

CENTRO AGRONÓMICO TROPICAL DE INVESTIGACIÓN Y ENSEÑANZA

ÁREA DE CUENCAS Y SISTEMAS AGROFORESTALES

PROYECTO AGROFORESTAL CATIE-GTZ

CONCEPTOS BÁSICOS DE AGROFORESTERÍA

**Francisco Jiménez
Reinhold Muschler**

TURRIALBA, COSTA RICA, 1999

**Este material forma parte del Módulo de Enseñanza Agroforestal:
“Introducción a los Sistemas Agroforestales”, del Proyecto Agroforestal
CATIE-GTZ, el cual está actualmente en proceso de publicación**

CONCEPTOS BÁSICOS DE AGROFORESTERÍA

CONCEPTO DE AGROFORESTERÍA Y SU IMPORTANCIA COMO FORMA DE USO DE LA TIERRA

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. Varios autores (Bene *et al.*, 1977; Combe y Budowski, 1979; Stewart, 1981; Wiersum, 1981; Agroforestry Systems, 1982; Lundgren y Raintree, 1982; Nair, 1985, 1997; Somarriba, 1992) han hecho importantes aportes a esta temática.

El ICRAF promovió como definición, que agroforestería se refiere a sistemas de uso de la tierra donde especies leñosas perennes son usadas y manejadas deliberadamente junto con cultivos agrícolas y/o animales, en alguna forma de arreglo espacial o secuencia temporal. En los sistemas agroforestales hay interacciones ecológicas y económicas entre los diferentes componentes (Lundgren y Raintree, 1982). Somarriba (1990) presentó una definición simplificada de la Agroforestería (Acetato 1) eliminando argumentos innecesarios.

Las plantas leñosas son aquellas que contienen lignina, un compuesto orgánico que impregna y une las células y las fibras de ciertas plantas y que los tejidos están organizados de manera que toman las características de la madera. Con raras excepciones, las plantas leñosas son perennes. Los árboles, arbustos y algunas plantas trepadoras constituyen las principales leñosas. En Agroforestería, las bambúes, aunque no contienen lignina, son también consideradas en el mismo grupo de las leñosas perennes. Las plantas consideradas de fines agrícolas en la definición anterior son los cultivos anuales y las herbáceas incluyendo los pastos.

La Agroforestería se ha desarrollado como una interfase entre la agricultura y la silvicultura, con objetivos múltiples y prácticas mixtas de uso de la tierra. El desarrollo de estas prácticas es fundamentalmente una respuesta a las necesidades y condiciones particulares de muchas zonas tropicales, donde la agricultura y forestería convencionales por sí solas, no han podido satisfacer las diferentes demandas (Acetato 2). Por el contrario, se da un conflicto de manejo entre la necesidad de proteger las tierras bajo cobertura forestal y la demanda de más tierras para la producción de alimentos y la ganadería. Es justamente de ese conflicto, que surge con gran fuerza la Agroforestería como forma de uso de la tierra que puede conciliar los objetivos de producción y conservación, con una orientación hacia el uso y aprovechamiento múltiple de los recursos (Acetato 3).

Teóricamente, todos los sistemas agroforestales poseen tres atributos: productividad, sostenibilidad y adoptabilidad (Acetato 4). La productividad significa que el sistema debe ser capaz de producir los bienes o mercancías requeridos por los productores, ya sea para subsistencia o fines comerciales. Entre las formas como la Agroforestería pueden mejorar la productividad están el aumento en los rendimientos de los cultivos asociados y de los productos arbóreos, la reducción de insumos externos y una mayor eficiencia de la mano de obra. La sostenibilidad se refiere a que el sistema pueda permanecer productivo un periodo largo; esto depende en gran parte de que se puedan conservar los recursos naturales, de los cuales la producción es dependiente. El control de la erosión del suelo y el mantenimiento o mejoramiento de su fertilidad son los elementos principales que contribuyen a esa propiedad de los sistemas agroforestales. La adoptabilidad o practicabilidad considera que debe ser un sistema que el agricultor pueda aceptar, dentro de las limitaciones impuestas por la disponibilidad de mano de obra, de recursos económicos, así como por los insumos y servicios disponibles localmente. Esto último está referido a prácticas y tecnologías nuevas o mejoradas que se introducen en una zona determinada.

