

Capítulo 12

Sistemas agroforestales

John G. Farrell y Miguel A. Altieri

La agroforestería es el nombre genérico utilizado para describir un sistema de uso de la tierra antiguo y ampliamente practicado, en el que los árboles se combinan espacial y/o temporalmente con animales y/o cultivos agrícolas. Esta combina elementos de agricultura con elementos de forestería en sistemas de producción sustentables en la misma unidad de tierra. Sin embargo, sólo recientemente se han desarrollado los conceptos modernos de agroforestería y hasta la fecha no ha evolucionado ninguna definición aceptable universalmente, a pesar de que se han sugerido muchas, incluyendo la definición de ICRAF: «La agroforestería es un sistema sustentable de manejo de cultivos y de tierra que procura aumentar los rendimientos en forma continua, combinando la producción de cultivos forestales arbolados (que abarcan frutales y otros cultivos arbóreos) con cultivos de campo o arables y/o animales de manera simultánea o secuencial sobre la misma unidad de tierra, aplicando además prácticas de manejo que son compatibles con las prácticas culturales de la población local» (Consejo Internacional para la Investigación en la Agroforestería 1982). Cualquiera sea la definición, generalmente se está de acuerdo en que la agroforestería representa un concepto de uso integrado de la tierra que se adapta particularmente a las zonas marginales y a los sistemas de bajos insumos. El objetivo de la mayoría de los sistemas agroforestales es el de optimizar los efectos benéficos de las interacciones de los componentes boscosos con el componente animal o cultivo para obtener un patrón productivo que se compara con lo que generalmente se obtiene de los mismos recursos disponibles en el monocultivo, dadas las condiciones económicas, ecológicas, y sociales predominantes (Nair 1982).

Características de la agroforestería

La agroforestería incorpora cuatro características:

Estructura. A diferencia de la agricultura y la actividad forestal modernas, la agroforestería combina árboles, cultivos y animales. En el pasado, los agricultores rara vez consideraban útiles a los árboles en el terreno para el cultivo, mientras que los forestales han tomado los bosques simplemente como reservas para el crecimiento de árboles (Nair 1983). Aun así, durante siglos los agricultores tradicionales han proporcionado sus necesidades básicas al sembrar cultivos alimenticios, árboles y animales en forma conjunta.

Sustentabilidad. La agroforestería optimiza los efectos beneficiosos de las interacciones entre las especies boscosas y los cultivos o animales. Al utilizar los ecosistemas naturales como modelos y al aplicar sus características ecológicas al sistema agrícola, se espera que la productividad a largo plazo pueda mantenerse sin

degradar la tierra. Esto resulta particularmente importante si se considera la aplicación actual de la agroforestería en zonas de calidad marginal de la tierra y baja disponibilidad de los insumos.

Incremento en la productividad. Al mejorar las relaciones complementarias entre los componentes del predio, con condiciones mejoradas de crecimiento y un uso eficaz de los recursos naturales (espacio, suelo, agua, luz), se espera que la producción sea mayor en los sistemas agroforestales que en los sistemas convencionales de uso de la tierra.

Adaptabilidad cultural/socioeconómica. A pesar de que la agroforestería es apropiada para una amplia gama de predios de diversos tamaños y de condiciones socioeconómicas, su potencial ha sido particularmente reconocido para los pequeños agricultores en áreas marginales y pobres de las zonas tropicales y subtropicales. Si se considera que los campesinos generalmente no son capaces de adoptar tecnologías muy costosas y modernas, que han sido pasados por alto por la investigación agrícola y que no tienen poder social o político de discernimiento, la agroforestería se adapta particularmente a las realidades de los pequeños agricultores.

Clasificación de los sistemas agroforestales

Varios criterios se pueden utilizar para clasificar las prácticas y sistemas agroforestales (Nair 1985). Se utilizan más corrientemente la estructura del sistema (composición y disposición de los componentes), función, escala socioeconómica, nivel de manejo y la distribución ecológica. En cuanto a la estructura, los sistemas agroforestales pueden agruparse de la siguiente manera:

- **Agrosilvicultura:** el uso de la tierra para la producción secuencial o concurrente de cultivos agrícolas y cultivos boscosos.
- **Sistemas silvopastorales:** sistemas de manejo de la tierra en los que los bosques se manejan para la producción de madera, alimento y forraje, como también para la crianza de animales domésticos.
- **Sistemas agrosilvopastorales:** sistemas en los que la tierra se maneja para la producción concurrente de cultivos forestales y agrícolas y para la crianza de animales domésticos.
- **Sistemas de producción forestal de multipropósito:** en los que las especies forestales se regeneran y manejan para producir no sólo madera, sino también hojas y/o frutas que son apropiadas para alimento y/o forraje.

Otros sistemas agroforestales se pueden especificar, como la apicultura con árboles, la acuicultura en zonas de manglar, lotes de árboles de multipropósito y así sucesivamente. Los componentes se pueden disponer temporal o espacialmente y se utilizan varios términos para señalar las variadas disposiciones. La base funcional se refiere al producto principal y al papel de los componentes, en particular los arbolados. Estos pueden ser funciones productivas (producción de las necesidades básicas, como alimento, forraje, leña, otros productos) y roles protectores (conservación del suelo, mejoramiento de la fertilidad del suelo, protección ofrecida por los rompevientos y los cinturones de protección).

Basándose en la ecología, los sistemas se pueden agrupar para cualquier zona agroecológica definida como las zonas tropicales húmedas de las tierras bajas, zonas tropicales áridas y semiáridas, tierras altas tropicales y así sucesivamente. La escala socioeconómica de la producción y el nivel de manejo de los sistemas se puede utilizar como los criterios para designar a los sistemas como comerciales, interme-

dios o de subsistencia. Cada uno de estos criterios tienen méritos y aplicabilidad en situaciones específicas, pero también tienen limitaciones, por lo que ninguna clasificación única se puede aplicar universalmente. La clasificación dependerá del propósito para el que se planifique.

