación vertical y el arreglo temporal de todos los componentes.

Base funcional

Se refiere a la función principal del sistema, casi siempre condicionado por el componente leñoso (protección, servicio, producción).

Base socioeconómica

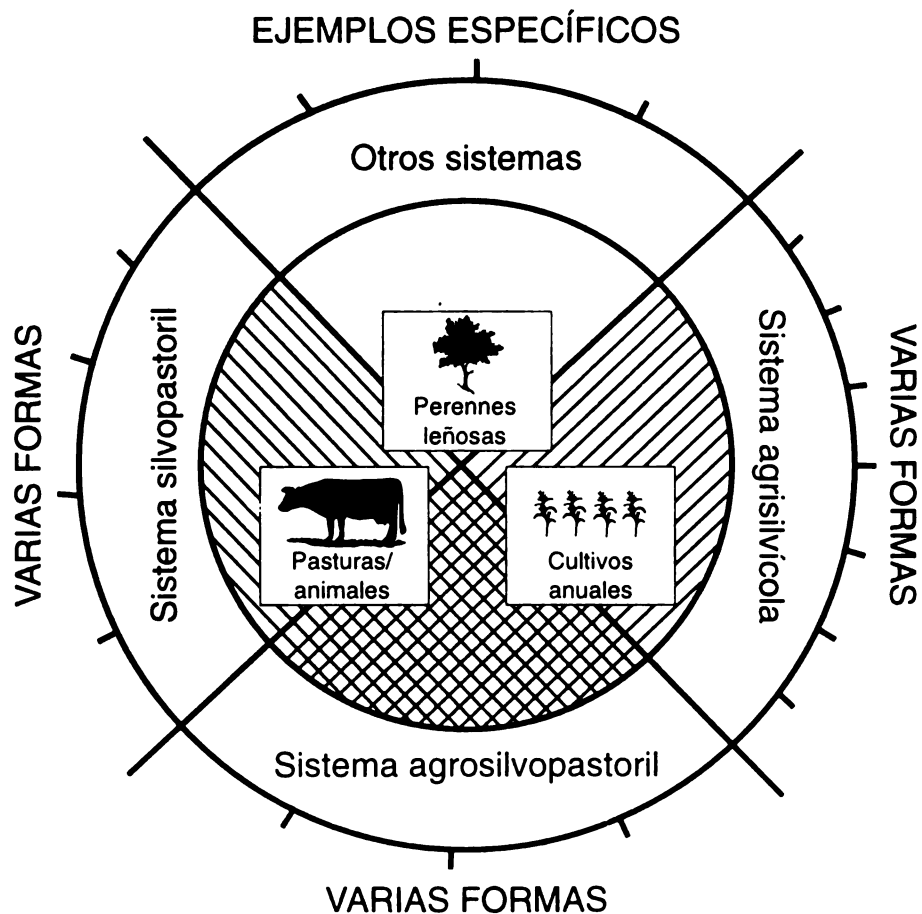
Se refiere al nivel de insumos de manejo tecnológico (nivel de inversión) o la intensidad o escala de administración o la escala de producción (subsistencia, comercial, intermedia).

Base agroecológica

Se refiere a la condición ambiental y la adaptabilidad ecológica de los sistemas; por ejemplo sistemas en o para zonas áridas, semiáridas, húmedas tropicales de altura, húmedas tropicales de bajura, subhúmedas tropicales de altura, subhúmedas tropicales de bajura, zonas templadas.



Clasificación de los sistemas agroforestales de acuerdo al tipo de componentes (la "estructura del SAF")





PRINCIPALES PRÁCTICAS AGROFORESTALES

Sistemas agrosilviculturales (cultivos + especies leñosas)

- Agricultura migratoria.
- Barbechos mejorados.
- Árboles en parcelas de cultivo (en rompevientos, linderos, cercas vivas o árboles dispersos).
- Cultivo en plantaciones forestales y "Taungya".
- Árboles para sombra de cultivos.
- Leñosas como soportes vivos.
- Huertos caseros.
- Cultivo en callejones.
- Árboles para conservación del suelo.



Sistemas silvopastoriles (leñosas + pasturas y/o animales)

- Cercas vivas.
- Bancos forrajeros.
- Pastoreo en plantaciones forestales o frutales.
- Árboles y arbustos dispersos en potreros.
- Pasturas en callejones.
- Sitios y bosques de uso agrosilvopastoril.

Sistemas especiales

- Silvoentomología
(ej. árboles para apicultura).
- Silvoacuacultura (ej. piscicultura).

LITERATURA CITADA

- Bene, J. G.; Beal, H. W.; Cote, A. 1977. Trees, food and people: land management in the tropics. Ottawa, Canada. IDRC. 59 p.
- Budowski, G., 1981. Compilación de ventajas y desventajas de los sistemas agroforestales en comparación con monocultivos no arbóreos. Turrialba, Costa Rica, CATIE. 4 p.
- Combe, J.; Budowski, G. 1979. Classification of traditional agroforestry techniques. In: G. de Las Salas (ed.). Workshop on traditional agroforestry systems in Latin America. Turrialba, Costa Rica. CATIE. p. 17-47.
- Fassbender, H. W. 1992. Modelos edafológicos de los sistemas agroforestales. 2ª ed., Turrialba, Costa Rica. CATIE-GTZ. 493 p.
- Huxley, P. A. 1983. Comments on agroforestry classification with special reference to plant aspects. In: P. A. Huxley (ed.). Plant Research and agroforestry. Nairobi, ICRAF. p. 161-171.
- Jiménez, J. 1998. Soportes vivos para la producción de cultivos. In: F. Jiménez y A. Vargas (eds.) Apuntes de Clase del Curso Corto: Sistemas Agroforestales. Turrialba, Costa Rica, Proyecto Agroforestal CATIE/GTZ. p. 279-287.
- Jiménez, J., Kass, D.C.L., Jiménez, F. 1998. El cultivo en callejones. In: F. Jiménez y A. Vargas (eds.) Apuntes de Clase del Curso Corto: Sistemas Agroforestales. Turrialba, Costa Rica, Proyecto Agroforestal CATIE/GTZ. p. 257-277.
- Kass, D.C.L. 1998. Barbechos mejorados. In: F. Jiménez y A. Vargas (eds.) Apuntes de Clase del Curso Corto: Sistemas Agroforestales. Turrialba, Costa Rica, Proyecto Agroforestal CATIE/GTZ. p. 239-256.
- Lundgren, B. O. 1982. What is Agroforestry? Agroforestry Systems 1: 7-12.
- Lundgren, B. O.; Raintree, J. B. 1982. Sustained agroforestry. In: B. Nestrel (ed.). Agricultural Research for Development: Potentials and Challenges in Asia. The Hague, The Netherlands, ISNAR. p. 37-49.
- Lundgren, B. O. 1987. ICRAF's first ten years. Agroforestry Systems 5: 197-217.
- Méndez, E.; Beer, J.; Faustino, J. 1998. Plantación de árboles en línea. Turrialba, Costa Rica. CATIE. Proyecto Agroforestal CATIE/GTZ. Materiales de enseñanza No. 39. Módulo de enseñanza agroforestal No. 1. 117 p.
- Montagnini, F. (et al.). 1992. Sistemas agroforestales: principios y aplicaciones en los trópicos. 2ª ed. San José, Costa Rica. Organización de Estudios Tropicales. 622 p.
- Muschler, R. 1999. Árboles en cafetales. Turrialba, Costa Rica, CATIE. Proyecto Agroforestal CATIE/GTZ. Módulo de Enseñanza Agroforestal No. 5. 139 p.
- Nair, P. K. R. 1985. Classification of agroforestry systems. Agroforestry Systems 3: 97-128.
- Nair, P. K. R. 1997. Agroforestería. 1ª ed. en español. Chapingo, México, Universidad Autónoma Chapingo. 543 p.
- Nair P K R, Muschler R G, 1993. Agroforestry. In: L. Pancl (ed.). Tropical Forestry Handbook. Heidelberg, Springer. p. 987-1057
- Ong, C. K.; Black, C. R.; Marshall F. M. 1995. Principles of resource capture and utilisation of light and water. In: P. A. Huxley y C. K. Ong (eds.). Tree-Crop Interactions, A Physiological Approach, Chapter 4. Wallingford, U. K. CABI.
- Pezo, D.; Ibrahim, M. 1999. Sistemas Silvopastoriles. 2ª ed. Turrialba, Costa Rica. CATIE. Proyecto Agroforestal CATIE/GTZ. Materiales de enseñanza No. 40, Módulo de enseñanza agroforestal No. 2. 275 p.
- Sánchez, P. 1995. Science in agroforestry. Agroforestry Systems 30: 5-55.
- Somarriba, E. 1990. ¿Qué es Agroforestería? El Chasqui (Costa Rica): 5-13.
- Somarriba, E. 1992. Revisiting the past: an essay on agroforestry definition. Agroforestry Systems 19: 233-240.
- Stewart, P. J. 1981. Forestry, agriculture and husbandry. Commonwealth Forestry Review 60: 29-34.
- Torquebieau, E. 1990. Introduction aux concepts de l'agroforesterie. Nairobi, Working Paper No. 59. ICRAF. 121 p.
- Torres, F. 1983. Agroforestry: concepts and practices. In: D. A. Hoekstra y F. M. Kuguru (eds.). Agro-

- forestry systems for small-scale farms. Proceedings of ICRAF/BAT workshop, Nairobi, September 1982. Nairobi, ICRAF. p. 27-42.
- Van Noordwijk M.; Dommergues Y. R. 1990. Agroforestry and soil fertility: root nodulation- the twelfth hypothesis. *Agroforestry Today* 2: 9-10.
- Wilson, J. R. 1990. Agroforestry and soil fertility: the eleventh hypothesis-shade. *Agroforestry Today* 2: 14-15.
- Wiersum, K. F. 1981. Outline of the agroforestry concept. Viewpoints in agroforestry. K. F. Wiersum (ed.). The Netherlands, Agricultural University of Wageningen. p. 1-21.
- Young, A. 1989. Ten hypotheses for soil-agroforestry research. *Agroforestry Today* 1: 13-16.



TEMA 2

Agroforestería y Recursos Naturales

Francisco Jiménez, Reinhold Muschler

SITUACIÓN ACTUAL DE LOS RECURSOS NATURALES

En este capítulo se discute, basado en el estado de los recursos naturales al nivel global, cómo y dónde la agroforestería puede contribuir a un mejor uso de los recursos naturales. Aunque prácticas agroforestales por sí solas no pueden resolver todos los problemas ambientales, pueden modificar fuertemente el impacto del ser humano sobre su ambiente natural. Se ilustrará este potencial con algunos ejemplos para América Latina.

La degradación de los recursos naturales es una realidad global. El proceso afecta suelos, bosques, tierras agrícolas y hasta ecosistemas marinos como, por ejemplo, arrecifes afectados por suelo erosionado y agroquímicos transportados en el agua (Hillel, 1991). Las causas y consecuencias principales de estos procesos se manifiestan a niveles biofísicos, sociales y económicos (**acetatos 1 y 2**). Uno de los elementos fundamentales en el deterioro de los recursos naturales es el crecimiento demográfico; en efecto, la población de la Tierra crece a razón de 87 millones de personas por año, equivalente a un millón adicional de habitantes cada cuatro días (WRI, 1999). En 1998, la población mundial era de 5929 millones y para el 2025 se proyectan más de 8000 millones de personas, concentrados principalmente en los países menos desarrollados del África Sahariana, Sur de Asia y América Latina (WRI, 1999)

(**acetato 3**). El aumento poblacional reduce drásticamente la disponibilidad per cápita de recursos naturales y aumenta la presión sobre los recursos restantes (**acetato 4**). Por ejemplo, en muchos países en desarrollo, la demanda local de leña para cocinar excede la capacidad de producción de los bosques locales, y cada vez, es necesario recorrer mayores distancias para hallar este recurso (WWI, 1992).

Entre las principales causas de degradación de la tierra están (**acetato 5**):

1. La deforestación.
2. Prácticas agrícolas inadecuadas.
3. El sobrepastoreo.

La primer causa de la degradación de los recursos naturales de diferentes zonas es la pérdida de cobertura forestal. Entre 1945 y 1994, la deforestación causó la degradación de 580 millones de ha (30% de las tierras degradadas) (WWI, 1994). Entre 1990 y 1995, los bosques mundiales fueron reducidos en cerca de 57 millones de ha, correspondiendo a una pérdida promedio anual de 0.3% de su área boscosa. Con una pérdida del 1.3% anual (la más alta del mundo), América Central (incluyendo a México y el Caribe) es una de las regiones de mayor potencial de degradación (**acetato 6**) (WRI, 1999).

La segunda causa de degradación son prácticas agrícolas inadecuadas. Cada año, entre 5 a 6 millones de ha son severamente degradadas por esta causa. Según

el "Worldwatch Institute" (WWI, 1994), entre 1945 y 1994, cerca de 550 millones de ha (37% de las tierras cultivables del mundo) perdieron el horizonte superior por erosión, o han sufrido otras formas de degradación. Un estimado global de erosión indica que la capa superficial del suelo se pierde de 16 a 300 veces más rápido de lo que puede ser reemplazada, dado que los procesos de formación del suelo son muy lentos. En efecto, se requieren entre 200 y 1000 años para formar unos pocos centímetros de suelo bajo condiciones agrícolas normales (WRI, 1999). En contraste, en tierras de pendiente sin protección adecuada por hojarasca o plantas es frecuente encontrar pérdidas de suelo por erosión en el orden de milímetros hasta centímetros en un solo año. La pérdida de 1 cm de suelo equivale aproximadamente a 100 t de suelo por ha, incluyendo grandes cantidades de materia orgánica, nutrientes y microorganismos. Es obvio que un manejo agrícola que no conserva el suelo como el recurso fundamental para toda producción agrícola no puede ser sostenible (Hillel, 1991; Young, 1997). Conservar los suelos y su fertilidad es una de las metas principales para la agroforestería (Nair 1993; Huxley, 1999).

La tercera causa principal de la degradación de recursos naturales proviene de un manejo inapropiado de pasturas. Al nivel mundial, las pasturas cubren 3.4 billones de ha de tierra, más del doble que el área de cultivos. Se estima que el sobrepastoreo con sus consecuencias de la pérdida de la cobertura vegetal, compactación irreversible del suelo, aumento de la erosión, etc., degradó 680 millones de ha entre 1945 y 1994. Esto sugiere que el 20% de las pasturas del mundo están perdiendo productividad y continuarán este proceso, a menos que el tamaño de los hatos sea reducido o

que se implementen prácticas ganaderas más sostenibles (WWI, 1994). En América Central, la situación es igualmente crítica lo que ha generado la necesidad de fomentar nuevos proyectos de recuperación de pasturas degradadas (Szott *et al.*, 2000).

Entre los recursos naturales degradados por las causas mencionadas, el agua y su calidad juega un rol sobresaliente. El agua no solamente es esencial para todos los organismos vivos, sino también es el único medio de transporte de nutrimentos en plantas y ecosistemas. Sin agua, no hay procesos hidrológicos ni transporte de elementos en la biosfera. Los efectos se pueden notar en regiones geográficas donde una deforestación fuerte resultó en cambios fuertes de los regímenes de lluvia y una reducción del potencial del suelo para retener humedad y alimentar nacientes de agua (Hillel, 1991). Un ejemplo extremo es la situación actual de Haití, un país caribeño que perdió mucho de sus recursos hídricos como consecuencia de la eliminación casi total de los bosques.

Según proyecciones al nivel mundial, el agua llegará a ser uno de los recursos más críticos en el siglo XXI. Globalmente, el suministro de agua es abundante, pero está mal distribuida entre y dentro de los países (WRI, 1999). En 1997, según las Naciones Unidas, una tercera parte de la población mundial vivió en países con estrés hídrico de moderado a alto (los niveles de consumo exceden 20% el suministro de agua disponible). En el 2025, este problema podría llegar a afectar dos terceras partes de la población mundial (acetao 7). La presión sobre el recurso pone en peligro su calidad, lo que aumenta el riesgo de enfermedades y la salinización de las tierras de regadío (Hillel, 1991; WRI, 1999).

La biodiversidad, otro componente de los recursos naturales, está siendo afectada seriamente, en muchos casos en forma irreversible. Aunque no se sabe con exactitud cuántas especies de plantas y animales han desaparecido durante las últimas dos décadas, se estima que puede ascender a una quinta parte de las especies de la Tierra. Los bosques y selvas tropicales que albergan al menos la mitad de las especies del planeta han sido reducidos a prácticamente la mitad de su área original causando la desaparición de muchas especies vegetales y animales (WWI, 1994). Igualmente, en el campo agrícola, aproximadamente el 30% de las razas de ganado vacuno están a punto de extinguirse, mientras que en la pesca las especies introducidas amenazan a reducir la diversidad genética natural (WWI, 1994).

Considerando todos estos procesos de degradación ambiental surge la pregunta de ¿cómo la agroforestería puede ayudar a aliviar estas amenazas?

POTENCIAL DE LA AGROFORESTERÍA EN EL MANEJO Y CONSERVACIÓN DE LOS RECURSOS NATURALES

La agroforestería, aunque es un término relativamente nuevo, se refiere a una práctica vieja de utilizar la tierra. La preocupación internacional creciente por los recursos naturales, la escasez de alimentos y leña, la contaminación y otros problemas ecológicos y sociales han fomentado un mayor interés por la agroforestería. Sin embargo, la agroforestería no puede, por sí sola, resolver todos los problemas de producción y manejo de recursos naturales, sino puede contribuir a superar ciertos problemas biofísicos, socioeconómicos y

ambientales. El **acetato 8** muestra elementos claves de su potencial para el manejo y la conservación de los recursos naturales.

La agroforestería tiene potencial para satisfacer al mismo tiempo tres objetivos importantes: (1) proteger y estabilizar los ecosistemas y agroecosistemas, (2) producir bienes de valor económico (alimentos, combustible, madera, forraje, abonos orgánicos, etc.) y (3) brindar empleo estable, muchas veces con mayores ingresos para la población rural. Ejemplos específicos de beneficios de la integración de árboles con cultivos y pastos son la reducción de los siguientes problemas: vientos fuertes y lluvias erosivas, pérdida de la fertilidad del suelo, escasez de leña y madera, desocupación y falta de recursos económicos en muchos países en desarrollo.

Posiblemente, las zonas con mayor necesidad de usar sistemas agroforestales son las regiones tropicales del mundo (Nair, 1993). Varios argumentos pueden darse para esta afirmación. Por ejemplo, en muchas zonas del trópico, los agricultores cultivan en suelos frágiles, de vocación forestal, en pendientes muy fuertes y donde la cobertura vegetal y arbórea es básica para la conservación de los recursos naturales y la estabilidad del paisaje (Weischet y Caviedes, 1993).

En muchas zonas tropicales existen limitaciones fuertes para utilizar el "paquete tecnológico" de la "revolución verde". La mayor desventaja puede ser que los aumentos de los rendimientos por unidad de área traen un costo muchas veces demasiado alto para los recursos naturales y el ambiente (Gliessman, 1998; Altieri, 1995). Es aquí donde la agroforestería cobra vigencia y potencial (ver Jiménez y Muschler, 2001 y Muschler, 2001 en este

mismo módulo) para contribuir a diferentes escalas y tiempos al manejo sostenible y la conservación de la vegetación, el suelo, el agua y la biodiversidad. Estos temas se explorarán en las secciones que siguen.

Agroforestería para manejo y conservación de la vegetación

La agroforestería juega un papel preponderante en el manejo y conservación de la vegetación a través de diferentes efectos y funciones (acetato 9). Así, por ejemplo, la siembra de diferentes especies de árboles puede aumentar la diversidad genética vegetal (Nair, 1993; Montagnini *et al.*, 1992). Así, los SAF pueden contener docenas y hasta cientos de especies en huertos caseiros, mientras que muchas plantaciones agrícolas o forestales cuentan con muy pocas especies, a veces una sola. Muchas de estas especies en SAF podrían ser de gran importancia en la producción agrícola y forestal futura. Ellas podrían también proveer un rango amplio de nuevos alimentos y medicinas en beneficio de la salud y la nutrición humana.

Los SAF también pueden jugar un papel importante en el ciclo global del carbono. Esto se logra mediante la acumulación de carbono en la biomasa tanto en raíces vivas y muertas como en la biomasa aérea, y por la prevención de mayor deforestación, ya que los SAF permiten que los agricultores pueden continuar cultivando tierras ya deforestadas (Schroeder, 1993; 1994; Unruh *et al.*, 1993; Sanchez, 1994). Sin embargo, el secuestro de C en SAF no puede resolver el problema de la acumulación del C en la atmósfera, dado que la mayor parte proviene de la quema de C fósil de petróleo y sus derivados. Cuando se cosechan los árboles de los SAF, el C secuestrado temporalmente en ellos se li-

berará otra vez a la atmósfera, con la descomposición de su madera.

Entre los aportes ecológicos de SAF figura su rol en la conservación de nutrientes en los ecosistemas y el aumento de la disponibilidad de algunos, sobre todo nitrógeno, en el suelo superficial. Para el caso del nitrógeno, los árboles pueden proveer este nutriente mediante dos vías: fijación biológica por bacterias asociadas a las raíces y absorción de diferentes formas de nitrógeno de capas profundas del suelo donde las raíces de los cultivos no llegan. Los árboles translocan e incorporan estos nutrientes en su biomasa, la cual al descomponerse los libera en las capas superficiales del suelo. Así, los nutrientes vuelven a ser disponibles también para los cultivos asociados. Evidencia de este proceso ha sido descrita, por ejemplo, para *Faidherbia albida* en el Sahel, donde raíces alcanzan hasta 30 m de profundidad, capturando humedad y nutrientes que pueden ser llevados a la superficie del suelo (Baumer, 1987).

Igualmente importante es el papel de la agroforestería para conservar la vegetación a través de microclimas favorables para otras especies vegetales, protección del suelo, combate de la desertificación y en la interceptación y redistribución de la lluvia que puede evitar el arrastre de semillas, favoreciendo así la regeneración natural de especies valiosas.

Sin embargo, la introducción de árboles en los campos de cultivo y pasturas no siempre tiene solamente efectos positivos. El uso de especies inconvenientes, o su establecimiento inadecuado, pueden tener efectos adversos sobre otras plantas cercanas a los árboles: competencia, por agua y nutrientes o alelopatía por la producción de exudados tóxicos mientras que los

árboles están creciendo y extracción de parte de la materia orgánica y nutrientes acumulados en la madera cosechada.

Agroforestería para manejo y conservación del suelo

El manejo y la conservación del suelo incluye dos aspectos fundamentales: el control de la erosión y el mantenimiento (o mejoramiento) de la fertilidad. Estos factores están estrechamente ligados y ambos son necesarios para un uso sostenible del suelo. Debido a que muchas de las tierras de ladera se encuentran bajo cultivo, muchas veces intensivo, se trata de encontrar sistemas de producción que permitan un manejo sostenible del suelo. Es justamente en esas situaciones, donde la agroforestería tiene más potencial para ayudar a resolver problemas de uso de la tierra y de manejo y conservación de suelos. Algunos posibles efectos benéficos de la agroforestería sobre el manejo y conservación del recurso natural suelo se presentan en los acetatos 10 y 11.

La evidencia experimental muestra que se debe dar especial interés a la cobertura del suelo. Se considera que una cobertura del suelo del 60% reduce la erosión a niveles bajos, aún sin medidas adicionales como barreras. El potencial principal de la agroforestería para controlar erosión está ligada a su capacidad de mantener una cobertura, mientras que su mayor potencial en el mejoramiento de la fertilidad del suelo está ligada al aporte de materia orgánica y nutrientes (acetato 12).

Las especies agroforestales difieren en su capacidad de influenciar diferentes características del suelo como, por ejemplo, las propiedades químicas (Cadisch y Giller, 1997). Después de un cultivo en callejo-

nes de cinco años en Nigeria, Kang (1993) clasificó varias especies en función de la acumulación de carbono orgánico en la superficie del suelo de la siguiente manera: *Leucaena leucocephala* > *Gliricida sepium* > *Alchornea cordifolia* > *Dactyladenia cokeri*. Las diferencias fueron estrechamente relacionadas a la cantidad y calidad de la biomasa producida por los árboles (ver acetato 12).

El significado relativo de estos diferentes efectos podría variar mucho dependiendo de las condiciones específicas del sitio, de la combinación de especies, de los arreglos cronológicos y espaciales y los métodos de manejo. También hay que considerar que esos efectos pueden tardar varios años para manifestarse.

Agroforestería para manejo y conservación del agua

El agua es sinónimo de vida y representa, por lo tanto, un recurso natural cuyo manejo y conservación es prioritario en todo el mundo. La agroforestería puede contribuir a este objetivo a través de diferentes vías (acetato 13). La producción agrícola sostenible depende de la calidad y cantidad de agua. Niveles altos de sedimentos y minerales disueltos en ríos y corrientes de agua pueden tener efectos negativos sobre la agricultura, especialmente en las partes bajas de las cuencas así como en la pesca. Los árboles, como las plantas en general, cumplen un papel importante en preservar la calidad del agua. Parte de ese papel se cumple a través de mejorar las propiedades físicas del suelo, principalmente la infiltración que reduce o evita escorrentía superficial y disolución y arrastre de sedimentos. Además, los SAF mejoran el ciclaje de nutrientes, reducen pérdidas por lixiviación y evitan que sustancias po-

tencialmente peligrosos en la lluvia puedan contaminar el agua que drena (Kang y Lal, 1981; Bruijnzeel, 1983).

Las crecidas excesivas de los ríos pueden causar inundaciones y provocar un impacto desastroso sobre los recursos naturales, principalmente en las partes más bajas de las cuencas de montaña. La pesca, por ejemplo, puede ser afectada por los sedimentos que alteran el hábitat y el ciclo de vida de especies acuáticas (Daily *et al.*, 1997). La introducción de árboles en tierras agrícolas o ganaderas en SAF bien manejados puede reducir fuertemente la producción de sedimentos en las cuencas (Hamilton y King, 1983). Por ejemplo, en estudios en Indonesia, se encontró que el arrastre de sedimentos en áreas reforestadas fue solamente la tercera parte de una cuenca agrícola sin árboles (Hardjono, 1980).

Aunque no hay una relación simple de causa y efecto entre la eliminación de la cobertura vegetal y los caudales pico de los ríos y las inundaciones en las partes bajas de las cuencas (Hewlett, 1982), la evidencia sugiere la existencia de al menos un impacto localizado durante lluvias fuertes. Así, la reforestación generalmente resulta en volúmenes y picos más bajos de crecidas en la vecindad inmediata, principalmente en microcuencas. El valor de las coberturas agroforestales en reducir las inundaciones parece ser mayor en suelos profundos donde los árboles pueden mejorar la capacidad de almacenamiento de agua en los suelos.

Por su mayor uso de agua comparado con plantas más pequeñas, los árboles en SAF, más pronunciado para especies de rápido crecimiento, pueden aumentar el consumo de agua y reducir los flujos de agua a los ríos. Por ejemplo, luego de establecer una

plantación de eucalipto en la India, las salidas de agua en la cuenca estudiada disminuyeron en 28% (Mathur *et al.*, 1976). Similarmente, la presencia de árboles tiende a reducir los niveles de las aguas subterráneas (Boughton, 1970; Holmes y Wronski, 1982). Sin embargo, la dinámica de la tabla de agua está sujeta también a prácticas agrícolas. La vegetación agroforestal también influye en otros componentes del ciclo hidrológico. Por ejemplo, la precipitación neta, o sea la lluvia que llega al suelo por goteo directo, goteo desde el dosel y escorrentía por los tallos, generalmente es inferior en los SAF, debido a la interceptación de parte de la precipitación (Jiménez, 1986; Imbach *et al.*, 1989). Un tratamiento detallado del efecto de SAF sobre el ciclo hidrológico al nivel de cuencas hidrográficas se encuentra en Jiménez, 2001 (Tema 4 en este mismo módulo).

Agroforestería en el manejo y conservación de la biodiversidad

La agroforestería tiene un papel importante en la conservación de la biodiversidad animal y vegetal, sobre todo por vía preventiva. Esto se logra mediante la reducción de la presión sobre y deforestación de los bosques y el uso de alternativas sostenibles a la agricultura de tala y quema (Sánchez, 1984; Schroeder, 1993). Los SAF proveen hábitat y alimento para muchos animales, incluyendo aves, insectos y otras formas de vida silvestre. La agroforestería es generalmente considerada el modelo más factible para imitar la sucesión natural y aumentar la biodiversidad de los ecosistemas (Anderson, 1990).

Este tema será tratado con detalle en el capítulo biodiversidad y sistemas agroforestales en este mismo módulo (Harvey, 2001, Tema 5).



Algunas causas de la degradación de los recursos naturales

- Crecimiento acelerado de la población.
- Pobreza e inestabilidad política.
- Escasez de tierras aptas para la agricultura.
- Falta de leña y carbón.
- Avance de la frontera agrícola (a tierras marginales para el cultivo intensivo).
- Tala irracional del bosque.
- Lluvias intensas, suelos frágiles y susceptibles a la erosión.
- Prácticas forestales, ganaderas, agrícolas e industriales inadecuadas; por ejemplo deforestación, sobrepastoreo, quema, manejo inadecuado del riego, uso excesivo de pesticidas, contaminación de cuencas.
- Poco conocimiento y tradición agrícola de muchos de los desplazados a la frontera agrícola.
- Falta de conciencia ambiental y voluntad política-económica para implementar medidas de conservación.
- Limitada asistencia técnica y capacitación para los productores.



Consecuencias de la degradación de los recursos naturales

- Expansión de la agricultura y la ganadería a tierras no aptas para este uso.
- Mayores fricciones sociales, inestabilidad, migración del campo a la ciudad.
- Mayor riesgo de catástrofes para la población (inundaciones, deslizamientos, contaminación, etc.).
- Reducción de ingresos para la población y los países.
- Expansión de la economía campesina de subsistencia.
- Extinción de plantas y animales con potencial para la humanidad y pérdida o alteración de otros recursos naturales (suelo, agua, etc).
- Pérdida de potencial ecoturístico, paisajista, recreativo y científico de muchos sitios.
- Avance de la desertificación.

Población en 1998 y proyectada para el 2025 en diferentes regiones del mundo y promedio anual de cambio poblacional para el periodo 1995-2000 y 2005-2010

Región	Población (millones)		Promedio anual de de cambio poblacional (%)	
	1998	2025	1995-2000	2005-2010
Mundo	5 930	8 039	1.4	1.2
Africa	778	1 454	2.6	2.5
Europa	729	701	0.0	-0.1
América del Norte	304	369	0.8	0.8
América Central*	131	189	1.9	1.5
América del Sur	332	452	1.5	1.3
Asia	3 589	4 785	1.4	1.2
Oceanía	29	41	1.3	1.3
Países en desarrollo	4 748	6 819	1.7	1.4
Países desarrollados	1 182	1 220	0.3	0.2

*Incluye a México y el Caribe.

Fuente: WRI 1999.



Población y disponibilidad de recursos naturales a nivel mundial en 1990 y proyectado para el año 2010

Recursos	Año: 1990 (millones)	Año: 2010 (millones)	Cambio total (%)	Cambio per cápita (%)
Población	5290	7030	+33	-
Pesca (ton)	85	102	+20	-10
Tierras bajo riego (ha)	237	277	+17	-12
Tierras agrícolas (ha)	1444	1516	+5	-21
Pasturas (ha)	3402	3540	+4	-22
Bosques (ha)	3413	3165	-7	-30

Fuente: Worldwatch Institute, 1994.

Tierras degradadas por intervención humana, de 1945 a 1994						
Región	Sobre-pastoreo	Defores-tación	Mal manejo agrícola	Otras causas	Área total degra-dada	Área degradada (% del total con vegetación)
	Millones de ha					
Asia	197	298	204	47	746	20
Africa	243	67	121	63	494	22
América del Sur	68	100	64	12	244	14
Europa	50	84	64	22	220	23
América del Norte y Central	38	18	91	11	158	8
Oceanía	83	12	8	0	103	13
Todo el mundo	679	579	552	155	1965	17

Fuente: Worldwatch Institute, 1994.



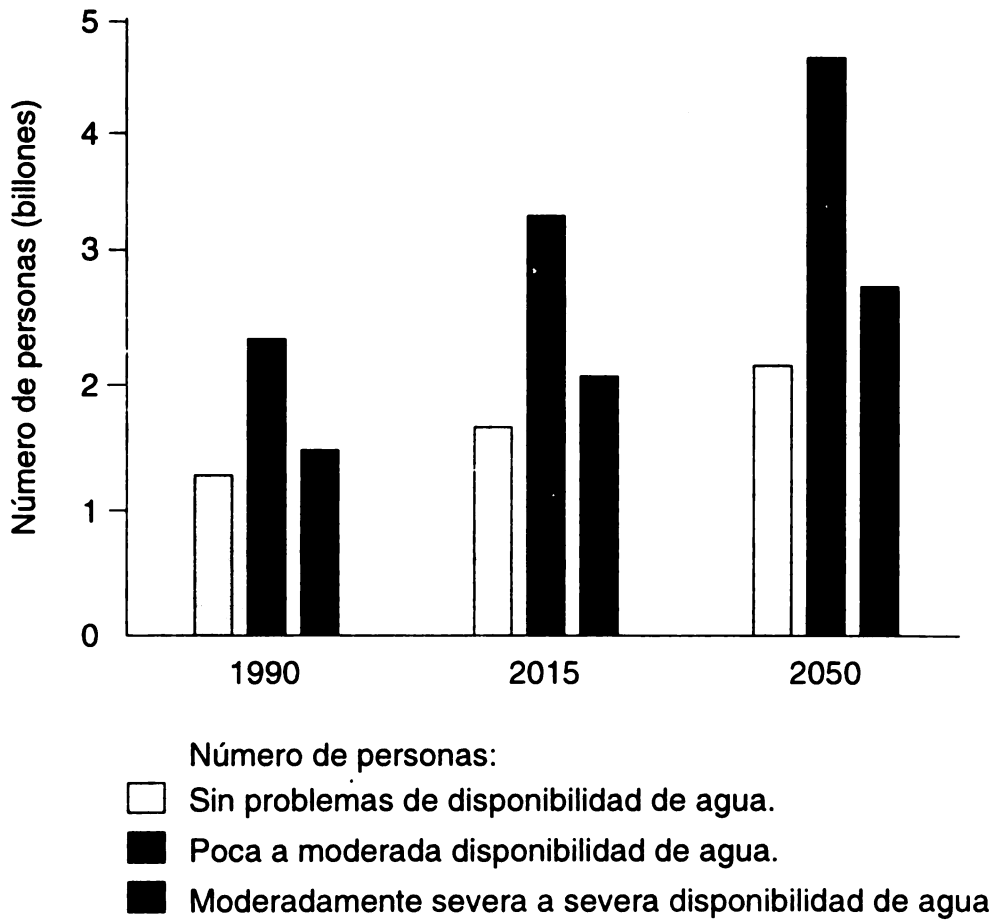
Cobertura forestal en 1990 y en 1995 en diferentes regiones del mundo y tasa promedio anual de cambio

Región	Cobertura forestal (millones de ha)		Promedio anual de cambio (%)
	1990	1995	
Mundo	3 511	3 454	-0.3
Africa	539	520	-0.7
Europa	144	146	0.3
América del Norte	453	457	0.2
América Central*	85	79	-1.3
América del Sur	894	871	-0.5
Asia	491	474	-0.7
Oceanía	91	91	-0.1
Regiones tropicales	1 797	1 734	-0.7
Regiones no tropicales	1 714	1 720	0.1
*Incluye a México y el Caribe.			

Fuente: WRI 1999.



Disponibilidad de agua dulce en el mundo



Fuente: UNEP, 1997.



Potencial de la agroforestería en el manejo y conservación de los recursos naturales

- Es una opción productiva y conservacionista que se puede ajustar a diferentes escenarios biofísicos, socioeconómicos y ambientales.
- Constituye una práctica conocida desde hace muchos años por agricultores de diferentes zonas del mundo.
- Permite la protección y estabilización de los ecosistemas y agroecosistemas.
- Permite producir bienes económicos (alimentos, combustible, madera, forraje, abonos orgánicos, etc.) que pueden reducir la presión sobre los recursos naturales.
- Permite mejorar los sistemas tradicionales o diseñar nuevos sistemas que pueden contribuir al manejo y conservación de los recursos naturales.
- Hay un interés creciente de muchos países y de organismos y donantes de promover la agroforestería y la siembra de árboles en las áreas rurales.