FUNCIONES, VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LA AGROFORESTERÍA

La agroforestería tiene como objetivo principal la integración de árboles y otras especies perennes con cultivos y/o ganado, para aumentar los rendimientos, mejorar la fertilidad del suelo, proporcionar una gama de productos útiles y mejorar el nivel de vida de los agricultores. Se considera una herramienta fundamental en la lucha por la seguridad alimentaria, la autosuficiencia de los agricultores y la conservación de los recursos naturales. Muchos sistemas agrícolas tradicionales incorporan aspectos de lo que ahora se denomina agroforestería. Como ciencia moderna, la agroforestería busca validar y extender los beneficios de las interacciones suelo-planta-atmósfera-hombre, así como desarrollar nuevas prácticas que respondan a tendencias socioecológicas actuales de crecimiento acelerado de la población, pobreza rural y degradación ambiental.

Si bien la agroforestería está bien adaptada a pequeños productores que viven, al menos en parte, de una agricultura de subsistencia, también existen prácticas agroforestales destinadas a sistemas intensivos de uso de la tierra en grandes explotaciones, como por ejemplo árboles utilizados como sombra de cultivos, árboles para conservación de suelos, bancos de proteína, etc.

La agroforestería no debe ser considerada la panacea para solucionar todos los problemas en cualquier región. No es posible su aplicación de manera uniforme, sino que existen escenarios bien definidos donde puede ser útil. Debe ser considerada como una opción tecnológica para el desarrollo rural integrado, para mejorar los sistemas de producción y contribuir a la conservación del ambiente. Los resultados que se obtengan de su aplicación serán función de la estrategia conjunta que se aplique para resolver problemas específicos que se presenten, en un momento dado, en un lugar determinado y en un contexto socioeconómico y ecológico.

La agroforestería combina las funciones de producción y servicio (**Acetato 5**). La capacidad de combinar la producción y la conservación de los recursos naturales le confiere un papel indiscutible en la sostenibilidad. Los árboles de uso múltiple, en los cuales se basa la agroforestería, pueden hacer una contribución significativa a las funciones productivas y de servicio o protección de los sistemas de uso de la tierra donde ellos crecen. Estas funciones no son mutuamente excluyentes ni son específicas de una zona determinada, sino únicamente las más obvias, con respecto a la presencia de árboles y/o animales.

Las principales funciones productivas de la Agroforestería son:

- Producción forestal: madera, leña, carbón, vigas, travesaños, celulosa, varas, estacones, postes.
- Producción de alimentos: carne, frutos, flores, brotes, nueces, aceites comestibles, bebidas, forraje.
- Producción de otros bienes: aceites, gomas, resinas, taninos, fibras, latex, ceras, sustancias medicinales, cueros, material para tejido, esencias, cenizas, fenoles, artesanías, miel, ceras, lacas, etc.

Las funciones de servicio y protección más importantes de la agroforestería son las siguientes:

- Conservación del suelo mediante el control de la erosión (por la presencia de una cobertura permanente del suelo, el efecto de las barreras contra la escorrentía superficial), el mantenimiento de la fertilidad del suelo (incorporación de materia orgánica y nutrientes) y mantenimiento o mejoramiento de las propiedades físicas del suelo.
- La creación de un microclima, el cual puede ser beneficioso para algunas plantas y animales, por ejemplo modificaciones de la radiación solar, la temperatura, la humedad del aire y del suelo y el viento y que puede ayudar en el control de malezas (**acetato 6**).
- Protección de cultivos, animales y humanos, mediante rompevientos, fajas protectoras, sombreadamiento, estabilización de taludes, etc.
- Diferentes funciones sociológicas, ligadas a múltiples roles que juegan los árboles en diferentes civilizaciones, por ejemplo producción de madera, leña, y alimentos, diversificación de la producción, disminución de riesgos del agricultor, reducción de presión sobre la tierra, creación de fuentes de trabajo e ingresos adicionales para el agricultor, etc.

- **Funciones y servicios ambientales y ecológicos:** regulación hidrológica, fijación de carbono y nitrógeno, provisión de oxígeno, sumidero y captura de gases invernadero, equilibrio térmico ambiental, limpieza de atmósferas contaminadas, promoción de la biodiversidad, paisajismo, recreación, ecoturismo.