El papel potencial de los árboles

Los árboles generalmente se subutilizan en la agricultura y, si bien se ha escrito mucho respecto a sus virtudes (Smith 1953, Douglas y Hart 1976, MacDaniels y Lieberman 1979), su potencial se ha explotado relativamente poco. A causa de sus hábitos de crecimiento y su forma, los árboles influyen a otros componentes del sistema agrícola (Figura 12.1). Sus grandes doses afectan la radiación solar, precipitaciones y movimiento del aire, a la vez que su extenso sistema de raíces ocupa grandes volúmenes de suelo. La absorción de agua y nutrientes y la redistribución de los nutrientes como el humus, al igual que el movimiento irruptivo de las raíces y las posibles asociaciones bacteriales/fungales, también pueden alterar el ambiente de crecimiento.

Los árboles pueden mejorar la productividad de un agroecosistema, al influir en las características del suelo, del microclima, de la hidrología y de otros componentes biológicos asociados.

Características del suelo. Los árboles pueden afectar el nivel de nutrientes del suelo al explotar las reservas minerales más profundas de la roca parental y recuperar

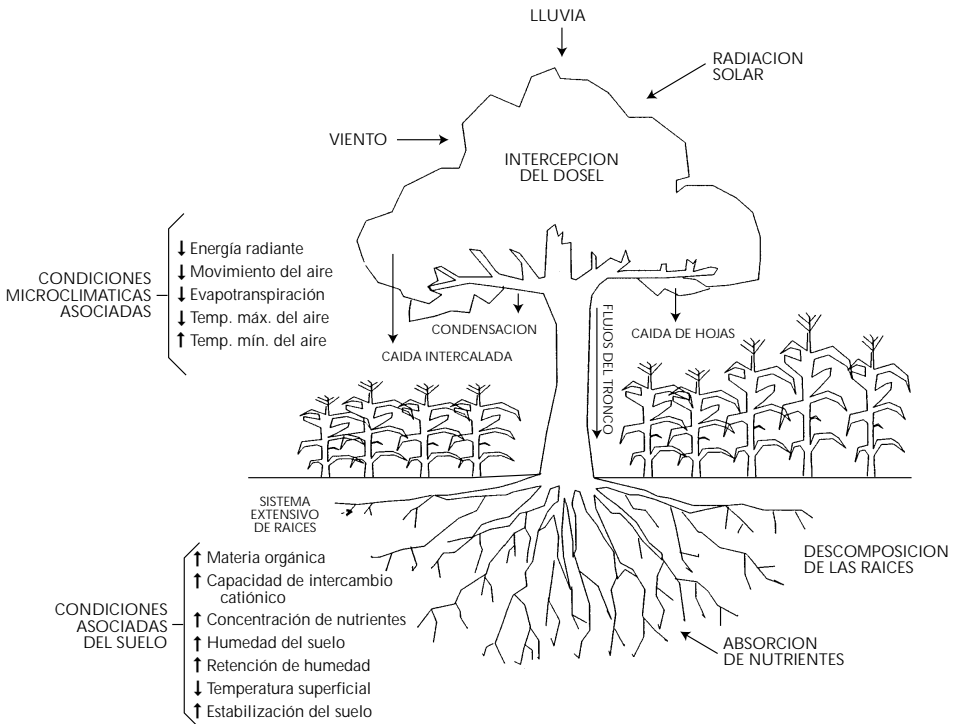


FIGURA 12.1 Influencia de los árboles en Tlaxcala, México, en el ambiente de crecimiento del maíz (Farrell 1984).

los lixiviados y depositarlos sobre la superficie como humus. Esta materia orgánica aumenta el contenido de humus del suelo, el cual a su vez aumenta su capacidad de intercambio de cationes y disminuye las pérdidas de nutrientes. La materia orgánica adicionada modera además las reacciones del suelo extremas (pH) y la consecuente disponibilidad de nutrientes esenciales y elementos tóxicos. Puesto que el nitrógeno, fósforo y azufre se tienen fundamentalmente en forma orgánica, la abundancia de materia orgánica es especialmente importante para aprovecharlos. La asociación de árboles con bacterias fijadoras de nitrógeno y micorrizas también incrementará los niveles de nutrientes disponibles. La actividad de microorganismos tiende a aumentar debajo de los árboles, debido a que la materia orgánica es incrementada (un abastecimiento de alimentos mejorado) y al ambiente de crecimiento (temperatura y humedad del suelo).

Un estudio realizado para evaluar el papel de los árboles en los sistemas de agricultura tradicional de México Central (Farrel 1984), ilustra la influencia potencial de los árboles sobre la fertilidad del suelo. Las propiedades de la superficie del suelo se midieron a distancias crecientes de dos especies de árboles, capulín (*Prunus capuli*) y sabino (*Juniperus deppeana*) que se encontraron dentro de campos de maíz. Se encontraron valores superiores de todas las propiedades medidas bajo los doceles de capulín, y se observó una gradiente que disminuía al incrementar la distancia desde los árboles. El fósforo disponible aumentó de cuatro a siete veces bajo los árboles (Figura 12.2) y los totales de carbón y potasio aumentaron dos a tres veces; el ni-

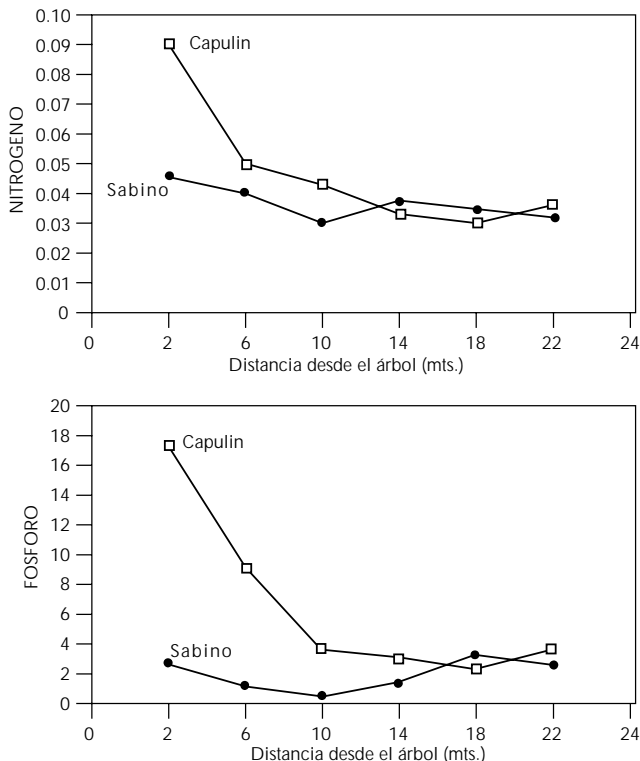


FIGURA 12.2 Gradientes de Concentración de Nitrógeno y fósforo a medida que muestras de suelo se toman a distancias crecientes de 2 especies de árboles.