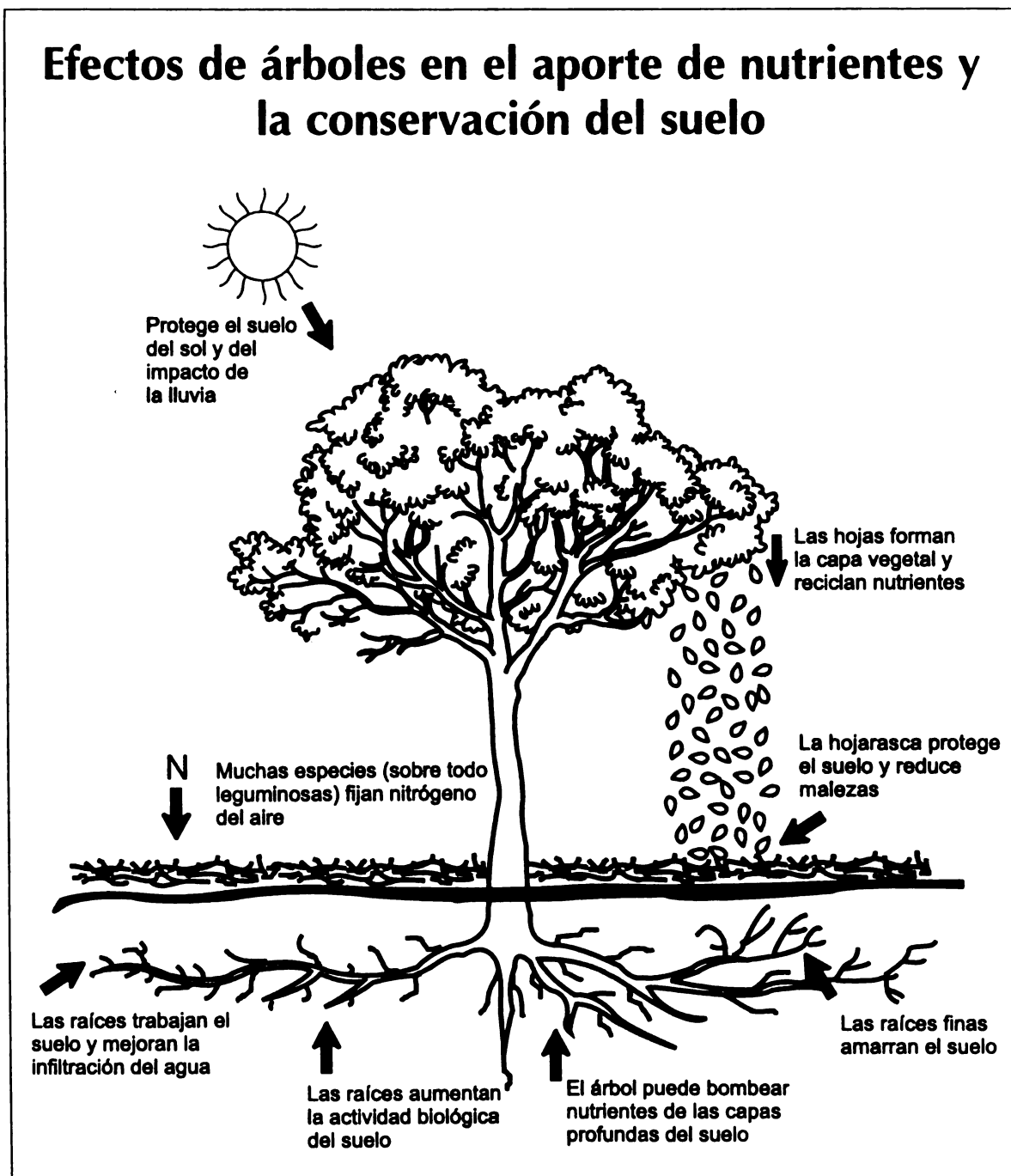
Agroforestería para manejo y conservación de la vegetación

- Reducción de presión sobre los bosques mediante fuentes alternativas para madera, leña, alimentos, etc.
- Condiciones favorables (microclima, suelo, cobertura, etc.) para otras especies vegetales.
- Hábitat y alimento para animales diseminadores y polinizadores (aves, insectos, etc.).
- La sombra en SAF reduce el crecimiento de malezas agresivas que pueden competir con el cultivo.
- Fuente de diversidad genética, fundamental para la producción agrícola futura.
- Combate de la desertificación y así promoción de la conservación de recursos vegetales.
- Interceptación y redistribución de la lluvia puede evitar el arrastre de semillas y favorecer la regeneración natural de las especies.
- Mantenimiento del C en los ecosistemas terrestres por prevención de mayor deforestación y por la acumulación de biomasa en tierras reforestadas con SAF.
- Paisajes más naturales, armoniosos y agradables que inspiran la arborización y conservación de la cobertura vegetal.



Agroforestería en el manejo y conservación del suelo

- Incremento de la materia orgánica a través de la caída de hojarasca, descomposición de raíces y biomasa de podas de árboles y residuos de cosecha.
- Sombreo afecta la descomposición y mineralización de la materia orgánica.
- Transformación de formas inorgánicas de fósforo poco disponibles a formas disponibles para las plantas.
- Redistribución de los cationes potasio, magnesio y calcio en el perfil del suelo.
- Mejoramiento de la agregación/porosidad del suelo (incluye canales de raíces).
- Reducción de la erosión del suelo y de la pérdida de nutrientes.
- Laboratorio natural para la investigación y la enseñanza del manejo y conservación de suelos.



Fuente: modificado de Geilfus F, 1994. *El Árbol al Servicio del Agricultor. Manual de Agroforestería para el Desarrollo Rural.* Turrialba, Costa Rica: ENDA CARIBE/CATIE.



**Contenido de nutrientes en la biomasa de hojas y ramas
(cinco podas) de cuatro especies leñosas
(cultivadas a 4 m x 0.5 m) en un Alfisol en Nigeria**

Especies	Biomasa de hojas y ramas (t ha ⁻¹ año ⁻¹)	Contenido de nutrientes (kg ha ⁻¹)				
		N	P	K	Ca	Mg
<i>Dactyladenia barteri</i> (Chrysobalanaceae)	3.0	41	4	20	15	5
<i>Alchornea cordifolia</i> (Euphorbiaceae)	4.0	85	6	48	42	8
<i>Gliricidia sepium</i> (Leguminosae)	5.5	169	11	149	66	17
<i>Leucaena leucocephala</i> (Leguminosae)	7.4	247	19	185	98	16

Fuente: Juo y Kang, 1988.



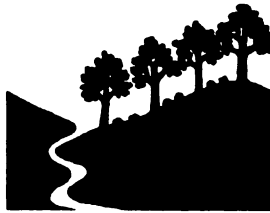
Agroforestería en el manejo y conservación del agua

- Retiene sustancias contaminantes y mejora la calidad física, química y biológica del agua.
- Aumenta la capacidad de almacenamiento de agua en el agroecosistema reduciendo picos máximos.
- Estabilización de taludes y riberas de corrientes de agua, litorales y otras áreas frágiles.
- Reduce la posibilidad de obstrucción de corrientes de agua, canales de riego y, por ende, de inundaciones.
- Reduce la sedimentación de embalses y desembocaduras, evitando así alteraciones en los hábitats y ciclos de vida de especies acuáticas.
- Reduce pérdidas de nutrientes por lixiviación.
- En zona secas, redistribución de agua profunda en la zona radicular.
- Disminución del nivel del agua (capa freática) en el suelo.

LITERATURA CITADA

- Altieri, M. A. 1995. Agroecology. The Science of Sustainable Agriculture. 2nd ed. Boulder, CO: Westview Press. 433 p.
- Anderson, A. B. (ed.) 1990. Alternatives to deforestation: steps toward sustainable use of the Amazon rainforest. New York, USA. Columbia University Press. 281p.
- Baume, M. 1987. Le rôle possible de l'agroforesterie dans la lutte contre la désertification et la dégradation de l'environnement. Wageningen, Pays-Bas. CTA. 260 p.
- Bosch, J. M. Hewlett, J. D. 1982. A review of catchment experiments to determine the effect of vegetation changes on water yield and evapotranspiration. Journal of Hydrology 55 (1-4): 3-23.
- Boughton, W. C. 1970. Effects of land management on quantity and quality of availability water: a review. Australian Water Resources Council Research Project 68-2, Report No. 120. Manly Vale. University of New South Wales.
- Bruijnzeel, L. A. 1983. Hydrological and biochemical aspects of manmade forests in South-Central Java, Indonesia. Amsterdam, University of Amsterdam.
- Bruijnzeel, L. A. 1990. Hydrology of moist forests and effects of conversion: a state of knowledge review. Paris, France. UNESCO. 224 p.
- Cadisich, G., Giller, K.E. (eds.), 1997. Driven by Nature. Plant Litter Quality and Decomposition. Wallingford, UK: CABI. 409 p.
- Daily, G.C., Alexander, S., Ehrlich, P.R., Goulder L., Lubchenco, J., Matson, P.A., Mooney, H.A., Postel, S., Schneider, S.H., Tilman, D., Woodwell, G.M., 1997. Ecosystem services: benefits supplied to human societies by natural ecosystems. Ecological Society of America. Issues in Ecology No. 2. 16 p.
- Food and Agriculture Organization of the United Nations. 1989. Forestry and food security. Rome, FAO Forestry Paper No. 90. 128 p.
- Gliessman, S. 1998. Agroecology. Ann Arbor, MI, Sleeping Bear Press. 357 p.
- Imbach, A. C.; Fassbender, H.W.; Beer, J.; Borel, R.; Bonnemann, A. 1989. Sistemas agroforestales de café (*Coffea arabica*) con laurel (*Cordia alliodora*) y café con poró (*Erythrina poeppigiana*) en Turrialba, Costa Rica. 6: Balances hídricos e ingreso con lluvias y lixiviación de elementos nutritivos. Turrialba 39 (3): 400-414.
- Hamilton, L. S.; King, P. N. 1983. Tropical Forested Watersheds. Colorado, USA. Westview Press. 168 p.
- Hardjono, H. W. 1980. The effect of permanent vegetation and its distribution on streamflow of three sub-watersheds in Central Java. Paper presented at Seminar of Hydrology and Watershed Management. Surakarta. 18 p.
- Hartemink, A. E.; Buresh, R. J.; Jama B.; Janssen, B. H. 1996. Soil nitrate and water dynamics in sesbania fallows, weed fallows and maize. Soil Science Society of America Journal: 60: 568-574.
- Harvey, C., 2001. Agroforestería y biodiversidad. In: Jiménez, F., Muschler, R.G. y Köpsell, E. (eds.). Funciones y Aplicaciones de la Agroforestería. Módulo de Enseñanza Agroforestal No. 6. CATIE, Turrialba, Costa Rica, Proyecto Agroforestal CATIE/GTZ. p. 97-140.
- Hewlett, J. D. 1982. Forests and floods in the light of recent investigation. In: Hydrological Processes of Forested Areas. Ottawa, Canada. National Research Council. p. 543-560.
- Hillel, D., 1991. Out of the Earth. Civilization and the Life of the Soil. Berkeley, USA, Univ. of California Press. 321 p.
- Holmes, J. W.; Wronski, E. B. 1982. On the water harvest from afforested catchments. In: E. M. O'Loughlin y L. J. Bren (eds.). The first national symposium on forest hydrology. Barton. Institute of Engineers. p. 1-6.
- Huxley, P. 1999. Tropical Agroforestry. United Kindon, Blackwell Science. 371 p.
- Jiménez, F., 2001. Agroforestería y manejo de cuencas. In: Jiménez, F., Muschler, R.G. y Köpsell, E. Funciones y Aplicaciones de la Agroforestería. Módulo de Enseñanza Agroforestal No. 6. CATIE, Turrialba, Costa Rica, Proyecto Agroforestal CATIE/GTZ. p. 61-96.

- Jiménez, F., Muschler, R.G., 2001. Introducción a la agroforestería. In: Jiménez, F., Muschler, R.G. y Köpsell, E. *Funciones y Aplicaciones de la Agroforestería. Módulo de Enseñanza Agroforestal No. 6.* CATIE, Turrialba, Costa Rica, Proyecto Agroforestal CATIE/GTZ. p. 1-26.
- Juo, A. S. R.; Kang, B. T. 1989. Nutrient effects of modification of shifting cultivation in West Africa. In: J. Proctor (ed.). *Mineral nutrients in tropical forest and savanna ecosystems.* London, U.K, Blackwell Scientific. p. 289-300.
- Kang, B. T. 1993. Alley cropping: past achievements and future directions. *Agroforestry Systems* 23: 141-155.
- Kang, B. T.; Lal, R. 1981. Nutrient losses in water runoff from agricultural catchments. In: Lal y Russell (eds.) *Tropical Agricultural Hydrology.* New York, Wiley and Sons. p. 153.161.
- Mathur, H. N.; Babu, R.; Joshie, P.; Singh, B. 1976. Effect of clearfelling and reforestation on runoff and peak rates in small watersheds. *Indian Forester* 102 (4): 219-226.
- Montagnini, F. et al., 1992. *Sistemas Agroforestales. Principios y Aplicaciones en los Trópicos.* San José, Costa Rica, Organización para Estudios Tropicales. 622 p.
- Muschler, R.G. 2001. Agroforestería y agricultura sostenible: bases ecológicas y limitantes. In: Jiménez, F., Muschler, R.G. y Köpsell, E. *Funciones y Aplicaciones de la Agroforestería. Módulo de Enseñanza Agroforestal No. 6.* CATIE, Turrialba, Costa Rica, Proyecto Agroforestal CATIE/GTZ. p. 49-60.
- Nair P. K. R. 1993. *An Introduction to Agroforestry.* Dordrecht: Kluwer. 499 p.
- Palm, C. A. 1995. Contribution of agroforestry trees to nutrient requirements of intercropped plants. *Agroforestry Systems* 30: 105-124.
- Rao, M. R.; Nair, P. K. R.; Ong, C. K. 1998. Biophysical interactions in tropical agroforestry systems. *Agroforestry Systems* 38: 3-50.
- Sánchez, P. A. 1994. Alternatives to slash and burn: a pragmatic approach for mitigating tropical deforestation. In: J. R. Anderson (ed.) *Agricultural technology, policy issues for the international community.* Wallingford, U. K. CABI. P. 451-480.
- Schroeder, P. 1993. Agroforestry systems: integrated land use to store and conserve carbon. *Climate Research* 3: 53-60.
- Schroeder, P. 1994. Carbon storage benefits of agroforestry systems. *Agroforestry Systems* 27: 89-97.
- Szott, L., Ibrahim, M., Beer, J., 2000. The hamburger connection hangover: cattle, pasture land degradation and alternative land use in Central America. Turrialba, Costa Rica: CATIE. 71 p.
- United Nations Environment Programme. 1997. *Global Environment Outlook-1. Global State of the Environment. Report 1997.*
- Weischet W., Caviedes C. N., 1993. *The Persisting Ecological Constraints of Tropical Agriculture.* Burnt Mill, Harlow, UK, Longman Scientific & Technical. 319 p.
- WRI, 1999. *1998-99 World Resources, A Guide to the Global Environment. Environmental Change and Human Health* World Resources Institute. Oxford University Press. 384 p.
- WWI, 1992. *La situación en el mundo 1992.* Worldwatch Institute. Buenos Aires, Editorial Sudamericana. 311 p.
- WWI, 1991. *La situación en el mundo 1991.* Worldwatch Institute. Buenos Aires, Editorial Sudamericana. 359 p.
- WWI, 1994. *State of the World 1994.* Worldwatch Institute. New York, W.W. Norton & Company. 265 p.
- Young, A. 1988. Agroforestry in the control of soil erosion by water. *Agroforestry Abstracts* 1 (2/3): 39-48.
- Young, A. 1997. *Agroforestry for Soil Management.* Wallingford, UK: CAB International. 320 p.



TEMA 3

Agroforestería y Agricultura Sostenible: Bases Ecológicas y Limitantes

Reinhold G. Muschler

INTRODUCCIÓN

En este capítulo se revisa la importancia de los árboles para la sostenibilidad ecológica de sistemas de uso de la tierra. Se enfoca en los árboles, porque su presencia y sus efectos generan los atributos específicos de los sistemas agroforestales (SAF). Sin embargo, el grado de los efectos positivos de los árboles hacia el ambiente y, por ende, los cultivos o animales asociados, está sujeto al ambiente. Por ello, también hay que explorar cuáles condiciones ambientales favorecen el uso de árboles en los sistemas de uso de la tierra llamados SAF (ver definición de agroforestería en Tema 1). Cuando se habla de sostenibilidad ecológica (también hay sostenibilidad económica, social, cultural, etc.), se hace referencia al concepto de producir de una manera que permita que no se degrade el potencial productivo en el futuro (Gliessman, 1998; Huxley, 1999) [acetato 1]. En muchos casos, esto significa producir dentro de los límites biofísicos de agroecosistemas sin o con muy pocos insumos externos [acetatos 2 y 3]. Hay que reconocer estos límites para cada situación para poder interpretar correctamente la productividad obtenida y diseñar un manejo adecuado. Por ejemplo, un potrero en un suelo infértil y rojo no puede tener la misma productividad como si fuera en un suelo fértil derivado de cenizas volcánicas. Igualmente, la producción de ca-

fé es reducida en condiciones no óptimas con limitaciones de temperaturas altas, falta de agua, o una presencia alta de enfermedades (Beer *et al.*, 1998; Muschler, 1999). Bajo estas condiciones limitantes, tanto para los potreros como para los cafetales mencionados, la productividad máxima de un sistema sostenible va a ser menor que para sistemas en condiciones óptimas. Para que pueda ser sostenible, un sistema de uso de la tierra tiene que ser [acetato 2]:

1. Adaptado al ambiente natural para permitir el uso y reciclaje eficiente de recursos naturales (agua, nutrientes, luz, etc.) sin degradar los recursos.
2. Orientado hacia un uso mínimo o nulo de insumos externos (minimizando así los costos y el impacto ambiental, o sea, las "externalidades").
3. Productivo para que sea económicamente atractivo para el agricultor.
4. Socialmente compatible para permitir su adopción.

Entre los componentes para cualquier sistema de producción agrícola, los árboles frecuentemente juegan un rol prominente debido a su tamaño y longevidad. Durante toda la historia de la domesticación de plantas y animales, los árboles han sido usados por sus productos múltiples (Smith *et al.*, 1992). Desde los años 70, los sistemas agrícolas con una presencia de árboles suficiente como para tener un impacto

ecológico y económico marcado han sido llamados SAF (Nair, 1993). La complejidad de estos sistemas puede variar de unos pocos árboles cuidadosamente ubicados en un sistema relativamente homogéneo como, por ejemplo, un potrero (Pezo y Ibrahim, 1999) o un rompeviento (Méndez et al. 2000), a sistemas con una alta diversidad de componentes como, por ejemplo, huertos caseros (Lok, 1998).

En SAF, con componentes de tamaño y longevidad diferente, existen interacciones múltiples (Muschler, 1993; Rao et al., 1998; Nair et al., 1999) entre árboles, cultivos, animales y el hombre, las cuales determinan el éxito de un sistema. Para poder entender el interés en SAF con una presencia marcada de árboles, hay que examinar primero cómo y bajo cuáles circunstancias los árboles pueden beneficiar al suelo, a los cultivos asociados y al hombre.

¿CÓMO Y DÓNDE FUNCIONAN LOS SAF?

Los árboles son perennes, lo que significa que, generalmente, están presentes en el sistema durante más tiempo que los animales, cultivos o el hombre. Por ende, sus efectos se hacen notar a las escalas de décadas o aún siglos. Debido a su mayor tamaño (en la mayoría de los casos), su follaje y ramas pueden moderar el microclima para los cultivos asociados de manera permanente y predecible (Reifsnyder y Darnhofer, 1989; Monteith y Unsworth, 1990; Monteith et al., 1991; Stigter, 1988; Muschler y Nair, 1999). Este efecto reduce las condiciones extremas de viento, temperatura, humedad o sequía las cuales podrían limitar el crecimiento y la producción de los cultivos o animales en ausencia de árboles [acetato 4]. Al mismo

tiempo, y cuando no existen impedimentos para un enraizamiento profundo (este no siempre es el caso), las raíces de árboles pueden aprovechar un volumen mayor de suelo que las raíces de los cultivos, los cuales son típicamente más pequeños y de ciclo productivo más corto (Nair, 1993) [acetato 5]. Esto significa una absorción de nutrientes y agua de mayores profundidades del suelo, que de otro modo (sin las raíces profundas de los árboles) no estarían accesibles para los cultivos. Cuando los árboles pierden follaje, ramas y raíces, estos nutrientes son incorporados al ambiente del cultivo (Buresh y Tian, 1998). Contribuciones de biomasa ayudan a estabilizar el contenido de la materia orgánica en el suelo y sus funciones esenciales (Henderson, 1995; Young, 1997, Nair et al., 1999) para un ecosistema sostenible. Finalmente, y con pocas excepciones, los árboles contribuyen a proteger el suelo del lavado y la erosión a través de sus tejidos vivos y muertos, tanto en el dosel como encima o en el suelo. Esta protección de la erosión tiene implicaciones económicas muy grandes como fue estimado, por ejemplo, para los Estados Unidos por Pimentel et al. (1995).

En resumen, los árboles contribuyen tanto a mejorar el ambiente para los cultivos como a mantener la fertilidad del suelo, el requisito fundamental para que agroecosistemas puedan ser productivos, económicamente atractivos y socialmente aceptables (ver acetato 2).

Pero, si los árboles tienen tantos efectos positivos, surge la pregunta por qué los árboles no son usados en todos los sistemas de uso de la tierra. Para poder explicar esto, tenemos que explorar cuáles son las limitantes para el uso de los árboles y, por ende, de SAF.

LIMITANTES PARA EL ÉXITO DE SAF

Las limitantes principales se pueden encontrar en tres áreas: patrones históricos o tradicionales del uso de la tierra, factores socioeconómicos, y limitantes biofísicas.

La limitante histórica proviene del enfoque "agroindustrialista" de los últimos cincuenta años de maximizar la producción agrícola basada en monocultivos y altos insumos externos (sobre todo, energía mecánica y agroquímicos) (Billard, 1970). Esto se logra típicamente a través de la separación completa de los árboles y los cultivos. Con este objetivo, quedó poco espacio para el desarrollo y mejoramiento de sistemas basados en una alta diversidad de especies y pocos insumos externos. Las implicaciones de este enfoque fueron recientemente discutidos para la caficultura en América Central (Fernández y Muschler, 1999). Sin embargo, motivado por las preocupaciones recientes en torno a la degradación ambiental causada por muchas tecnologías de altos insumos (Gliessman, 1998; Boyce *et al.*, 1994), este objetivo tuvo que cambiar. El nuevo objetivo enfoca más en la diversificación del ingreso para mayor estabilidad y, por ende, menor riesgo. Cada vez más, se investigan tecnologías de bajos insumos externos, especialmente importantes para países tropicales con pocos recursos económicos (Gliessman, 1998).

Las principales limitantes socioeconómicas para el éxito de SAF pueden ser la mayor demanda de mano de obra, por ejemplo para podas, chapias y reciclaje de biomasa (Lyngbaek *et al.*, 1999). La mayor necesidad de mano de obra ha sido un argumento contra la práctica agroforestal "cultivos en callejones" o el uso de árboles que muchas veces necesitan más de una

década para alcanzar dimensiones comerciales y generar ingresos.

Las principales limitantes biofísicas para asociar árboles con cultivos pueden ser divididas en tres grupos. Primero, la productividad de cultivos con altos requerimientos de radiación solar puede ser reducido fuertemente por la sombra excesiva de los árboles. Este es el caso para muchos cultivos de gramíneas como el maíz, la caña de azúcar, o cultivos hortícolas como el chile o el tomate. Sin embargo, hay muchos cultivos que soportan diferentes grados de sombra. Ejemplos comunes, entre muchos, son el café, cacao, cardamomo (*Elettaria cardamomo*), jengibre (*Zingiber officinale*) y arazá (*Eugenia stipitata*). La selección y el manejo adecuado de los árboles para reducir el sombreado y la selección de los cultivos o variedades de mayor tolerancia a la sombra pueden reducir o eliminar este problema (Huxley, 1999). Segundo, cuando existen limitaciones de nutrientes o agua, un caso común en muchas partes de América Central, los árboles pueden reducir los rendimientos de los cultivos por competencia por agua y/o nutrientes. Un ejemplo de este caso puede ser la práctica "cultivo en callejones" en ambientes áridos o semiáridos, donde la competencia de los árboles por agua puede reducir fuertemente la productividad del cultivo (Singh *et al.*, 1989). Además, algunas especies arbóreas, por ejemplo ciertas especies de *Juglans* y *Eucalyptus*, pueden suprimir el crecimiento de plantas asociadas a través de compuestos químicos liberados al suelo, un proceso llamado "alelopatía". Este efecto requiere probablemente de un clima seco donde los aleloquímicos (las sustancias activas que reducen el crecimiento de otras plantas), no pueden ser lixiviados del suelo antes de ser activos. En ambos casos, la competencia y la alelopatía, el ambiente

biofísico determina la intensidad del efecto negativo de los árboles hacia los cultivos. Igual que los efectos negativos de los árboles, también la magnitud de efectos positivos depende del ambiente; y esto forma la tercera limitante biofísica para SAF. En ambientes óptimos, donde el estrés ambiental para los cultivos es mínimo o nulo, el efecto benéfico de los árboles vía la moderación de condiciones ambientales estresantes simplemente no puede manifestarse. Ejemplos pueden ser las zonas con suelos fértiles derivados de cenizas volcánicas (algunas áreas cafetaleras de la meseta Central de Costa Rica o en algunas áreas de Guatemala o Colombia) o de depósitos aluviales con un clima húmedo donde los cultivos no son limitados ni por nutrientes ni por agua. Bajo estas condiciones, los beneficios ecológicos de los árboles, ignorando su contribución universal a largo plazo para mantener la fertilidad del suelo, pueden ser demasiado débiles para poder compensar sus efectos negativos (Muschler, 1999). Sin embargo, este tipo de sitios es la excepción. Sitios con limitantes edáficas o climáticas para el crecimiento de cultivos son mucho más comunes, y es exactamente en estas condiciones, donde las contribuciones positivas de los árboles pueden ser aprovechadas para el beneficio del cultivo asociado.

PERSPECTIVAS PARA LOS SAF

En aquellas situaciones donde los beneficios de los árboles, incluyendo los ingresos por la venta de madera, leña o frutos, son mayores que los efectos negativos de los árboles, la asociación agroforestal va a ser una mejor opción de uso de la tierra que un monocultivo sin árboles. Este es el caso en grandes áreas de los trópicos afectados por limitantes climáticas, edáficas, y

deficiencias cada vez mayores de productos derivados de los árboles. Además, la búsqueda de sostenibilidad ecológica y de conservación de la biodiversidad, ambas basadas en perspectivas a largo plazo, también hacen árboles ser más atractivos. La demanda creciente por madera o por árboles vivos por sus funciones ecológicas (hasta sus funciones para aves migratorias y la fijación de nitrógeno y carbono) son otros elementos que alimentan el interés de plantar más árboles, incluyendo en asociaciones agroforestales. En América Central, la dominancia de áreas de café bajo sombra versus café al sol puede ilustrar un ejemplo de un SAF exitoso que puede ser sostenible a través del tiempo y, a la vez, generar ingresos y trabajo por los productos múltiples como café, madera, frutos y leña. Hay muchos otros ejemplos de este tipo de sistema exitoso. La demanda actual, cada vez más fuerte, por información técnica y materiales de enseñanza en agroforestería y agricultura ecológica refleja la dinámica desarrollada en estos campos. El reto es de ajustar los sistemas y su manejo a las condiciones ambientales específicas de cada situación que los agricultores pueden enfrentar. Las herramientas principales para lograrlo son la selección de especies apropiadas y un manejo que permita maximizar los beneficios de los árboles mientras, al mismo tiempo, se minimizan los efectos negativos.

Las experiencias en agroforestería en las últimas dos décadas han demostrado un gran potencial para asociar árboles y cultivos para beneficio mutuo y para el bienestar de las personas que dependen de estos sistemas. Los SAF, si son diseñados y manejados según los principios presentados en los Acetatos 1 a 3, son buenos ejemplos de prácticas sostenibles de uso de la tierra. Es probable que los esfuerzos seguirán en

todas partes del mundo para convertir una parte de los áreas bajo monocultivos a comunidades diversificadas con más especies incluyendo árboles apropiados como un componente principal de este cambio. Encontrar estos árboles y su mejor manejo

y promover su uso en ambientes apropiados es uno de los retos principales para la investigación actual en agroforestería, tanto en el CATIE como en otras instituciones enfocados en agroforestería y agricultura sostenible.



¿Qué es “Uso sostenible” de la Tierra?

Una definición fundamental es que, para ser sostenible, un sistema de uso de la tierra tiene que **producir para las necesidades de hoy sin comprometer la productividad de mañana.**

En otras palabras: un sistema de producción sostenible no debe causar daño o degradar los recursos naturales que forman la base para la producción agrícola futura.

Las prácticas agrícolas NO son sostenibles, si:

- Contaminan el ambiente con agroquímicos residuales (ej. paraquat, terbufos, metales pesados, DDT).
- Degradan el suelo (por compactación, erosión, etc.).
- Reducen la biodiversidad irreversiblemente (en gran escala).
- Dependen de altos insumos externos (combustibles, agroquímicos).
- No aseguran el uso eficiente de los recursos naturales (agua, nutrientes, luz, suelo, biodiversidad).



Condiciones para la sostenibilidad ecológica

Para ser sostenible, un sistema de uso de la tierra tiene que ser:

1. Adaptado al ambiente natural para permitir el uso y reciclaje eficiente de recursos naturales (agua, nutrientes, luz, etc.) sin degradar los recursos naturales.
2. Orientado hacia un uso mínimo o nulo de insumos externos (minimizando así los costos económicos y ambientales, o sea, las "externalidades"), maximizando el uso de recursos disponibles localmente.
3. Productivo, con mercado y con potencial para generar valor agregado para que sea económicamente atractivo.
4. Socialmente compatible para permitir su adopción.



Atributos importantes para agroecosistemas promisorios

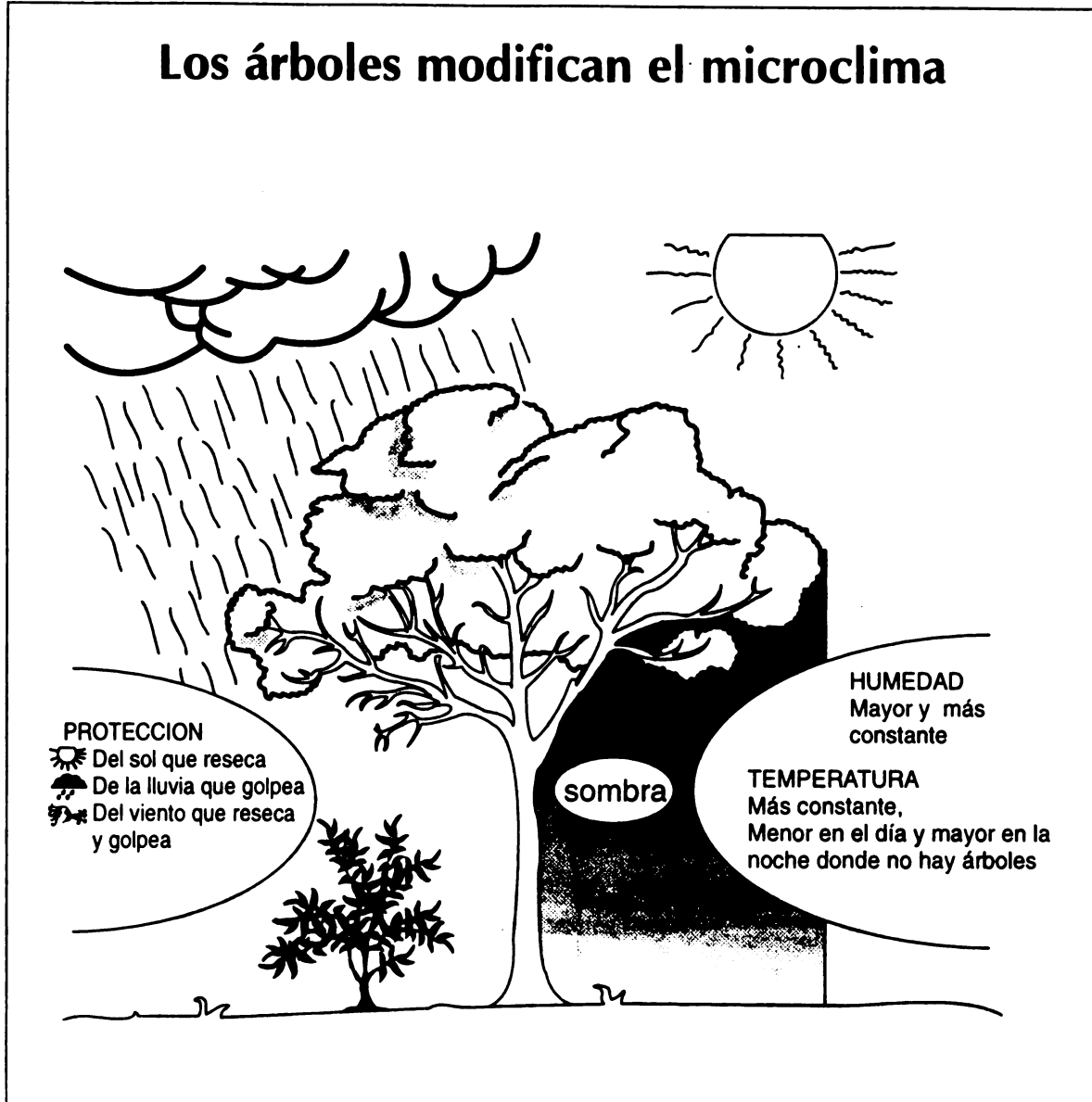
- Bajos requerimientos de fertilizante: sobre todo, nitrógeno y fósforo.
- Capacidad de aprovechamiento eficiente de nutrientes, luz y agua.
- Resistencia, tolerancia, o mecanismos de protección contra plagas y enfermedades.
- Protección del suelo contra degradación.
- Bajo riesgo ecológico y económico.

Comunidades mixtas de plantas, muchas veces parecidas a vegetación sucesional, cumplen con estos requerimientos; ellas son la base de sistemas agroforestales y agrícolas ecológicamente sostenibles.

Fuente: Basado parcialmente en: Ewel J.J. 1986. Designing agricultural ecosystems for the humid tropics. Ann. Rev. Ecol. Syst. 17:245-71.



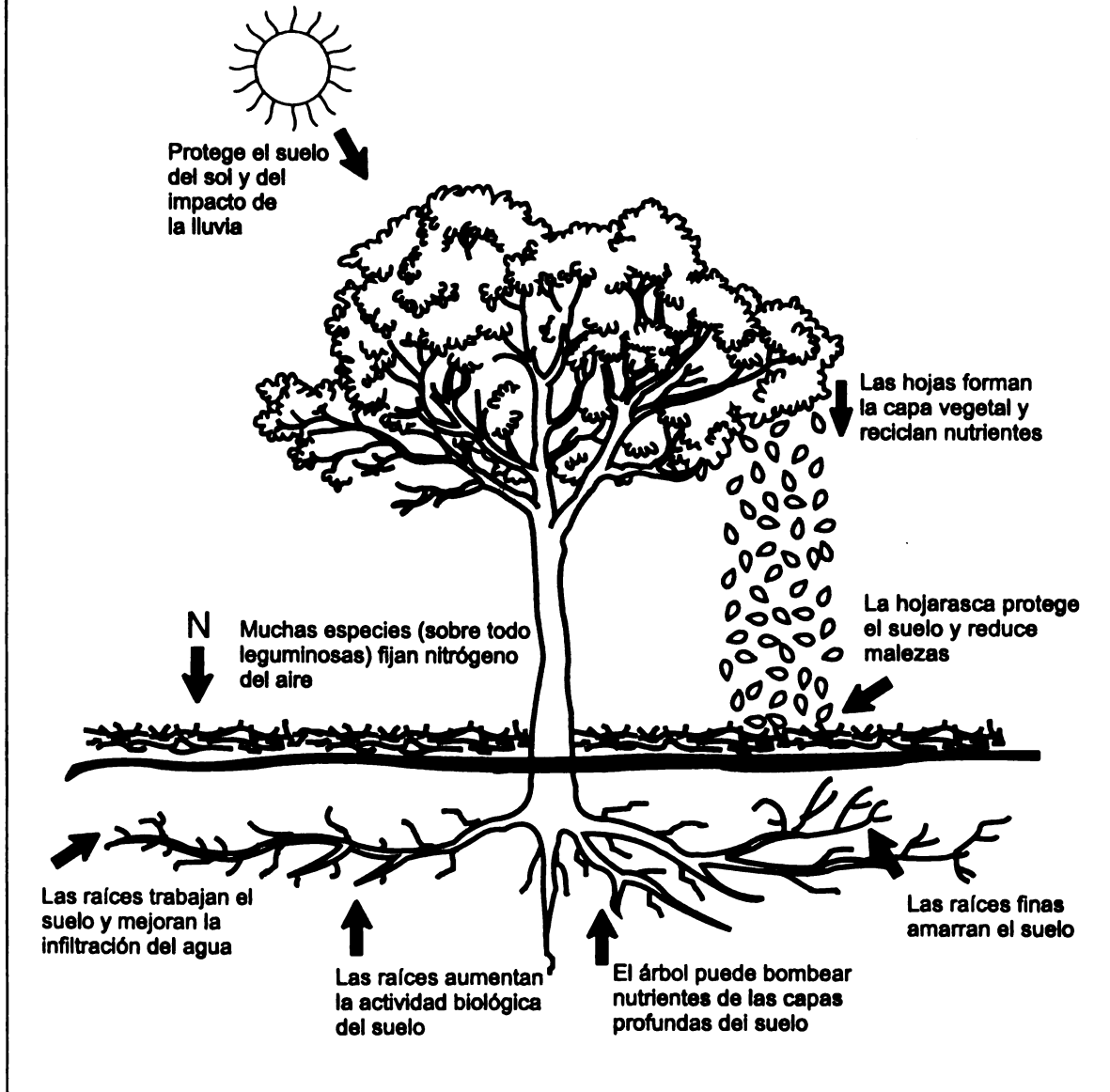
Los árboles modifican el microclima



Fuente: Modificado de: Geillius F, 1994. *El Árbol al Servicio del Agricultor. Manual de Agroforestería para el Desarrollo Rural*. Turrialba, Costa Rica: ENDA CARIBE/CATIE. 657 p.



Efecto de árboles en el aporte de nutrientes y la conservación del suelo



Fuente: modificado de Geilfus F, 1994. *El Árbol al Servicio del Agricultor. Manual de Agroforestería para el Desarrollo Rural*. Turrialba, Costa Rica: ENDA CARIBE/CATIE.