Sin embargo, los árboles que se utilizan en los sistemas agroforestales también pueden tener efectos negativos sobre los cultivos y el ambiente. Por ejemplo: competencia por radiación solar, nutrientes, agua, hospederos de plagas, alelopatía, etc. (acetato 7).

Aunque la Agroforestería, como se indicó antes, no es a priori la panacea para la solución de todos los problemas de desarrollo rural, la asociación de árboles y otros componentes agrícolas contribuyen a solventar problemas bien conocidos en las tres principales zonas agroecológicas de los trópicos (Lundgren, 1987):

- Los trópicos húmedos de baja altitud, donde la Agroforestería puede jugar un papel importante en el mantenimiento de la fertilidad del suelo.
- Las zonas de pendientes fuertes (laderas, colinas, montañas) donde la agroforestería puede contribuir a la lucha contra la erosión.
- Las zonas semiáridas y subhúmedas, las cuales son usadas extensivamente para pastoreo, donde la agroforestería puede ayudar en la lucha contra la desertificación.

Budowski (1980) presentó una lista de ventajas y desventajas de las prácticas agroforestales con respecto a los monocultivos, tanto desde el punto de vista biológico (llamadas aquí físicobiológicas) como en aspectos socioeconómicos (Acetatos 8, 9, 10, y 11). No todas pueden aplicarse a un sistema particular y algunas pueden ser objeto de discusión en determinadas circunstancias. En todo caso, sirven para una descripción y evaluación más objetiva de los sistemas agroforestales.

La interacción de los componentes de los sistemas agroforestales puede ser positiva (complementariedad) o negativa (competencia) (Muschler, 1993). Con frecuencia, se sobreestima las potencialidades de la Agroforestería (muchas veces porque las experiencias se han desarrollado en sitios donde el agua, la radiación y los nutrientes no son limitantes) lo que ha llevado a la percepción que cuando los cultivos y los árboles interactúan, ellos se complementan más que competir por recursos para el crecimiento y producción. Varios autores (Young, 1989; Wilson 1990; Van Noordwijk y Dommergues, 1990; Ong *et al.*, 1995) han transformado estas suposiciones en hipótesis que han sido resumidas por Sánchez (1995) (cuadro 1).

Cuadro 1. Hipótesis sobre las interacciones biofísicas de sistemas agroforestales y disponibilidad de información para evaluarlas.

Hipótesis	Estado
1. Los sistemas agroforestales (SAF) pueden controlar la erosión.	1. Probado en hileras en contorno y sistemas multiestratos.
2. Los SAF pueden mantener la materia orgánica (MO) a niveles satisfactorios para la fertilidad del suelo.	2. No probado. Demasiado simplista, debido a que no hay niveles reales de MO relacionados a la fertilidad del suelo. Incrementos de MO han sido detectados temporalmente en suelos arenosos bajo cultivo en callejones.
3. Los SAF pueden mantener propiedades físicas del suelo más favorables que los sistemas agrícolas.	3. Parcialmente probado, para suelos bajo hileras en contorno con relación a campos adyacentes cultivados.
4. Los fijadores de nitrógeno pueden aumentar fuertemente el ingreso de nitrógeno en los sistemas agroforestales	4. Probado. Limitada cuantificación de fijación de N por leguminosas y subsecuente acumulación de N en la biomasa y retorno al suelo vía hojarasca o mantillo.
5. Los árboles en SAF proveen capturan nutrientes de capas profundas del subsuelo donde no son accesibles para las raíces de los cultivos.	5. Probado para captura de nitratos en subsuelos óxicos con carga positiva. No ha sido ampliamente probado y no parece ser relevante en otros subsuelos infértiles.
6. Los SAF pueden llevar a un ciclaje de nutrientes más cerrado, un uso más eficiente de nutrientes y menor pérdida por lavado.	6. No probado cuantitativamente. Altamente probable en muchos sistemas, pero no hay datos.
7. El ciclaje de bases acumuladas por los árboles en SAF y retomados al suelo como hojarasca ayuda a reducir la acidez del suelo.	7. Probado para hojarasca alta en calcio y magnesio, pero no en SAF. La descomposición de hojarasca produce sustancias orgánicas metabólicas que se acomplejan temporalmente con Al en la solución del suelo disminuyendo así la acidez por periodos cortos.
8. La agroforestería es un componente exitoso para la recuperación de suelos degradados.	8. Muy general, probablemente ha sido probado en muchas circunstancias. Probado en suelos alcalinos y salinos. Probado en suelos agotados de N en Zambia con barbechos de sesbania.
9. El papel de las raíces de los árboles es tan importante como la biomasa aérea en mantener la fertilidad del suelo.	9. No ha sido probado.
10. La sombra de los árboles mejora la actividad biológica y mineralización del nitrógeno.	10. Probado.
11. Las raíces de árboles fijadores de N tienen más nódulos cuando están en estrecho contacto con raíces de plantas no fijadores de N:	11. No ha sido probado. Altamente controversial.
12. Los cultivos anuales son incapaces de usar toda el agua almacenada en el suelo.	12. Probado para cultivo de raíces en barbecho
13. La combinación de árboles y cultivos generalmente aumenta el uso de agua de lluvia.	13. Probado.
14. Debido a que los SAF usan más agua que los sistemas de cultivo anual, ellos deben aumentar la productividad primaria	14. En prueba, depende de la competencia.
15. Hay menos competencia entre árboles y cultivos que desarrollan el dosel en tiempos diferentes.	15. Probado.
16. La competencia por agua en SAF puede ser reducida mediante modificación de los arreglos espaciales de los árboles.	16. Probado.