trógeno, el calcio y magnesio aumentaron de uno y medio veces a tres y la capacidad de intercambio catiónico aumentó de uno y medio a dos veces. También se encontró que el pH del suelo era mayor bajo los doseles. Este patrón espacial se atribuyó fundamentalmente a la redistribución de nutrientes con la caída de las hojas y la acumulación de materia orgánica cerca de los árboles de ciruelo (capulin).

Los árboles también pueden aumentar las propiedades físicas del suelo, siendo la estructura del suelo la más importante. La estructura mejora como resultado del incremento de materia orgánica (hojas y raíces), de la acción disociadora de las raíces de los árboles y la actividad de los microorganismos, todos los cuales ayudan a desarrollar agregados del suelo más estables. La temperatura del suelo se modera por la sombra y la cubierta de la hojarasca.

La función que pueden desempeñar los árboles en la protección del suelo es bien reconocida. Además de reducir la velocidad del viento, el follaje de los árboles disipa el impacto de las gotas de lluvia que golpean la superficie del suelo. La capa de hojarasca que cubre el suelo y su estructura mejorada también pueden ayudar a reducir la erosión de la superficie. El sistema de raíces penetrantes de los árboles realizan una función importante en la estabilización del suelo, especialmente en laderas escarpadas.

La inclusión de especies compatibles y convenientes de perennes leñosos en terrenos de cultivos, pueden dar como resultado un mejoramiento acentuado en la fertilidad del suelo, mediante lo siguiente:

1. Aumento en los contenidos de materia orgánica del suelo por la adición de hojarasca y otras partes de plantas.
2. Un ciclaje eficiente de nutrientes dentro del sistema y consecuentemente una mejor utilización de los nutrientes tanto nativos como los nutrientes aplicados.
3. La fijación biológica de nitrógeno y la solubilización de nutrientes relativamente escasos, por ejemplo el fósforo por medio de la actividad de micorrizas y bacterias solubilizadoras de fosfato.
4. Aumento en la fracción cíclica de nutrientes de las plantas y reducción de la pérdida de nutrientes más allá de la zona absorbente de nutrientes del suelo.
5. Interacción complementaria entre las especies componentes del sistema, dando como resultado una repartición más eficiente de los nutrientes entre sus componentes.
6. Economía adicional de nutrientes debido a diversas zonas absorbentes de nutrientes de los sistemas de raíces de las especies componentes.
7. Efecto moderador de la materia orgánica del suelo en reacciones de suelo extremo y la consecuente liberación y disponibilidad de nutrientes.

Microclima Los árboles moderan los cambios de temperatura, dando como resultado temperaturas máximas más bajas y mínimas más altas bajo los árboles, en comparación con las áreas abiertas. La disminución de temperatura y la reducción de los movimientos del aire debido al dosel de los árboles reduce el promedio de evaporación. También se puede encontrar mayor humedad relativa bajo los árboles en comparación con los sitios abiertos.

Hidrología. El equilibrio del agua de un micrositio dado, predio o región está influido por las características funcionales y estructurales de los árboles. En distintos grados, dependiendo de la densidad del follaje, y las características de las hojas, la precipitación pasa a través de ellas hasta el suelo, se intercepta y se evapora o se redistribuye a la base del tronco por el propio flujo. La humedad del aire también puede ser recogida por el follaje de los árboles y ser depositada como precipitación

interna (niebla de goteo), una significativa fuente potencial de agua en áreas de neblinas húmedas. Como resultado de una mejorada estructura del suelo y la presencia de una capa de hojarasca, el agua que llega al suelo se utiliza más eficientemente debido al incremento de la filtración y permeabilidad, reduciendo la evaporación y el escurrimiento superficial. En gran escala, particularmente en áreas propensas a las inundaciones, los árboles pueden reducir las descargas de aguas subterráneas, existiendo la evidencia de que las características hidrológicas de las áreas de captación son influidas favorablemente por la presencia de árboles.

Componentes biológicos asociados. Todas las plantas, los insectos y los organismos del suelo pueden resultar beneficiados por la presencia de árboles compatibles. Aunque los mecanismos específicos son poco entendidos, por lo general involucran un microclima más benigno; temperatura de suelo favorable, régimen de humedad y estado de materia orgánica; una mayor disponibilidad de nutrientes así como su eficiente utilización y reciclaje. El mejoramiento en el estado de la materia orgánica del suelo puede dar como resultado una mayor actividad de los microorganismos favorables en la zona de raíces. Tales microorganismos también pueden producir sustancias que promueven el crecimiento mediante interacciones deseables provocando efectos comensalísticos en el crecimiento de especies de plantas.

Función productiva. Los árboles producen gran cantidad de productos importantes para los humanos y los animales. Además del forraje y alimentos proporcionan productos madereros, subproductos como aceites y taninos y productos médicos. Por ejemplo, la acacia negra (*Robinia pseudoacacia*) es una productora de miel importante, fija nitrógeno y es productora de postes para cercos muy durables. *Leucaena*, otra leguminosa que fija nitrógeno, es valiosa como alimento de ganado y de aves en los trópicos, debido a su alto contenido de vitaminas y proteínas. También es una fuente primaria de leña (NAS 1977). Los cultivos de árboles, también pueden complementar la producción de granos. Especies como el castaño (*Castanea*), el algarrobo (*Ceratonia*) y la acacia honey (*Gleditsia*) tienen un valor alimenticio en proteínas, carbohidratos y grasas mayor que granos convencionales creciendo en tierras marginales sin labranza (Smith 1953).