LITERATURA CITADA

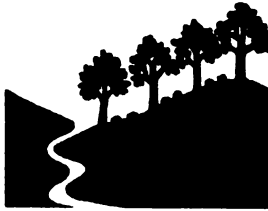
- Beer, J.W.; Muschler, R.G.; Kass, D.; Somarriba, E. 1998. Shade management in coffee and cacao plantations. *Agroforestry Systems* 38:139-164
- Billard, J.B. 1970. The Revolution in American Agriculture. *National Geographic* 137: 147-185.
- Boyce, J.K.; Fernández, A.; Fürst, E.; Segura, O. 1994. *Café y Desarrollo Sostenible: del Cultivo Agroquímico a la Producción Orgánica en Costa Rica*. Heredia, Costa Rica, EFUNA. 248 p.
- Buresh R.J.; Tian, G. 1998. Soil improvement by trees in sub-Saharan Africa. *Agroforestry Systems* 38: 51-76.
- Fernandez, C.E.; Muschler, R.G. 1999. Aspectos de la sostenibilidad de los sistemas de cultivo de café en América Central. In: B. Bertrand y B. Rapidel (eds.). *Desafíos de la Caficultura en Centroamérica*. San José, Costa Rica, CIRAD-IICA-PROMECAFE. p. 69-96.
- Gliessman, S.R. 1998. *Agroecology. Ecological Processes in Sustainable Agriculture*. Ann Arbor, Michigan: Sleeping Bear Press. 357 p.
- Henderson G.S. 1995. Soil organic matter: a link between forest management and productivity. In: W. McFee WW y J.M. Kelly (eds.). *Carbon Forms and Function in Forest Soils*. Madison, WI: SSSA. p. 419-435.
- Huxley, P. 1999. *Tropical Agroforestry*. London, Blackwell Science. 371 p.
- Lok, R. 1998. *Introducción a los huertos caseros tradicionales tropicales*. Turrialba, Costa Rica, CATIE, Módulo de Enseñanza Agroforestal No. 3. 157 p.
- Lyngbaek A.E.; Muschler, R.G.; Sinclair, F.L. 1999. Productividad, mano de obra y costos variables en fincas cafetaleras orgánicas y convencionales de Costa Rica. *Agroforestería en las Américas* 6: 24-26.
- Méndez, E.; Beer, J.W.; Faustino J.; Otárola, A. 2000. *Plantación de Árboles en Línea*. Módulo de Enseñanza Agroforestal No. 1. Segunda ed. Turrialba, Costa Rica, CATIE. Módulo de Enseñanza Agroforestal No. 1. 134 p.
- Monteith, J.L. Ong, C.K.; Corlett, J.E.; 1991. Microclimate interactions in agroforestry. *Forest Ecology and Management* 45:31-44
- Monteith, J.L.; Unsworth, M.H. 1990. *Principles of Environmental Physics*. 2nd ed. London, Edward Arnold. 291 p.
- Muschler, R.G. 1993. Component Interactions. In: Nair, P.K.R. *An Introduction to Agroforestry*. Dordrecht, Kluwer. p. 243-258.
- Muschler, R.G. 1999. *Árboles en Cafetales*. Turrialba, Costa Rica, CATIE. Módulo de Enseñanza Agroforestal No. 5. 137 p.
- Muschler, R.G.; Nair, P.K.R. 1999. Modification of growth environment for *Coffea arabica* by different pruning regimes of *Erythrina poeppigiana* in Costa Rica. *Agroforestry Systems* (submitted).
- Nair, P.K.R. 1993. *Introduction to Agroforestry*. Dordrecht, Kluwer. 534 p.
- Nair, P.K.R.; Buresh, R.J.; Mugendi, D.N.; Latt, C.R. 1999. Nutrient cycling in tropical agroforestry systems: myths and science. In: L.E. Buck; J.P. Lassoie y E.C.M. Fernandes (eds.). *Agroforestry in Sustainable Agricultural Systems*. Boca Raton, CRC Press p. 1-31.
- Pezo, D.; Ibrahim, M. 1999. *Sistemas silvopastoriles*. 2a ed. Turrialba, Costa Rica, CATIE. Módulo de Enseñanza Agroforestal No. 2. 275 p.
- Pimentel, D.; Harvey, C.; Resosudarmo, P.; Sinclair, K.; Kurz, D.; McNair, M.; Crist, S.; Shpritz, L.; Fitton, L.; Saffouri, R.; Blair, R. 1995. Environmental and economic costs of soil erosion and conservation benefits. *Science* 267: 1117-1123.
- Reifsnnyder, W.S.; Darnhofer, T.O. (eds.), 1989. *Meteorology and Agroforestry*. Nairobi, Kenya: ICRAF.
- Rao, M.R.; Nair, P.K.R.; Ong, C.K. 1998. Biophysical interactions in tropical agroforestry systems. *Agroforestry Systems* 38: 3-50.
- Singh, R.P.; Ong, C.K.; Saharan, N. 1989. Above and below ground interactions in alley-cropping in semiarid India. *Agroforestry Systems* 9: 259-274.

Smith, N.J.H.; Williams, J.T.; Plucknett, D.L.; Talbot, J.P. 1992. *Tropical Forests and their Crops*. Ithaca, New York, Cornell University Press. 568 p.

Stigter, C.J. 1988. *Microclimate management and manipulation in traditional farming*. CAgM

Report No. 25. Geneva, World Meteorological Organization.

Young, A, 1997. *Agroforestry for Soil Management*. 2nd ed. Wallingford, UK: CAB International. 288 p.



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.

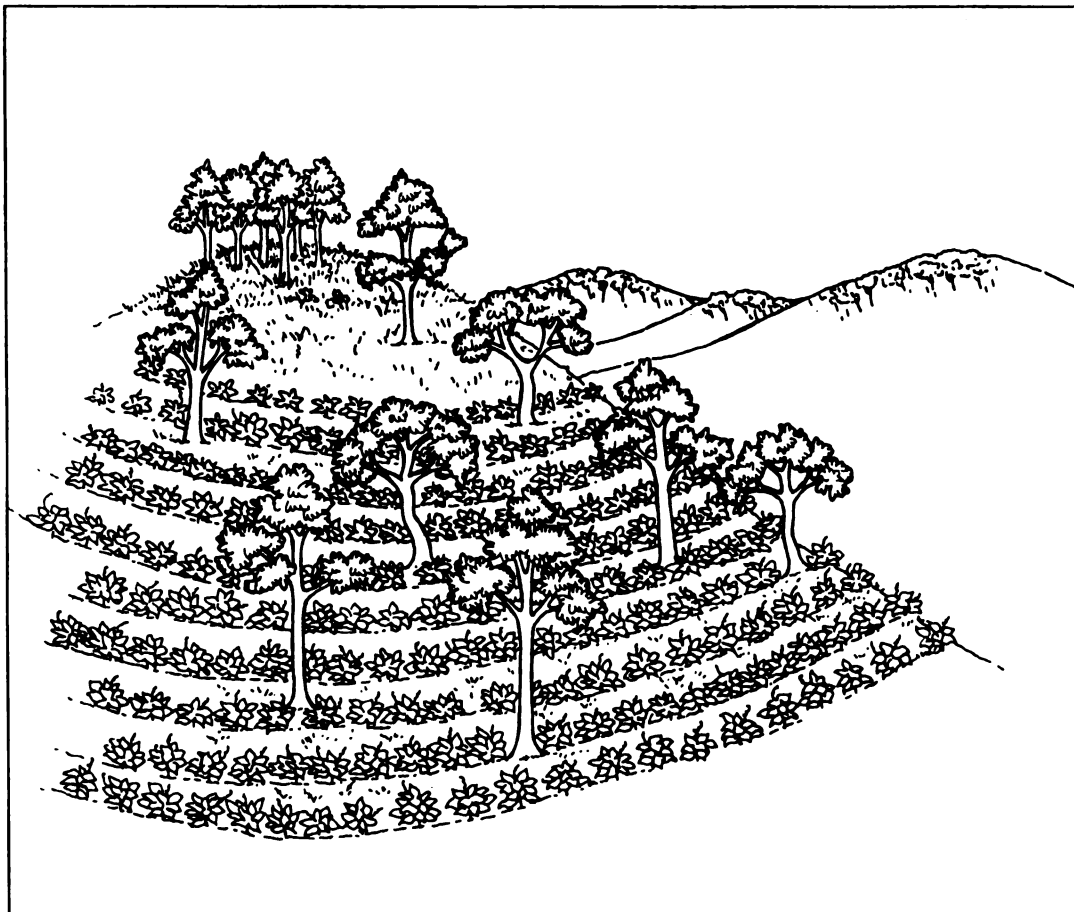


Posibilidades de la agroforestería en cuencas con riesgos ambientales asociados al incremento de la producción vegetal

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**





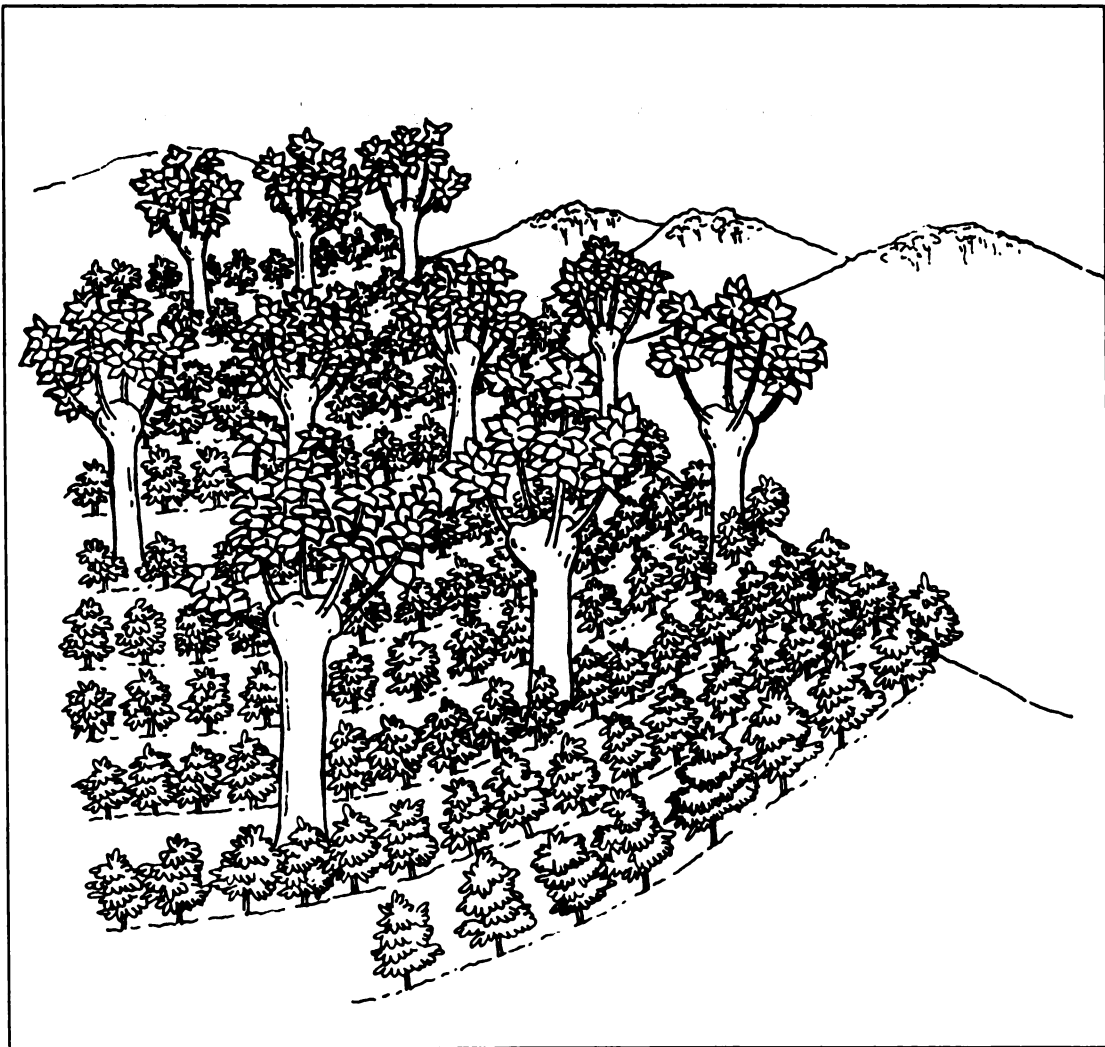
**Densidad de árboles maderables en fincas indígenas Ngöbe,
cuenca del Río Changuinola, Panamá**

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

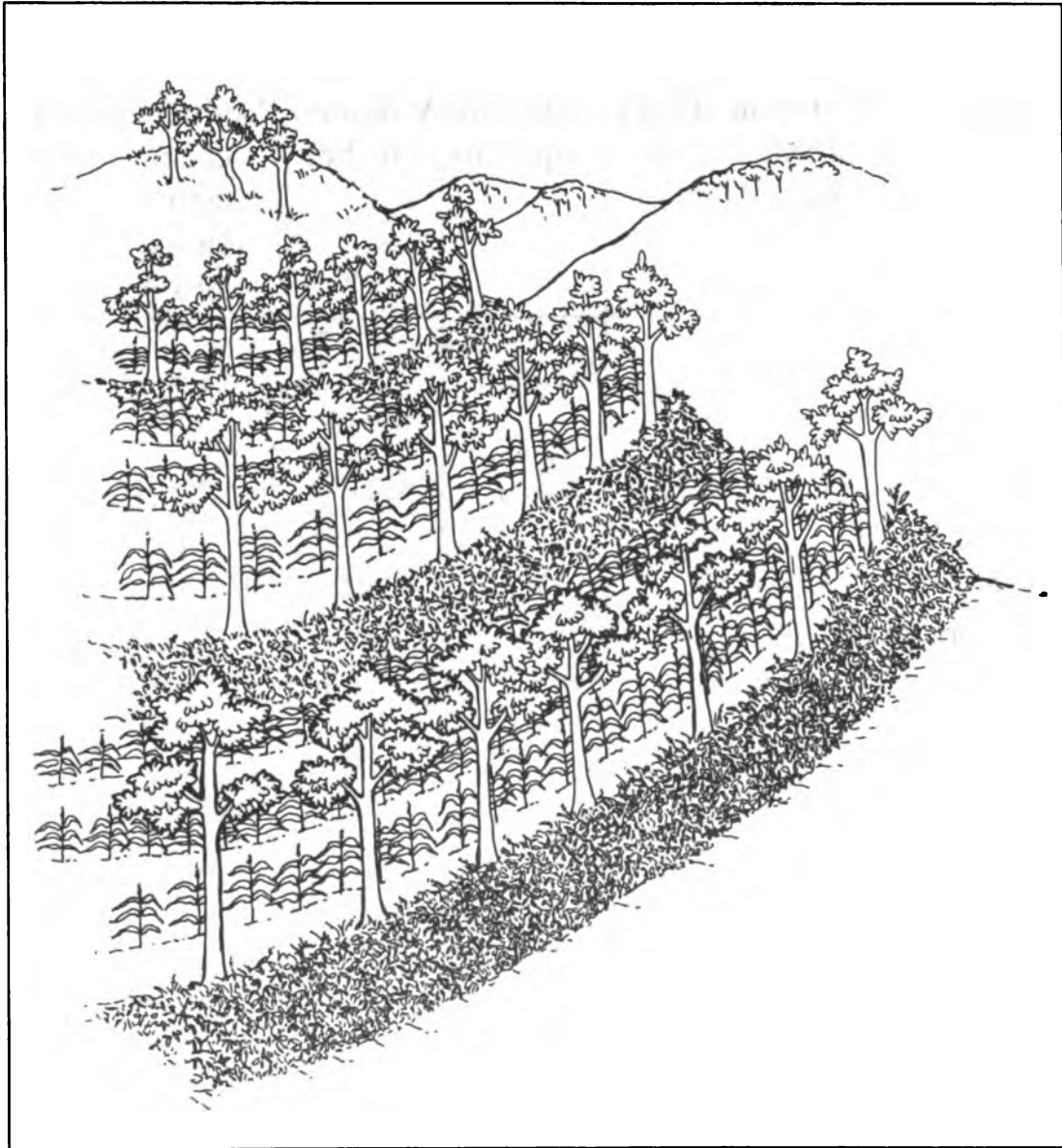
*Se podó.

** 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





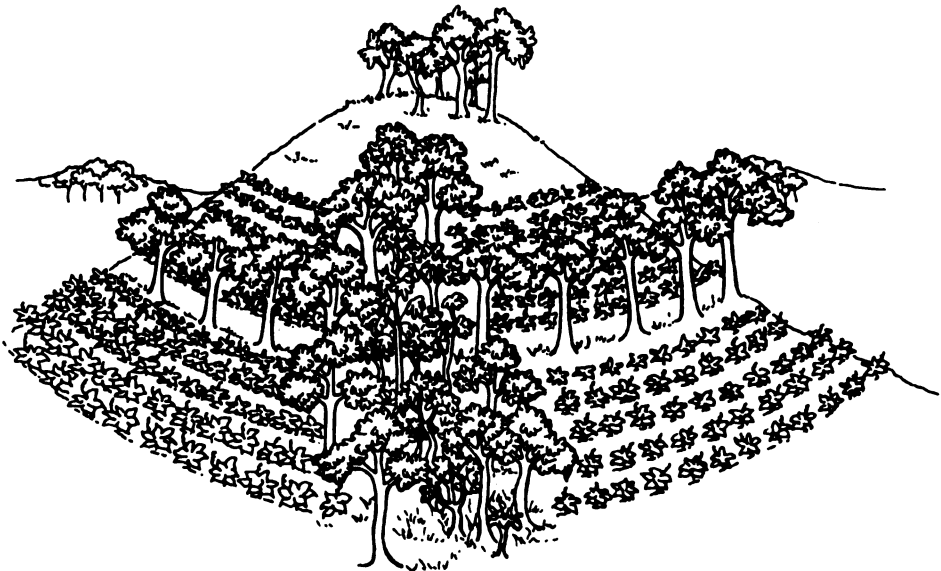
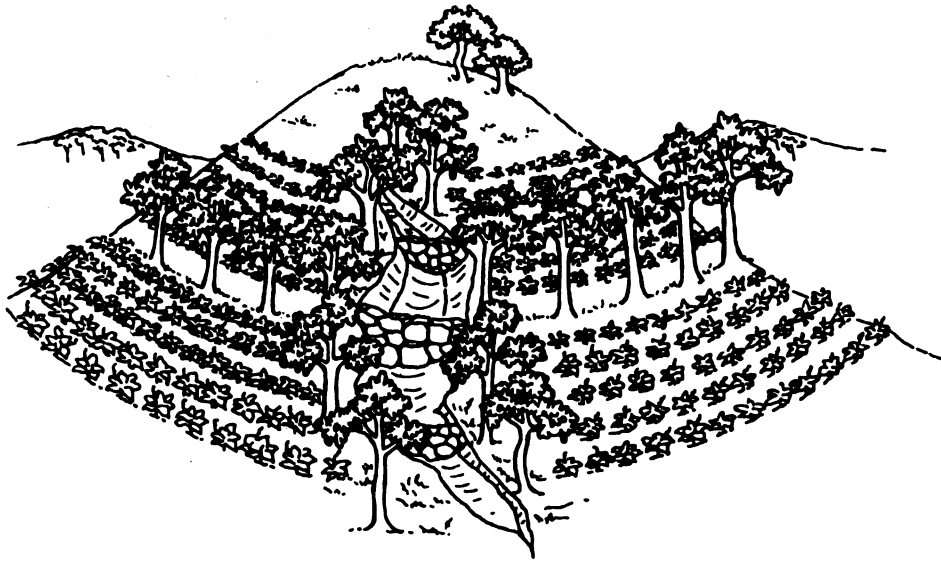
Barreras vivas para conservación de suelos y aguas en zonas de ladera de Nicaragua

- 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





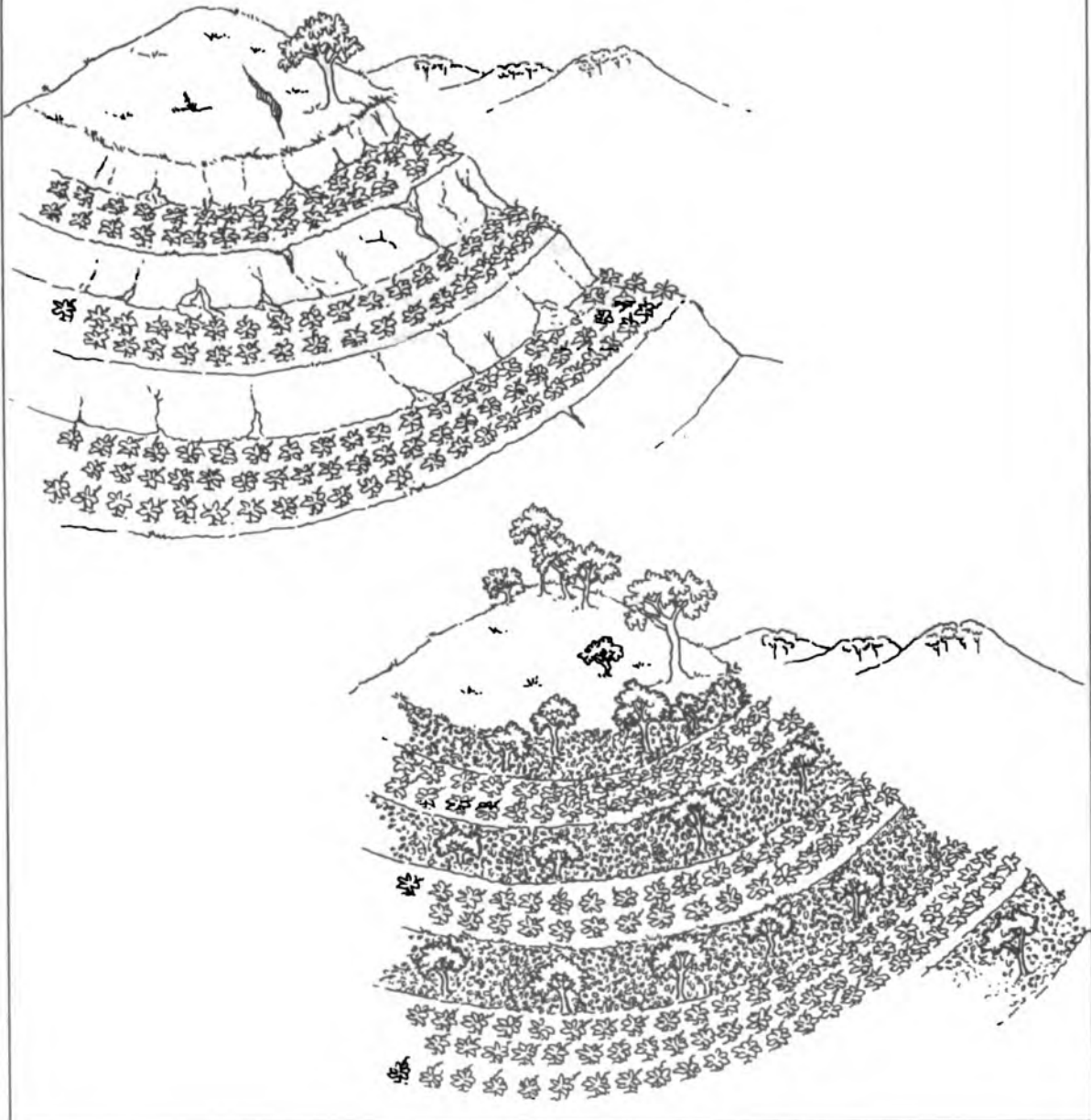
Agroforestería para control y rehabilitación de cárcavas en zonas de ladera en Nicaragua

- 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



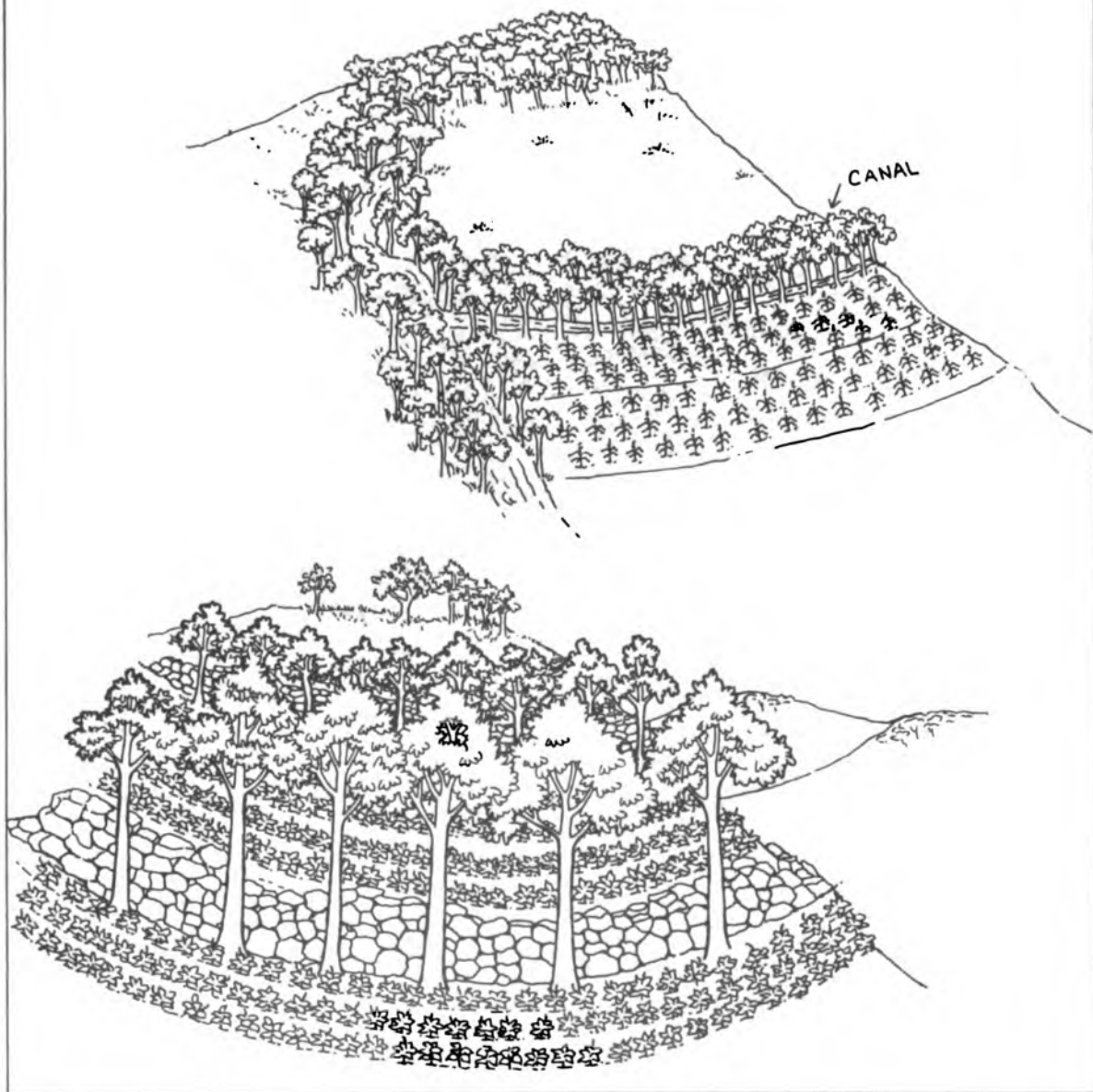


**La estabilización y protección de las riberas de ríos y quebradas
evitan daños a las parcelas agrícolas y a las cuencas**



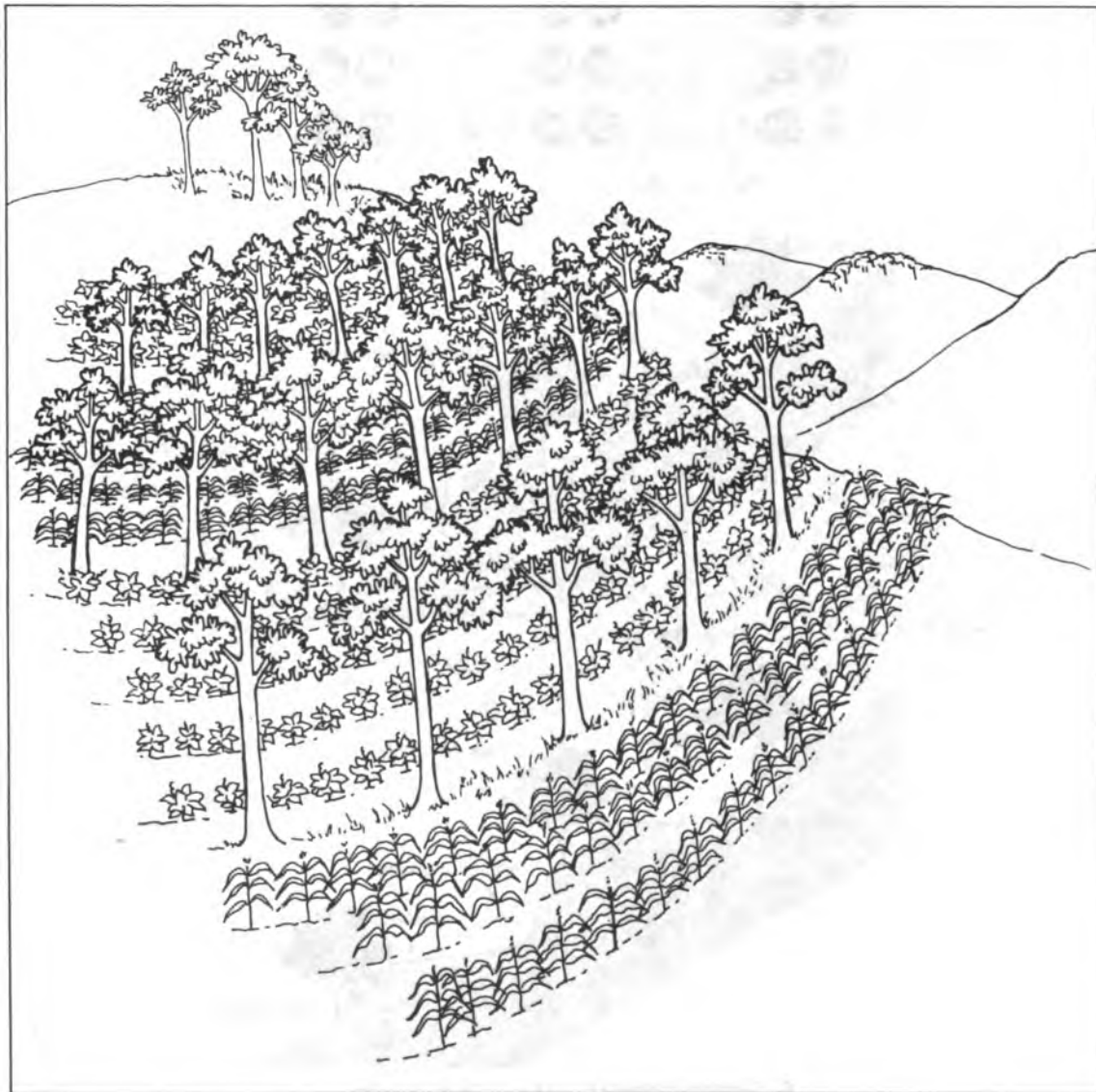


Las especies leñosas contribuyen al manejo de cuencas mediante la estabilización de los bordes de los canales y acequias (A), así como de muros y barreras de contención (B) dentro de parcelas agrícolas



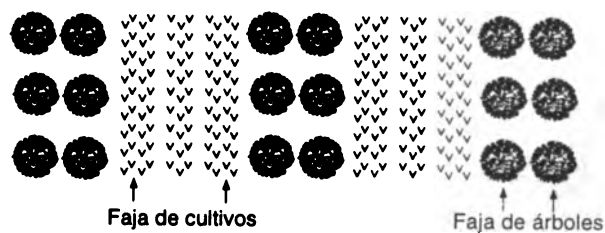


El cultivo en callejones es una práctica de gran importancia en el manejo y restauración de cuencas degradadas, en las cuales el suelo es el recurso base que más limita la producción





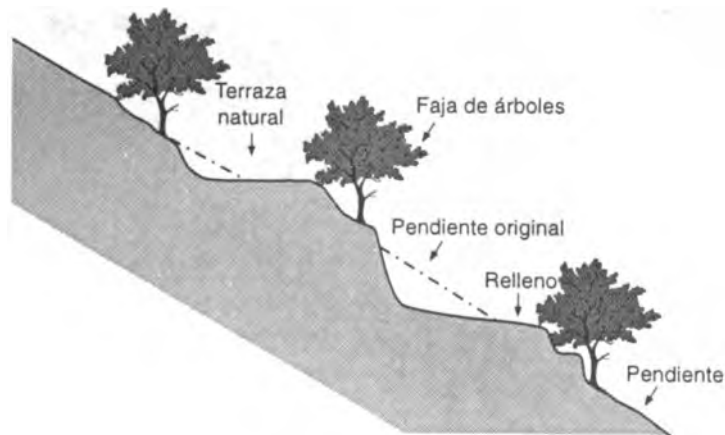
El cultivo en callejones ayuda en la lucha contra la desertificación mediante la conservación del suelo (formación de terrazas naturales)



A. Arreglo horizontal



B. Arreglo vertical

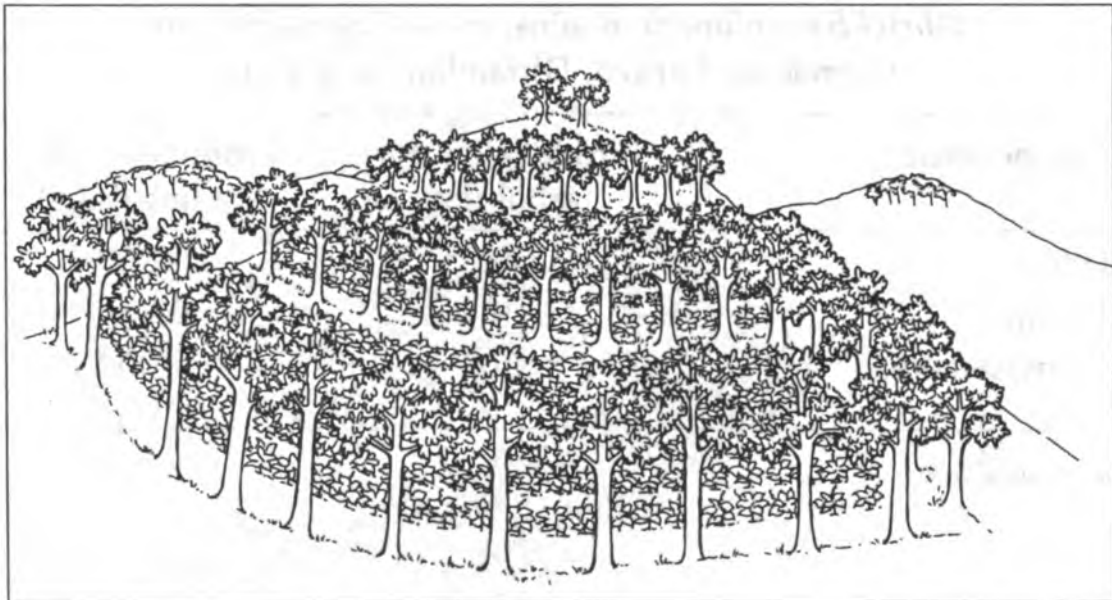


C. Terrazas formadas con ayuda de los árboles

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



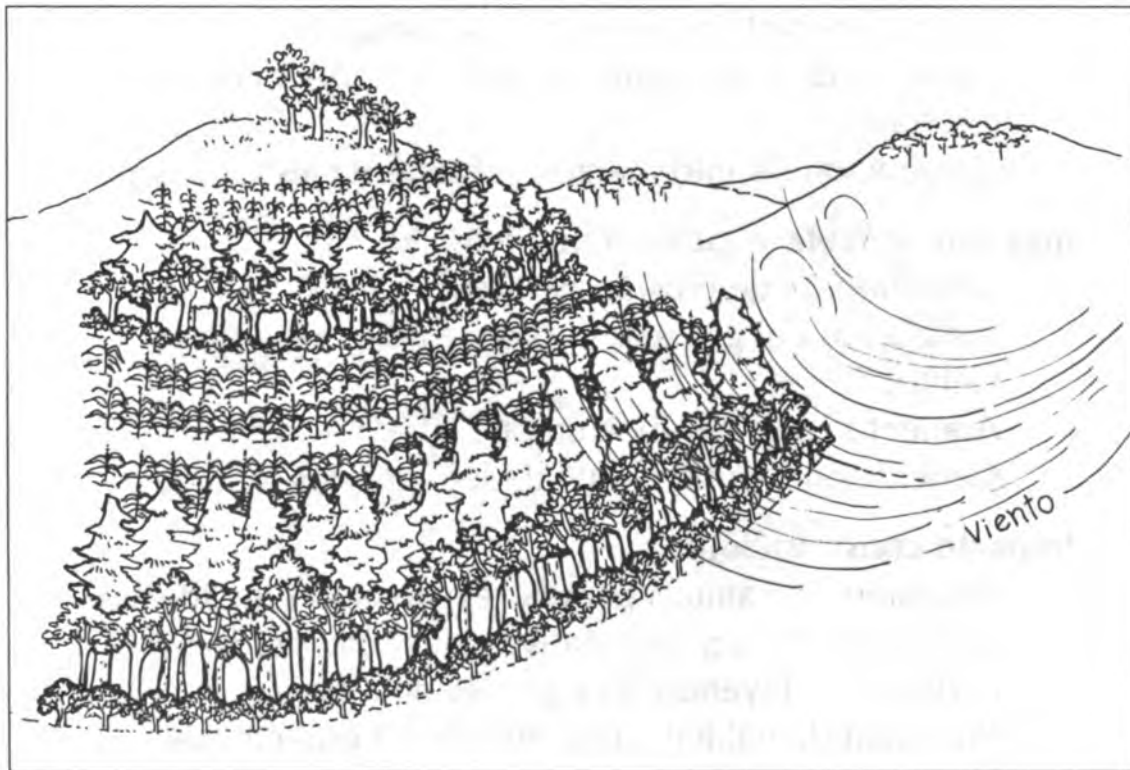


**Producción de biomasa aérea fresca de una cerca viva de
Gliricidia sepium de 6 años, en la Cuenca del río
Grande de Carazo, Diriamba, Nicaragua**

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.

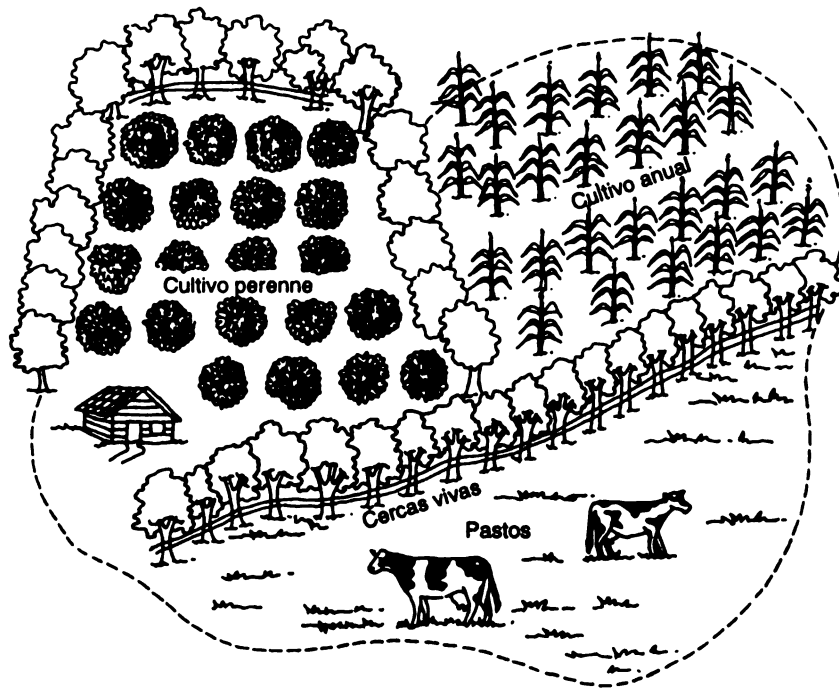
Impacto conservacionista

- 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).