Fuente: Sánchez, 1995.

LOS SISTEMAS AGROFORESTALES COMO AGROECOSISTEMAS

Un sistema es un conjunto de componentes que funcionan como una unidad (Hart, 1985). Los agroecosistemas o ecosistemas artificiales, como su nombre lo indica, son sistemas en los cuales se alteran las condiciones naturales; estos sistemas son generalmente antropocéntricos, dirigidos y manipulados por el hombre, quien ha determinado los componentes bióticos o alterado también los componentes abióticos para tratar de optimizar las cosechas y los rendimientos (Fassbender, 1992). Como todo sistema, un agroecosistema presenta los siguientes atributos:

- **Entradas:** las ganancias del agroecosistema son los aportes físicos, químicos y biológicos (flujos de energía o materia) que contribuyen al mismo. Por ejemplo lluvia, radiación solar, fertilizantes, semillas, etc).
- **Salidas:** son flujos de energía o materia que salen del sistema por cualquier vía o razón. Por ejemplo madera, productos agrícolas, nutrimentos, energía térmica, etc.
- **Componentes:** son los elementos bióticos y abióticos. Los componentes bióticos incluyen todos los organismos vivos (autótrofos y heterótrofos) que participan en el agroecosistema y entre los abióticos hay que considerar los componentes climáticos, fisiográficos, edafológicos y geológicos.
- **Interacciones:** son las relaciones que se establecen entre los componentes del sistema. Pueden ser de tipo interespecífico o intraespecífico y de carácter positivo (sinérgica), neutra o negativa (antagónica).
- **Límites:** son las fronteras físicas del sistema. Generalmente dependen del tipo de estudio que se quiera hacer en un momento determinado.
- **Jerarquía:** indica la posición del sistema con respecto a otros sistemas y las relaciones entre ellos.

Un agroecosistema tiene una estructura relacionada con el arreglo o disposición en el espacio y el tiempo de los componentes que lo forman y tiene una función relacionada con el proceso de recibir entradas y producir salidas (Hart, 1985). En este sentido, un sistema agroforestal es un agroecosistema cuyos componentes son árboles, cultivos y/o animales que interactúan de una manera compleja y dinámica, presentando características estructurales y funcionales. El sistema interactúa con otros agroecosistemas formando una parcela o finca. En el **acetato 12** se muestra una representación esquemática de un sistema agroforestal cacao-plátano-poró.

CLASIFICACION DE LOS SISTEMAS AGROFORESTALES

La clasificación de los sistemas agroforestales de acuerdo a algunos criterios comunes, es necesaria para su entendimiento, evaluación y mejoramiento (Nair, 1997). La complejidad de los sistemas agroforestales hace muy difícil su clasificación bajo un solo esquema. Los criterios de clasificación más frecuentes son: la estructura del sistema, la 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 13). Sin embargo, estos criterios no son independientes ni excluyentes. La clasificación estructural basada en la naturaleza de los componentes (acetato 14), el arreglo espacial (acetato 15) o el arreglo temporal de esos componentes (acetato 16).