Ventajas de los sistemas agroforestales

Mediante la combinación de la producción agrícola y forestal se pueden alcanzar mejor diversas funciones y objetivos de la producción de bosques y cultivos alimenticios. Existen ventajas ambientales, como también socioeconómicas, de tales sistemas integrados sobre la agricultura y/o monocultivos forestales (Wiersum 1981).

Ventajas ambientales

1. Se hace un uso más eficiente de los recursos naturales. Las diversas capas de vegetación proporcionan una eficiente utilización de la radiación solar, los diferentes tipos de sistemas de raíces a distintas profundidades hacen buen uso del suelo y las plantas agrícolas de corta duración pueden aprovechar de la capa superficial enriquecida, como resultado del ciclaje mineral mediante las copas de los árboles. Además la integración de animales en el sistema puede aprovecharse para la producción secundaria y el reciclaje de nutrientes.

2. La función protectora de los árboles con respecto al suelo, la hidrología y la protección de las plantas puede utilizarse para disminuir los peligros de degradación

ambiental. Sin embargo, se debe tener en cuenta que en muchos sistemas agroforestales, los componentes pueden competir por luz, humedad y nutrientes, por lo tanto se deben considerar los intercambios. El buen manejo puede reducir al mínimo estas interferencias y aumentar las interacciones complementarias.

Ventajas socioeconómicas

1. Mediante la eficiencia ecológica se puede aumentar la producción total por unidad de tierra. No obstante que la producción de cualquier producto individual puede ser menor que en los monocultivos, en algunos casos la producción del cultivo base puede aumentar. Por ejemplo, en Java se ha demostrado que después de la introducción del sistema *Taungya*, la producción de arroz de secano aumentó considerablemente.

2. Los diferentes componentes o productos de los sistemas podrían ser utilizados como insumos para la producción de otros (por ejemplo, implementos de madera, abono verde), y disminuir así la cantidad de inversiones e insumos comerciales.

3. En relación con las plantaciones puramente forestales, la introducción de cultivos agrícolas junto con prácticas culturales intensivas bien adaptadas, a menudo se traduce en un aumento de la producción forestal y en una merma en los costos del manejo arbóreo (por ejemplo, la fertilización y desmalezaje de los cultivos agrícolas también puede beneficiar el crecimiento de los árboles), y proporciona una serie más amplia de productos.

4. Los productos arbóreos a menudo se pueden obtener a lo largo de todo el año, proporcionando oportunidades de mano de obra y un ingreso regular anualmente.

5. Algunos productos arbóreos se pueden obtener sin necesidad de un manejo muy activo, otorgándoles una función de reserva para los períodos en que fallan los cultivos agrícolas, o para necesidades sociales determinadas (por ejemplo, la construcción de una casa).

6. En la producción de varios productos se distribuye el riesgo, en la medida que varios de ellos serán afectados de manera diferente por condiciones desfavorables.

7. La producción se puede enfocar hacia la autosuficiencia y el mercado. La dependencia de la situación del mercado local se puede ajustar de acuerdo con la necesidad del agricultor. Si se desea, los diversos productos son consumidos total o parcialmente, o son destinados al mercado cuando se dan las condiciones adecuadas.

Algunas restricciones de los sistemas agroforestales

Existe un número de restricciones o condiciones limitantes para la aplicación de los sistemas agroforestales. Es necesario reconocerlas y hacer esfuerzos por superarlas, si se desea aplicar con éxito la agroforestería.

Una de las principales limitaciones es en relación con el hecho que los sistemas agroforestales son específicos del ecosistema, y en ciertos suelos de baja calidad la elección de las especies vegetales apropiadas puede resultar limitante, aún cuando muchos árboles tienen mayor capacidad para adaptarse a los suelos pobres que los cultivos anuales. La competencia entre los árboles y los cultivos de alimentos, y la prioridad que se les debe dar para satisfacer necesidades básicas, puede excluir del cultivo arbóreo a los agricultores pobres, que cuentan con muy poca tierra, para cultivar árboles.

Al promover la plantación arbórea, se necesitan beneficios a corto y largo plazo. Estos beneficios económicos o productivos deben ser considerados. Una restricción

económica común es que algunos sistemas agroforestales establecidos recientemente, pueden requerir costos sustanciales de inversión para comenzar (por ejemplo, material de cultivo, conservación del suelo, fertilizante). Para dichas inversiones se puede necesitar crédito. En la mayoría de los sistemas agroforestales pueden ser necesarios algunos años antes de obtener los primeros rendimientos. En algunos casos, dicho período de espera requiere apoyo financiero.

El tamaño del terreno puede afectar el tipo de insumos. En áreas con una alta presión poblacional y suelos pobres, los predios particulares pueden resultar demasiado pequeños como unidades confiables de producción. En este caso, es necesario hacer algún tipo de esfuerzo cooperativo. La disponibilidad de semillas y/o plántulas es una variable primordial para los proyectos agroforestales. En la mayoría de los casos, una planificación a más largo plazo, incluye el desarrollo de pequeños semilleros junto con la plantación y mantención de árboles.

El manejo de ganado en algunas ocasiones puede entrar en conflicto con las actividades agroforestales, especialmente en áreas donde se practica la ganadería vacuna o caprina. En áreas con sistemas comunales o de clanes complejos de tierras, puede resultar difícil desarrollar métodos agroforestales. Los derechos de posesión constituyen una consideración fundamental para la agroforestería. Ellos pueden ser un factor limitante.