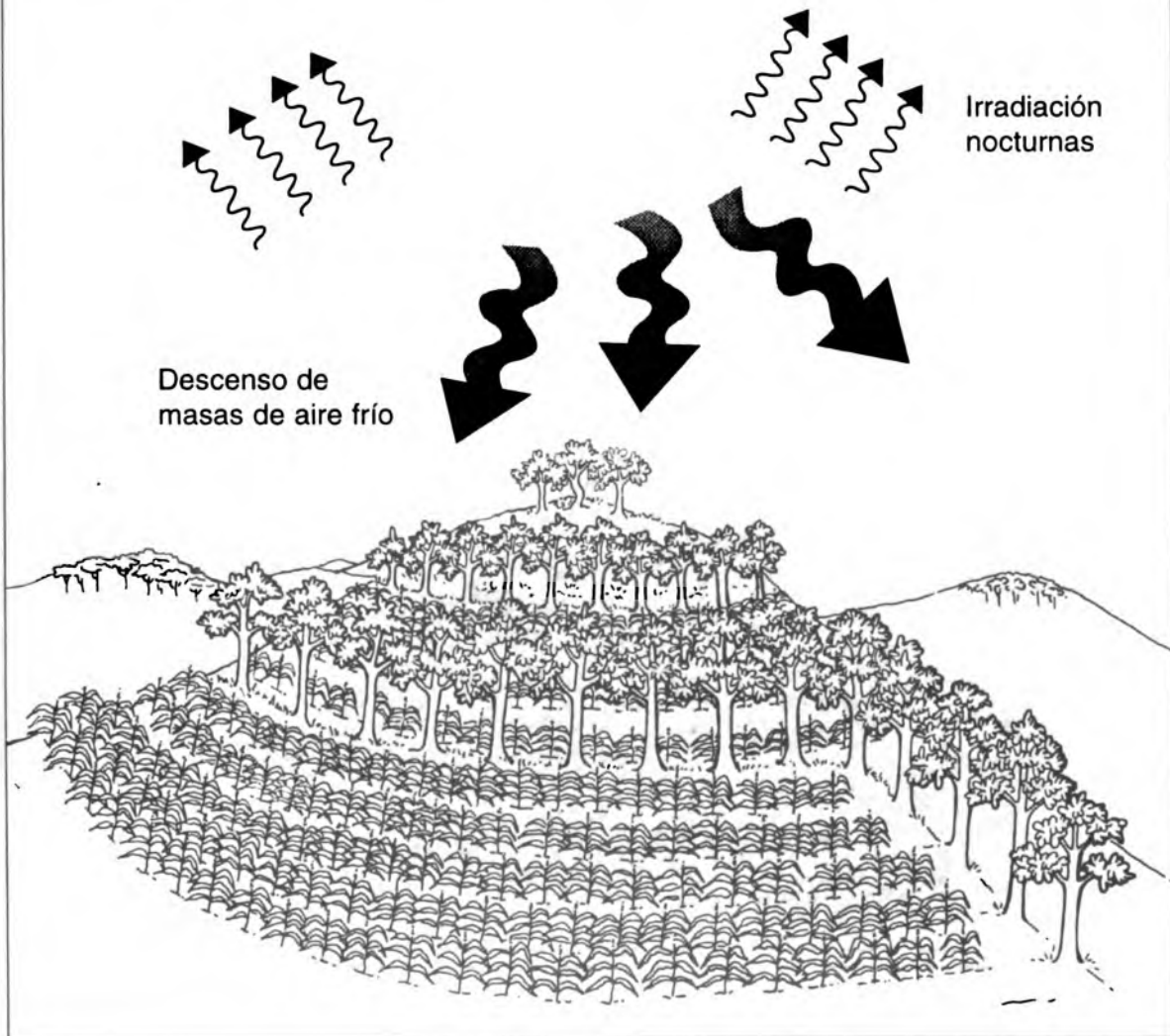
Crecimiento promedio de tres especies maderables, a los seis años, en sistemas agroforestales en linderos, en la cuenca del Río Sixaola, Costa Rica

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.

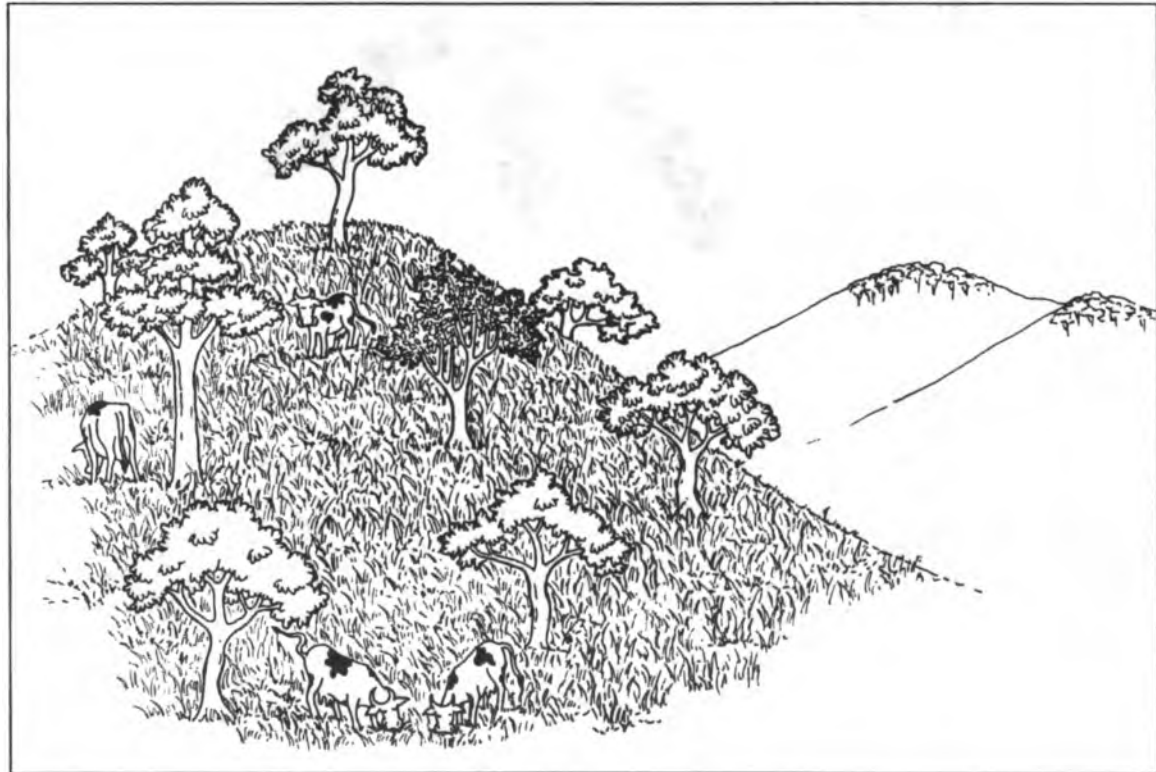


En las zonas de frío intenso y elevada altitud, las cortinas de especies leñosas alrededor de las parcelas de cultivos reducen los riesgos de las heladas y favorecen el manejo integral de la cuenca





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

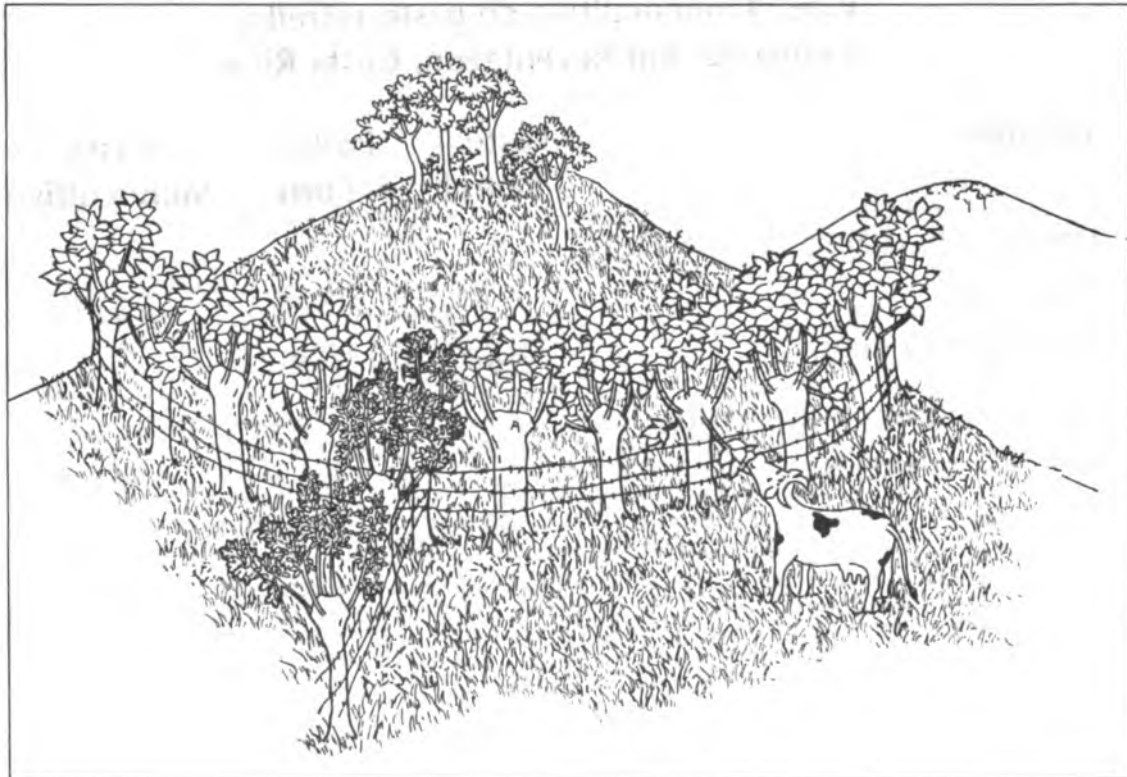


<p align="center">Producción de fitomasa herbácea y su calidad nutritiva en los sistemas asociados de pasto estrella (<i>Cynodon nlemfuensis</i>) con poró (<i>Erythrina poeppigiana</i>) o laurel (<i>Cordia alliodora</i>) y en el monocultivo de pasto estrella, cuenca del Río Reventazón, Costa Rica</p>			
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.



Tema 5

Agroforestería y Biodiversidad

Celia A. Harvey

¿QUÉ ES LA BIODIVERSIDAD?

La diversidad biológica, o biodiversidad, se refiere a la variabilidad de todos los organismos vivos y los complejos ecológicos en los cuales éstos ocurren (OTA, 1992; Pagiola *et al.*, 1997). La biodiversidad puede medirse en tres niveles jerárquicos: genético, de especies y de ecosistemas (Acetato 1). Aunque la biodiversidad existe en estos tres niveles, muchas veces la biodiversidad es medida de manera simple como el número de especies presentes en una área o el número de especies diferentes y su frecuencia relativa. En parte, esto se debe a que las especies son las unidades mejor entendidas por las personas, y en parte porque es mucho más fácil contar las especies que cuantificar su diversidad genética o del ecosistema. Sin embargo, es importante recordar que la biodiversidad abarca no sólo el número de especies presentes, sino también la diversidad de los genes dentro de cada especie y las interacciones entre especies y con su ambiente. Los tres niveles de biodiversidad son cruciales para la sostenibilidad y funcionamiento de la Tierra.

¿POR QUÉ CONSERVAR LA BIODIVERSIDAD?

La gente obtiene un amplio rango de beneficios ecológicos y económicos de la biodiversidad (Acetato 2). Muchas especies y

comunidades desempeñan servicios ecológicos que sustentan la vida humana, como la regulación del flujo de agua, purificación del aire y el agua, mitigación de sequías e inundaciones, control de la erosión, ciclaje y movimiento de nutrientes, y regeneración de suelos (Pagiola *et al.*, 1997). Muchas especies sirven como reservorios de germoplasma para alimento, medicina, maderables y productos industriales como tintes, fibras y otros materiales. La agricultura también se apoya fuertemente en la biodiversidad, debido a que la diversidad genética dentro de los cultivos y dentro de parientes silvestres no cultivados, sirven de base para desarrollar nuevos cultivos y cultivares capaces de responder a los cambios ambientales o a nuevas plagas (Pagiola *et al.*, 1997). Las áreas naturales también proveen hábitats importantes y recursos para los polinizadores de los cultivos, agentes diseminadores de semillas y enemigos naturales de las plagas de cultivos. Aunque es difícil cuantificar el valor económico de estos servicios, un estudio reciente estimó que el valor total de los bienes y servicios ecológicos y agrícolas proporcionados por la biodiversidad excede los 33 trillones de dólares al año; est es 1.8 veces el PIB global (Constanza *et al.*, 1997).

Además, la biodiversidad sirve como una fuente directa de ingresos para los pobladores locales a través del ecoturismo, incentivos para la conservación de áreas recreativas y precios preferenciales para

productos amigables con el ambiente. Cada año, la gente gasta millones de dólares en la observación de aves, pesca, montañismo, cacería y actividades recreativas dentro de áreas protegidas y paisajes naturales, creando una fuente de ingreso para el bienestar de los pobladores de éstas áreas. En muchos países, los gobiernos y organizaciones no lucrativas proveen incentivos a los agricultores para conservar áreas naturales y la biodiversidad dentro de ellas. Los agricultores que siembren cultivos de manera que se minimice el impacto en la biodiversidad, también pueden recibir precios preferenciales para sus cultivos, debido al incremento en la demanda internacional por productos amigables con el ambiente y orgánicos.

Existen además importantes razones estéticas, morales y espirituales para conservar la biodiversidad. La gente reacciona en forma positiva a los paisajes naturales que tienen una rica variedad de especies de plantas y animales, y valoran estas áreas por su belleza, tranquilidad y el sentido de bienestar que éstas confieren. La biodiversidad es también una fuente de inspiración para gran parte del arte, poesía, literatura, danza y música del mundo. Para muchas culturas, las áreas naturales y la biodiversidad dentro de ellas tienen un significado religioso o espiritual. En resumen, la presencia de una biodiversidad rica mejora grandemente la calidad de la vida humana.

ESTRATEGIAS PARA CONSERVAR LA BIODIVERSIDAD

Tradicionalmente, la mayoría de los esfuerzos para conservar la biodiversidad han estado dirigidos a la conservación de grandes áreas grandes con hábitats naturales no alterados, por medio de la creación

de reservas biológicas, parques nacionales y otras áreas protegidas. Aunque estas áreas, por si mismos son cruciales para la conservación, los parques y reservas no pueden proveer una protección adecuada para la rica biodiversidad de especies y ecosistemas de la Tierra, debido a que cubren solamente una pequeña fracción (<5%) de su superficie (Reid y Miller, 1989). Por lo tanto, el destino de la biodiversidad mundial depende, en gran parte, de la calidad de los hábitats manejados por el hombre fuera de las áreas protegidas, particularmente aquellas áreas que actualmente están siendo utilizadas para agricultura (Pimentel et al., 1992).

Los sistemas agroforestales, en los cuales se siembran árboles en forma deliberada en asociación con otros cultivos, ofrecen una solución potencial para el manejo y conservación de la biodiversidad dentro de los paisajes agrícolas. Contrario a los sistemas agrícolas de monocultivo que sólo utilizan unos pocos cultivos genéticamente uniformes, los sistemas agroforestales tienden a tener una alta diversidad genética, incorporan una variedad de árboles sembrados y especies de cultivo, y crean estructuras, hábitats y recursos que albergan un rango amplio de especies adicionales. Si se diseñan y manejan apropiadamente, los sistemas agroforestales podrían ayudar en la conservación de una porción significativa de la biodiversidad y, simultáneamente, satisfacer los objetivos de productividad. Aunque los sistemas agroforestales no pueden conservar toda la biodiversidad de los sistemas naturales, éstos proveen un mecanismo para proteger al menos un subconjunto significativo de la biodiversidad existente en forma natural. Así mismo, constituyen una mejor alternativa que las grandes áreas uniformes de plantaciones o monocultivos maneja-

dos en forma intensiva, a los que generalmente reemplazan.

BIODIVERSIDAD EN SISTEMAS AGROFORESTALES

Existen dos tipos distintivos de biodiversidad en los sistemas agroforestales (**Acetato 3**). La "biodiversidad planificada" consiste de las especies y variedades de cultivo y árboles que el agricultor siembra intencionalmente o retiene dentro del sistema (Vandemeer y Perfecto, 1998). En contraste, la biodiversidad "asociada" o "espontánea" son las plantas, animales e insectos que están asociados con los cultivos y árboles, y los hábitats que éstos crean. Por ejemplo, en un sistema agroforestal con café, la biodiversidad planificada consiste en los cultivares de café sembrados y las especies arbóreas retenidas (o sembradas) en forma deliberada para sombra, mientras que las plantas, aves, animales e insectos que viven, buscan alimento o anidan en los árboles de sombra, constituyen la biodiversidad asociada. Tanto la biodiversidad planificada como la asociada son responsables del funcionamiento del ecosistema.

Los sistemas agroforestales mantienen el potencial de conservar altos niveles de biodiversidad, debido a que la diversidad planificada es típicamente alta (al menos, mucho más alta que la de la agricultura de monocultivo; **Acetato 4**). En agroforestería, los agricultores protegen o siembran intencionalmente una alta diversidad de cultivos y especies arbóreas para incrementar la productividad y minimizar el riesgo, reteniendo así un alto nivel de diversidad genética y de especies. En México, por ejemplo, los sistemas agroforestales tradicionales de café pueden incluir hasta 60 especies diferentes de árboles de

sombra y utilizan varios cultivares genéticamente distintos de café.

La diversidad de árboles y cultivos protegidos o sembrados dentro de sistemas agroforestales proveen una rica variedad de hábitats y nichos para especies de animales y plantas (la biodiversidad asociada). Las aves, murciélagos y otros animales anidan o se posan en los árboles, se alimentan de las frutas, néctar, polen, corteza y hojas de los árboles y utilizan los árboles como protección contra los depredadores. La hojarasca que se acumula bajo los árboles proporciona un hábitat importante y fuentes de nutrientes para una variedad de organismos del suelo, incluyendo gusanos, insectos y hongos. Comunidades ricas de plantas epífitas y parásitas, lianas y enredaderas crecen en las ramas y troncos de los árboles de los sistemas agroforestales, y estas plantas, a su vez, sirven como hábitats para insectos y como sitios de búsqueda de alimento para otros animales.

Además de proveer hábitats y alimentos, los árboles también ayudan a la conservación de la biodiversidad creando condiciones de microclima y suelo más favorables para las especies del bosque. Por ejemplo, las condiciones más húmedas y sombreadas bajo el dosel de los árboles, protegen las plántulas de los árboles de la desecación y por lo tanto, facilitan su establecimiento (Guevara *et al.*, 1986; Guevara *et al.*, 1992).

Los árboles en los sistemas agroforestales también promueven la conservación de la biodiversidad al actuar como núcleos para la deposición de semillas y la regeneración del bosque. Debido a que los árboles actúan como sitios donde se posan aves y murciélagos frugívoros que defecan las semillas durante el tiempo que están

posados, grandes cantidades de semilla son depositadas bajo los doseles de los árboles. Si a estas semillas se les permite germinar y establecerse, se puede formar una alfombra diversa y abundante de plantas de especies arbóreas.

Los sistemas agroforestales también pueden ayudar a conservar la biodiversidad, actuando como corredores que permiten a las especies animales cruzar hábitats agrícolas. Al sur de Bahía, Brasil, las plantaciones de cacao con sombra a menudo conectan parches de bosques y facilitan grandemente el movimiento de animales del bosque dentro del paisaje (Johns, 1999). Las barreras y las cortinas rompevientos pueden igualmente proveer importantes rutas de paso para aves y otros animales, en medio de paisajes agrícolas (DeRosier, 1995; Haas, 1995).

Finalmente, los sistemas agroforestales pueden servir como zonas de amortiguamiento alrededor de áreas naturales o protegidas no intervenidas. Debido a que los sistemas agroforestales proveen hábitat y recursos adicionales para especies de animales y de plantas que se encuentran en las áreas naturales, su presencia puede ayudar a disminuir la transición abrupta de tierra protegida a tierra agrícola y permitir que una mayor diversidad de organismos persista dentro de los paisajes agrícolas. (Ver Tema 6, en este mismo módulo).

ESTUDIOS DE CASO SOBRE BIODIVERSIDAD EN SISTEMAS AGROFORESTALES

Debido a que el interés en los sistemas agroforestales como herramientas potenciales de conservación es bastante reciente, sólo han habido unos pocos estudios

que han examinado el potencial de estos sistemas para mantener y conservar la biodiversidad. La mayoría de ellos se han enfocado en la identificación de la diversidad de especies existentes en sistemas agroforestales, conduciendo inventarios del número de especies y su abundancia. Se sabe poco sobre la diversidad genética o de los ecosistemas que se encuentran conservados en estos sistemas. Además, la mayoría de estudios a la fecha sólo constituyen "información limitada" (por ej. estudios realizados en una sola época) de la biodiversidad conservada en los sistemas agroforestales y proveen poca información sobre la habilidad de estos sistemas de proveer un hábitat a largo plazo. A pesar de estas limitaciones, estos estudios sirven de base para entender el papel de la agroforestería en la conservación de la biodiversidad dentro del paisaje agrícola.

Los cuatro estudios de caso que se presentan a continuación, proveen una visión general de los tipos de estudios sobre biodiversidad que han sido conducidos en los sistemas agroforestales, y señalan los principales factores conocidos como importantes para determinar los niveles de biodiversidad dentro de los sistemas agroforestales. Otros sistemas agroforestales, como los sistemas de cultivo en callejones, cercas vivas, etc., también pueden jugar un papel importante en la conservación de la biodiversidad, pero no son incluidos debido a la falta de información. Los sistemas de cacao con sombra, que se han demostrado como hospederos de una considerable biodiversidad (por ej., Greenberg, 1998; Reitsma *et al.*, 1999) no se discuten aquí, ya que éstos son muy similares a los sistemas agroforestales con café y los principios discutidos en el estudio de caso con café, también aplican a sistemas con cacao.

ESTUDIO DE CASO 1: Biodiversidad en plantaciones de café con sombra

En los Trópicos, el café es a menudo sembrado bajo un dosel diverso de árboles de sombra que forman una cobertura similar al del bosque. Aunque existe mucha variación entre las plantaciones de café en diferentes regiones, hay cinco grandes grupos de plantaciones de café: 1) café rústico, donde el café es sembrado bajo el bosque y la cobertura boscosa es alterada en forma mínima; 2) policultivo tradicional, donde la cobertura boscosa es enriquecida mediante la siembra deliberada de otras plantas que producen productos útiles; 3) policultivo comercial, donde se plantan una variedad de árboles, pero mucho menos que en los sistemas de policultivo tradicional o rústico; 4) sistemas especializados donde el dosel de sombra consiste de una sola especie sembrada (generalmente especies de *Inga*, *Erythrina*, *Gliricidia* o *Grevillea*), que es altamente controlada; y 5) a pleno sol, donde el dosel de sombra es eliminado completamente (Mogul y Toledo, 1999). Estos cinco tipos de plantaciones representan una gradiente en la biodiversidad planificada así como en la asociada, desde sistemas altamente diversos hasta sistemas simplificados (Acetato 5). Mientras que las plantaciones de café rústicas y los sistemas tradicionales de policultivo contienen una gran diversidad de especies arbóreas (a menudo hasta 60 especies arbóreas) y pueden por consiguiente ofrecer una gran variedad de nichos y recursos para otros organismos, los sistemas especializados tienen solo de 2-3 especies arbóreas presentes y ofrecen menos nichos. Por lo tanto, las plantaciones de café con sombra pueden diferir grandemente en su valor de conservación, con plantaciones complejas y diversas tenien-

do un valor mucho mayor que los sistemas simplificados y tecnificados.

Estudios recientes han demostrado que diversos sistemas de café con sombra multiestratificados albergan una rica diversidad de aves, mamíferos, insectos y plantas, ya que sus doseles de sombra simulan la estructura y complejidad de los bosques naturales y proporcionan una variedad de recursos y hábitats (Perfecto et al., 1996; Acetato 6). El café con sombra parece ser particularmente importante para la conservación de aves, proveyendo sitios para posarse, sitios para anidación y búsqueda de alimentos, los cuales son cruciales para un amplio rango de aves, tanto residentes como migratorias (Acetato 7). Estudios realizados en México reportaron un total de 184 especies de aves en plantaciones de café con sombra rústica (Mogul y Toledo, 1999). En contraste, las plantaciones de café sembradas a pleno sol albergaron solamente de 6-12 especies de aves (Martínez y Peters, 1996). En las plantaciones con sombra, la mayoría de las aves se encuentran en los árboles de sombra y solo unas pocas especies utilizan las plantas de café, indicando que es la presencia de la capa del dosel de sombra la que es crucial para la diversidad de aves, y no el estrato de café. Muchas de las aves que utilizan plantaciones de café con sombra son migratorias que arriban desde Norteamérica a mediados o finales de la estación seca y pasan el invierno (del hemisferio norte) en plantaciones de café, alimentándose de las provisiones de frutas y néctar proporcionadas por los árboles de sombra o los insectos que viven en los mismos (Smithsonian Migratory Bird Center, 1998 b). Estos emigrantes incluyen tanto especies comunes como el "Baltimore Oriole" y el "Ruby-throated hummingbird", así como especies que actualmente están en peligro de extin-

ción como el "Golden-winged warbler" y el "Hermit-Warbler", y otros (Audubon, 1999). La retención de un dosel de sombra diverso dentro de plantaciones de café, por lo tanto, no sólo ayuda a proteger las especies de aves residentes, sino que también tiene un impacto directo en la supervivencia de las especies migratorias que anualmente viajan desde los Estados Unidos hacia regiones de América Central, el Caribe y el norte de América del Sur.

Los doseles de sombra diversos y densos también pueden proveer hábitats importantes para una amplia variedad de mamíferos tales como zarigüeyas, ardillas, ratones, monos aulladores, osos hormigueros, mapaches, pizotes, martillas, cauceles y murciélagos (Gallina *et al.*, 1992, Estrada *et al.* 1993; ver acetato 6). Hasta 24 especies de mamíferos de tamaño mediano no voladores (incluyendo marsupiales, edentados, conejos, roedores y carnívoros) han sido registrados dentro de las plantaciones de café, y muy probablemente, especies adicionales utilizan las plantaciones en forma ocasional (Gallina *et al.*, 1992). Muchas de estas especies de mamíferos están adaptadas a una vida arbórea y utilizan los árboles de sombra para refugio, construcción de sus nidos, y alimentación, por lo que no estarían presentes si no existiera el dosel de sombra. La presencia de especies de mamíferos en peligro de extinción dentro de las plantaciones de café - como el chupamiel (*Tamadua mexicanus*), la nutria (*Lutra longicaudis*) y vizlacuache (*Coendu mexicanus*) - sugiere que los sistemas de café tradicionales podrían jugar un papel importante en la conservación de las especies del bosque amenazadas por la deforestación y la pérdida del hábitat.

Las plantaciones de café con sombra a menudo albergan una diversidad asombrosa

de escarabajos, hormigas, avispas, otros insectos y poblaciones de arañas (Perfecto y Snelling, 1995; Perfecto *et al.*, 1996; Acetato 8). De hecho, la diversidad de artrópodos en las plantaciones de café es a menudo similar, y hasta mayor, que aquella de los bosques adyacentes (Perfecto *et al.*, 1996). Por ejemplo, un inventario de los insectos que habitan los árboles de sombra en las plantaciones de café mostró que el dosel de un sólo árbol de *Erythrina poeppigiana* contenía un total de 126 especies de escarabajos, 30 especies de hormigas, y 103 especies de otras himenópteras (Perfecto *et al.*, 1996). La diversidad de hormigas también es alta en las plantaciones de café con sombra debido a que la hojarasca y las ramitas caídas de los árboles proveen un hábitat para muchas especies que viven en el suelo. Más de 30 especies de hormigas terrestres se han encontrado en agroecosistemas de café con sombra tradicional en el Valle Central en Costa Rica, mientras que sólo seis especies fueron encontradas en el sistema moderno de café sin sombra (Perfecto y Vandemeer, 1996).

Aunque se sabe poco sobre la herpefauna de las plantaciones de café con sombra, un estudio encontró que los sistemas de café con cobertura de sombra mixta pueden servir como albergue para la mitad de la fauna original de serpientes del bosque (Serb, 1986). Un estudio preliminar en Oaxaca, México encontró cinco anfibios y 11 reptiles en una plantación de café con sombra, indicando la condición favorable de este hábitat para este tipo de fauna (Rendon-Rojas, 1994).

En las plantaciones de café con sombra que reciben poco manejo, pueden vivir plantas adicionales en el sotobosque de las plantaciones o en las ramas o troncos

de los árboles de sombra. Las plantaciones con sombra tradicionales, típicamente contienen de 90-120 especies de plantas, de las cuales de 50-100 son hierbas y de 20-60 son árboles de sombra (Moguel y Toledo, 1999). Las ramas y troncos de los árboles grandes en el dosel de sombra están cubiertos a menudo de una rica variedad de musgos, líquenes, bromeliáceas, orquídeas, otras epífitas y plantas parásitas, y pueden ser cruciales para la supervivencia de estas plantas dentro del paisaje agrícola. Se ha sugerido que la presencia de árboles de sombra en las plantaciones de café ayudó a prevenir la pérdida de muchas especies de orquídeas durante la deforestación de Puerto Rico a principios de 1900, cuando más del 99% de la isla fue deforestada y los árboles de sombra en cafetales proveyeron el único hábitat disponible para plantas epífitas (Nir, 1998).

Debido a la aparente habilidad de los sistemas de café con sombra de albergar una rica diversidad de plantas y animales y al hecho de que las plantaciones de café a menudo se localizan en áreas biológicamente ricas que han sido fuertemente deforestadas, se están realizando varias campañas para incrementar y diversificar la cobertura de sombra dentro de los sistemas con café, como un medio para conservar la vida silvestre residente y migratoria. El Banco Mundial inició recientemente esfuerzos con los grupos cafetaleros locales en El Salvador (en un proyecto llamado "Café y Biodiversidad") para incrementar tanto la diversidad como la abundancia de los árboles de sombra en las plantaciones de café y para desarrollar beneficios económicos que promuevan la conservación de la biodiversidad (Komar, 1998). El Smithsonian Migratory Bird Center (SMBC) ha iniciado un programa similar para promover doseles de sombra diversos y den-

sos que sean "amigables con las aves". Ambos grupos están lanzando al mercado café sembrado bajo doseles de sombra diversos, como un producto con valor agregado que obtiene precios más altos por su origen, por lo que esperan que este incentivo económico estimule a los agricultores a conservar las plantaciones de café con sombra y las especies dentro de ellas. Aunque este proceso ha sido lento, algunas compañías cafetaleras como Seattle's Best Coffee (SBC) ya han lanzado una línea de café orgánico certificado, que es producido bajo árboles de sombra, y pagan un precio preferencial de 30-150% mayor por este café. Si el café plantado bajo sombra se convierte en un café de especialidad con un mercado adecuado, esto podría tener un impacto importante en la conservación de la biodiversidad en las regiones cafetaleras.

Para que las plantaciones de café puedan ser certificadas como "amigable con las aves", éstas deben mantener un mínimo de 10 especies arbóreas en la capa de sombra (preferiblemente especies nativas y perennes) y una cobertura de sombra de por lo menos 40% durante todo el año. A las plantas epífitas y parásitas se les debe permitir crecer sobre los árboles; del dosel se deben dejar las ramas y troncos muertos dentro de la plantación para proveer recursos adicionales para las aves (Smithsonian Migratory Bird Center, 1998a; Acetato 9). El SMBC también recomienda que al dosel arbóreo se le permita alcanzar de 12-15 metros de altura, que se cultiven en asocio una variedad de árboles que aseguren que hayan varios estratos de árboles y que las plantaciones de café estén rodeadas con cercas vivas, franjas de árboles y arbustos, o vegetación natural de crecimiento secundario. En sistemas de sombra comerciales de policultivo y sombra especializa-

dos donde el dosel de sombra es plantado por los agricultores, ellos sugieren utilizar una variedad de especies de *Inga* no caducifolias (en lugar de *Erythrina* y *Gliricidia* que son caducifolias parte del año), como especies dominantes, para asegurar que las flores y frutos estén disponibles durante todo el año y que la plantación de café tenga sombra durante la época seca, cuando la cobertura de dosel para aves residentes y migratorias es más crítica.

ESTUDIO DE CASO 2: Biodiversidad en agrobosques

Los complejos agrobosques que se extienden sobre varios millones de hectáreas de tierra en Indonesia y Sureste de Asia representan un potencial muy alto para la conservación de la biodiversidad (probablemente el mayor de cualquier sistema agroforestal), debido a que estos tienen una diversidad florística extremadamente alta, múltiples estratos de vegetación (donde los árboles más altos a menudo alcanzan hasta 40 metros de altura), altas densidades de árboles (245-500 árboles/ha). Además, estructuralmente son muy similares a los bosques naturales adyacentes (Michon y de Foresta, 1995; **Acetado 10**). De hecho, la riqueza de especies y la complejidad ecológica de los agrobosques es a menudo tan similar a la de los bosques intactos (sin intervenir), que las personas no familiarizadas con estos sistemas agroforestales a menudo los confunden con bosques naturales.

La diversidad florística de los agrobosques excede a la encontrada en cualquier otro sistema agroforestal. Además de los árboles de *Hevea* (caucho), Damar (resina) y Durian (fruto) que forman la espina dorsal comercial de los agrobosques, se pueden

encontrar de 12-40 especies de frutos y maderables plantados o mantenidos en forma deliberada dentro de la misma. Muchos cientos de especies de plantas adicionales (muchas de las cuales sirven como fuentes valiosas de alimento, medicina, tintes y otros materiales) se establecen en forma natural dentro del sotobosque del agrobosque. Los estudios de agrobosques con Durian en Indonesia, por ejemplo, han demostrado que hasta 350 especies de plantas adicionales (incluyendo hierbas, arbustos, lianas y epífitas) pueden estar presentes en estos agrobosques, además de los árboles de Durian que producen frutos para la venta comercial (ICRAF et al., 1999). La diversidad total de plantas en los agrobosques es bastante similar a la de los bosques naturales, ya que 30% de todos los árboles del bosque, 50% de todos los arbustos y epífitas, 50-95% de todas las lianas, y 100% de las plantas del sotobosque están representadas dentro del agrobosque (ICRAF et al., 1999).

Las comunidades de aves en los agrobosques también son muy diversas, aunque menos que en los bosques naturales. Un estudio intenso de las comunidades de aves en los agrobosques de Sumatra, Indonesia encontró un total de 69 especies de aves en agrobosques con Durian, 92 en agrobosques de Damar y 105 en agrobosques de caucho, comparado con 180 especies de aves registradas en bosques primarios (Thiollay, 1995). En contraste, las plantaciones industriales de palma de coco, palma aceitera y de árboles de caucho -las cuales contienen un estrato uniforme de monocultivo- tenían solamente de 3-4 especies de aves (**Acetato 11**). Aunque los agrobosques claramente proveen hábitats para muchas especies de aves, éstos no protegen todo el espectro de especies que se encuentran en los bosques y pueden fa-

vorecer algunas especies más que a otras. Por ejemplo, prácticamente la mitad de las especies de aves presentes en el bosque estuvieron ausentes en los agrobosques o estuvieron presentes en número reducido; por el contrario, 20% de las especies de aves que son escasas, marginales o ausentes en los bosques naturales fueron comunes en los agrobosques. Las aves grandes (que pesan más de 80 g), como raptores, faisanes, palomas y calaos eran escasas en los agrobosques, debido a diferencias en los recursos y microhábitats disponibles con respecto a los bosques y a la presión de la cacería en los agrobosques (Thiollay, 1995).

Los agrobosques también son utilizados por una variedad de especies de mamíferos, como los macacos cola larga, ardillas, ratas, ratones, leopardos, chanchos de monte y venados (Salafsky, 1993). La mayoría de las especies comúnmente encontradas en los agrobosques son aquellas que pueden vivir en hábitats alterados; sin embargo, el reciente descubrimiento del rinoceronte de Sumatra, una especie en peligro de extinción, en un agrobosque de Damar sugiere que los agrobosques pueden ser importantes para la conservación de por lo menos algunas de las especies que viven en el bosque, que actualmente están amenazadas por la deforestación. La presencia de mamíferos en los sistemas agroforestales tiene beneficios y desventajas para los agricultores. Algunas especies, como los zorros voladores (murciélagos) son polinizadores importantes de los árboles de Durian. En contraste, otras especies como los ratones y las ratas pueden causar un daño extensivo a las cosechas de Durian y arroz, y los agricultores podrían tener que invertir un tiempo considerable cuidando y vigilando los cultivos, previo a la época de cosecha (Salafsky, 1993).

ESTUDIO DE CASO 3: Biodiversidad en barreras y cortinas rompevientos

En todo el mundo se han establecido barreras y cortinas rompevientos en tierras agrícolas para proteger los cultivos, los animales y edificaciones del daño producido por el viento y evitar la erosión del suelo. Estas franjas lineales de vegetación leñosa juegan un papel clave en la conservación de la biodiversidad dentro del paisaje agrícola, ya que frecuentemente representan el único hábitat boscoso remanente en el paisaje. En regiones templadas, como el norte de Europa y las Grandes Planicies de los Estados Unidos, que sufren de inviernos muy severos, las barreras y las cortinas rompevientos también pueden constituir sitios de refugio contra el frío para muchas especies (Forman y Baudry, 1984; Acetato 12). Debido a su forma lineal, las barreras y las cortinas rompevientos también forman corredores naturales que permiten a los animales atravesar el paisaje agrícola.

La diversidad de plantas en las barreras y las cortinas rompevientos es a menudo considerable, por la variedad de especies arbóreas y arbustos que son sembradas o retenidas intencionalmente por el agricultor, y por las muchas plantas adicionales que colonizan y se reproducen en ellas (Acetato 13). Se conocen entre 500-600 especies de plantas que se desarrollan en barreras o setos en Inglaterra; cerca de la mitad de estas especies se consideran especies comunes de estos sistemas (Pollard et al., 1970, 1974). La mayoría de estas plantas son especies de borde en los bosques, que crecen bajo condiciones alteradas y de alta incidencia de luz. Las plantas del interior del bosque solo ocurren en barreras anchas donde las condiciones mi-

croclimáticas (mayor humedad y mayor sombra) son más favorables. En el norte del estado de Nueva York, las barreras contienen casi 70% de las especies de hierbas encontradas en el bosque natural adyacente (Corbit *et al.*, 1999); las cortinas rompevientos jóvenes (recientes) en Monteverde, Costa Rica abrigan plántulas de más de 90 especies de árboles, o un cuarto de todas las especies arbóreas encontradas en el área (Harvey, 1999).