La clasificación de los sistemas agroforestales 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 17 y 18), como se detalla a continuación:

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 elementos nutritivos en la vegetación, se restablece la producción de residuos vegetales (materia orgánica y nutrientes) y el suelo recupera finalmente su fertilidad original.

Barbecho mejorado: es un sistema rotacional en el cual se plantan árboles, preferiblemente leguminosos fijadores de nitrógeno o de valor comercial (además de los árboles se pueden sembrar leguminosas herbáceas) en el barbecho siguiente a un periodo de cultivo con el fin de obtener beneficios económicos y/ o ecológicos. Cuando se busca un beneficio económico, la vegetación de barbecho se enriquece con árboles frutales, maderables u otro uso importante. Cuando se pretende un beneficio biológico, el barbecho se enriquece con especies leguminosas para acelerar la producción de biomasa, acumular nutrimentos en el sistema, mejorar las propiedades del suelo y acortar el periodo de descanso.

Sistemas Taungya: son sistemas basados en plantaciones forestales asociadas con rotaciones de cultivos temporales con la finalidad de producir madera en su etapa final. El cultivo agrícola se limita a un periodo de uno a cuatro años, hasta que los árboles plantados cierran su dosel. El sistema permite una mayor y mejor utilización del espacio, mejor protección del suelo, reduce el costo y la limpieza inicial de las plantaciones, en comparación a una plantación establecida sin agricultura. Además el agricultor puede obtener productos alimenticios.

Árboles en parcelas de cultivo: consiste en la introducción de árboles dispersos al azar o de acuerdo con modelos algo sistemáticos, en áreas de uso agrícola, con espaciamientos amplios para disminuir la competencia por luz, agua y nutrientes con los cultivos ya sean anuales (maíz, frijol, arroz, sorgo) o semiperennes (plátano). Dependiendo de las necesidades de la zona, los árboles pueden ser maderables, frutales, mejoradores del suelo, para leña, ornamentales, etc.

Cultivo en plantaciones forestales: consiste en la introducción o siembra de cultivos en plantaciones forestales ya establecidas, con el objetivo de hacer un uso más eficiente del suelo, hacer más atractiva y rentable la inversión en reforestación y diversificar la producción. Entre los cultivos más empleados para este fin está la naranjilla (*Solanum quitoense*), la mora (*Rubus glaucus*) y la granadilla (*Passiflora ligularis*).

Árboles para sombra de cultivos: consiste en la combinación simultánea de árboles con cultivos perennes, tales como café (*Coffea arabica*), cacao (*Theobroma cacao*), té (*Camelia sinensis*), cardamomo (*Elettaria cardomomun*), pimienta (*Piper nigrum*), y vainilla (*Vanilla planifolia*). Generalmente son sistemas de cultivo intercalado, donde el árbol sirve de sombra y en caso de cultivos de enredadera también como tutor. Los árboles pueden ser maderables como por ejemplo *Cordia alliodora* o *Eucalyptus deglupta*, especies leguminosas de uso múltiple como *Inga* sp., *Gliricidia sepium* y *Erythrina poeppigiana*) o frutales como *Citrus* sp y *Macadamia* sp.).

Leñosas como soportes vivos para cultivos trepadores o de enredadera: este sistema se refiere a la utilización de especies leñosas para base para establecer las líneas de soporte de algunos cultivos que requieren tutores para un mejor crecimiento y producción. Ejemplos de éstos son el ñame (*Dioscorea* spp), y la maracuyá (*Passiflora edulis*) y hortalizas como el pepino (*Cucumis sativus*) y el tomate (*Lycopersicon esculentum*). 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*, *Flemingia macrophilla* y *Cassia siamea*.

Huertos caseros: son sistemas agroforestales formados por una combinación de plantas que integran la producción agrícola (raíces, tubérculos, hortalizas, frutas) y forestal (madera, leña, postes) e inclusive generalmente plantas medicinales y ornamentales. Estos huertos se encuentran en los alrededores de las casas de los agricultores, son plantados y mantenidos por los miembros de la finca y sus productos son dedicados principalmente al consumo familiar. Su tamaño generalmente es menor de 1 hectárea. Cuando estos sistemas integran también la producción pecuaria (especies menores) 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 setos vivos están orientados de manera que minimizan la sombra dentro de los callejones o a lo largo de la ladera para minimizar la erosión.