La tenencia de árboles también constituye una posible restricción. En algunos casos, la tierra en la cual los árboles pueden ser plantados y protegidos no pertenece a aquellos que los plantaron. De manera que los que los plantaron pueden no estar legalmente autorizados para hacer usufructo de los árboles y su producción. Aún más, en algunos países existen leyes que restringen la cosecha/tala de los árboles para cualquier propósito, sin considerar al dueño de la tierra en que se encuentran plantados.

Diseño de sistemas agroforestales

Los ecosistemas naturales pueden ser útiles como modelos para diseñar sistemas agrícolas sustentables. El rasgo más sobresaliente de los bosques naturales radica en la organización múltiple de los árboles, arbustos, malezas y hongos, en la que cada uno utiliza diferentes niveles de energía y recursos, y donde cada uno contribuye al funcionamiento del sistema total. Estos estratos reducen el impacto mecánico de las gotas de lluvia sobre la superficie y disminuyen la cantidad de luz directa que alcanza el suelo, como consecuencia de lo cual se reduce al mínimo la pérdida potencial de suelo, se disminuye la evaporación y se retardan los índices de descomposición de materia orgánica. Generalmente, a nivel de suelo existe muy poco viento. Sobre la superficie, el humus proveniente de los vegetales en descomposición proporciona una cubierta protectora y una fuente de nutrientes para reciclar (Figura 12.3).

Todas estas condiciones crean un ambiente ideal para la microflora y fauna, insectos y lombrices que facilitan la descomposición de la materia orgánica en el suelo, creando así una buena estructura del suelo, la que a su vez aumenta la ventilación y el drenaje del agua. Los depredadores y parásitos residentes mantienen controlados a aquellos insectos potencialmente dañinos para la vegetación. También existen múltiples capas bajo la superficie, donde las raíces de diversas formas vegetales mejoran la aireación y la filtración del agua. Los insectos potencialmente dañinos para la vegetación y que se mantienen controlados en las plantas, utilizan diferentes volúmenes del suelo. De esta manera, las raíces de los árboles, que alcanzan mayor profundidad, interceptan los nutrientes lixiviados bajo la zona radicular de la vegetación más pequeña y los llevan a la superficie en la forma de humus foliar.

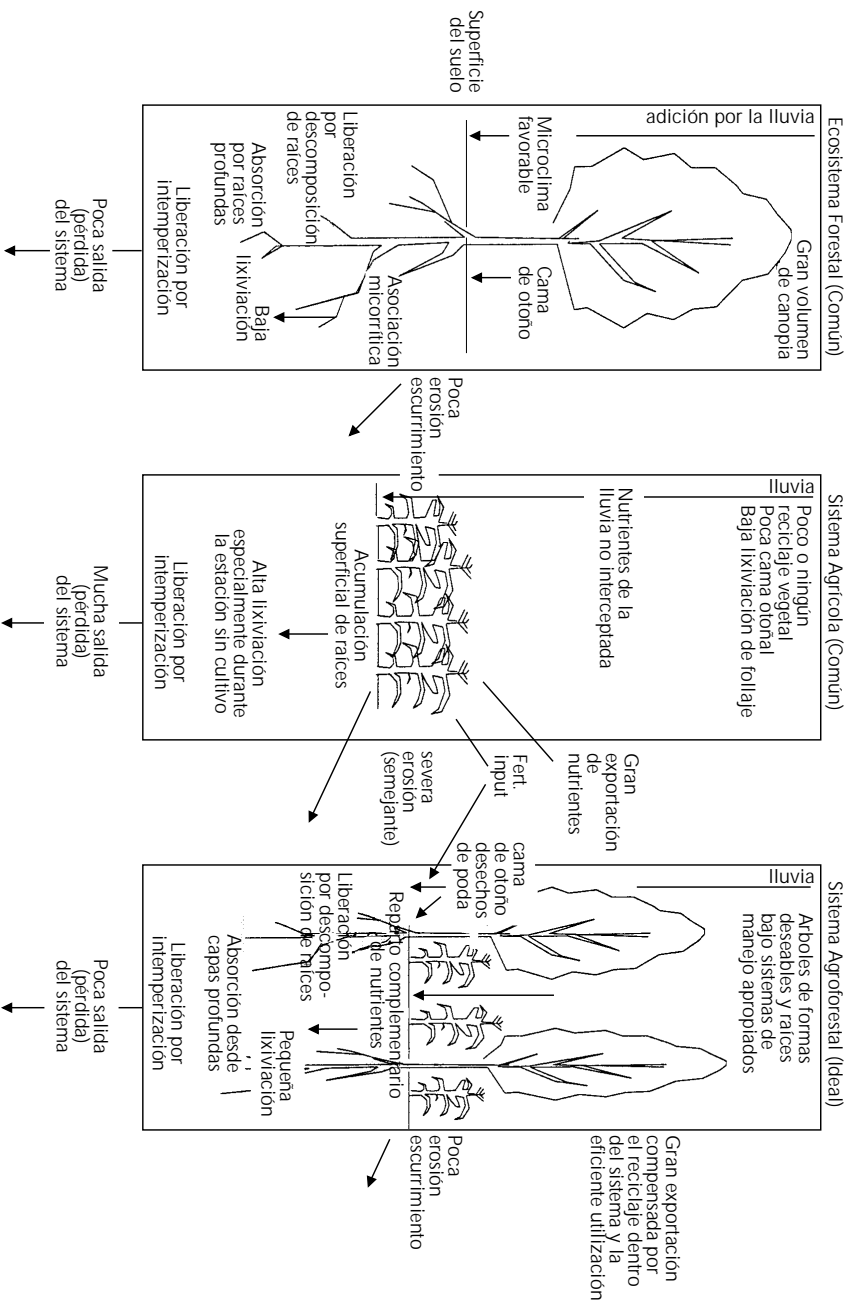


FIGURA 12.3 Presentación esquemática de las relaciones de nutrientes y ventajas del sistema agroforestal ideal, en comparación con los sistemas agrícola y forestal comunes (según Nair 1982).