Además de albergar una diversidad de vida vegetal, las barreras y las cortinas rompevientos atraen una variedad de animales al proveer sitios de anidamiento, reproducción, protección contra depredadores y provisión de semillas, frutos e insectos (alimento) (Acetato 14). Se estima que alrededor del 80% de todas las especies silvestres en Inglaterra actualmente se reproducen en barreras o setos ya que su hábitat boscoso original ha sido eliminado (Hooper, 1970). Una variedad de roedores del bosque (musarañas y ratones), así como conejos, ardillas, ratones campestres y erizos frecuentemente habitan en las barreras y cortinas rompevientos, particularmente aquellas que tienen una estructura vegetal compleja y una alta diversidad florística (Forman y Baudry, 1984). Los animales grandes como venados y marmotas también pueden alimentarse de la vegetación existente en las barreras o en las cortinas rompevientos, o utilizarlas como carriles de acceso para cruzar el paisaje agrícola.

Las barreras y las cortinas rompevientos también sirven como hábitats cruciales y corredores para aves (Acetato 14). Por ejemplo, las cortinas rompevientos en Monteverde, Costa Rica, son visitadas por más de 80 especies de aves, incluyendo una variedad de frugívoros, insectívoros y nectavívoros y constituyen rutas predilec-

tas de paso para cruzar el paisaje agrícola (DeRosier, 1995). A menudo, diferentes especies de aves se especializan en cierto estrato o nivel dentro de la cortina rompevientos: por ejemplo, en un estudio sobre cortinas rompevientos en Minesota, Estados Unidos, se encontró que 28 especies de aves utilizan las cortinas rompevientos como hábitats, de las cuales, algunas especies utilizan el estrato inferior (cerca del suelo) y otras se especializan en los estratos medios o superiores (Yahner, 1982). Las cortinas rompevientos que están constituidas de estratos múltiples y que son estructuralmente complejas (tienen hierbas, arbustos, árboles), tienen mayor probabilidad de albergar una más alta diversidad de especies de aves que aquellas que contienen un solo estrato y son estructuralmente uniformes. Algunas de las aves que anidan o buscan alimento en las cortinas rompevientos pueden jugar un papel importante en el control de insectos dañinos en campos de cultivo aledaños. Por ejemplo, los mirlos que anidan en las cortinas rompevientos en los Estados Unidos se alimentan de los gusanos de chancro y de los barrenadores de los rebrotes que atacan los cultivos y árboles, por lo que reducen así, el daño causado a estos cultivos (Dix, 1991). En lo que antes se llamaba la Unión de Repúblicas Socialistas Soviéticas, los agricultores frecuentemente colocan nidos en sus cortinas rompevientos para atraer aves que se alimentarán de las plagas de los cultivos (Dix, 1991).

La característica de las cortinas rompevientos de atraer grandes cantidades de aves presa para la caza y mamíferos crea la posibilidad de explotar las cortinas rompevientos como áreas de caza. En algunas áreas de los Estados Unidos, los agricultores han plantado cortinas rompevientos específicamente para crear hábitats que in-

crementarán las poblaciones de animales que pueden ser cazados (por ej. faisanes, venados, codornices y conejos) y así ganar dinero al cobrar por el derecho de cazar en su tierra. En el estado de Kansas, donde el 40% de los cazadores pasan su tiempo principalmente en o en los alrededores de las cortinas rompevientos, el valor neto de las cortinas rompevientos como importantes sitios de cacería está valorado en \$21.5 millones por año (Cable, 1991).

Las barreras y cortinas rompevientos también albergan a una amplia variedad de especies de insectos (generalmente mucho más grandes que la de los cultivos y pastizales aledaños), debido a que éstas sirven como fuente para obtener presas, néctar o polen y proveen sitios protegidos para apareamiento, descanso y refugio (Acetato 15). En Inglaterra, por ejemplo, se encontraron más de 2200 insectos en un solo seto, de los cuales las más abundantes fueron Hymenoptera (avispa parásita) y moscas (Lewis, 1969). Como las cortinas rompevientos alteran la velocidad y dirección del viento, estas también afectan directamente la distribución y movimiento de los insectos, con una mayoría de éstos acumulándose a sotavento. En general, la presencia de las cortinas rompevientos aumenta las poblaciones de insectos aéreos hasta una distancia de 3-10 veces su altura a sotavento y 1-2 a barlovento (Lewis, 1965).

Algunos de los insectos que viven en las cortinas rompevientos son organismos beneficiosos, tales como polinizadores de cultivos, depredadores o parásitos de plagas insectiles (Pasek, 1988; Dix *et al.*, 1995). Las aves y otros polinizadores de cultivos, a menudo se alimentan del néctar de las flores presentes en las barreras y cortinas rompevientos y pueden ser cru-

ciales para la polinización exitosa de los cultivos adyacentes. En Inglaterra, los huertos de manzana que fueron protegidos con cortinas rompevientos experimentaron incrementos en los rendimientos de 20-30%, en parte debido al incremento de la actividad de los polinizadores (Smith y Lewis, 1972). Los escarabajos depredadores frecuentemente se refugian en las barreras y se mueven desde allí hasta los campos donde pueden cazar organismos dañinos de los cultivos.

Sin embargo, las cortinas rompevientos también sirven como reservorios de plagas agronómicas. En los Estados Unidos, por ejemplo, las cortinas rompevientos a menudo sirven de refugio, durante el invierno, para poblaciones de áfidos, y gorgojos del algodón y de la alfalfa, desde donde se mueven hacia los campos en la primavera, causando daños considerables a los cultivos cercanos (Pasek, 1988). El efecto neto del incremento en las poblaciones de insectos en las barreras y cortinas rompevientos sobre los cultivos adyacentes no está todavía claro, aunque muchos autores han hipotetizado que el incremento general en las poblaciones de insectos en las cortinas rompevientos es positivo debido al alto número de depredadores.

ESTUDIO DE CASO 4: Árboles dispersos en pastizales y la biodiversidad

En muchas regiones del Trópico, las tierras agrícolas contienen árboles aislados dispersos que son remanentes del bosque que inicialmente se encontraba en el lugar, que se han regenerado o que han sido sembrados desde que se establecieron los pastizales. Estos árboles aislados, además de servir como importantes fuentes de fo-

rraje, frutos, leña y sombra para el ganado, también proveen hábitats importantes y recursos para la biodiversidad dentro del paisaje agrícola (Guevara *et al.*, 1998).

Una alta diversidad de especies forestales está a menudo presente como individuos dispersos en pastizales y campos de cultivo (**Acetato 16**). Estudios en Veracruz, México, por ejemplo, encontraron un total de 98 especies arbóreas aisladas (pertenecientes a 33 familias) que están presentes en pastizales, de las cuales 76 eran especies de bosques primarios. Estas especies representan un tercio de todos los árboles del bosque tropical lluvioso local en la región del estudio (Guevara *et al.*, 1998). En un estudio similar sobre árboles aislados en las tierras altas de Monteverde, Costa Rica se encontraron un total de 190 especies arbóreas presentes en pastizales activos (Harvey y Haber, 1999).

Muchos de los árboles aislados que son remanentes del bosque original retienen ricas comunidades de epífitas, lianas, musgos y líquenes en sus ramas y troncos, incrementando de esta manera la diversidad florística local. Estudios en Veracruz, México determinaron un total de 58 especies de epífitas vasculares y hemiepífitas (representando 37% del total de la flora de epífitas en la región) presentes en 38 árboles aislados en pastizales. Esto a pesar del hecho de que los árboles remanentes aislados están localizados en ambientes de pastizales que son típicamente considerados inadecuados para las epífitas (Hietz-Serfert *et al.*, 1996; Guevara *et al.*, 1998).

Los árboles aislados en pastizales y otros hábitats agrícolas también pueden proveer valiosos sitios de posamiento, anidación y para pasar la noche, tanto para aves residentes como migratorias (**Acetato 16**). En

Belice, por ejemplo, se encontró que los pastizales que contienen arbustos y árboles aislados contenían 39 especies de aves, mientras que los pastizales que eran pastados activamente y tenían pocos arbustos o árboles contenían solamente 15 especies (Saab y Petit, 1992). Si estos árboles producen frutos, también pueden servir como recursos claves para aves frugívoras, murciélagos y otros animales. Por ejemplo, entre los árboles encontrados en los pastizales de Monteverde, Costa Rica, 94% de todos los árboles son conocidos como proveedores de frutos para las aves, murciélagos u otros animales. Además, muchas de las especies más comunes (por ej. *Acnistus arborescens*, *Citharexylum costaricensis*, *Ficus pertusa*, *Hampea appendiculata* y *Sapium glandulosum*) producen frutos que atraen muchas aves, y cada especie es fuente de alimento para más de 20 especies de aves (Harvey y Haber, 1999). Ciertas especies arbóreas, como el higuerón, pueden ser particularmente importantes para mantener las poblaciones de aves en las tierras agrícolas, debido a que éstas proveen frutos cuando hay escasez de los mismos en otras especies. Un estudio en Veracruz, México, por ejemplo, reportó que casi un tercio de todas las especies de aves en el área (47 de 145 especies) visitaron cuatro árboles de higuerón presentes como individuos aislados en pastizales (Guevara y Laborde, 1993). Las aves que atraviesan los pastizales y campos rutinariamente vuelan de un árbol aislado a otro, utilizándolos como "pasaderos" para cruzar el paisaje agrícola (Laborde, 1996).

Al atraer a las aves, murciélagos y otros animales hacia sus doseles, los árboles dispersos también funcionan como focos para la deposición de semillas y la regeneración del bosque (**Acetato 17**). Grandes cantidades de semillas son depositadas ba-

jo los doseles de los árboles aislados, y como resultado, la diversidad y abundancia de plántulas son a menudo muy altas (Guevara y Laborde, 1993). Un estudio en Veracruz, México, encontró que 193 especies de plantas (109 leñosas, 84 herbáceas) se establecieron bajo 50 árboles aislados en pastizales, mientras que solamente 42 especies se establecieron en pastizales abiertos (Guevara *et al.*, 1992).

Los árboles aislados también pueden actuar como vivero para plántulas del bosque lluvioso debido a que las condiciones microclimáticas bajo el dosel arbóreo permiten la germinación y el establecimiento de especies del bosque lluvioso, que de otra manera no sobrevivirían en condiciones de pastizal abierto. La habilidad de los árboles aislados para facilitar la regeneración del bosque natural puede ser beneficioso si el agricultor está interesado en reestablecer una área de bosque. Sin embargo, si el agricultor no quiere árboles adicionales en su propiedad, la regeneración bajo los árboles aislados se convierte en una molestia, creando la necesidad de un deshierbe más frecuente.

ESTUDIO DE CASO 5: Huertos caseros y biodiversidad

En el trópico, muchos agricultores cultivan huertos caseros para satisfacer sus necesidades domésticas de consumo alimenticio, embellecer los alrededores, y proporcionar sombra (Nair, 1993; Lok, 1998). Estos huertos caseros consisten en una mezcla diversa de plantas (incluyendo árboles, arbustos, enredaderas y hierbas) que son sembradas dentro o en forma adyacente al componente casero. En general, los huertos caseros son pequeños (<0.5 ha) y se caracterizan por tener una alta diversi-

dad de especies y doseles múltiples y complejos (**Acetato 18**). Aunque la estructura y arreglo de los huertos caseros varía entre las diferentes comunidades, culturas y regiones, la mayoría de huertos caseros tienen de 3-5 estratos de doseles, con estratos más bajos que consisten en vegetales y plantas medicinales, un nivel medio que consiste predominantemente en árboles frutales y una estrato superior de árboles maderables y frutales (Fernández *et al.*, 1986). A menudo, se crían animales pequeños y ganado dentro de estos huertos, para proporcionar fuentes de alimento e ingresos.

Los huertos caseros son importantes reservas de biodiversidad debido a que albergan una gran cantidad de especies vegetales, muchas de las cuales son valiosas fuentes de alimento, frutas, madera, leña y medicinas. En un estudio de 20 huertos caseros en San Juan de Oriente, Nicaragua, por ejemplo, se encontraron un total de 324 especies de plantas, incluyendo 37 especies de árboles frutales, 35 especies de árboles de uso múltiple, 14 especies maderables, 24 especies medicinales y 12 especies comestibles (Lok y Méndez, 1998; **Acetato 19**). A pesar de su pequeño tamaño (la media = 0.5 ha), los huertos caseros en Nicaragua tienen, cada uno, de 22 a 106 especies de plantas, con un promedio de 70 especies por huerto casero (Lok y Méndez, 1998). Un estudio similar de 10 huertos caseros en Camalote, Honduras mostraron un total de 253 especies útiles, de las cuales 103 eran medicinales, 60 comestibles, 39 árboles frutales, y 4 de otros usos. El número de especies de plantas por huerto osciló entre 26-131, con una media de 60 especies/huerto. Estudios en Indonesia, Sri Lanka, Kenya, Costa Rica, Guatemala y otros países del trópico han revelado también una rica diversidad

de plantas en los huertos caseros (Fernández y Nair, 1983; Perera y Rajapakse, 1991; Nair 1993; Lok, 1998).

Debido a que muchos de los cultivos y plantas comestibles que se encuentran en los huertos caseros son cultivares locales que no se encuentra en la producción comercial, estos sirven como importantes bancos de diversidad genética. Especialmente en áreas deforestadas o áreas densamente pobladas donde queda poco hábitat natural, muchas variedades de plantas pueden encontrarse solamente en huertos caseros. En Camalote, Honduras, muchas especies comestibles, como el chayote (*Cnidocolus chymanza*), una planta comestible que es muy popular a nivel local; el mucus (*Calathea macrosepala*), cuyas flores se cocinan con vegetales; y el quilete (*Liabum* sp.) un arbusto que tiene hojas comestibles) actualmente solo existen en los huertos caseros y están escaseando del paisaje circundante (House y Ochoa, 1998). Los huertos caseros también pueden ser importantes bancos de especies de uso farmacéutico: los huertos caseros de Camalote, Honduras, por ejemplo, contienen la sexta parte de todas las especies de plantas medicinales reportadas en Honduras (House *et al.*, 1995).

En contraste con el bien documentado papel de los huertos caseros en la conservación de la diversidad vegetal, poco se sabe sobre su valor para la conservación de especies animales. Debido a sus doseles de estratos múltiples, la rica diversidad y alta densidad de las plantas, los huertos caseros tienen el potencial de servir como hábitat y recursos para una variedad de pájaros, insectos, mamíferos y otros animales. Sin embargo, el valor real del huerto casero como reserva para animales silvestres es probablemente mínimo debido a: 1) el re-

ducido tamaño de los huertos caseros; 2) la constante presencia de humanos dentro de los huertos; y 3) la presencia de perros, gatos y otros animales domésticos. En áreas donde la caza es popular, los animales silvestres que visitan los huertos pueden ser cazados para alimento. El pueblo Ngöbe de Panamá, por ejemplo, a menudo casa aves silvestres que visitan los árboles con fruto que se encuentran dentro de sus huertos caseros (Lok y Samaniego, 1998). El alcance de los huertos caseros para mantener la fauna tiende, por lo tanto, a ser limitado.

DISEÑO Y MANEJO DE SISTEMAS AGROFORESTALES PARA INCREMENTAR LA BIODIVERSIDAD

Existen muchas formas en las cuales los sistemas agroforestales pueden ser diseñados y manejados para incrementar su potencial para albergar y conservar la biodiversidad (Capel, 1998, Pagiola *et al.*, 1997; Smithsonian Migratory Bird Center, 1998a; Acetato 20). En general, entre mayor sea la diversidad del cultivo y las especies arbóreas retenidas o sembradas deliberadamente dentro del sistema agroforestal (la diversidad planificada), mayor será el número de otras especies de plantas y animales que espontáneamente colonizan o habitan estos sistemas (la biodiversidad asociada; Vandemeer y Perfecto, 1998). Por ejemplo, las barreras con varios estratos de arbustos y árboles en Inglaterra típicamente albergan 20 especies de aves en reproducción, mientras que las barreras que carecen de estratos vegetativos típicamente albergan solo de 7 a 8 especies (Constant *et al.*, 1976). Para maximizar la biodiversidad en un sistema agroforestal, por lo tanto, se debe sembrar

o retener una amplia variedad de especies de plantas y formas de vida (por ej. árboles, arbustos, hierbas y pastos), de tal manera que el sistema sea florística y estructuralmente complejo. Siempre que sea posible, se deben utilizar especies nativas.

El mantener una variedad de microhábitats dentro de los sistemas agroforestales también ayudará a albergar la biodiversidad. Por ejemplo, la retención de árboles muertos, enredaderas y troncos proveerán nichos adicionales para una variedad de vida animal y vegetal. Las epífitas, lianas y plantas parásitas deben dejarse crecer en los árboles de sombra en los sistemas agroforestales, ya que éstas proveen hábitats y recursos adicionales para la vida animal. Los árboles muertos y troncos caídos deben dejarse en el sistema agroforestal, siempre que sea posible, para que sirvan como cobertura y sitios de búsqueda de alimento para mamíferos pequeños e insectos.

Para incrementar la vida silvestre en los sistemas agroforestales, las especies arbóreas y plantas planificadas deben consistir de especies que produzcan abundante néctar, flores, frutos, polen u otros recursos que atraen a las aves, murciélagos y otros animales. Debe incluir árboles frutales como bananos, naranjas, mangos y aguacates que proveen alimento para poblaciones de mamíferos e incrementa su visita (Gallina *et al.*, 1992). La siembra de higuerones y otras especies claves (que producen frutos en épocas de escasez de alimentos) en sistemas agroforestales pueden, de igual manera, incrementar el valor de la vida silvestre.

El incremento en el ancho, área o volumen de maderables en los sistemas agroforestales también puede incrementar su habilidad de servir como albergue para la

biodiversidad. En general, entre más ancho o más grande sea el sistema agroforestal, mayor será el número de nichos potenciales y los recursos para otros organismos. Por ejemplo, las barreras o setos que son complejos y tienen varias líneas de árboles albergan mayor cantidad de especies de aves y mamíferos que las barreras que consisten de 1-2 líneas (Capel, 1988). El ancho de las barreras es un buen indicador de la riqueza de especies de aves, densidad de nidos y éxito en la reproducción de aves (Forman y Baudry, 1984). El ancho también es importante ya que determina la proporción relativa de hábitats en borde y la intensidad de los efectos de borde: los sistemas agroforestales más anchos tienden a tener un interior más similar a un bosque y sufren menos efecto de borde que los sistemas más angostos, y pueden, por lo tanto, proveer hábitats para un mayor número de especies del bosque interior.

Para incrementar su valor como zonas de amortiguamiento y/o corredores, los sistemas agroforestales deben localizarse cerca (o estar conectados) a hábitats claves como fragmentos de bosque, bosques secundarios, o grandes tractos de vegetación nativa, ya que estos parches de vegetación pueden contener hábitats o especies que no están representadas en el sistema agroforestal mismo. El grado de conectividad con la vegetación nativa también puede ser crítico para la conservación de la biodiversidad, debido a que los sistemas agroforestales que están conectados a bosques intactos tienden a ser más utilizados por las especies del bosque que aquellos que están aislados de los bosques. Por ejemplo, las plantaciones de café tradicionales en Soconusco, Chiapas localizadas junto a un bosque tropical albergaba 184 especies de aves, mientras que una plantación

de café similar aislada de los remanentes del bosque solo albergó 82 especies (Martínez y Peters, 1996). La ubicación de sistemas agroforestales cerca de estanques, riachuelos u otras fuentes de agua también puede atraer vida silvestre adicional a esa área.

El uso de pesticidas, herbicidas e insecticidas en sistemas agroforestales y el paisaje circundante debe ser minimizado para reducir los efectos secundarios negativos sobre la biodiversidad local. Siempre que sea posible, se debe reemplazar el uso de agroquímicos por controles biológicos, prácticas culturales y manejo integrado de plagas.

Finalmente, se debe tener cuidado de minimizar la alteración del sistema agroforestal, especialmente durante la cosecha de los productos. Cuando se cosechan productos maderables, leñosas o de otro tipo se debe prevenir/evitar el daño a otros árboles y vegetación dentro del sistema. El raleo de árboles debe conducirse idealmente sobre una base rotativa (de manera que siempre haya algunos árboles altos disponibles) y debe realizarse durante la época lluviosa cuando la cobertura vegetal es un factor limitante. Si todos los árboles son podados en forma simultánea, el valor de conservación del área tiende a ser altamente reducida, mientras que si sólo un subconjunto de árboles es podado en un momento dado, los impactos negativos de la poda pueden ser minimizados.

¿Son compatibles el diseño y manejo de los sistemas agroforestales para la conservación de la biodiversidad con los objetivos de productividad?

El diseño y manejo de sistemas agroforestales para la conservación de la biodiversi-

dad es diferente al diseño y manejo de estos sistemas para productividad, y pueden, a veces, ser inconsistentes con de las prácticas agronómicas (Acetato 21). El conflicto más obvio yace en la alta densidad de árboles necesaria para la conservación. Para maximizar el valor de los sistemas agroforestales para la conservación de la biodiversidad la densidad y diversidad de los árboles debe ser lo más alta posible; sin embargo, conforme se incrementa la densidad de árboles, menor será el área disponible para la producción de cultivos y otros productos dentro del sistema agroforestal. Si el ancho o área del componente arbóreo del sistema agroforestal es incrementado para proveer hábitats o recursos adicionales para la biodiversidad, también habrá una reducción en la cantidad de tierra disponible para la producción. Debido a que los agricultores están interesados en maximizar el retorno económico de sus tierras, es poco probable que ellos estén dispuestos a adoptar los sistemas o estrategias de manejo que reducen la productividad del cultivo.

Las prácticas de manejo que incrementan el valor de conservación de los sistemas agroforestales -como la retención de lianas, epífitas o plantas herbáceas o la reducción en el uso de agroquímicos- también pueden reducir significativamente la ganancia económica del sistema. Por ejemplo, aunque las lianas pueden proveer hábitats importantes y/o recursos para una variedad de especies animales, el peso de las lianas en los árboles hospederos a menudo reduce el crecimiento del árbol o resulta en un crecimiento pobre, disminuyendo así el valor de los árboles para madera. Igualmente, el uso reducido de herbicidas aunque beneficioso para la biodiversidad, puede resultar en un incremento en la competencia entre árboles y male-

zas y causar una reducción en el crecimiento del árbol.

Otra fuente de conflicto potencial entre conservación y producción es que algunas de las especies de animales que habitan un sistema agroforestal pueden causar un daño considerable a los cultivos adyacentes. De este modo, el incremento en la biodiversidad no es necesariamente beneficioso para el agricultor. En algunos casos, los agricultores podrían tener que invertir tiempo, mano de obra y equipo considerables para vigilar los cultivos, previo a la época de cosecha, debido al daño que los animales que viven en el sistema pueden causar.

Sin embargo, en muchos casos las prácticas que ya son comunes en agroforestería son altamente compatibles con la conservación de la biodiversidad o pueden ser ligeramente modificadas (sin afectar los niveles de producción) para incrementar su valor de conservación sin ningún costo adicional (**Acetato 22**). Por ejemplo, utilizando especies arbóreas como sombra para café se puede incrementar en forma apreciable el valor de las plantaciones de café para las especies aves, incrementando a la vez la calidad del suelo, estabilizando las tasas de producción y reduciendo la necesidad de deshierbe. De igual manera, la retención de un sotobosque de hierbas y arbustos dentro de las cortinas rompevientos, no solo incrementa su valor de conservación, sino que también ayuda a cerrar las brechas en el sotobosque de las mismas, que de otra manera permitiría que el viento dañe los cultivos adyacentes. Además, muchas de las especies retenidas en los sistemas agroforestales dan servicios ecológicos cruciales a los agricultores como la polinización de cultivos, la dispersión de semillas y la regulación de las pla-

gas de los cultivos. Una consideración final es que la biodiversidad que se conserva dentro del sistema agroforestal puede a menudo ofrecer una fuente adicional de ingresos directos para el agricultor por medio del ecoturismo, la recreación o la cacería. En algunos casos, sin embargo, aunque la conservación de la biodiversidad puede resultar en la ligera disminución de los rendimientos de los cultivos, el agricultor puede recuperar sus pérdidas a través de otros beneficios conferidos por la biodiversidad dentro del sistema agroforestal.

CONCLUSIONES

Los sistemas agroforestales tienen un gran potencial para ayudar a la conservación de la biodiversidad en los paisajes agrícolas, que a menudo se pasan por alto o no se utilizan en los esfuerzos de conservación (**Acetato 23**). Aunque los sistemas agroforestales, rara vez albergan tanta diversidad como los hábitats naturales y a menudo, solamente contienen un subconjunto de las especies originales, éstos constituyen una mejor alternativa que los cultivos uniformes en monocultivo, debido a que su mayor variedad florística y estructural, ofrece hábitats y recursos adicionales para especies de plantas y animales. Si se diseñan y manejan adecuadamente, los sistemas agroforestales podrían servir como una importante herramienta para la conservación. Para ser más efectivos en la conservación de la biodiversidad, estos deben estar integrados a programas regionales de conservación, que además busquen la protección de las áreas forestales, el uso prudente de agroquímicos, y la conservación de los remanentes del bosque, plantaciones forestales, vegetación ribereña y rutas migratorias.

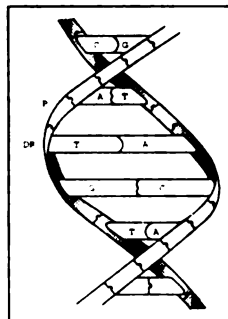
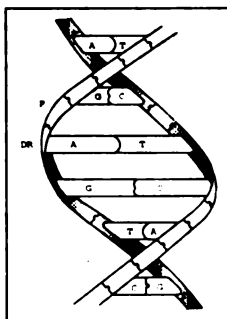
Debido a que la prioridad principal de los agricultores es generar ingresos, todos los esfuerzos para utilizar y diseñar sistemas agroforestales para la conservación, también deben considerar cuidadosamente cómo estas acciones afectarán la productividad del cultivo y los ingresos de la finca. Los sistemas agroforestales deben ser no solamente ambiental sino también económicamente viables y aceptables pa-

ra los agricultores. El reto es identificar prácticas que maximizen la producción y sostenibilidad de los sistemas agroforestales, pero que también retengan el nivel de biodiversidad más alto posible. Este desafío se tornará más importante en el futuro, debido a que la deforestación continúa y la pérdida de hábitats amenaza la pérdida de la biodiversidad alrededor del mundo.

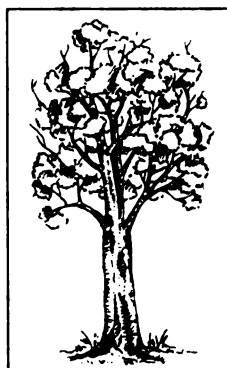


¿QUÉ ES BIODIVERSIDAD?

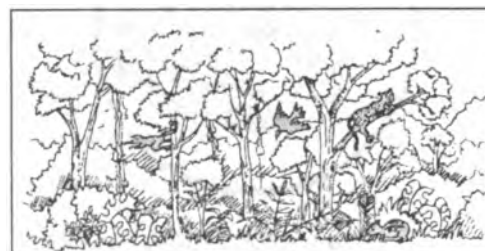
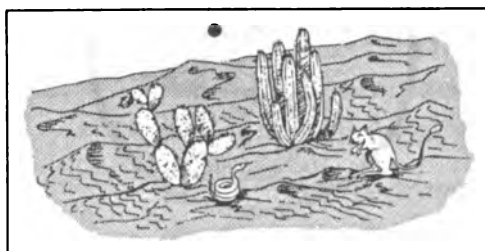
Biodiversidad: la variedad y variabilidad entre todos los organismos vivos, los complejos ecológicos en los cuales éstos ocurren y la forma en que interactúan con el ambiente. Esto incluye la diversidad dentro de las especies, entre especies y entre ecosistemas.



Diversidad
genética



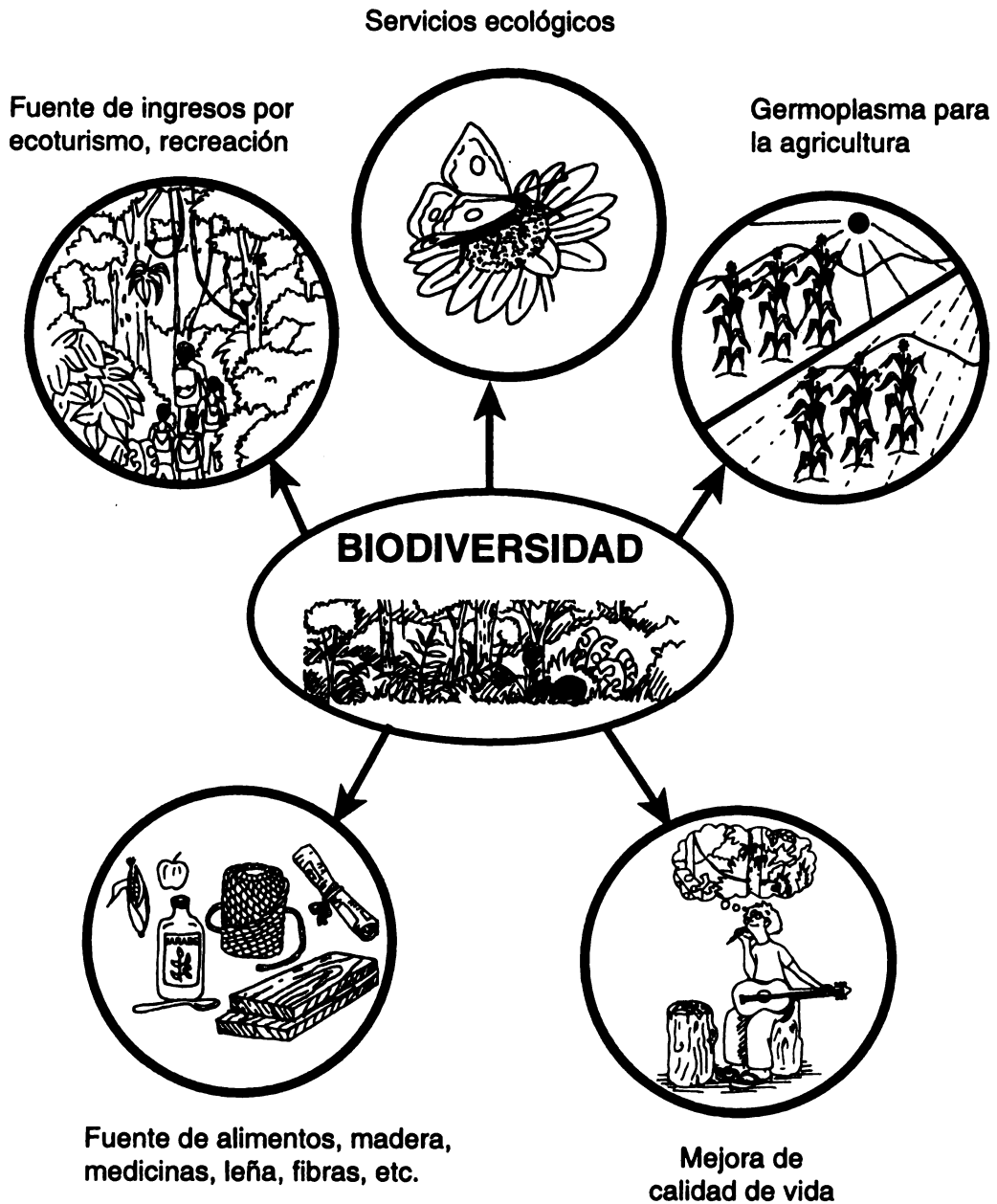
Diversidad
de especies



Diversidad de ecosistemas



¿Por qué conservar la biodiversidad?



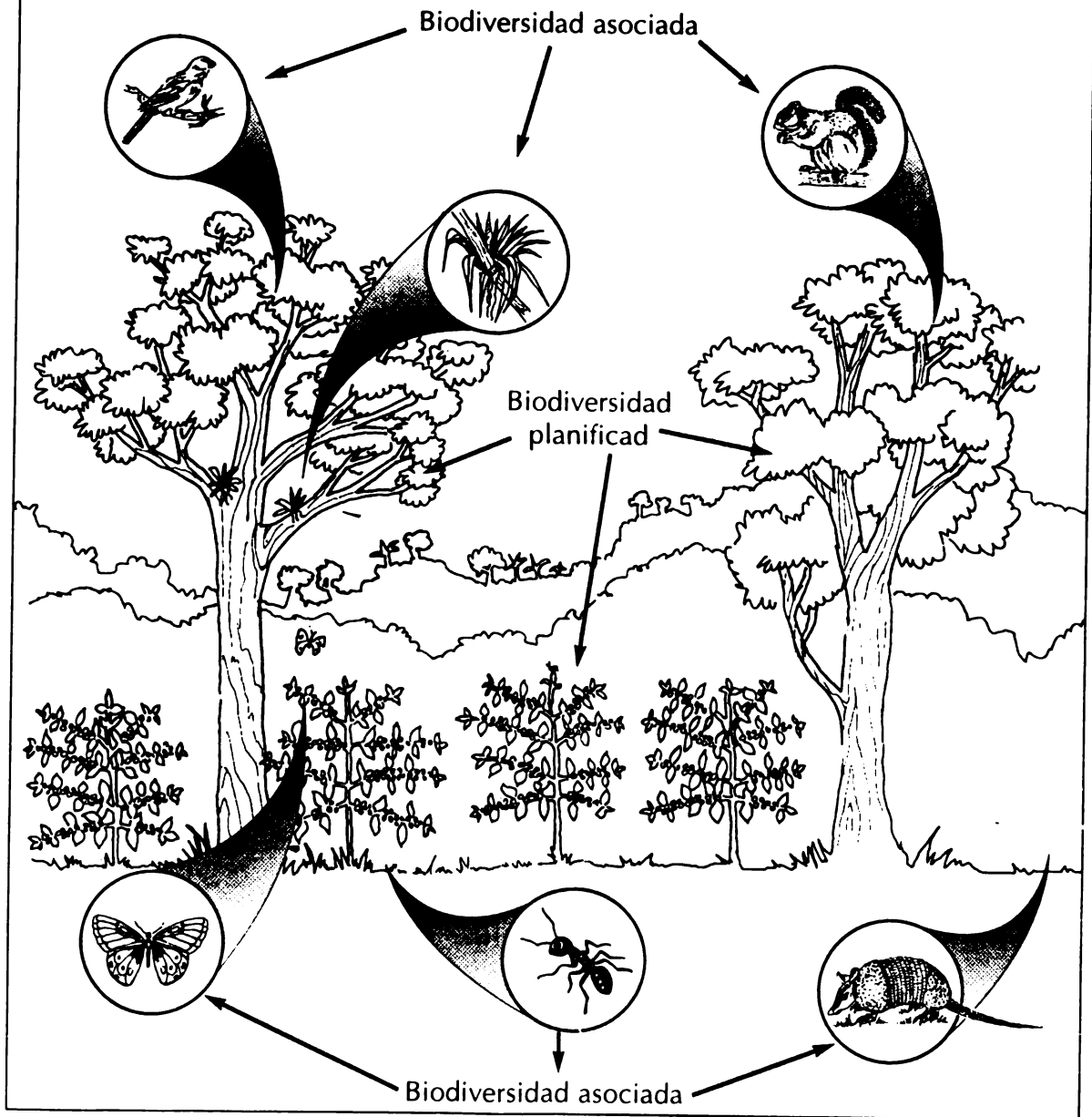


¿Cómo ayudan los sistemas agroforestales a conservar la biodiversidad?

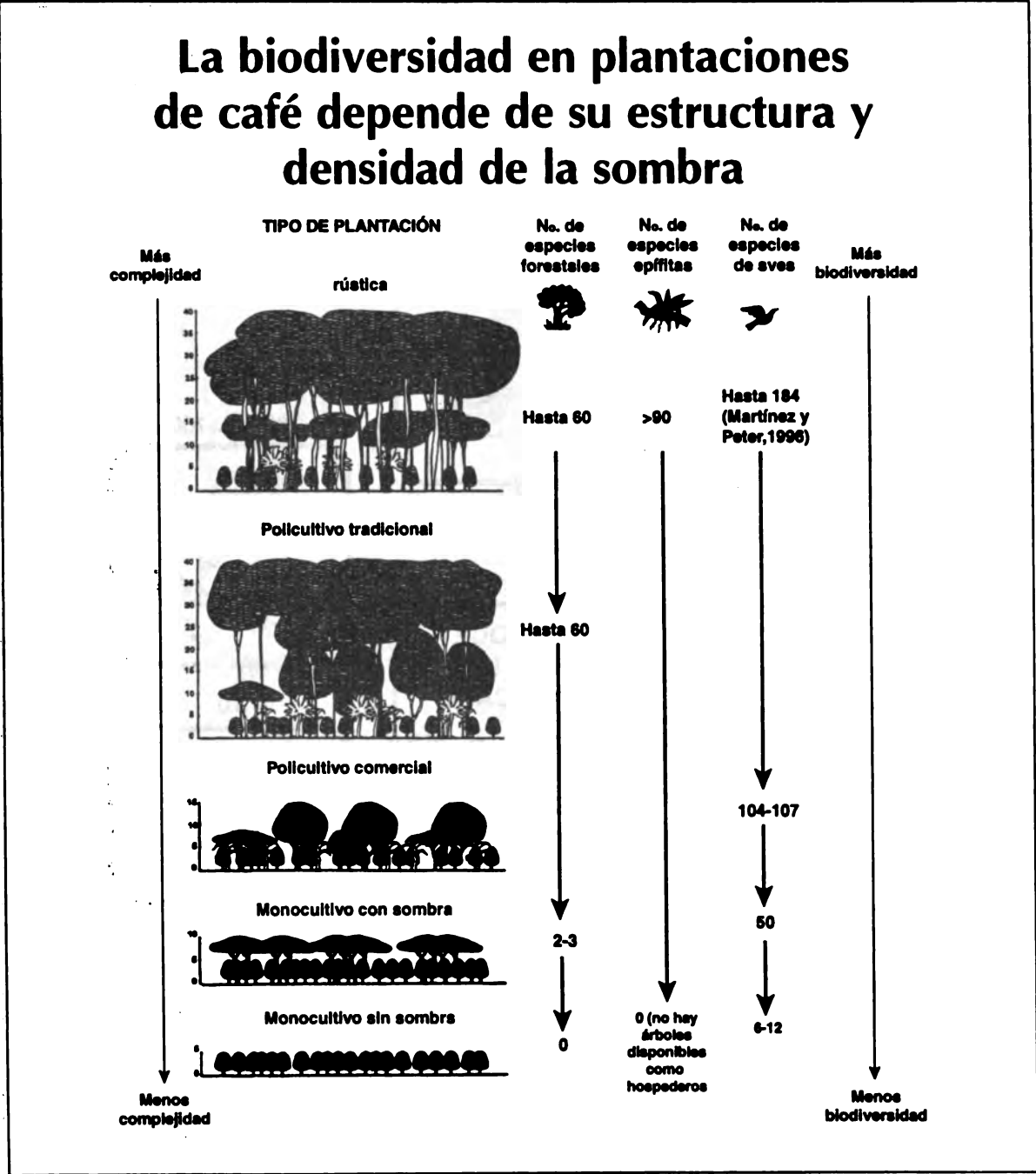
- Los SAF tienen alta diversidad de especies de cultivo y forestales y una gran cantidad de variantes genéticas que son sembradas o retenidas deliberadamente dentro del sistema (biodiversidad planificada).
- Los cultivos y árboles en los SAF y los hábitat que ellos contienen (biodiversidad asociada), ayudan a la conservación adicional de la biodiversidad de plantas, animales e insectos:
 - Proveyendo hábitats y nichos para otras especies de plantas, animales e insectos.
 - Sirviendo como sitios percha, de anido y para posarse para aves, murciélagos y otros animales.
 - Proveyendo recursos alimenticios como frutos, néctar, polen, hojas, corteza y hojarasca.
 - Mejorando las condiciones microclimáticas locales (reducción de la temperatura, incremento de la humedad) y haciéndolas más favorables para las especies forestales.
 - Sirviendo como núcleos para la deposición de semillas y el establecimiento de plántulas.
 - Actuando como zonas de amortiguamiento alrededor de áreas protegidas o áreas naturales.
 - Creando corredores o "pasaderas" que facilitan el movimiento de los animales dentro del paisaje agrícola.