El objetivo principal al diseñar un sistema agroforestal es resaltar las características ecológicas fundamentalmente del bosque, de modo que la comprensión de estos procesos en un sistema natural resulta de vital importancia. La mayoría de los principios que se presentan en el Capítulo 5 se pueden aplicar al diseño de sistemas agroforestales, especialmente las ideas de Hart (1978), sobre el diseño de secuencias de cultivos de manera análoga a la sucesión natural. En las zonas tropicales húmedas, los modelos de sucesión pueden ser particularmente apropiados para diseñar ecosistemas agrícolas. En Costa Rica, los ecólogos realizaron reemplazos espaciales y temporales de especies silvestres por especies de plantas botánica, estructural y ecológicamente similares. Las especies del ecosistema natural tales como *Heliconia*, curcubitáceas, especies de *Ipomoea*, leguminosas, arbustos, pastos y árboles pequeños fueron reemplazadas por platanos, variedades de zapallo, ñames, camotes, cultivos de frijoles locales, *Cajanus cajan*, maíz/sorgo/arroz, papaya, cashew (nuez tropical) y especies de *Cassava*, respectivamente. Alrededor del segundo y tercer año, los cultivos arbóreos de rápido crecimiento (por ejemplo, nuez del Brasil, duraznero palisandro) formaron un estrato adicional y mantuvieron así una cubierta continua del cultivo; evitando la degradación del terreno y la lixiviación de nutrientes; y proporcionando rendimientos a lo largo del año. Este enfoque puede resultar muy útil en regiones carentes de vegetación natural, donde se pueden iniciar modelos de sucesión a partir de áreas ecológicamente homólogas. Oldeman (1981) propuso el concepto de «transformación» como otro diseño opcional. De manera complementaria al método análogo, dicho concepto se basa en el análisis estructural de unidades colectivas (ecounidades). La transformación se puede lograr al reemplazar especies silvestres por especies útiles que cumplen el mismo nicho estructural y funcional de los silvestres. Este proceso transforma la estructura del sistema natural al mismo tiempo que mantiene sus propiedades benéficas.

En ocasiones en que un área totalmente forestada no es apropiada para un predio, los árboles se pueden combinar de otras formas con cultivos y animales para aumentar las relaciones funcionales requeridas. Wiersum (1981) y Combe y Budowski (1979) han resumido estas prácticas en sus intentos por desarrollar un sistema de clasificación para las técnicas agroforestales.

Arreglos vegetacionales

Al ordenar las especies vegetales componentes en el tiempo y el espacio, se deben considerar algunos factores. Ellos pueden incluir los requerimientos culturales de las especies componentes al crecer juntas, su fenología y forma de crecimiento (sobre y bajo el suelo), las necesidades de manejo para todo el sistema y la necesidad de acciones adicionales como la conservación del suelo o el mejoramiento del microclima. Es por esto que los arreglos de ordenamiento tienen propiedades específicas. Los posibles arreglos comprenden (Nair 1983):

1. Cultivar intercaladamente especies arbóreas con cultivos agrícolas anuales, sembrar, en forma simultánea, especies herbáceas y arbóreas (o durante la misma temporada). El espaciamiento de las especies arbóreas variará considerablemente, sin embargo, en general, en las regiones más secas, este espacio será de un ancho superior. Este esquema también se puede aplicar en cultivos agrícolas como el caucho (rubber) y la palma de aceite.

2. Limpiar las franjas casi a un metro de ancho en bosques primarios o secundarios a intervalos convenientes, y sembrar especies agrícolas perennes que toleren la sombra,

como el cacao. Luego, cuando las especies sembradas crezcan, la vegetación forestal se entresacará según convenga y, dentro de 5 años, se contará con un dosel de 2 ó 3 capas que estará compuesto por las especies agrícolas perennes y las forestales elegidas.

3. Introducir prácticas de manejo como la entresiembrada y la poda con el fin de que penetre más luz en la superficie del terreno y así sembrar especies agrícolas seleccionadas entre las hileras de los árboles. El grado de entresacado o de poda dependerá de la densidad arbórea de la estructura del dosel y otros.

4. En áreas inclinadas, las especies arbóreas seleccionadas pueden sembrarse en líneas perpendiculares a la pendiente (a lo largo del contorno) con diferentes disposiciones de siembra (hileras únicas, dobles, alternadas) con diversas distancias entre las hileras; los pastos del suelo pueden establecerse entre los árboles a lo largo del contorno. El área entre las hileras se puede usar para las especies agrícolas.

5. Sembrar, en forma proximal, árboles de múltiples propósitos alrededor de los lotes de los campos. Los árboles formarán cercos vivos y rompevientos, proporcionarán forraje y combustible y marcarán los límites de los predios agrícolas. El esquema es particularmente apropiado para áreas de tierra de uso extensivo.

6. Intercalar intensivamente con árboles, las áreas agrícolas manejadas en una forma regular o al azar. El sistema es conocido, por campesinos dueños de pequeños terrenos, en Asia, el Pacífico, África y América del Sur.

Ejemplos de agroforestería

Los huertos familiares, en áreas tropicales, representan uno de los ejemplos clásicos de la agroforestería. Estos constituyen formas altamente eficientes de uso de la tierra, incorporando una gran variedad de cultivos con diferentes hábitos de crecimiento. El resultado es una estructura similar a los bosques tropicales con diversas especies y una configuración por estratos. A través de las áreas tropicales, los sistemas agroforestales tradicionales pueden incluir, sin ningún problema, más de 100 especies de plantas por campo. Estas se usan para la obtención de materiales de construcción, leña, herramientas, medicamentos, alimentos para el ganado y el hombre. Por ejemplo, en México, los indios Huastecas manejan varios campos agrícolas y de barbecho, complejos huertos domésticos y lotes forestales que suman casi 300 especies. Las áreas pequeñas que rodean las casas, generalmente tienen un promedio de 80 a 25 especies de plantas útiles, en su mayoría plantas medicinales nativas. El manejo de la vegetación no perteneciente al cultivo, llevado a cabo por los Huastecas en estos complejos sistemas agrarios, ha influido en la evolución de las plantas individuales, en la distribución y composición del cultivo total y en las plantas no cultivadas. Igualmente, el sistema tradicional *pekarangan*, descrito en el Capítulo 6, abarca, en general, alrededor de 100 ó más especies de plantas. De dichas plantas, casi el 42% proporciona materiales de construcción y leña, el 18% corresponde a árboles frutales; el 14%, a hortalizas y el resto constituye plantas ornamentales y medicinales, especias y, además, cultivos comerciales.