Biodiversidad planificada y asociada en un cafetal con sombra



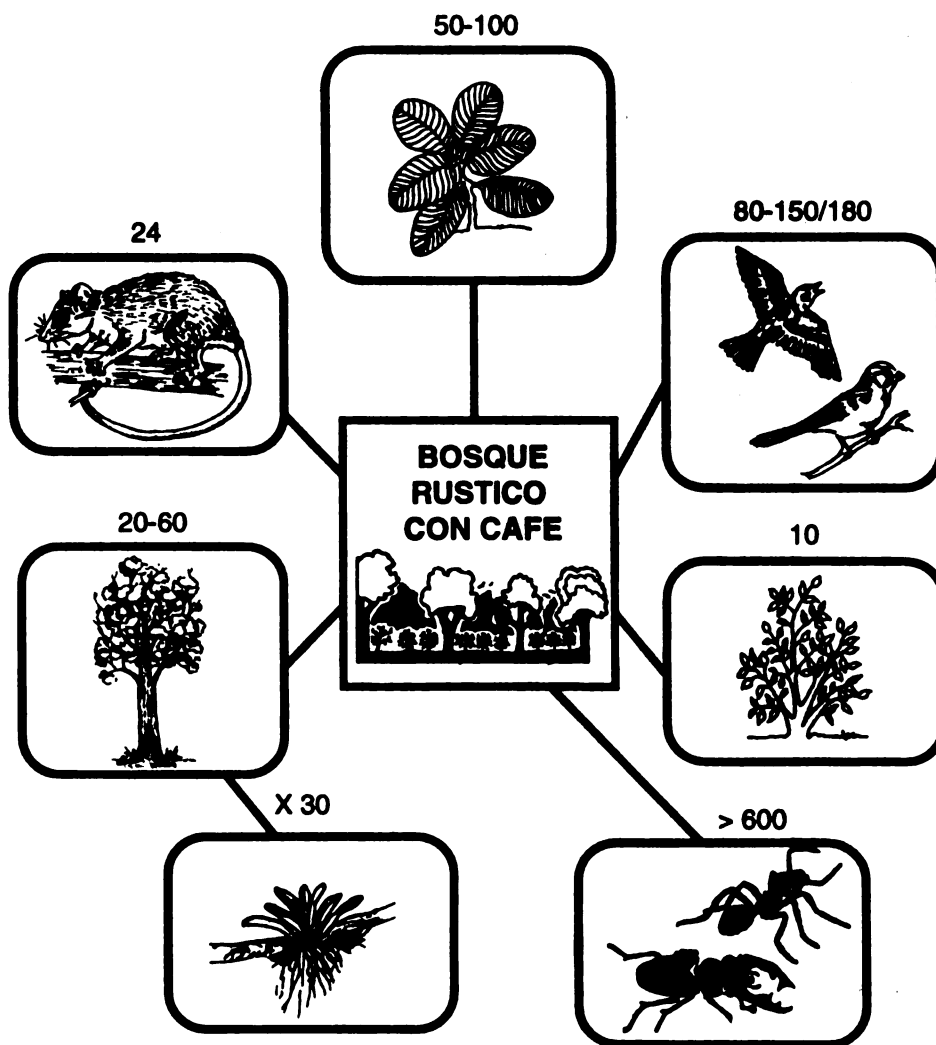
La biodiversidad en plantaciones de café depende de su estructura y densidad de la sombra



Fuente de la figura Moguel y Toledo, 1999.
 Fuente de los datos: Martínez y Peter, 1996; Greenberg, 1999 .



Un ejemplo de diversidad de plantas y animales en una plantación de café con sombra en México



Fuente: Toledo y Moguel, 1997.



Las plantaciones de café con sombra crean hábitat para aves migratorias



Los doseles diversos y densos ayudan a proveer hábitats cruciales y recursos para aves residentes y migratorias. Cada año entre 2 y 5 billones de aves migratorias viajan desde Estados Unidos hasta regiones de América Central, el Caribe y el norte de América del Sur.



Muchos de las aves utilizan los árboles de sombra en cafetales como perchas y fuentes de alimentación. Se han encontrado más de 180 especies de aves residentes y migratorias en plantaciones de café.

Los cafetales con sombra son críticos en áreas muy deforestadas porque dan refugio a las aves.



Diversidad de insectos en plantaciones de café con sombra

Los árboles de sombra hospedan más diversidad de abejones, hormigas y otros insectos en sus doseles que las plantas de café. También, la diversidad de insectos es mayor en sistemas con sombra densa y diversa (tradicional) que en sistemas con sombra moderada.

ESPECIES	TIPO DE CAFETAL	No. de especies de 	No. de especies de 
<i>Erythrina poeppigiana</i> (un árbol)	Sombra densa	126	30
<i>Erythrina fusca</i> (un árbol)	Sombra densa	110	27
<i>Annona chirimoya</i> (un árbol)	Sombra densa	--	10
<i>Erythrina poeppigiana</i> (un árbol)	Sombra moderada	48	5
<i>Coffea arabica</i> (10 plantas)	Sombra densa	39	14
<i>Coffea arabica</i> (10 plantas)	Sombra moderada	29	9
<i>Coffea arabica</i> (10 plantas)	Sin sombra	29	8

Fuente: Perfecto et al., 1996.



Criterios para cafetales amigables con las aves"

- Incluir al menos 10 especies arbóreas en el estrato de sombra.
- Usar especies nativas perennes (siempre que sea posible).
- Mantener una cobertura de sombra de al menos 40% durante todo el año.
- Mantener una altura mínima de dosel de 12-15 m.
- Crear diferentes estratos arbóreos, utilizando diferentes especies arbóreas.
- Permitir que las plantas epífitas, lianas y plantas parásitas crezcan en los árboles de sombra.
- Dejar las ramas y troncos muertos en los cafetales.
- Utilizar cercas vivas, o hileras de árboles, arbustos o vegetación natural en el contorno en la finca.
- Minimizar el uso de agroquímicos.
- Minimizar la poda de árboles y, siempre que sea posible, realizar la poda al inicio o durante la estación lluviosa.

El café que cumple con estos requisitos puede recibir un precio premio en el mercado cafetalero.

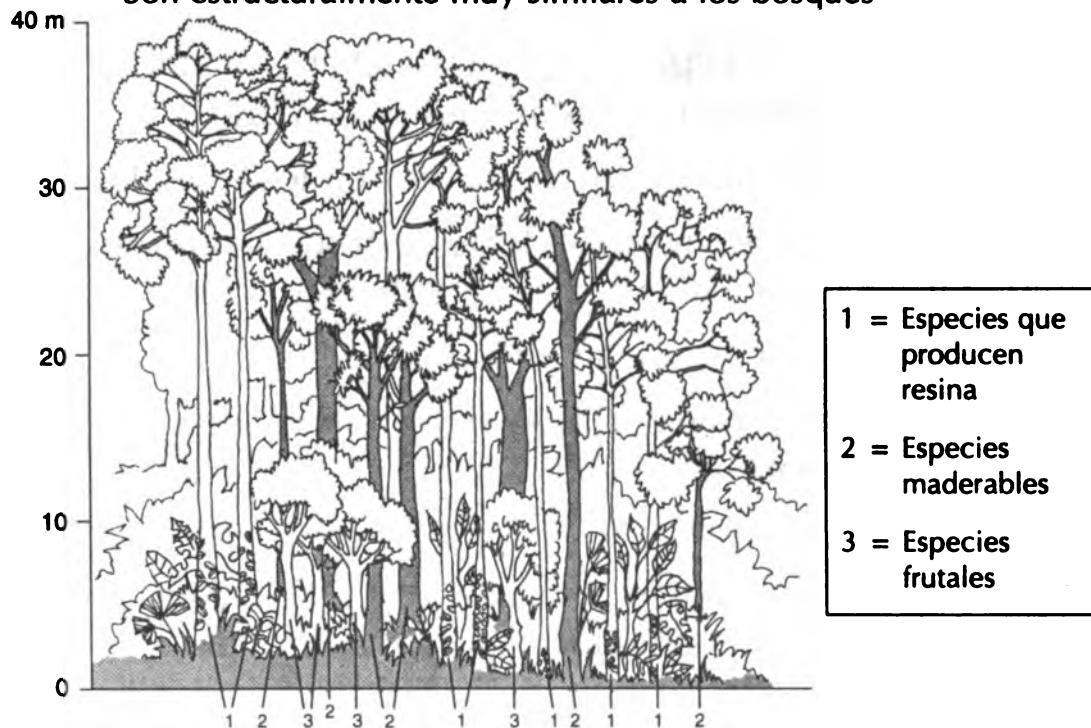
Fuente: Smithsonian Migratory Bird Center, 1998.



Biodiversidad en los Agrobosques

Los agrobosques tienen el mayor potencial de todos los sistemas agroforestales para conservar la biodiversidad:

- Tienen una alta diversidad florística (hasta 350 especies de plantas, incluyendo especies maderables, frutales, productoras de resinas).
- Contienen estratos de vegetación múltiples (con doseles que alcanzan hasta los 40 m en altura).
- Tienen una alta densidad de árboles (245-500 árboles/ha).
- Son estructuralmente muy similares a los bosques





Biodiversidad en agrobosques de caucho en comparación con bosques primarios y plantaciones puras de caucho

Los agrobosques de caucho albergan significativamente más biodiversidad que las plantaciones puras de caucho, pero menos que los bosques primarios intactos.



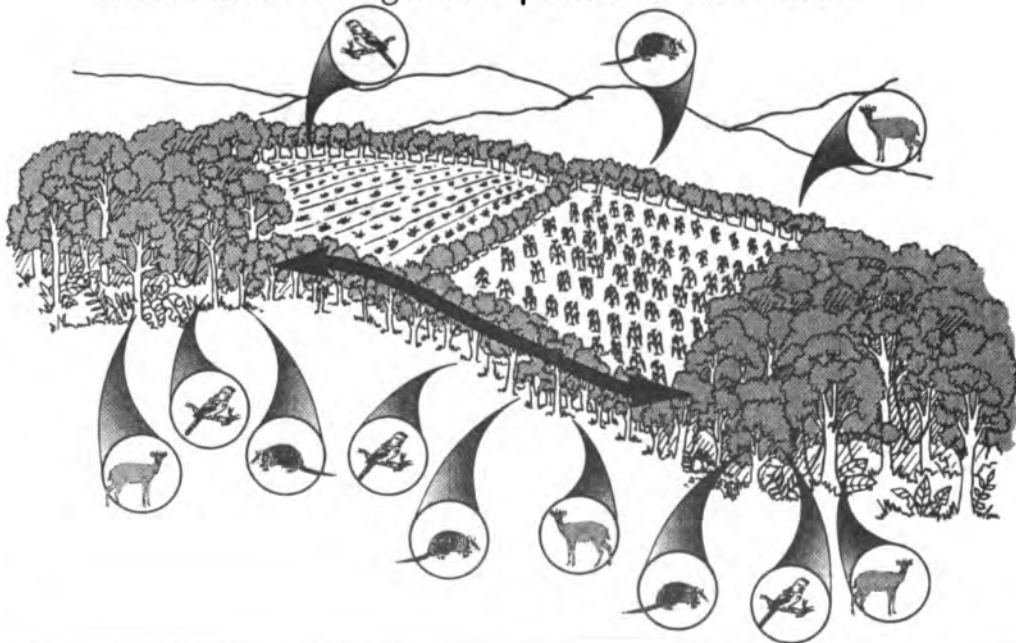
Habitat	No. de especies de aves	No. de especies de árboles	No. de especies de epifitas	No. de especies de lianas	No. de especies de plantas herbáceas en el soto bosque	No. de especies de colémbolas en la hojarasca	No. de especies de colémbolas en el suelo
Bosque primario	179	171	63	89	12	47	57
Agrobosque de caucho	105	92	26	97	23	47	55
Plantación de caucho (monocultivo)	—	1	2	1	2	23	28



Biodiversidad en barreras y cortinas rompevientos

Las barreras y las cortinas rompevientos juegan un papel importante en la conservación de la biodiversidad:

- A veces representan la única cobertura arbórea en los paisajes agrícolas (especialmente en regiones templadas).
- Sirven como hábitats y recursos importantes para otros organismos.
- Proveen sitios de refugio durante el invierno para muchas especies en regiones templadas.
- Funcionan como corredores naturales para el movimiento de algunas especies de animales.





Diversidad de plantas en barreras y cortinas rompevientos

Tipo de rompeviento	País	No. de especies de plantas presentes
Barreras regeneradas en forma natural.	Inglaterra ¹	500-600 especies. (principalmente especies forestales para linderos).
Barreras remanentes y regeneradas en forma natural.	USA ²	39 especies herbáceas forestales (70% de todas las especies presentes en bosques intactos).
Cortinas rompevientos de <i>Montanoa guatemalensis</i> , <i>Cupressus lusitanica</i> , <i>Croton niveus</i> , <i>Casuarina equisetifolia</i>	Costa Rica ³	91 especies de árboles, 49 de herbáceas, 38 de arbustos, 19 de lianas, 12 de enredaderas, y 5 de epífitas

Fuente: ¹Pollard et al., 1974; ²Corbit et al., 1999; ³Harvey, 1999.



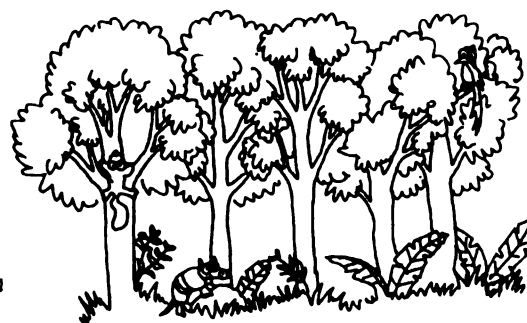
Aves y mamíferos en barreras y cortinas rompevientos

- Los rompevientos proveen sitios de alimentación, anido y reproducción para gran variedad de especies de mamíferos, insectos y aves.
- Diferentes partes de los rompevientos proveen nichos para diferentes especies de animales. Los rompevientos multiestratos y florísticamente complejas albergan una mayor diversidad de especies animales que los de una sola línea de árboles o de una sola especie.
- Los rompevientos pueden atraer mamíferos y aves cuya caza es legal, con la posibilidad de brindar recreación y generar ingresos para el agricultor.



Alta densidad

versus

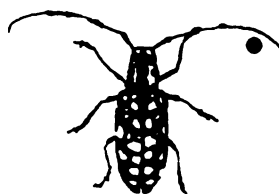


Baja densidad



Insectos en barreras y cortinas rompevientos

- Los rompevientos proveen fuentes de caza, néctar y polen para insectos, y sirven como sitios de protección para apareamiento, descanso y refugio.



- Debido al efecto de las cortinas sobre el viento, los insectos tienden a acumularse en el lado de sotavento.



- Algunos de estos insectos son beneficiosos (abejas, polinizadores, depredadores y parásitos de las plagas de los cultivos).



- Pero los rompevientos también pueden hospedar plagas agronómicas como áfidos, y el gorgojo del algodón y la alfalfa.



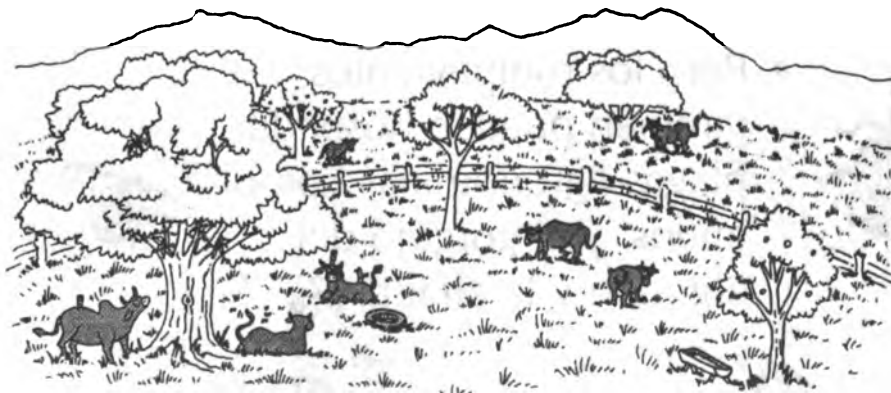


Biodiversidad y árboles remanentes en pastizales

Los árboles aislados pueden ser relictos del bosque que se encontraba en el lugar o pueden haber regenerado o ser plantados desde que se establecieron las tierras agrícolas.

Los árboles aislados en pastizales a menudo representan una alta diversidad de especies

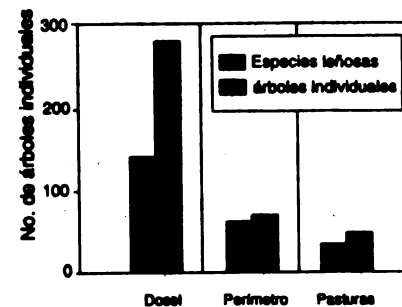
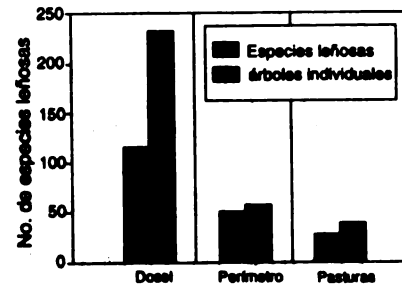
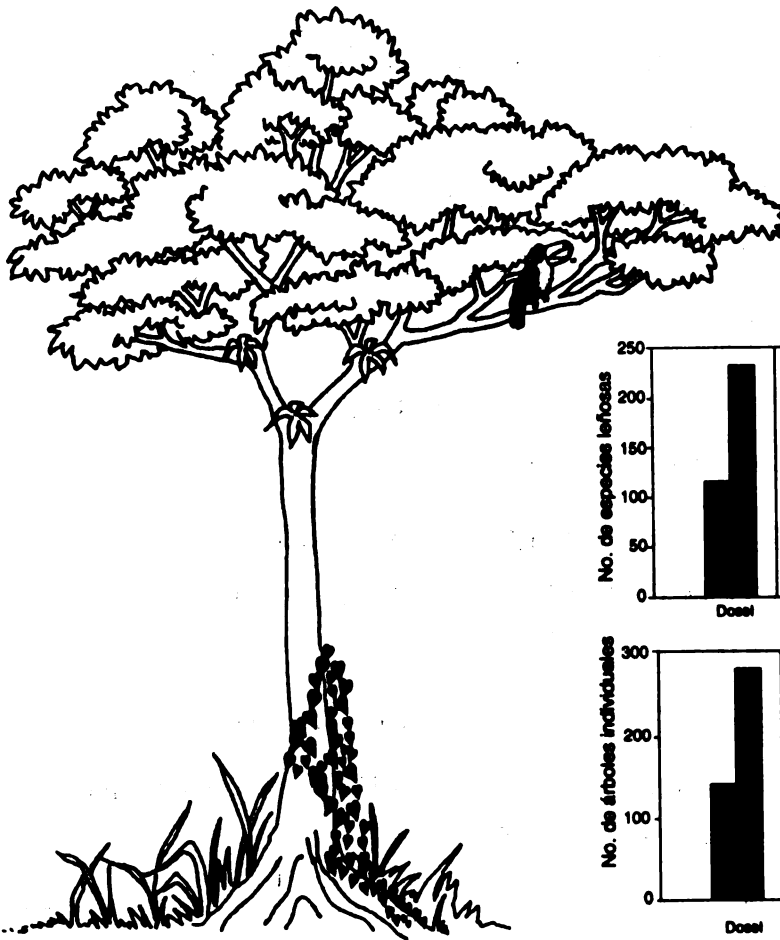
Ubicación	No. de especies de árboles	Densidad promedio de árboles	Familias arbóreas más comunes
Pastizales en Veracruz, México ¹	98 (76 especies forestales primarias)	3.3 árboles/ha	Leguminosae Sapotaceae Lauraceae Moraceae
Pastizales en Monteverde, Costa Rica ²	190	25 árboles/ha	Leguminosae Lauraceae Myrtaceae Meliaceae Solanaceae



Fuente: 1 Guevara et al., 1999; 2 Harvey y Haber, 1999.



Los árboles aislados sirven como foco para el depósito de semillas y la recolección de plántulas



	Doceel	Perímetro	Pasturas
No. total de especies	191	111	106
Promedio de especies por muestra (DE)	17.8 (4.3)	11.2 (3.4)	10.6 (3.6)

Fuente: Guevara y Laborde, 1993.



Características de los huertos caseros

- Áreas pequeñas (generalmente < 0.5 ha).
- Alta diversidad de especies de plantas (árboles, arbustos, hierbas, lianas).
- Alta densidad de plantas.
- Multiestrato, generalmente de 3-5 estratos distintos.
- Propósito principal: suplementar la alimentación familiar.
- Muchas de estas plantas son especies frutales, comestibles, maderables o medicinales.
- Sirven como bancos de germplasma (incluyen especies y variedades locales que ya no existen en otras áreas).

Número de plantas encontradas en huertos caseros de Costa Rica, Honduras y Nicaragua			
Categoría de uso	Nicoya, Costa Rica¹	Camalote, Honduras²	San Juan de Oriente, Nicaragua³
Árboles frutales	37	39	40*
Árboles no frutales	40	64	49
Plantas medicinales	28	103	24
Plantas comestibles	30	60	12
Plantas ornamentales	154	40	189
TOTAL	289	253	324
Número de huertos mostreados	12	10	20
Promedio de especies por huerto (rango)	66 (32-149)	60 (26-131)	70 (22-106)
Tamaño promedio de los huertos (ha)	0.5	0.2	0.3

Fuente: ¹Lok, Wieman y Kass, 1998; ²Fuente: House y Ochoa, 1998; ³Fuente: Lok y Méndez, 1998;
*incluye Musáceas



Formas de incrementar la biodiversidad en los sistemas agroforestales

- Maximizar la complejidad vegetativa y estructural incorporando una amplia variedad de especies de plantas y formas de vida (por ej. enredaderas, lianas, árboles, arbustos, herbáceas, gramíneas).
- Crear estratos múltiples de vegetación.
- Maximizar el ancho o área del sistema agroforestal para reducir los efectos en los contornos y crear un hábitat "semejante al del bosque".
- Incluir especies que provean frutos, néctar, flores, polen u otros recursos alimenticios que atraen a las aves, murciélagos y otros animales.
- Mantener una variedad de microhábitats en el sistema agroforestal reteniendo los árboles muertos, enredaderas, trozas, troncos caídos, piedras, etc.
- Ubicar los sistemas agroforestales cerca de estanques, riachuelos u otras fuentes de agua para atraer especies de vida silvestre.
- Minimizar el uso de pesticidas, tanto dentro como fuera del sistema agroforestal.
- Minimizar la poda y la disturbación del sistema.
- Localizar los SAF (o concertarlos) a hábitats claves como fragmentos de bosque, bosques secundarios o grandes tractos de vegetación nativa.



Compatibilidad de la conservación de la biodiversidad y la productividad

El diseño y manejo de los sistemas agroforestales puede ser inconsistente con las prácticas de manejo agronómico:

- Retener un alto número de especies de árboles y una alta densidad de árboles es favorable para la conservación, pero limita el área disponible para la producción de cultivos.
- Mantener lianas, epífitas, y plantas herbáceas en los sistemas agroforestales puede incrementar el valor de conservación del sistema, pero puede resultar en un crecimiento arbóreo o forma del árbol pobre.
- Reducir el uso de herbicidas, aunque beneficia la biodiversidad, puede resultar en competencia entre árboles y malezas y causar una reducción en el crecimiento del árbol.
- Conservar la biodiversidad en los sistemas agroforestales puede resultar en la presencia de plagas en los cultivos.



Conservación y Productividad

Pero algunas prácticas agroforestales comunes son altamente compatibles con la conservación de la biodiversidad (sin ningún costo adicional):

- Utilizar una variedad de especies arbóreas como sombra aumenta el hábitat para la vida silvestre.
- Retener un sotobosque diverso de herbáceas y arbustos en las cortinas rompevientos incrementa su valor de conservación y ayuda en el efecto rompeviento.
- Muchas de las especies retenidas en los SAF dan servicios ecológicos a los agricultores, como la polinización de los cultivos, la dispersión de semillas y la regulación de las plagas de los cultivos.
- El reto es identificar prácticas que ayuden a maximizar la producción y sostenibilidad de los sistemas agroforestales, pero también retengan el nivel de biodiversidad más alto posible.



CONCLUSIONES

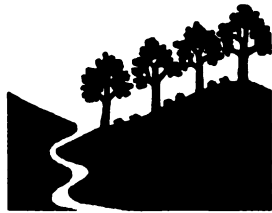
- Los sistemas agroforestales tienen un gran potencial para ayudar en la conservación de la biodiversidad de los paisajes agrícolas, que a menudo se pasa por alto o es subutilizado en los esfuerzos de conservación.
- Los sistemas agroforestales conservan solo parte de la biodiversidad presente en forma natural, pero al menos son una mejor alternativa que los monocultivos, plantaciones puras o cultivos manejados en forma intensiva.
- Para que sean más efectivos, los SAF deben ser integrados a los programas regionales de conservación.
- Debido a la necesidad de los agricultores por generar ingresos, los esfuerzos para diseñar y utilizar SAF para la conservación deben también considerar sus efectos sobre la productividad del cultivo y los ingresos de la finca.
- Los SAF deben ser ambiental y económicamente viables y aceptables para los agricultores.

LITERATURA CITADA

- Cable, T.T. 1991. Windbreaks, wildlife and hunters. *In*: J.E. Rodiek and E. G. Bolen (eds). *Wildlife and Habitats in Managed Landscapes*. Washington, D. C., Island Press. p. 35-55.
- Capel, S. W. 1988. Design of windbreaks for wildlife in the Great Plains of North America. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 22/23: 337-347.
- Corbit, M., Marks P. L.; Gardescu, S. 1999. Hedgerows as habitat corridors for forest herbs in central New York, USA. *Journal of Ecology* 87:220-232.
- Constant, P.M., Eybert, C.; Mahed, R. 1976. Avifaune reproductrice du bocage de L'Ouest. *In*: *Les bocages: histoire, ecologie, économie*. Rennes, France, University of Rennes. p. 327-332.
- Constanza, R.; d'Arge, R.; de Groot, R.; Farber, S.; Grasso, M.; Hannom, B.; Limburg, K.; Naeem, S.; O'Neill, R. V.; Paruleo, J.; Raskin, R. G.; Sutton, P.; van den Belt, M. 1997. The value of the world's ecosystem services and natural capital. *Nature* 387: 253-260.
- ✓ DeRosier, D. 1995. Agricultural windbreaks: conservation and management implications of corridors usage by avian species. Masters Thesis, School of the Environment, Duke University.
- Dix, M.E.; Leatherman, D. 1988. Insect management in windbreaks. *Agriculture, Ecosystems and the Environment* 22/23: 513-538.
- ✓ Dix, M.E., Johnson, R. J.; Harrell, M. O.; Case, R. M.; Wright, R. J.; Hodges, L.; Brandle, J. R.; Schoeneberger, M. M.; Sunderman, N. J.; Fitzmaurice, R. L.; Young, L. J.; Hubbard, K. G. 1995. Influences of trees on abundance of natural enemies of insect pests: a review. *Agroforestry Systems* 29: 303-311.
- Estrada, A.; Coates-Estrada, R.; Meritt Jr., D.; Montiel, S.; Curiel, D. 1993. Patterns of frugivore species richness and abundance in forest islands and in agricultural habitats at Los Tuxtlas, Mexico. *Vegetatio* 107/108: 245-257.
- Fernandes, E.C.M.; Nair, P.K.R.. 1986. An evaluation of the structure and function of tropical homegardens. *Agricultural systems* 21: 279-310.
- Forman, R. T. T.; Baudry, J. 1984. Hedgerows and hedgerow networks in landscape ecology. *Environmental Management* 86: 495-510.
- Gallina, S.; Mandujano, S.; Gonzalez-Romero, A. 1996. Conservation of mammalian biodiversity in coffee plantations of Central Veracruz, Mexico. *Agroforestry Systems* 33:13-27.
- Greenberg, R. 1998. Biodiversity in the cacao agroecosystem: shade management and landscape considerations. First international workshop on sustainable cocoa growing, Workshop proceedings. Smithsonian Tropical Research Institute, Smithsonian Migratory Bird Center, and Institute of Conservation Biology.
- ✓ Guevara, S., S. E. Purata, and E. Van der Maarel. 1986. The role of remnant forest trees in tropical secondary succession. *Vegetation* 66: 77-84.
- ✓ Guevara, S.; Laborde, J. 1993. Monitoring seed dispersal at isolated standing trees in tropical pastures: consequences for local species availability. *Vegetatio* 107/108: 319-338.
- ✓ Guevara, S.; Laborde, J.; Sanchez, G. 1998. Are isolated remnant trees in pastures a fragmented canopy? *Selbyana* 191: 34-43.
- ✓ Guevara, S.; Meave, J.; Moreno-Casasola, P.; Laborde, J. 1992. Floristic composition and structure of vegetation under isolated trees in neotropical pastures. *Journal of Vegetation Science* 3: 655-664.
- Haas, C. 1995. Dispersal and use of corridors by birds in wooded patches on an agricultural landscape. *Conservation Biology* 94: 845-854.
- Harvey, C. A . 1999. The colonization of agricultural windbreaks by forest trees in Costa Rica: implications for forest regeneration. Ph.D. thesis, Cornell University, Ithaca, NY.
- ✓ Harvey, C.A.; Haber, W. A. 1999. Remnant trees and the conservation of biodiversity in Costa Rican pastures. *Agroforestry Systems* 44:37-68.
- House, P.; Ochoa, L. 1998. La diversidad de especies útiles en diez huertos en la aldea de Camalote, Honduras. *In* *Huertos caseros tradicionales de América Central: características, beneficios e importancia desde un enfoque multidisciplinario*. Lok, R. (ed.). Turrialba, Costa Rica, CATIE. p. 61-84.
- Hietz-Seifert, U.; Hietz, P.; Guevara, S. 1995. Epiphyte vegetation and diversity on remnant trees af-

- ter forest clearance in southern Veracruz, Mexico. *Biological Conservation* 75:103-111.
- Hooper, M. D. 1970. Hedges and history. *New Scientist* 31: 598-600.
- ICRAF, ORSTOM, CIRAD-CP and the Ford Foundation. 1999. Agroforests: examples from Indonesia. Creating profitable and sustainable multi-purpose forests in the agricultural lands of the humid tropics. 16 p.
- Johns, N. D. 1999. Conservation in Brazil's Chocolate Forest: the unlikely persistence of the traditional cocoa agroecosystem. *Environmental Management*, 23:31-47.
- Komar, O. 1998. La diversidad caficultura: raíces del proyecto piloto "café y biodiversidad". Asociación Salvadoreña de beneficiadores y exportadores de café. ABCEFAFE. p.18-20.
- Lewis, T. 1965. The effects of shelter on the distribution of insect pests. *Science Horticulture* 17: 75-84.
- Lewis, T. 1969. The diversity of the insect fauna in a hedgerow and neighboring fields. *Journal of Applied Ecology* 6: 453-458.
- Lok, R. (ed.) 1998. Huertos caseros tradicionales de América Central: características, beneficios e importancia desde un enfoque multidisciplinario. Turrialba, Costa Rica, CATIE. 234 p.
- Lok, R.; Méndez, E. 1998. El uso del ordenamiento local del espacio para una clasificación de huertos en Nicaragua. *In* Huertos caseros tradicionales de América Central: características, beneficios e importancia desde un enfoque multidisciplinario. Lok, R. (ed.). Turrialba, Costa Rica, CATIE. p. 129-150.
- Lok, R.; Samaniego, G. 1998. La valorización socio-cultural del huerto y del café con árboles entre la población Ngöbe de Chiriquí, Panamá. *In* Huertos caseros tradicionales de América Central: características, beneficios e importancia desde un enfoque multidisciplinario. Lok, R. (ed.) Turrialba, Costa Rica, CATIE. p. 185-222.
- Lok, R.; Wieman, A.; Kass, D. 1998. Influencia de las características de sitio y el acceso al agua en huerto de la Península de Nicoya, Costa Rica. *In* Huertos caseros tradicionales de América Central: características, beneficios e importancia desde un enfoque multidisciplinario. Lok, R. (ed.). Turrialba, Costa Rica, CATIE. p. 29-60.
- Martínez, E.; Peters, W. 1996. La caficultura biológica: la finca Irlanda como estudio de caso de un diseño agroecológico. *In*: J. Trujillo, F. de León-Gonzalez, R. Calderón y P. Torres-Lima (eds.). *Ecología aplicada a la agricultura: temas selectos de México*. México, D. F., Universidad Autónoma Metropolitana. p. 150-183.
- Michon, G.; de Foresta, H. 1995. The Indonesian agro-forest model. *In* *Conserving biodiversity outside protected areas: the role of traditional agro-ecosystems*. P. Halladay and D. A. Gilmour (eds.). IUCN Forest Conservation Programme.
- Moguel, P. and V. M. Toledo. 1999. Biodiversity conservation in traditional coffee systems of Mexico. *Conservation Biology* 13: 11-21.
- Nair, P.K. R. 1993. *An introduction to Agroforestry*. Dordrecht, The Netherlands, Academic Publishers.
- Nir, M.A. 1988. The survivors: orchids on a Puerto Rican coffee farm. *American Orchid Society Bulletin* 57: 989-995.
- National Audubon Society. 1999. Coffee and the conservation of migratory birds. National Audubon Society web page (<http://www.audubon.org/bird/cafe.html>).
- OTA, 1992. Technologies to maintain biological diversity. Office of Technology Assessment, Congress of the United States of America.
- Pagiola, S.; Kellenberg, J.; Vidaeus, L.; Srivastava, J. 1997. Mainstreaming biodiversity in agricultural development. World Bank Environment Paper number 15. 50 p.
- Pasek, J.E. 1988. Influence of wind and windbreaks on local dispersal of insects. *Agriculture Environment and Ecosystems* 22/23: 539-554.
- Perera, A. H.; Rajapakse, R.M.N. 1991. A baseline study of Kandyan Forest Gardens of Sri Lanka: structure, composition and utilization. *Forest ecology and management* 45: 269-280.
- Perfecto, I.; Snelling, R. 1995. Biodiversity and the transformation of a tropical agroecosystem: ants in coffee plantations. *Ecological Applications* 5: 1084-1097.
- Perfecto, I.; Rice, R. A.; Greenberg, R.; Van der Voort, M. E. 1996. Shade coffee: a disappearing refuge for biodiversity. *BioScience* 46: 598-608.

- Perfecto, I.; Vandemeer, J. 1996. Microclimatic changes and the indirect loss of ant diversity in a tropical agroecosystem. *Oecologia* 108: 557-582.
- Perfecto, I. 1997. Loss of insect diversity in a changing agroecosystem: the case of coffee technification. A. M. Harris and J. Mclean (eds.). Proceedings from the First sustainable coffee congress, Sept. 1996. Smithsonian Migratory Bird Center. Smithsonian Migratory Bird Center.
- Pimentel, D.; Stachow, U.; Takacs, D. A.; Brubaker, H. W.; Dumans, W. R.; Meaney, J. J.; O'Neil, A. S.; Onsi, D. E.; Corzilius, D. B. 1992. Conserving biological diversity in agricultural/forestry systems. *BioScience* 42: 354-362.
- Pollard, E.; Hopper, M. D.; Moore, N. W. 1974. *Hedges*. W. Collins Sons. London, 256 p.
- Reid, W. V.; Miller, K. R. 1989. Keeping options alive: the scientific basis for conserving biodiversity. World Resources Institute. Washington, D.C.
- Reitsma, R.; Parrish, D. J.; McLarney, W.; Mack, R.; Lynch, J.; Chavarria, C. R.; Bustillos, R.; Rodriguez, W. 1999. The role of cacao plantations in maintaining avian diversity in southeastern Costa Rica. Proceedings of the IUFRO meeting "Multi-strata agroforestry systems with Perennial Crops", Turrialba, Costa Rica, Feb 22-27, 1999.
- Saab, V.; Petit, D. R. 1992. Impact of pasture development on winter bird communities in Belize, Central America. *The Condor* 66-71.
- Seib, R. 1986. Feeding ecology and organization of neotropical snake faunas. Ph.D. dissertation. University of California, Berkeley, CA.
- Smith, B. D.; Lewis, T. 1982. The effects of windbreaks on the blossom-visiting fauna of apple orchards and on yield. *Annals of Applied Biology* 72: 229-238.
- Smithsonian Migratory Bird Center, 1998a. Shade management criteria for bird-friendly™ coffee. Smithsonian Migratory Bird Center web page (<http://web2.si.edu/smbc/coffee/criteria.html>).
- Smithsonian Migratory Bird Center. 1998b. Why migratory birds are crazy for coffee. Smithsonian Migratory Bird Center web page (<http://web2.si.edu/smbc/foxshts/foxsht1a.htm>)
- Thiollay, J.M. 1995. The role of traditional agroforests in the conservation of rain forest bird diversity in Sumatra. *Conservation Biology* 9: 335-353.
- Toledo, V. M.; Moguel, P. 1997. Searching for sustainable coffee in Mexico: the importance of biological and cultural biodiversity. In: R. Rice, M. Harris and J. McLean (eds.) Proceedings of the first sustainable coffee congress, Sept. 1996.
- Vandermeer, J. H.; Perfecto, I. 1998. Biodiversity and pest control in agroforestry systems. *Agroforestry Forum* 9: 2-5.