Otra técnica agorforestal comprende el cultivo intercalado intensivo con cultivos de plantación, como el coco, el cacao, el café y el caucho (rubber). En India, los cultivos como la pimienta negra, el cacao y la piña se siembran bajo el coco, usando la luz disponible como también un gran porcentaje del volumen del suelo (Nair 1979). El café, el té y el cacao se siembran tradicionalmente bajo uno o dos estratos de árboles que proporcionan sombra; éstos corresponden, a menudo, a leguminosas fijadoras de nitrógeno que también otorgan valiosos productos madereros.

En lugares semiáridos y áridos, la práctica agroforestal preponderante es la utilización de árboles multipropósitos mezclados con cultivos o como parte de sistemas pastorales. Las especies como *Acacia* y *Prosopis*, no son valoradas sólo por sus productos madereros y de forraje, sino que también por la capacidad de enriquecimiento del suelo. La fenología única de la *Acacia albida* (sin hojas durante la temporada lluviosa) la convierte en un componente ideal de las regiones productoras de sorgo y mijo en el Oeste de África y en la zona de Sahel.

En México, se han descrito usos similares de árboles (Wilken 1977), donde los agricultores estimulan el cultivo de leguminosas nativas en campos cultivados. Desde Puebla y el sur de Tehuacan cruzando por Oaxaca, los predios pueden ser abiertos ó moderadamente densos con especies de mésquita (*Prosopis* spp.), guaje (*Leucaena esculenta*) y guamuchil (*Pithecellobium* spp.), todos éstos de propiedades familiares. La densidad de los cultivos varía desde campos con sólo unos pocos árboles hasta virtualmente bosques con cultivos sembrados abajo.

Cerca de Ostuncalco, Guatemala, se descubrió una práctica algo diferente, el sauco (*Sambucus mexicana*) es rigurosamente podado y colocado en algunos puntos de los campos de maíz y papas. Anualmente se extraen las hojas y las ramas, se esparcen alrededor de las plantas del cultivo, luego se cortan y se entierran con un azadón ancho. Los agricultores locales manifiestan que el rendimiento y la calidad del cultivo en los suelos volcánicos de esta región dependen de las aplicaciones anuales de hojas de sauco.

En muchas áreas, los árboles también se integran al predio al igual que los animales. Los predios se caracterizan por tener desde pequeños animales destinados a huertos domésticos en áreas tropicales, hasta ganado que pastorean los huertos de Chile (Altieri y Farrell 1984) y ganado que pastorea en plantaciones forestales en Nueva Zelandia y el sureste de EE.UU (Lewis et al. 1984, Tustin et al. 1979).

Opciones de manejo agroforestal

Cultivos en hileras en áreas de alto potencial

El cultivo intercalado constituye un sistema apropiado para los huertos domésticos y para las tierras cultivables. Este sistema puede ser beneficioso por lo siguiente:

- Proporciona abono verde o mulch para cultivos asociados de alimentos y regula los nutrientes de las plantas desde las capas más profundas del suelo.
- El material podado se aplica como mulch y proporciona sombra durante la temporada otoñal.
- Elimina las malezas.
- Proporciona las condiciones favorables para los macro y microorganismos del suelo; y al sembrarlo a lo largo del contorno del terreno elevado, proporciona una barrera para el control de la erosión del suelo.
- Realiza podas para la obtención de forraje, materiales para estacas y leña.
- Proporciona nitrógeno, biológicamente fijo, al cultivo asociado.

Siembra en contorno

La siembra en contorno es útil si se presentan las siguientes condiciones:

- Suelos agotados o pobres.
- Terrenos con pendientes (sometidos a erosión) y tierras no erosionadas.
- Densidad de población de media a alta.

La siembra en contorno puede ayudar de la siguiente manera:

- Abastece/mejora los nutrientes del suelo y aumenta el contenido de materia orgánica.
- Reduce la pérdida de agua y suelo.
- Reduce el riesgo de perder el cultivo durante temporadas extremadamente secas, moderando los efectos de la excesiva evaporación de humedad en terrenos expuestos.
- Brinda productos madereros para el consumo en el hogar o para la venta.

El sistema agrícola adecuado donde se puede utilizar este sistema está conformado por un cultivo permanente, un predio de tamaño medio o pequeño y un requerimiento de mano de obra de medio a alto por unidad de tierra. Las especies de crecimiento rápido pueden establecerse a comienzos de la temporada de cultivo, lo que brinda la posibilidad de crecer mientras que el ganado se mantenga fuera del área cultivable.

Banco de forraje (para corte)

Es de gran utilidad el establecimiento de bancos de forraje en lugares donde existe una alta densidad de población y mercados cercanos para los productos del ganado. Los bancos de forraje pueden mejorar la calidad y disponibilidad de forraje, sobre todo a fines de la estación seca o a comienzos de la estación húmeda. Además, estos bancos reestablecen/mejoran el contenido de material orgánico y los nutrientes del suelo.

El crear estos bancos de árboles facilitará la obtención de madera para cercos. Los cultivos puros (bloques, fajas, líneas) de árboles (principalmente forraje de hojas) se pueden plantar cerca de los corrales del ganado, en los jardines del predio, en tierras arables y áreas de pastoreo y a lo largo de los cursos de agua y alrededor de los márgenes de regadío.

El sistema agrícola apropiado para los bancos de forraje es en pequeños predios, donde hay un uso intensivo de la tierra, un sistema alimenticio de corral y una alta cantidad de mano de obra por animal.

Bancos de forraje (para pastoreo)

Los bancos de forraje para el pastoreo por lo general se ubican en las áreas de pastoreo. Pueden estar en cerros (especialmente especies de vainas) y en tierras elevadas a lo largo de los cursos de agua.

Los bancos de forraje para el pastoreo mejorarán la existencia y calidad del forraje en zonas cuya densidad de población es baja a media, y mejorarán/restaurarán los nutrientes del suelo y el nivel de la materia orgánica.

Una combinación de árboles (vainas y hojas) y pastos (cercados) se pueden plantar en bloques. Las especies de vainas y las especies foliares deberían plantarse a lo largo de los cercos. Los árboles aislados necesitan ser protegidos por espinas. Las especies proporcionarán un complemento alimenticio para el ganado durante las lluvias.

Las especies seleccionadas se deben adaptar al suelo y clima local y además tener otros atributos como palatabilidad, alto contenido protéico, facilidad de establecimiento al sembrar semillas o transplantar directamente. Los árboles de vainas para los cerros y tierras elevadas se siembran desde Agosto hasta Diciembre. Las variedades que se siembran por sí solas en los lugares de riego deben tolerar hasta seis meses de anegamiento.

Mejoramiento de los frutales

En el huerto y el área arable del predio es útil añadir árboles frutales. Los árboles aislados, plantados cerca del hogar, permitirán la protección de los animales. Los árboles frutales también se pueden plantar para crear límites alrededor del predio. Esto mejorará la nutrición, producirá frutas para la venta y proporcionará sombra y leña.

El uso del sistema está limitado por la disponibilidad de las variedades de frutas. Se necesita ajustar a la extensión de tierra disponible las variedades y el manejo, por ejemplo, propagación, injerto y yemación, plantación, aplicación de mulch, riego y el control de las malezas, plagas y enfermedades.

Bordes/cercos vivos

Los bordes y cercos vivos son útiles en áreas con una densidad de población alta a media y donde los animales deambulan libremente en el sector. Los cercos vivos o bordes proporcionan una alternativa a las rejas construidas, puesto que:

- Demarcan los límites; por ejemplo entre/alrededor de escuelas, predios y campos (en especial prados en sistemas de pastoreo).
- Protegen de la devastación causada por el ganado que pastorea libremente, por ejemplo, tierras de cultivo, huertos, semilleros, bosquetes forestales, embalses, bancos de proteínas (sistemas de pastoreo), huertos de verduras y casas.

Además, los cercos pueden ofrecer beneficios secundarios, tales como la reducción de la influencia adversa del viento, y proporcionan no sólo material orgánico a suelos adyacentes, sino también diversos productos a las comunidades locales (leña, palos, frutas, fibra, medicina, etc.).

El sistema agrícola apropiado para los cercos vivos es el predio pequeño o medio con un cultivo permanente.

Cultivo intercalado o combinado

El cultivo intercalado o combinado es más útil en suelos pobres o que se agotan fácilmente, en tierras planas o con poca pendiente y en áreas con una densidad de población media. Este sistema servirá para restaurar/mejorar los nutrientes del suelo y para aumentar la materia orgánica.

Aquí el sistema agrícola apropiado es un cultivo permanente, predios de tamaño pequeño a medio que utilicen un requerimiento de mano de obra medio, por unidad de tierra, y que no crien animales (cuando hay una alta densidad arbórea).

Plantación de árboles domésticos/industriales en estratos múltiples

El cultivo de árboles en estratos múltiples se adapta mejor a los huertos familiares y al estrato más alto de árboles productivos en cercos o plantaciones. La plantación de multiestratos es apropiada en áreas donde existe una alta densidad de población y donde existe un régimen de lluvias considerable. Aportará recursos para los productos de los árboles, algunos de los cuales abastecerán las necesidades de la familia. Esto también puede reducir los gastos de dinero y puede aumentar el ingreso de éste. Los sistemas de cultivo de árboles en estratos múltiples son apropiados para los sistemas agrícolas pequeños con un alto requerimiento de mano de obra por área.

Plantación de árboles alrededor de canales de riego y embalses

Plantar árboles alrededor de canales de riego y embalses es apropiado donde exista una densidad alta de población o hay una gran cantidad de animales. El plantar árboles reducirá el daño causado a los canales de riego y embalses por el ganado. Proporcionará además, materiales para los productos de madera que se consumen en el hogar o que se venden. Los árboles se pueden plantar en franjas o en bosquetes. Una combinación de árboles con pasto también ayuda. La plantación también se puede separar y combinar con especies de estratos múltiples. El sistema agrícola apropiado es un predio pequeño ó mediano con un cultivo permanente.

Desmalezaje selectivo

Donde existen grandes cantidades de acres de bosque nativo con bosques madereros, el desmalezaje selectivo es útil. También es particularmente útil en áreas descongestionadas donde exista una baja densidad de población. El desmalezaje selectivo conservará la vegetación nativa funcional, la biodiversidad, y ayudará a asegurar el abastecimiento futuro de productos del bosque y germoplasma. En este sistema los árboles seleccionados se dejan en las tierras de cultivo. Las líneas de árboles y arbustos se dejan alrededor de tierras recién abiertas, entre campos y a lo largo de caminos, huellas y cursos de agua. El sistema agrícola apropiado son los predios medianos y grandes con un bajo requerimiento de mano de obra por área.

Plantación de bosquetes para leña y postes

La plantación de bosquetes para leña y postes es apropiada para áreas deforestadas y para todas las zonas con un mercado para postes y/o leña. Dichos bosquetes pueden producir leña/postes para satisfacer las necesidades familiares y/o las necesidades de la industria familiar. También pueden proporcionar dinero para la familia. Los bosquetes deben cercarse. Se recomienda poner «cercos vivos», donde sea posible, dentro del área de protección que ofrecen los postes. Se recomienda además, utilizar rompe fuegos. El sistema agrícola apropiado es el predio de mediano a grande con un requerimiento de mano de obra de bajo a medio por área unitaria. El sistema también es apropiado para los predios de tabaco (para la construcción de establos y para curación) y en los pequeñas industrias, por ejemplo, albalínería y pequeñas minas.