TEMA 6

Agroforestería, Zonas de Amortiguamiento y Áreas Protegidas

Francisco Jiménez, Thora Amend, Edgar Köpsell

INTRODUCCIÓN

En la región neotropical, se amplía constantemente la red de áreas protegidas. Su superficie ha aumentado en las dos últimas décadas debido a la creciente preocupación por el avance de la deforestación, la pérdida de la diversidad biológica, el deterioro de las cuencas hidrográficas, el avance de la frontera agrícola y la disminución de los recursos costeros. Mediante el establecimiento de parques nacionales y otras áreas protegidas, se quiere excluir ciertas superficies de la explotación de recursos, con la aspiración de conservar algunas de las características naturales de nuestro planeta para las futuras generaciones, para que ellas también puedan elegir entre varias opciones de uso, incluyendo los usos no consuntivos.

La mayoría de las áreas protegidas se ven amenazadas como consecuencias de sistemas inapropiados de uso de la tierra que se practican a su alrededor, y en muchos casos, dentro de su propio perímetro, así como del avance de la frontera agrícola. La declaración de una área protegida en zonas habitadas implica cambios, y con frecuencia restricciones, para las poblaciones locales que pueden llevar a conflictos de uso.

Existe consenso en que se deben buscar soluciones que permitan tanto la conserva-

ción de las especies y los ecosistemas, como un desarrollo digno de los habitantes. Ello implica la implementación de prácticas más sostenibles de uso de la tierra en las zonas de amortiguamiento, así como lograr un mejoramiento del nivel de vida de sus pobladores, de manera que se reduzca la necesidad de aprovechar y explotar las áreas protegidas. Para ese propósito la agroforestería puede jugar un papel muy importante, en función de sus ventajas ecológicas y productivas.

El concepto de zonas de amortiguamiento fue desarrollado a partir de los años sesenta como instrumento adicional para el manejo de las áreas protegidas, debido a que la amenaza sobre las mismas se originaban principalmente en sus alrededores. La zona de amortiguamiento es un área dentro o adyacente a un área protegida en donde se promueve una relación armoniosa entre el ambiente natural y la gente. Su objetivo es optimizar el valor intrínseco, político, económico, social, cultural y ecológico de los recursos, a través del manejo adaptativo y justo para todos y que permita cambios en el tiempo. Estas zonas deben ser consideradas como centros para el desarrollo sostenible, basado en el mantenimiento de procesos ecológicos esenciales y la diversidad biológica. Este concepto retiene los objetivos de minimizar el impacto sobre las áreas protegidas y de optimizar el efecto de estas áreas sobre las comunidades

vecinas y su desarrollo (Imbach y Godoy, 1992).

AGROFORESTERÍA, ZONAS DE AMORTIGUAMIENTO Y ÁREAS PROTEGIDAS

La agroforestería tiene potencial para solventar varios de los problemas de las áreas protegidas mediante su implementación en las zonas de amortiguamiento, donde puede cumplir con diferentes objetivos. La zona de amortiguamiento provee un área de uso controlado de la tierra, la cual separa el área protegida de la presión humana directa. Dentro de esta zona, las prácticas agroforestales combinan la producción de cultivos con la plantación de árboles y arbustos que ayudan a incrementar la productividad a largo plazo de las parcelas agrícolas y proveen al agricultor madera y otros productos forestales. El componente arbóreo es preferiblemente de especies pertenecientes a los ecosistemas naturales de la zona agroecológica correspondiente. Varios métodos agroforestales se muestran prometedores, incluyendo el sistema Taungya, cultivo en callejones, árboles para sombra, barreras rompevientos y barbechos mejorados. Así mismo hay varias estrategias agroforestales posibles para el uso de la tierra en zonas de amortiguamiento. En el **acetato 1** aparecen algunos modelos sugeridos por van Orsdol (1987). La combinación de prácticas agroforestales con el establecimiento de zonas de amortiguamiento alrededor de áreas protegidas, ha sido considerada como un método promisorio para mantener la diversidad biológica, reducir la presión sobre los recursos forestales y simultáneamente, mejorar los estándares de vida de los productores rurales.

El desarrollo de la agroforestería en zonas de amortiguamiento puede traer múltiples objetivos (**acetato 2**) y beneficios (**acetato 3**), aunque también es necesario considerar algunas restricciones o riesgos potenciales (**acetato 4**). Basado en estudios de caso, van Orsdol (1987) recomienda cinco criterios útiles para identificar áreas donde las actividades agroforestales en zonas de amortiguamiento pueden ser más efectivas (**acetato 5**):

1. Donde hay poca disponibilidad de recursos naturales renovables fuera del área protegida: cuando existen pocos recursos relacionados al bosque fuera del área protegida, la presión humana para tener acceso a esos recursos puede ser utilizada para desarrollar los recursos fuera de la reserva, con apoyo de tecnologías agroforestales adaptadas.
2. En áreas forestales recientemente intervenidas: cuando la apertura de carreteras y otros proyectos de desarrollo alteran partes de bosques previamente intactas, las prácticas agroforestales pueden ser usadas para limitar el nivel de deforestación y mitigar otros efectos adversos de los proyectos de desarrollo.
3. Cuando existe una alta diversidad biológica dentro de las áreas protegidas: algunas áreas forestales protegidas contienen altos niveles de diversidad biológica y endemismo y son, por lo tanto, especialmente convenientes para protección adicional mediante esquemas de zonas agroforestales de amortiguamiento.
4. Cuando hay fragmentos de bosque fuera del área protegida o cuando áreas circundantes a las zonas protegidas están severamente degradadas, la agroforestería puede ser utilizada para ayudar a regenerar el hábitat fuera del área protegida y expandir tramos de bosque fragmentado.

5. Cuando existe potencial turístico: el potencial para la comunidad proveniente del turismo al área protegida puede ser un incentivo importante para la población local y para ayudar a preservar las áreas protegidas e incrementar el interés en desarrollar fuentes alternativas a la extracción de madera y uso de productos no maderables.

Los aspectos socioeconómicos y de organización también deben ser ampliamente considerados en el desarrollo de sistemas agroforestales en zonas de amortiguamiento. En la mayoría de los casos se trata de campesinos pobres, que rodean áreas protegidas. Debido a la complejidad de su economía rural de sustento, la introducción de cualquier cambio debe hacerse con mucho cuidado. Si realmente se quiere llegar a tener sistemas estables, que beneficien tanto a las áreas protegidas como la calidad de vida de los pobladores, se debe incluir el fomento de la capacidad de acción a nivel local (acetato 6).

EJEMPLOS DE IMPLEMENTACIÓN DE PRÁCTICAS AGROFORESTALES EN ZONAS DE AMORTIGUAMIENTO

El concepto de agroforestería en zonas de amortiguamiento está siendo aplicado en diferentes proyectos alrededor del mundo. Por ejemplo, el proyecto para el manejo de la Reserva de la Biosfera Maya propone una estrategia agroforestal para la zona de amortiguamiento de esta reserva (acetato 7), en busca de obtener una reducción de la presión humana sobre la misma. En México, se estableció un proyecto agroforestal con diferentes prácticas (acetato 8), en la zona de amortiguamiento de la Reserva de la Biosfera Sierra de Manantlán, en los estados de Colima y Jalisco. El propósito es

proveer opciones a los habitantes para reemplazar la pérdida en los ingresos, debido a las limitaciones en uso de la tierra y a la expansión agrícola que impone la legislación sobre la Reserva (World Wildlife Fund, 1987).

Otros casos específicos donde se utiliza la agroforestería para fines de manejar zonas de amortiguamiento de áreas protegidas se mencionan a continuación y se resumen en el acetato 9.

En Costa Rica, el proyecto de conservación y desarrollo de la Reserva de la Biosfera La Amistad promueve, entre otras actividades, la implementación de sistemas agroforestales en la zona de amortiguamiento de la reserva, como vía para aumentar el ingreso de los pobladores y reducir la presión sobre la misma. Entre los sistemas que se promueven están café (*Coffea arabica*) con poró (*Erythrina poeppigiana*), café-eucalipto (*Eucalyptus saligna*) y café-leucaena (*Leucaena leucocephala*). Por ejemplo, un estudio realizado por Mehta y Leuschner (1997) en esta área, mostró que la tasa interna de retorno de la combinación árboles-café fue superior a 30%, y fue mayor que para café en monocultivo y una plantación pura de ciprés (*Cupressus lusitanica*).

La estrategia para el uso sostenible de los recursos naturales en la zona de amortiguamiento de la Reserva Nacional de Bosawas en Nicaragua incluye el fomento de la agricultura sostenible y la agroforestería como vías de intensificar, diversificar y promover el uso sostenible de la tierra. Entre los sistemas prioritarios están los cultivos perennes asociados como cacao y pejíballe, árboles frutales y árboles de uso múltiple en combinación con pasturas (Altamirano *et al.*, 1996).

En Panamá, la administración del Parque Nacional Cerro Hoya conjuntamente con la cooperación técnica de Alemania está ejecutando un proyecto de fortalecimiento del área protegida y manejo de la zona de amortiguamiento. Inicialmente el proyecto fue planificado como de carácter netamente agroforestal. En el transcurso de su ejecución, sin embargo, se vio la necesidad (principalmente por razones económicas, y por lo tanto, falta de aceptación de la población local) de ampliar el servicio de extensión con componentes agrícolas (arroz, maíz intercalado con frijoles, introducción de abonos verdes) y forestales (parcelas de reforestación). En un segundo plano se sigue trabajando con sistemas agroforestales, como lo son el enriquecimiento de las fincas con árboles maderables, frutales y palmas (en pasturas, orillas de los ríos, quebradas y huertos caseros); y establecimiento de linderos de fincas y parcelas con teca y cedro espino (Krebs, 1999).

En las zonas que bordean el Parque Nacional Gunung Palung en Indonesia, se promueve entre los pobladores los jardines forestales, un sistema agroforestal multiespecies (Salafsky, 1993).

La promoción de sistemas agroforestales complejos con muchas especies, incluyendo árboles frutales y especies maderables nativas, como un una opción para el desarrollo de zonas de amortiguamiento del Parque Nacional Kerinci Seblat en Indonesia, forma parte de las políticas gubernamentales sobre aspectos agrícolas y de uso de tierra (Aumeeruddy y Sansonnens, 1994).

En Perú, en la zona de amortiguamiento de la Reserva de la Biosfera del Manu, la Fundación Peruana para la Conservación

de la Naturaleza y el Fondo Mundial para la Naturaleza han desarrollado un proyecto de conservación y desarrollo basado en la promoción e implementación de sistemas agroforestales como los huertos mixtos, barbechos mejorados, sistemas Taungya, cercas vivas, bancos de proteína, árboles en pastizales y sistemas con cultivos perennes (Meléndez, 1995).

La recuperación de la vegetación en la zona de amortiguamiento del Bosque Sinhajara, Sitio del Patrimonio Mundial, en Sri Lanka, se realiza a través de programas agroforestales y de reforestación (Bandaratilake, 1993). Destaca la plantación de *Pinus caribaea* y bajo su dosel junquillo de las indias (*Calamus* spp.), especie que es utilizada para construir canastos y esterillas tejidas. También es importante la producción de azúcar de palma y de cardamono silvestre.

CONCLUSIONES

- Los sistemas agroforestales pueden funcionar como una herramienta valiosa para el intercambio y manejo de la biodiversidad, especialmente en las zonas de amortiguamiento y en corredores biológicos (Parrish *et al.* 1999).
- La incorporación del componente agroforestal en zonas de amortiguamiento representa una opción productiva deseable para muchos agricultores y compatible con los intereses de conservación (producir conservando y conservar produciendo).
- La contribución de los sistemas agroforestales en las zonas de amortiguamiento y áreas protegidas depende altamente de la existencia y el tamaño de remanentes de bosques naturales en el área. Por lo tanto, es necesario integrar los sistemas agroforestales como ele-

mentos importantes a una planificación territorial a mayor escala, en donde puedan co-existir áreas prístinas, tierras agrícolas y asentamientos humanos, respetándose mutuamente las necesidades de la fauna, flora y del ser humano, y ofreciéndoles sus "rutas de comunicación" y vías migratorias.

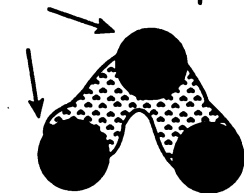
- El procedimiento en el desarrollo sistemas agroforestales en las zonas de amortiguamiento debe responder a la situación específica de cada área, y tomar en cuenta tanto las características individuales del campesino, como las necesidades de protección de los elementos del ecosistema (acetato 10).



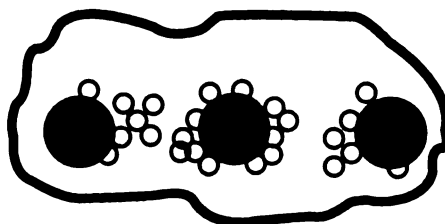
Modelos de implementación de sistemas agroforestales en zonas de amortiguamiento

(van Orsdol, 1987).

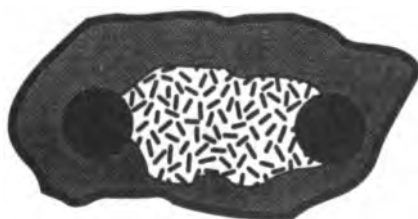
Porciones de un bosque



La plantación mixta provee movimiento entre las áreas protegidas.



Taungya y parcelas de especies mixtas proveen recursos alimenticios y hábitat para las especies forestales fuera de las áreas protegidas.



Barbecho en áreas de baja presión de población con baja utilización en corredores alrededor de los fragmentos del bosque con un uso más fuerte en la zona de transición de los alrededores.



Taungya cerca de los bosques y arbustos permite la regeneración natural y expansión del hábitat del bosque.



Objetivos de los sistemas agroforestales en zonas de amortiguamiento

- Aumentar la productividad de áreas específicas, reduciendo la necesidad de áreas muy extensas para el mantenimiento de la población.
- Permitir un gradiente suave entre el área de conservación y la zona no sujeta a regulaciones especiales.
- Contribuir a la formación de corredores biológicos entre las zonas de amortiguamiento y las áreas núcleo de las tierras protegidas.
- Expandir áreas protegidas cuando están dispersas para que las especies animales puedan encontrar espacio para su alimentación y reproducción.
- Promover prácticas que disminuyen el impacto ambiental negativo.
- Contribuir al mejoramiento del nivel de vida de las poblaciones locales que habitan en las zonas de amortiguamiento.



Beneficios de los sistemas agroforestales en zonas de amortiguamiento

- Contribuyen a la protección y permanencia de las áreas protegidas mediante la estabilización de frontera agrícola y la reducción de la presión sobre sus recursos naturales.
- Permiten el manejo y producción de algunos cultivos que debido a que son establecidos en el sotobosque, requieren la asociación con árboles para su desarrollo.
- Permiten la conexión de áreas silvestres y parches boscosos, permitiendo migración de animales y dispersión de semillas.
- Pueden ofrecer el servicio de secuestro de carbono, sin tener que prescindir de la producción agrícola.
- Promueven mayor diversidad biológica que los sistemas netamente agrícolas y contribuyen a la conservación del suelo y del agua.
- Permiten un rango de actividades productivas más amplio, que las permitidas en las zonas protegidas.
- Ayudan a garantizar el funcionamiento de la zona de amortiguamiento como zona protectora del área núcleo de la reserva.
- Facilitan la restauración y rehabilitación ecológica de zonas degradadas.



Restricciones al desarrollo de sistemas agroforestales en zonas de amortiguamiento

- Cuando la agroforestería es establecida en bosques vírgenes contribuye a la pérdida de hábitats y por lo tanto, de especies.
- Los sistemas agroforestales no son ecológicamente equivalentes a los bosques naturales, ya que solo conservan parte de la diversidad biológica (por ej. animales que requieren grandes extensiones de bosque naturales no se adaptan).
- La composición de la fauna silvestre presente en las plantaciones es alterada y selectiva, dependiendo de la variedad de plantas cultivadas y su valor nutritivo para los animales silvestres.
- Algunos cultivos pueden atraer a los animales silvestres, desde el bosque no intervenido a zonas abiertas, donde pueden ser presa fácil de los cazadores.
- La introducción de especies maderables exóticas como componente forestal puede afectar los ecosistemas existentes.

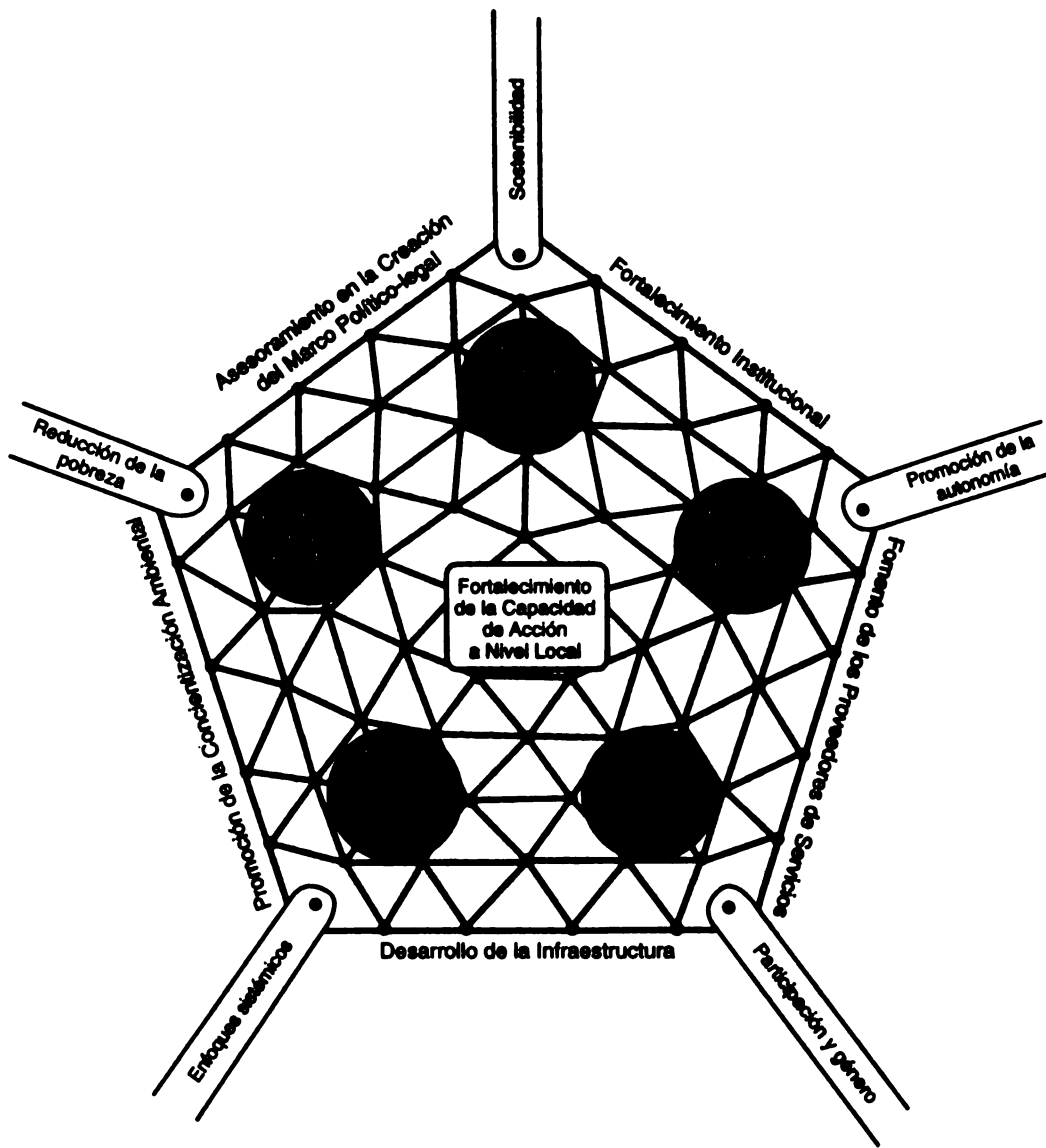


Criterios útiles para identificar la ubicación efectiva de sistemas agroforestales en zonas de amortiguamiento

- Fuera del área protegida donde hay poca disponibilidad de recursos naturales para la subsistencia.
- En áreas forestales recientemente intervenidas.
- Cuando los niveles de diversidad biológica y endemismo dentro de las áreas protegidas son altos y en consecuencia tienen un valor especial.
- Cuando existen fragmentos de bosque fuera del área protegida.
- Cuando áreas circundantes a las zonas protegidas están severamente degradadas.
- Cuando el área protegida tiene potencial turístico.



Factores socioeconómicos a considerar para el éxito de sistemas agroforestales en zonas de amortiguamiento





Prácticas incluidas en la estrategia agroforestal para el manejo de la zona de amortiguamiento de la Reserva de la Biosfera Maya (Guatemala)

- Barbechos mejorados con leguminosas nativas de rápido crecimiento, para recuperar la fertilidad del suelo y establecer en el futuro cultivo en callejones o "roza sin quema".
- Cultivo en callejones con leguminosas arbóreas fijadoras de nitrógeno, de rápido crecimiento, en áreas de regeneración natural de las mismas.
- Establecimiento de áreas integradas de cultivos arbóreos permanentes o huertos mixtos cerca de las viviendas.
- Integración del componente forestal a las áreas ganaderas (sistemas silvopastoriles).
- Estímulo para la utilización del árbol ramón (*Brosimum alicastrum*) como especie de uso múltiple y componente de diversos sistemas agroforestales.
- Promoción de pequeñas plantaciones de cultivos bajo la sombra del bosque socoleado.
- Áreas demostrativas de sistemas agroforestales.



Prácticas agroforestales incluidas en el proyecto para el manejo de la zona de la Biosfera Sierra de Manantlán (México)

- Promoción de árboles de uso múltiple en y alrededor de las parcelas agrícolas.
- Desarrollo de variedades mejoradas de árboles frutales.
- Uso de árboles fijadores de nitrógeno en asociación con cultivos, en zonas de pendientes fuertes, para control de la erosión y mejoramiento de la fertilidad del suelo.
- Cultivo en callejones con parcelas de maíz y desarrollo de nuevas fuentes de leña y productos maderables.



Otros ejemplos del uso de la Agroforestería en zonas de amortiguamiento de áreas protegidas

País	Área protegida	SAF utilizados
Costa Rica	Reserva de la Biosfera La Amistad	Café- <i>Erythrina poeppigiana</i> , Café- <i>Eucalyptus saligna</i> , Café- <i>Leucaena leucocephala</i> .
Nicaragua	Reserva Nacional Bosawas	Cacao asociado a <i>Bactris gasipaes</i> , árboles frutales y árboles de uso múltiple en combinación con pasturas.
Panamá	Parque Nacional Cerro Hoya	Árboles maderables, frutales y palmas en pasturas y huertos caseros. Linderos maderables en fincas.
Indonesia	Parque Nacional Gunung Palung	Sistemas agroforestales multiestratos.
Indonesia	Parque Nacional Kerinci Seblat	Sistemas agroforestales multiestratos, incluyendo especies frutales y maderables nativas.
Perú	Reserva de la Biosfera Manu	Huertos mixtos, barbechos mejorados, sistemas Taungya, cercas vivas, árboles en pastizales, y asociación de árboles con cultivos perennes
Sri Lanka	Patrimonio Mundial Bosque Sinhajara	<i>Pinus caribaea</i> y bajo su dosel junquillo de las indias (<i>Calamus</i> spp.) y cardamono silvestre.



Recomendaciones para el manejo agroforestal en zonas de amortiguamiento

- No iniciar plantaciones agroforestales en áreas de bosque natural intacto, sino en bosque degradados, campos agrícolas o en plantaciones abandonadas.
- Fomentar la máxima diversidad estructural y de especies vegetales posible.
- Evitar la introducción de especies invasoras.
- Mantener corredores de vegetación natural de 15 a 25 m de ancho, a lo largo de ríos y quebradas, en el centro de los sistemas agroforestales, y en su borde.
- Favorecer especies arbóreas que tienen valor nutritivo para la fauna silvestre (por ej. néctar, semillas, polen, frutos).
- Preferir las especies arbóreas perennifolias.
- La poda de los árboles, si es necesaria, realizarla en lo posible durante la época lluviosa y no eliminar ramas ni troncos muertos.
- Mantener las poblaciones de parásitos, muérdagos y epífitas porque ofrecen refugio y sitios de anidación y alimento para la fauna.
- Minimizar el uso de pesticidas e incentivar el uso de abonos orgánicos y el control biológico de plagas y enfermedades.
- Evitar o minimizar formas de aprovechamiento forestal que impliquen cambios drásticos del sistema natural.

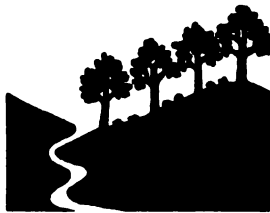
LITERATURA CITADA

- Altamirano, H.; Flores, J.; Espinoza, E.; Haselgruber, F. 1996. Estrategia para el uso sustentable de los recursos naturales en la zona de amortiguamiento de la Reserva Nacional Bosawas. Informe final. Managua, Nicaragua, Proyecto MAREN/GTZ. 73 p.
- Arce, R.; García, A. 1996. Agroforestería social en el manejo de áreas naturales protegidas. Bosques y Desarrollo p. 34-37.
- Aumeeruddy, Y.; Sansonnens, B. 1994. Shifting from simple to complex agroforestry systems: an example for buffer zone management from Kerinci (Sumatra, Indonesia). *Agroforestry Systems* 28: 113-141.
- Bandaratilake, H. M. 1993. Manejo de la zona de amortiguamiento del Bosque Sinhajara, Sitio del Patrimonio Mundial. *Parques* 3 (3): 16-19.
- Barborak, J. 1999. Zonas de amortiguamiento y proyectos integrados de conservación y desarrollo: lecciones de campo. Apuntes inéditos, conferencia presentada en Panamá, Junio, 1999.
- Beer, J. 1999: Theobroma cacao: un cultivo "agroforestal". *Agroforestería en las Américas* 6 (22): 4.
- Cifuentes, M. 1992. Establecimiento y manejo de zonas de amortiguamiento. *Revista Agroforestal Centroamericana* 1 (1): 17-22
- Gallopín, G.C. 1995. El futuro ecológico de un continente. Una visión prospectiva de la América Latina. Ed. Universidad de las Naciones Unidas. México.
- GTZ -Pilotvorhaben Umwelt und Ressourcenschutz. 1992. Arbeitsauftrag Pufferzonenentwicklung. Diskussionspapier und Materialiensammlung. PRO, Gesellschaft für Projektmanagement und Trägerberatung mbH. Essen.
- Hall, J. B.; Allan R. 1992. Buffers at the boundary. *Rural Development Network Paper* 13a. ODI. London.
- Imbach A.; Godoy, J. C. 1992. Progress in the management of buffer zones in the american tropics: proposals to increase the influence of protected areas. *Parks* 3: 19-22.
- Kozłowski, J.; Peterson, A. 1996. Protecting the protected: buffer zone planning in Poland and Australia. *Parks* 6 (3): 35-49.
- Krebs, K. 1999. Informe bianual de actividades. Proyecto Parque Nacional Cerro Hoya. (Informe interno). Las Tablas
- Listra, F. 1999. El Fomento de los Hogares Rurales en las Zonas Periféricas de los Bosques Tropicales Protegidos. GTZ - Proyecto "Livelihood Systems and Tropical Forest Areas". Eschborn, Alemania.
- Luz de la Maza, C. 1994. Aspectos conceptuales y metodológicos de las zonas de amortiguamiento y los corredores biológicos de las áreas protegidas. *Flora, Fauna y Áreas Silvestres* 8 (20): 8-14.
- Mehta, N. G.; Leuschner, W. A. 1997. Financial economic analyses of agroforestry systems and a commercial timber plantation in the La Amistad Biosphere Reserve, Costa Rica. *Agroforestry Systems* 37: 175-185.
- Meléndez, L. 1995. Plan agroforestal para las regiones de Kcosñipata y Boca Manu. Informe de Consultoría. FPCN y WWF. 74 p.
- Palma, E. 1993. Diagnóstico y estrategia agroforestal para la zona de amortiguamiento de la Reserva de la Biosfera Maya. Petén, Guatemala. CA-RE/AID. 56 p.
- Parrish, J.; Reitsma, R.; Greenberg, R.; McLarney, W.; Mack, R.; Lynch, J. 1999. Los cacaotales como herramienta para la conservación de la biodiversidad en corredores biológicos y zonas de amortiguamiento. *Agroforestería en las Américas*, Vol.6, No. 22: 16.19.
- Salafsky, N. 1993. Mammalian use of a buffer zone agroforestry systems bordering Gunung Palung National Park, West Kalimantan, Indonesia. *Conservation Biology* 7:928-933.
- Sayer, J. 1991. Rainforest buffer zones - guidelines for protected area managers. IUCN, Forest Conservation Programme. Berkshire.
- UICN-BID. 1993. Cómo satisfacen las áreas protegidas las necesidades de la sociedad. Los aspectos sociales, económicos y políticos. In: Barzetti, V. (ed.) *Parques y Progreso - Areas protegidas y desarrollo económico en América Latina y el Caribe*. p.1-36.
- Van Orsdol, K. G. 1987. Buffer zone agroforestry in tropical forest regions. Washington, U. S. Agency for International Development. 67 p.

von Maydell, H.J. 1993. Kann Agroforstwirtschaft dem Walde dienen? Entwicklung und Ländlicher Raum 5: 16-18.

Wells, M.; Brandon, K. 1993. The principles and practice of buffer zones and local participation in biodiversity conservation. *Ambio* 22 (2-3): 157-162.

World Wildlife Fund. 1987. Program report on the matching grant for a program in wildlands and human needs. Washington, D. C. World Wildlife Fund.



Tema 7

Agroforestería y Desertificación

Francisco Jiménez

CONCEPTO E IMPORTANCIA

Las tierras áridas y semiáridas, junto con sus márgenes subhúmedos constituyen las llamadas zonas o regiones secas y cubren alrededor de 45 millones de km² (FAO, 1989). Es en esta área donde ocurre la desertificación que compromete la vida de cerca de 900 millones de habitantes. El Programa Ambiental de las Naciones Unidas (UNEP) ha estimado que cerca de 35 millones de km² en el mundo están afectadas por la desertificación y cerca de 35% de la superficie terrestre mundial está en riesgo. El proceso sigue avanzando de manera que cada año, cerca de 21 millones de ha son reducidas a un estado de casi o total deterioro (Tolba, 1984).

La desertificación es la degradación de la tierra en zonas áridas, semiáridas y subhúmedas, resultante de sequías en periodos cortos, fluctuaciones climáticas a largo plazo, pero principalmente la interacción entre actividades humanas y ecosistemas frágiles (acetato 1). El término degradación de la tierra incluye no solamente la degradación del suelo, sino también cualquier otro elemento físico, biológico o químico del terreno, como por ejemplo la cobertura vegetal, la biota animal, los recursos hídricos, etc. (CONASA, 1994; Mainguet, 1991).

La desertificación es el problema ambiental más serio que afecta hoy día la Tierra, especialmente a África. Sin embargo, cada

vez cobra más importancia en otros continentes y subcontinentes como América del Norte, América Latina, India y Australia (acetato 2).

CAUSAS, MECANISMOS Y CONSECUENCIAS DE LA DESERTIFICACIÓN

La desertificación, como se mencionó antes, es un fenómeno complejo que incluye tanto componentes antropogénicos como biofísicos, incluyendo los climáticos. Más del 80% de las causas de la desertificación pueden ser adjudicadas al manejo inadecuado de los recursos por parte del hombre y menos del 20% son atribuibles a factores climáticos (CONAZA-FAO, 1994). Hay factores económicos e institucionales que limitan el uso sostenible y la conservación de los recursos naturales, causan presión sobre los mismos, y contribuyen a desencadenar y acelerar el proceso de desertificación (acetatos 3 y 4).

Los procesos o mecanismos de la desertificación se dividen en primarios y secundarios (acetato 5). Los primarios son aquellos que tienen un impacto fuerte en la producción y en la modificación del ecosistema, como son la degradación de la cobertura vegetal, erosión, salinización y sodificación. Los procesos secundarios son aquellos que están subordinados a los procesos primarios, por ejemplo la degradación física, química y biológica del suelo.

Los efectos o consecuencias de la desertificación se manifiestan en el deterioro del agua, del suelo, la flora y la fauna, en alteraciones del ciclo hidrológico, en la disminución de la diversidad biológica y modificaciones climáticas. Desde el punto de vista social, puede afectar la seguridad alimentaria de las regiones donde ocurre y disminución del nivel de vida de los habitantes. Fuera del sitio, los efectos de la desertificación incluyen contaminación, inundaciones, azolve de obras hidráulicas. Las áreas más secas son las más vulnerables a la desertificación, en especial aquellas donde la población convive estrechamente con los recursos naturales (acetatos 6 y 7).

EL PAPEL DE LA AGROFORESTERÍA EN LA LUCHA CONTRA LA DESERTIFICACIÓN

Las zonas con problemas de desertificación presentan casi siempre problemas comunes en los cuales la agroforestería puede ser de mucha importancia en reducir el avance de la desertificación: escasez de leña, escasez de forraje, escasez de alimentos y pérdida de fertilidad de los suelos. Las razones principales que hacen particularmente apreciable el papel de la agroforestería en la lucha contra la desertificación se mencionan en el acetato 8 (Baumer, 1987). Además, los agricultores han practicado desde hace muchos siglos, la asociación de árboles con cultivos (Dover y Talbot, 1987), principalmente en ecozonas tropicales de climas impredecibles, como la mejor defensa contra el riesgo de pérdida de cultivos, para estabilizar los rendimientos, hacer más eficiente el uso de los recursos, producir más alimentos en menos espacio (Mainguet, 1991), además de ayudar en la conservación de los suelos (acetato 9).

El componente leñoso es, posiblemente, el más importante en la lucha contra la desertificación, debido a las múltiples funciones que puede cumplir: productiva, organizadora del paisaje, función modificadora del microclima y función modificadora del suelo (acetato 10). Las prácticas agroforestales más utilizados en zonas que sufren de esta problemática, se indican en los acetatos 11 y 12.

Función productiva

En los sistemas agroforestales se trata de utilizar especies leñosas de uso múltiple, o sea, que den el máximo número posible de productos y servicios. Por ejemplo, algunos árboles de uso agroforestal en zonas secas como *Acacia senegal* (árbol de goma), *Tamarindus indica* (tamarindo), *Parkia biglobosa* (árbol de harina) y *Phoenix dactylifera* (palma datilera), permiten aprovechar su tronco y ramas, las hojas, frutos, la corteza o fibra, los granos (excepto en *A. senegal*), los brotes y los extremos de las ramas (excepto en *P. biglobosa*), en usos que van desde leña, carbón, madera para construcción, forraje, medicina, alimentación, industria, etc.

Función organizadora

Las leñosas juegan un papel importante en la organización del paisaje: rompen la monotonía de los paisajes áridos y constituyen puntos de referencia, que son importantes desde el punto de vista práctico y psicológico (sombra, descanso). También tiene un papel importante en la organización del espacio porque contribuyen a fijar derechos de cultura. En algunas regiones, la tradición impone que el que siembra un árbol tiene derecho a utilizar sus productos y la plantación de varios árboles sobre un terreno da derecho a culti-

var ese terreno. Finalmente, cuando las leñosas son plantadas en conjunto, y particularmente en líneas, pueden contribuir al ordenamiento del territorio. Por ejemplo, los bloques que forman las líneas de rompevientos en red pueden constituir límites permanentes que incita a una misma familia de agricultores a explotar siempre el mismo bloque, antes que practicar una agricultura itinerante.

Función climática

Los árboles atenúan los efectos del clima; esto es particularmente sensible en zonas secas. Los árboles influyen sobre el aire y el viento, sobre el grado de humedad del aire y del suelo, sobre la luz, sobre la temperatura y la evapotranspiración. Por ejemplo, existen muchos estudios que muestran incrementos importantes (hasta del 40%) en la producción de cultivos como maní, algodón, trigo, maíz por efecto de las modificaciones microclimáticas de barreras rompevientos. Entre las especies más utilizadas como rompevientos en zonas áridas y semiáridas están: *Balanites aegyptiaca*, *Acacia tortilis*, *Canocapus lancifolius*, *Zizyphus spina*, *A. arabica*, *A. mollissima*, *A. nilotica*, *A. senegal*, *Azadirachta indica*, *Tamarix spp.*, *Casuarina spp.*, *Eucalyptus camaldulensis*, *E. microtheca*, *Parkinsonia aculeata*, *Prosopis spp.*, *Terminalia catapa*, *Dalbergia sissoo*, *Leucaena leucocephala* y *Hyphaene thebaica* (palma).

Función modificadora del suelo

Las leñosas a través de su follaje protegen el suelo del impacto de las gotas de lluvia y reducen así la erosión. También por efecto del desarrollo de sus raíces se facilita la penetración del agua en el suelo. Las raíces extraen nutrientes de capas profundas que luego, al descomponerse la biomasa,

son puestos a disposición de los cultivos en la superficie del suelo. Algunas leñosas, principalmente leguminosas, son fijadoras de nitrógeno atmosférico y pueden mejorar, por consiguiente, la fertilidad del suelo. Por ejemplo, entre los árboles que los habitantes del Sahel dejan tradicionalmente sobre sus campos están: *Faidherbia albida*, *Parkia biglobosa*, *Pterocarpus erinaceus*, *P. lucens*, *Erythrina senegalensis*, y *Tamarindus indica*. En la India ese papel es cumplido por *Prosopis cineraria*. Otras leguminosas leñosas han sido introducidas, principalmente por su capacidad de fijar nitrógeno, como *Leucaena leucocephala* o *Calliandra calothyrsus*.

UTILIZACIÓN DE LA AGROFORESTERÍA EN EL COMBATE DE LA DESERTIFICACIÓN EN ALGUNAS REGIONES DEL MUNDO

Los cultivos, como actividad única de uso de la tierra, es antieconómica y extremadamente riesgosa en la mayoría de regiones áridas. Por lo tanto, los agricultores incrementan la ganadería como una ocupación subsidiaria. Así, los sistemas silvopastoriles, la combinación de árboles con cultivos en la misma parcela y las barreras protectoras y cortinas rompevientos son posiblemente las prácticas agroforestales más utilizadas en esas áreas. Algunos ejemplos de prácticas agroforestales utilizadas en zonas áridas y semiáridas de diferentes regiones del mundo que sufren problemas severos de desertificación fueron recopiladas por la FAO (1989) y se mencionan a continuación.

América Latina (acetato 13)

En comparación con las zonas húmedas,

hay menor desarrollo de la agroforestería en zonas áridas. Entre las principales prácticas están: retención de árboles nativos dispersos sobre tierras agrícolas donde se produce maíz, sorgo, trigo, frijoles y cebada; la plantación de árboles frutales, o la retención de árboles nativos de potencial económico, a lo largo de hondonadas y los cursos de agua. En Brasil es común la plantación o el mantenimiento de especies leñosas de uso múltiple como *Caesalpinia ferrea*, *Prosopis juliflora* y *Zizyphus joazeiro* en tierras cultivadas. Un uso importante de la tierra en áreas semiáridas son las pasturas y existen varias especies nativas (por ejemplo *Prosopis* spp.) que proveen suplemento nutritivo a la alimentación animal durante la estación seca. Se promueve el uso de especies de *Acacia*, *Cactus* y *Prosopis* en tierras de pasturas con el propósito de proveer forraje y sombra; los rompevientos son de considerable importancia a lo largo de las planicies ventosas en parte meridional de América del Sur. En la Patagonia árboles y arbustos de especies como *Salix caprea* y *Sorbus aucuparia* son comúnmente utilizadas para este fin. En Argentina eucaliptos con acacias o álamos con sauces son sembrados como especies rompevientos, mientras que en la costa Atlántica de Uruguay son barreras combinadas de eucaliptos, pinos y acacias las que proveen protección.

En regiones áridas y semiáridas de América Tropical y Subtropical, existen varias manifestaciones de sistemas silvopastoriles basados en el uso de vegetación natural constituida por leñosas perennes dispersas y un estrato bajo de vegetación herbácea con dominancia de gramíneas. Ejemplos de éstas son la "Caatinga" en el Noreste de Brasil (Kirmse et al., 1983, 1987), los bosques del Chaco en América del Sur (Terán e Ibrahim, 1997) y el "matorral" del Noreste

de México (Rzedowski, 1978; Stienen, 1990) (acetatos 14, 15 y 16).

El Sahel (acetato 17)

En esta región, la agroforestería está ampliamente difundida. Árboles de especies nativas como *Faidherbia albida* son dejados a espaciamientos amplios (cerca de 10 x 10 m) en las tierras de cultivo y utilizados para leña, forraje, para mejorar la fertilidad del suelo, etc. Esto resulta en un sistema intensivo de manejo de árboles individuales combinado con la producción agrícola y el pastoreo. El sistema está ampliamente difundido en zonas donde se siembra millo y sorgo, pero es menos utilizado en áreas donde prevalecen cultivos que generan ingresos como el maní. En algunas zonas la utilización de leñosas como *Acacia tortilis* y *F. Albida* en campos de cultivo, está destinada principalmente a la producción de combustible (leña y carbón). La vegetación natural es ampliamente pastoreada en el Sahel y el ramoneo de leñosas provee un importante suplemento a la dieta de la ganadería al final de la estación seca (al menos 45%). La protección contra los vientos secos y las arenas arrastradas por éste, es de gran importancia en los países sahelianos. Rompevientos con árboles como *Azadirachta indica*, *Anacardium occidentale* y *Acacia* spp. o cercas vivas de *Euphorbia balsamifera*, *Commiphora africana*, *Leptadenia pyrotechnica*, *Tamarix articulata*, *Casuarina equisetifolia* y *Bauhinia reticulata* proveen el tipo de cobertura requerida, resistente al viento y a la sequía. En Senegal, se siembra millo bajo el dosel de *F. albida*.

Norte de África (acetato 18)

Es común la plantación de frutales como olivo, almendro, higo, albaricoque, pista-

cho y acacias, frecuentemente *Acacia cyanophylla*, a lo largo de obras de conservación de suelos y aguas en tierras agrícolas. En Marruecos algunas veces son establecidas plantaciones permanentes de olivos de 80 a 85 árboles por hectárea en tierras de ladera cultivadas de trigo. Cerca de 75 millones de ha de tierras áridas y semiáridas son pastoreadas en el norte de África; las especies leñosas proveen una parte esencial del forraje consumido por animales. La ganadería es manejada bajo pastoreo, o sistemas nómadas, seminómadas o más o menos sedentarios. Las especies utilizadas para ramoneo, tales como *A. cyanophylla*, son plantadas ampliamente. También se ha incrementado el manejo silvopastoril de vegetación natural para proveer forraje y leña. Las fajas arbóreas protectoras y los rompevientos tienen gran importancia en esta región, debido a la necesidad de fijar dunas y proteger las tierras agrícolas. Las especificaciones de los rompevientos están bien definidas en muchas zonas. Cerca de 300 000 ha están ya bajo esta protección. Entre las principales especies utilizadas están *Eucalyptus* spp., *Acacia* spp. y *Cupressus* spp.

Cercano Oriente (acetato 19)

Como en el norte de África, los árboles son frecuentemente establecidos en asociación con obras de conservación de suelos y aguas en tierras de cultivo. Existen diferentes prácticas agroforestales, generalmente relacionadas con rompevientos de especies productivas, alrededor de los campos de cultivos, tales como álamos o mezclas de árboles frutales y arbustos con *Juglans*. Existen sistemas silvopastoriles tradicionales con una combinación de árboles podados (*Pistacia* spp.) y pastoreo. Las pasturas mejoradas incorporan el establecimiento de leñosas para ramoneo. Las zonas áridas

y semiáridas son el mayor recurso de tierra de pastoreo, generalmente manejadas bajo sistemas de pastoreo nómada o seminómada. Las fajas protectoras también son de gran importancia en esta región. La agricultura bajo riego en Egipto no es concebible sin la protección de la red de rompevientos de *Casuarina* y *Eucalyptus*, que además proveen de madera. Los rompevientos de álamo y otras especies también son considerados esenciales en las tierras de agricultura bajo riego alrededor de Damasco en Siria, que no solo proveen protección, sino también productos maderables.

Asia y el Pacífico (acetato 20)

China y la India hacen uso extensivo de árboles en tierras agrícolas para protección y producción. En la India y Pakistán los sistemas tradicionales involucran la presencia permanente en tierras de cultivo, de árboles de *Prosopis cineraria* y *Ziziphus mauritiana* (40 a 80 árboles por hectárea) manejados mediante podas y con propósitos múltiples de producción: leña, forraje, frutos. Otras especies utilizadas son *Cajanus cajan*, *Derris indica* y *Tamarindus indica*. En Pakistán, la plantación de árboles está estrechamente asociada con la agricultura bajo riego, ya sea intensiva o extensiva. Algunos sistemas incluyen la plantación de hileras ampliamente espaciadas de *Eucalyptus* spp., *Acacia nilotica* o álamos en tierras agrícolas irrigadas para producción de madera combinada con cultivos.

En la India y Pakistán, aunque existen tierras muy sobrepastoreadas, existen sistemas tradicionales con árboles y arbustos podados. En Pakistán se ha promovido el establecimiento de pastos mejorados con especies leñosas (nativas y exóticas) para ramoneo. En Australia, aunque no existen

sistemas silvopastoriles muy bien definidos, es frecuente la plantación de árboles: individuales, en grupos o en líneas para proveer sombra y protección del viento y producción de forraje. En Rusia se ha desarrollado el establecimiento de hileras con una mezcla de leñosas (*Artemisia* spp.) y herbáceas (*Salsola* spp.) y pastoreo cuidadosamente controlado. En China, el uso de rompevientos para protección de cultivos agrícolas está muy desarrollado; pinos, álamos, *Ulmus pumila*, *Elagnus angustifolia*, así como arbustos son utilizados para este propósito. En la India los rompevientos están establecidos en áreas bajo riego y en plantaciones al lado de las carreteras. En áreas de agricultura de secano, *Tamarix* y *Calligonum* sp. son las especies más utilizadas y bajo riego son *Dalbergia sissoo*, *Acacia nilotica*, *Melia azedarach*, *Salmalia malabarica* y *A. indica*.

ALGUNOS EJEMPLOS DE SISTEMAS AGROFORESTALES UTILIZADOS EN LA LUCHA CONTRA LA DESERTIFICACIÓN EN EL SAHEL

Maydell (1979) presenta tres estudios de caso, de cómo la agroforestería puede contribuir a un mejor uso de la tierra y así ayudar a evitar mayor desertificación en el Sahel:

Sistema agrosilvopastoril utilizando *Faidherbia albida* (acetato 21)

Faidherbia albida es un árbol que puede alcanzar hasta 20 m de altura, con amplia distribución en las partes semiáridas de África, cuyas raíces pueden descender 30 o 40 m hasta alcanzar la tabla de agua subterránea. Como las raíces penetran en capas muy profundas del suelo, no hay competencia por nutrientes con otras plan-

tas anuales, por ejemplo cultivos. Este árbol, contrario a la mayoría de especies de sabanas tropicales, pierde las hojas durante la estación de lluvias (evita competencia con cultivos) y mantiene follaje desde el inicio de la estación seca. La hojarasca se descompone al final de la estación seca y las excretas de los animales que pastorean alrededor de los árboles enriquecen el suelo, favoreciendo el rendimiento de los cereales.

Por ejemplo, estudios en Senegal (Baumer, 1987) han mostrado una producción de sorgo de 600 kg ha⁻¹ lejos de los árboles de faiderbia, 1000 kg a 5 m de distancia y 1700 kg a 3 m de distancia. *F. albida* es un importante y eficiente mejorador del suelo y bajo las condiciones prevalecientes, mayor y mejor que los fertilizantes químicos. Baumer (1987) comparó a un suelo cultivado sin *F. albida*, versus el uso de la especie; el suelo cultivado bajo faiderbia presentó un aumento promedio de 7% de arcilla, 43% de humedad equivalente, 60% de carbono total, 70% de magnesio intercambiable, 100% de nitrógeno total, 100% de calcio intercambiable, 134% de fósforo asimilable, 40% de capacidad de almacenamiento de agua, 160% de materia orgánica y 100% de capacidad de intercambio de bases.

También este árbol es uno de los principales recursos forrajeros, ya que su follaje está disponible a través de la estación seca. El árbol es ávidamente ramoneado y frecuentemente podado y sus ramas alimentan camellos, ganado, ovejas y cabras. Aún más importantes son las vainas producidas durante la estación seca. Estas vainas están entre los más valiosos recursos forrajeros en el Sahel. Un árbol adulto puede producir hasta 140 kg por año y 20 árboles por hectárea en campos de millo pue-

den rendir 2.5 t de vainas por año, con un equivalente nutricional de 1.9 t de cebada. Esto es más de lo que normalmente se cosecha de cultivos agrícolas en los mismos sitios.

Finalmente, la madera es utilizada localmente para diferentes propósitos, mientras que la corteza, hojas y goma son colectadas para fines medicinales, taninos, etc. Así, *F. albida* parece ser un árbol ideal para uso agroforestal en áreas semiáridas, especialmente debido a que es un árbol bien reconocido y tradicionalmente visto como muy valioso por las comunidades rurales.

Combinación de *Acacia senegal* con pastoreo semi-nómada

En la parte norte de Senegal, con menos de 300 mm de lluvia por año, suelos arenosos y pastoreo excesivo, se han construido pozos profundos que suministran agua fósil de profundidades de 300 a 450 m para la ganadería y grupos de hombres. Lamentablemente, la gran concentración de ganado, ovejas y cabras han llevado a una casi completa destrucción de la cobertura vegetal y degradación de los suelos en la vecindad de los pozos, extendiendo la desertificación a tasas alarmantes. Con el objetivo de mejorar el uso de la tierra y aumentar la producción en las áreas alrededor de los pozos, se ha impulsado el mo-

delo de pastoreo semi-nómada (acetato 22).

Según este modelo, en el círculo interno (diámetro de unos pocos cientos de metros) está: el pozo, la oficina forestal, el vivero, pequeños jardines irrigados para cultivar vegetales, árboles de sombra en lugares de mercado y reunión y el pueblo. El anillo interno (1 a 2 km de diámetro) corresponde a: (A) parcelas de reforestación cercadas (50 a 100 ha); (N) parcelas de regeneración cercadas; (F) campos de pobladores en los mejores suelos, campos de cultivo combinados con árboles de protección, forraje y leña. El anillo externo incluye áreas de regeneración natural cercadas y protegidas contra el fuego (N) y vegetación mejorada (V) a través de preparación intensiva del suelo, sin mayor protección. Todas las áreas libres están abiertas al pastoreo tradicional y la transmigración.

Agroforestería combinando *Acacia senegal* con agricultura de secano

En la República del Sudán, así como en Chad se practica un sistema de agricultura rotacional a pequeña escala, en la cual, una familia rural promedio de cinco miembros puede hacer su vida en 4 a 6 ha de tierra. El sistema utiliza el intercultivo de *A. senegal* con millo, sorgo y pastos según se muestra en el acetato 23).



La desertificación y su importancia

Definición

La desertificación es la degradación de la tierra en zonas áridas, semiáridas y subhúmedas, resultante de sequías en periodos cortos, fluctuaciones climáticas a largo plazo, pero principalmente de la degradación de la tierra por la interacción de actividades humanas y ecosistemas frágiles.

Área mundial afectada por la desertificación

35 millones de km²

Superficie terrestre en riesgo de desertificación

35%

Tasa aproximada de desertificación

21 millones de ha por año



Distribución mundial de las tierras secas (UNESCO, 1977).



1. Hiperáridas; 2. Áridas; 3. Semiáridas; 4. Subhúmedas



Causas de la desertificación

- Condiciones climáticas adversas.
- Sobreexplotación de los recursos hídricos y terrestres por el hombre.
- Expansión e intensificación de la agricultura y la ganadería en tierras sin aptitud para esos usos.
- Sobrepastoreo (erosión, compactación, degradación vegetal y de la cobertura del suelo, etc).
- Prácticas de riego inapropiadas.
- El cultivo en suelos frágiles y pendiente fuerte.
- Falta de prácticas de conservación de suelos.
- Las quemas sin control.
- Tecnologías de producción agrícola intensiva inapropiadas (monocultivo, mecanización excesiva, periodos de barbecho cortos, etc.).
- La deforestación y el manejo inadecuado de la vegetación leñosa.

...continúa



Causas de la desertificación

- Crecimiento acelerado de la población (muy común en países en vías de desarrollo que sufren desertificación).
- La demanda creciente de alimentos y materiales combustibles como leña y carbón.
- Tenencia de la tierra (mala distribución).
- Falta de acceso a insumos y crédito para la práctica de una agricultura conservacionista.
- Pocas iniciativas de desarrollo rural.
- Conflictos entre autoridades e instituciones.
- Cambios en sistemas políticos.
- Mercados restringidos.
- Falta de garantías sociales.
- El subdesarrollo y la pobreza.
- Las implicaciones del comercio internacional.
- El proteccionismo y ajustes estructurales inadecuados de los sistemas económicos mundiales.



Procesos o mecanismos de la desertificación

Primarios

- Degradación de la cobertura vegetal (remoción o destrucción de la flora, principalmente por acción del hombre).
- Erosión hídrica (desprendimiento y remoción del suelo por acción del agua).
- Erosión eólica (desprendimiento y arrastre de partículas del suelo por acción del viento).
- Salinización y sodificación (aumento de sales solubles y sustancias tóxicas que afectan la producción).

Secundarios

- La degradación física (compactación, encostramiento, afloramiento de horizontes inferiores, reducción de la permeabilidad, destrucción de la estructura del suelo).
- La degradación biológica (reducción y pérdida de materia orgánica y la actividad y población biológica del suelo).
- La degradación química (pérdida de nutrientes, salinización, alcalinización, acumulación en el suelo de sustancias químicas tóxicas para los seres vivos).



Consecuencias de la desertificación

- Deterioro físico, químico y biológico del suelo.
- Declinamiento persistente de los rendimientos de los cultivos y pérdidas recurrentes de cosechas.
- Daño a los cultivos por arenas que afectan las plantas jóvenes o dejan al descubierto su sistema radicular.
- Pérdida de la capa superficial del suelo por erosión eólica.
- Incremento de la escorrentía hídrica y la erosión del suelo asociado con formación de surcos y cárcavas.
- Contaminación atmosférica (polvo, arena).
- Modificación de albedo y del balance de radiación con efectos sobre el clima local e incluso global.
- Disminución del agua superficial disponible y del nivel freático debido a la reducción en la infiltración y degradación de las cuencas.

...continúa



Consecuencias de la desertificación

- Falta de suficiente biomasa para forraje y ramoneo o conversión a especies de plantas menos palatables.
- Déficits localizados de productos del bosque y alimenticios, para generación de ingresos y abastecer las necesidades artesanales y domésticas.
- Pérdida de diversidad biológica, por ej. especies silvestres de gran importancia para los habitantes en tierras áridas y semiáridas, principalmente en África.
- Ruptura de sistemas de producción tradicionales aceptados desde el enfoque social y económico.
- Disminución o inexistencia de seguridad alimentaria.
- Miseria y pobreza de la gente en las zonas afectadas.

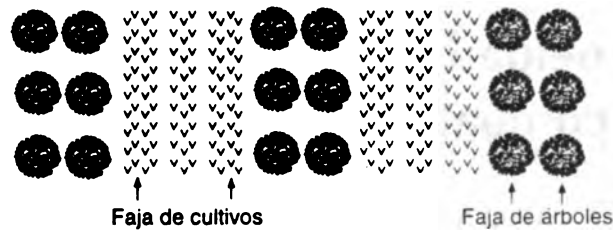


Idoneidad de la agroforestería en el combate de la desertificación

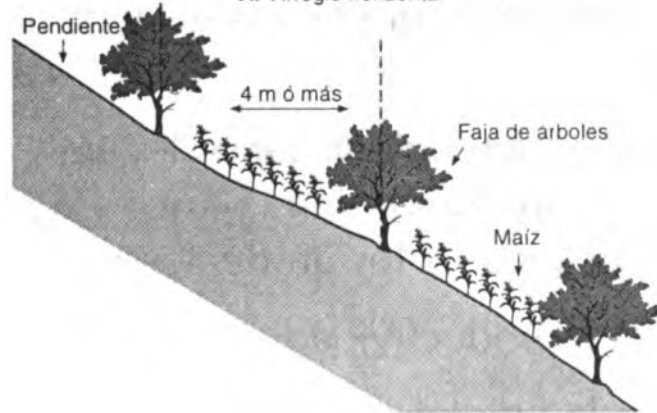
- Tiende a satisfacer las necesidades de los agricultores, tal y como ellos mismos las perciben.
- Utiliza de preferencia insumos locales, de bajo costo, producidos en la finca y que están al alcance de los productores.
- Aumenta la productividad y diversidad total.
- Estabiliza la unidad de producción y la hace menos vulnerable a las variaciones del ambiente físico y socioeconómico.



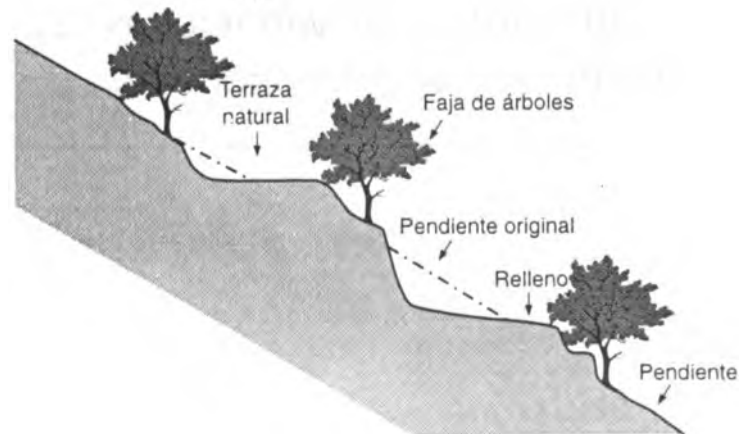
El cultivos en callejones ayuda en la lucha contra la desertificación mediante la conservación del suelo (formación de terrazas naturales)



A. Arreglo horizontal



B. Arreglo vertical



C. Terrazas formadas con ayuda de los árboles

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



Funciones de la agroforestería en el combate de la desertificación

- Contribución a la producción ganadera a través de sistemas silvopastoriles y agrosilvopastoriles.
- Conservación del suelo y el agua a través del control de la erosión y el mantenimiento o mejoramiento de su fertilidad.
- Producción de leña, carbón, resinas, gomas, taninos, fibras y otros productos forestales.
- Producción de alimentos para autoconsumo, para venta en el mercado local, o algunas veces, hasta para exportación.
- Función organizadora del paisaje, del espacio (derechos de cultura) y del territorio.
- Mejoramiento de las condiciones socioeconómicas en las zonas rurales (empleo, ingresos, alimentos, diversificación de la producción (menor riesgo).
- Atenuación de los efectos del clima sobre cultivos, pastos, animales, personas.



Prácticas agroforestales que pueden ser útiles en la lucha contra la desertificación

- Agricultura migratoria mejorada mediante asociación de cultivos, plantaciones en línea, rompevientos, etc.
- Barbechos mejorados con leñosas, principalmente fijadoras de nitrógeno y de uso múltiple.
- Sistema Taungya con cultivos o con plantas forrajeras.
- Cultivo en callejones, cuando se dispone de irrigación.
- Plantaciones en linderos de las parcelas, con especies seleccionadas de acuerdo a las necesidades del productor.
- Cercas vivas con especies que cumplan objetivos múltiples.
- Árboles de uso múltiple en campos de cultivo y en áreas de pastoreo.
- Bancos de proteína para la producción de forraje en los periodos y años secos.

...continúa



Prácticas agroforestales que pueden ser útiles en la lucha contra la desertificación

- Parcelas maderables de uso múltiple, integradas a la gestión de la explotación agrícola.
- Árboles de protección o abrigo a los cultivos, a los animales y viviendas.
- Árboles para la conservación del suelo y el agua en parcelas de cultivos.
- Huertos caseros, aunque mucho menos complejos que los de zonas húmedas, también existen en zonas secas.
- Sistemas agroforestales con cultivos perennes (goma arábiga, cacao, té).
- Árboles en las áreas de pastoreo de animales para su protección y producción de forraje.
- Fijación de dunas mediante leñosas de uso múltiple.
- Apisilvicultura con leñosas cuidadosamente seleccionadas como productoras de néctar y de polen.



Prácticas agroforestales utilizadas en el combate de la desertificación en zonas áridas y semiáridas de América Latina

- Retención de árboles nativos dispersos sobre tierras agrícolas.
- Plantación de árboles frutales o retención de árboles nativos con potencial económico a lo largo de hondonadas y los cursos de agua.
- Plantación y mantenimiento de especies leñosas de uso múltiple en tierras cultivadas. Por ej. *Caesalpinia ferrea*, *Prosopis juliflora* y *Zizyphus joazeiro* (Brasil).
- Pastoreo en áreas de vegetación natural en zonas semiáridas y uso de especies nativas (por ej. *Prosopis* spp.) para suplemento nutritivo y sombra a los animales durante la estación seca.
- Uso de especies de *Acacia*, *Cactus* y *Prosopis* en tierras de pasturas con el propósito de proveer forraje y sombra.
- Uso de rompevientos a lo largo de las planicies y zonas ventosas en las partes meridionales de América del Sur y en Central.



"Caatinga" del Noreste de Brasil

- Cubre el 10% de la superficie del Brasil.
- El sistema silvopastoril que involucra el uso de la "Caatinga" con ovinos y caprinos es componente básico de los "sistemas mixtos" practicados por la mayoría de productores de escasos recursos. En muchos casos también hay presencia de bovinos y otros herbívoros.
- **Principales componentes**
 - Leñosas: *Auxemma oncocalyx*, *Bauhinia forticata*, *Mimosa caesalpinoidea*, *Combretum leprosum*, *Croton hemiargireus*, *Caesalpinia pyramidalis*.
 - Herbáceas: más de 40 especies entre gramíneas anuales (por ej. *Brachiaria mollis*) y malezas (por ej. *Blainvillea rhomboidea*, *Wissadula* sp.).
- Las leñosas (hojas y frutos) son fuentes importantes de alimentación en el período seco, mientras que la vegetación herbácea lo es en el período de lluvias.



Bosques de la Región Chaqueana

- Superficie: 500 000 km² en Noroeste de Argentina y Paraguay, Sureste de Bolivia y Brasil.
- El sistema silvopastoril tradicional del Chaco involucra el uso de la vegetación herbácea, y del follaje y frutos de las leñosas, mediante pastoreo/ramoneo por bovinos, caprinos, ovinos, y equinos. Las leñosas nativas además proveen de madera y se usan para la producción de carbón.
- **Principales Componentes**
 - Leñosas: *Prosopis* spp., *Schinopsis* spp., *Caesalpinia paraguayensis*, *Aspidosperma* spp., *Acacia* spp., *Piptadenia* spp., *Enterolobium contortus*, *Erythrina falcata*, *Geoffroea decorticans* y *Tipuana tipu*.
 - Gramíneas palatables como *Trichloris crinita*, *Gigitaria californica*, *Setaria leiranthia*, *Chloris ciliata* y *Pennisetum frutescens*.
 - Gramíneas poco palatables y no palatables como *Setaria globulifera*, *Aristida mendocina*, *A. colsencioni*, *Chloris virgata* y *Eragrotis cilianensis*.
 - Leguminosas de los géneros *Rhynchosia*, *Desmanthus*, *Zornia* y *Minosa*.
 - Otras especies consideradas malezas como *Sida rhombifolia* y *Eupatorium* spp.



"Matorral" del Noroeste de México

- Cubre parte de los estados de Tamaulipas, Nuevo León y Coahuila, aunque condiciones similares se presentan en el 40% del territorio de México.
- La vegetación es utilizada mayormente con bovinos y caprinos, pero el uso no controlado ha provocado degradación fuerte de este recursos.
- Muchas de las leñosas han sido taladas indiscriminadamente para la producción de carbón.
- Componente leñosas
 - Palatables: *Pithecellobium pallens*, *Acacia farnesiana*, *Acacia rigidula*, *Forestiera angustifolia*, *Celis pallida* y *Cordia boissieri*.
 - Más usadas para carbón: *Pithecellobium flexicaule*, *Prosopis glandulosa*, *Condalia hookeri*, *Helietta parvifolia* y *Diospyros texana*.



Prácticas agroforestales utilizadas en el combate de la desertificación en zonas áridas y semiáridas del Norte de África

- Plantación de frutales como olivo, almendro, higo, albaricoque, pistacho y acacia a lo largo de obras de conservación de suelos y aguas en campos agrícolas.
- Plantaciones permanentes de olivos en tierras de ladera cultivadas de trigo.
- Sistemas silvopastoriles: pastoreo y ramoneo en pasturas con especies leñosas. Por ej. *Acacia cyanophylla* es ampliamente plantada como especie para ramoneo.
- Manejo de vegetación leñosa natural para proveer forraje y leña y para pastoreo de animales.
- Fajas arbóreas protectoras y rompevientos con especies como *Eucalyptus* spp., *Acacia* spp. y *Cupressus* spp.



Prácticas agroforestales utilizadas en el combate de la desertificación en el Sahel

- Uso de árboles de especies nativas de uso múltiple como *Faidherbia albida* en las tierras de cultivo utilizadas para leña, forraje y mejorar la fertilidad del suelo.
- Sistemas intensivos de manejo de árboles individuales combinado con la producción agrícola (principalmente millo y sorgo) y pastoreo.
- Utilización de leñosas como *Acacia tortilis* y *Faidherbia albida* en campos de cultivo para producción de combustible (leña y carbón).
- Postoreo y ramoneo en la vegetación leñosa natural y barbechos mejorados durante la estación seca.
- Barreras protectoras y rompevientos con especies como *Azadirachta indica*, *Anacardium occidentale* y *Acacia* spp.
- Cercas vivas de especies como *Euphorbia balsamifera*, *Commiphora africana*, *Leptadenia pyrotechnica*, *Tamarix articulata*, *Casuarina equisetifolia* y *Bauhinia reticulata*.



Prácticas agroforestales utilizadas en el combate de la desertificación en el Cercano Oriente

- Uso de árboles establecidos en asociación con obras de conservación suelos y aguas en tierras de cultivo.
- Rompevientos de especies productivas, alrededor de los campos de cultivos, tales como álamos, *Casuarina* y *Eucalyptus* o mezclas de árboles frutales y arbustos.
- Campos bajo riego protegidos con rompevientos, como en Egipto y Siria.
- Pasturas mejoradas combinadas con leñosas para ramoneo.
- Sistemas silvopastoriles tradicionales con una combinación de árboles podados (*Pistacia* spp.) y pastoreo.



Prácticas agroforestales utilizadas en el combate de la desertificación en zonas áridas y semiáridas de Asia y el Pacífico

- Combinación permanente de árboles de uso múltiple como *Prosopis cineraria* y *Ziziphus mauritiana*, y *Tamarindus indica* en campos agrícolas (por ej. en India y Pakistán).
- Uso extensivo de árboles para producción y protección en tierras agrícolas (por ej. en China e India).
- Rompevientos en áreas bajo riego con especies como *Dalbergia sissoo*, *Acacia nilotica*, *A. indica* *Melia azedarach* y en agricultura de secano con especies como *Tamarix* sp. y *Calligonum* sp. (India).
- Plantación de hileras ampliamente espaciadas de *Eucalyptus* spp., *Acacia nilotica* o álamos en tierras agrícolas irrigadas para producción de madera combinada con cultivos (Pakistán).
- Sistemas tradicionales con árboles y arbustos podados en tierras bajo pastoreo (India y Pakistán), o pastos mejorados con especies leñosas (nativas y exóticas) para ramoneo (Pakistán).
- Plantación de árboles individuales, en grupos o en líneas para proveer sombra, protección del viento y forraje seco a la ganadería (Australia).
- Establecimiento de hileras con una mezcla de leñosas (*Artemisia* spp.) y herbáceas (*Salsola* spp.) y pastoreo cuidadosamente controlado (Rusia).



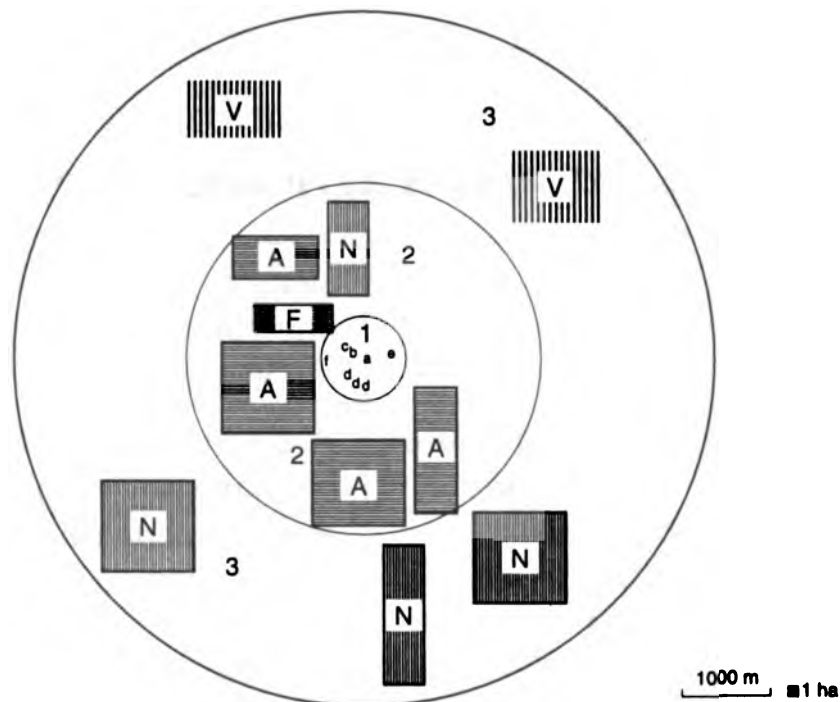
Sistema agrosilvopastoril en Senegal, utilizando *Faidherbia albida*

- *F. albida* es un árbol que alcanza hasta 20 m de altura, con amplia distribución en las partes semiáridas de Africa. Las raíces pueden descender 30 a 40 m, hasta alcanzar la tabla de agua subterránea.
- Contrario a la mayoría de especies de sabanas tropicales, pierde las hojas durante la estación de lluvias (evita competencia con los cultivos) y mantiene follaje desde el inicio de la estación seca.
- La hojarasca se descompone al final de la estación seca y las excretas de los animales que pastorean alrededor de los árboles enriquecen el suelo, favoreciendo el rendimiento de los cereales como millo y sorgo.
- *F. albida* es un importante y eficiente mejorador del suelo y bajo las condiciones prevalecientes, mayor y mejor que los fertilizantes químicos.
- Es uno de los principales recursos forrajeros, ya que su follaje y las vainas son disponibles durante la estación seca.
- El árbol es ramoneado y frecuentemente podado y sus ramas alimentan camellos, ganado, ovejas y cabras.
- La madera es utilizada localmente para diferentes propósitos, mientras que la corteza, hojas y goma son colectadas para fines medicinales, taninos, etc.

Fuente: Maydel, 1976.



Combinación de *Acacia senegal* con pastoreo semi-nómada



- Círculo interno: el pozo, la oficina forestal, el vivero, pequeños jardines irrigados para cultivar vegetales, árboles de sombra en lugares de mercadeo y reunión del pueblo.
- El anillo interno: (A) parcelas de reforestación; (N) parcelas de regeneración; (F) campos de pobladores en los mejores suelos, campos de cultivo combinados con árboles de protección, forraje y leña.
- El anillo externo: áreas de regeneración natural (N) y vegetación mejorada (V).

Fuente: Maydel, 1976



Agroforestería combinando *Acacia senegal* con agricultura de secano

<p>Cultivo de millo, sorgo, etc., durante cinco años.</p>	<p>Siembra de <i>Acacia senegal</i>, intercultivo o corta de pasto durante 1 a 5 años.</p>
<p>Acacia senegal de 11 a 15 años. Rendimientos máximos de goma arabica, pastoreo controlado, cosecha de leña en el último año, luego de la corta y aclareo.</p>	<p><i>Acacia senegal</i> de 6 a 10 años, rendimientos máximos de goma arabica, corta de pasto, recolección de vainas y follaje para forraje.</p>

Fuente: Maydel, 1976.

LITERATURA CITADA

- Anaya, G. M. 1977. Technology and desertification: Its causes and consequences. Secretariat of the United Nations Conference on desertification. Pergamon Press. p. 319-448.
- Baumer, M. 1987. Le role possible de l'agroforesterie dans la lutte contre la désertification et la dégradation de l'environnement. Wageningen, Pays-Bas. CTA. 260 p.
- Baumer, M.; Wood, P. 1986. Agroforestry research and development: agroforestry practices for the solution of food, fodder and fuel shortages. In: Increasing productivity of multipurpose lands. IUFRO Research Planning Workshop for Africa Sahelian and North Sudanian Zones. Nairobi, Kenya, IUFRO. p. 22-88.
- Catterson, T. M.; Gulick, F. A. 1989. Desertification-Rethinking forestry strategy in Africa: experience drawn from USAID activities. In: Role of forestry in combating desertification. Rome, FAO. FAO Conservation Guide 21. p. 91-113.
- Comisión Nacional de las Zonas Áridas (México)-FAO. (CONASA).1994. Plan de acción para combatir la desertificación en México. 1 ed. Coahuila, México. CONAZA-FAO. 160 p.
- Dover, M.; Talbot L.M. 1987. To feed the Earth: agroecology for sustainable development. Washington, World Resources Institute. 88 p.
- Elhoury Ahmed, A. 1989. Land restoration and revegetation. In: Role of forestry in combating desertification. Rome, FAO. FAO Conservation Guide 21. p. 253-266.
- FAO. 1989. Role of forestry in combating desertification. Rome, Italy. FAO Conservation Guide 21. 333 p.
- FAO-PNUMA-UNESCO. 1980. Metodología provisional para la evaluación de la degradación de los suelos. Roma, Italia. FAO. 86 p.
- FAO. 1984. Metodología provisional para la evaluación de la degradación de la desertificación. Roma, Italia. FAO. 74 p.
- Imbach, A. C.; Fassbender, H.W.; Beer, J.; Borel, R.; Bonnemann, A. 1989. Sistemas agroforestales de café (*Coffea arabica*) con laurel (*Cordia alliodora*) y café con poró (*Erythrina poeppigiana*) en Turrialba, Costa Rica. 6: Balances hídricos e ingreso con lluvias y lixiviación de elementos nutritivos. Turrialba 39 (3): 400-414.
- Kirmse, R.,D.; Pfister, J.A.; Vale, L.V.; Queiros, J.S. 1983. Woody plants of the northern Ceara Caatinga. Small Ruminant Collaborative Research Support Program. Utah State University. Technical Report Series No. 14.
- Kirmse, R.D.; Provenza, F.D.; Malechek, J.C. 1987. Clear-cutting Brazilian caatinga: assessment of a traditional grazing management practice. *Agroforestry Systems* 5: 429-441.
- Maydell, H. J. von. 1979. Agroforestry to combat desertification; a case study of the Sahel. In: Symposium on tropical agriculture. Proceedings of the 50th Symposium on Tropical Agriculture. Amsterdam, Royal Tropical Institute. Bulletin No. 303. p. 11-24.
- Mainguet, M. 1991. Desertification. Natural Background and Human Mismanagement. Berlin, Springer-Verlag. 306 p.
- Rzedowski, J. 1978. Vegetación de México. México, Limusa. 520 p.
- Shankarnarayan K. A.; Harsh, L. N.; Kathju, S. 1987. Agroforestry in the arid zones of India. *Agroforestry Systems* 5: 69-88.
- Stiennen, H. 1990. The agroforestry potential of combined production systems in north-eastern México. *Agroforestry Systems* 11: 45-69.
- Terán, J.; Ibrahim, M. 1997. El rol de los árboles y arbustos de los bosques secos en los sistemas de producción de la región Chaqueana Serrana de Chuquisaca, Bolivia. Turrialba, Costa Rica, CATIE. 12 p.
- Thames, J. L. 1989. Watershed management in arid zones. In: Role of forestry in combating desertification. Rome, FAO. FAO Conservation Guide 21. p. 211-233.
- Tolba, M. K. 1984. Harvest of dust. UNEP, Desertification Control Bulletin No. 10. p. 2-4.