Los árboles o arbustos manejados como setos vivos se podan periódicamente durante la fase de cultivo para evitar el exceso de sombreado sobre el cultivo asociado. El follaje podado, incluyendo los tallos jóvenes es incorporado al suelo como abono verde o usados 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*. Los cultivos más usados han sido *Zea mays*, *Sorghum bicolor*, *Phaseolus vulgaris* y *Vigna sinensis*.

Árboles en linderos y cinturones de protección: consiste 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 (definidos por los linderos de las parcelas) 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. Generalmente consiste de especies maderables, por lo que no se recomienda el uso de alambre que puede dañar la corteza. Puede ser una práctica agrosilvicultural o silvopastoril. Principalmente el propósito de la plantación permite diferenciarlo de las cercas vivas. La siembra de árboles en linderos entre propietarios generalmente requiere de acuerdos previos entre ellos.

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 los animales 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 los animales, la protección y conservación del suelo y el agua y la producción de madera, leña, frutos y otros productos. También puede ser una práctica silvopastoril.

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 control de la erosión, mantenimiento de la fertilidad del suelo o ambos, a través de estabilización de las estructuras, reducción de la escorrentía superficial, aporte de biomasa y ciclaje de nutrientes, aunque se puede combinar con otros objetivos como producción de leña, frutos, semillas, alimentos, forraje, etc. Uno de los ejemplos más 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 como las acequias de ladera.

Sistemas silvopastoriles (especies leñosas + pasturas/animales)

Cercas vivas: consiste en la siembra de leñosas para la delimitación de potreros o propiedades, la mayoría de las veces complementada con el uso de alambre. 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, ornamental, regulación ambiental y promover biodiversidad, lo que hace más destacable su valor económico, ecológico y ambiental.

Bancos forrajeros: consiste en el establecimiento de áreas forrajeras en un bloque compacto, con especies leñosas sembradas a alta densidad, en sitios localizados en las fincas ganaderas o sus alrededores, con el propósito de maximizar la producción de biomasa de buena calidad nutritiva. Si la forrajera sembrada tiene más de 15% de proteína cruda, el bloque constituye un banco de proteína; si la 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, 1998). Tienen como propósito fundamental complementar la dieta alimenticia de los animales durante la época de escasez de pastos. Algunas especies como *Gliricidia sepium*, *Erythrina poeppigiana*, *E. berteroana*, *E. fusca*, y *Morus* spp, son las más usadas en bancos forrajeros (Pezo y Ibrahim, 1998).

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*), pejívalle (*Bactris gassipaes*) y pino (*Pinus* spp), aunque según Pezo y Ibrahim (1998), en América estos sistemas aún no están muy difundidos.

Árboles y arbustos dispersos en potreros: consiste en presencia de árboles, arbustos o ambos en los potreros, sin ningún arreglo espacial definido y con objetivos diversos como son producción de madera, leña, frutos, fuente de ramoneo, provisión de sombra y refugio para el ganado y mejoramiento del suelo bajo árboles. El establecimiento de las especies leñosas puede provenir por diversos medios: ya sea porque la vegetación climax de un sitio está constituida por la combinación de árboles y arbustos con pasturas, como resultado de procesos de sucesión vegetal, medios antrópicos a través de la plantación de árboles o manejo selectivo de especies (Pezo y Ibrahim, 1998).

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 como por ejemplo *Pennisetum*

purpureum y *Panicum maximun*. Las especies leñosas generalmente son las mismas que en el cultivo en callejones convencional. En el caso que material de poda se las especies leñosas se utilice como forraje en periodos de escasez, hay que tomar en cuenta que ocurre una exportación de nutrimentos del sistema que puede afectar su productividad.

Sistemas agrosilvopastoriles (cultivos+especies leñosas+pasturas/animales)

Huertos caseros con animales: cuando los huertos caseros descritos anteriormente incluyen además de la producción agrosilvicultural, la producción pecuaria, principalmente de especies menores como cerdos, gallinas, patos, gansos, ovejas, cabras, etc, estamos en presencia de un sistema agroforestal múltiple y complejo, pero bastante común en muchos países de América Tropical, clasificado generalmente como agrosilvopastoril, aunque más correctamente debe llamarse sistema agrosilvopecuario, para dar cabida amplia a múltiples especies animales que se encuentran en estos sistemas en diferentes partes del mundo.

Setos y bosquetes de usos múltiples: se incluyen aquí sistemas complejos de setos y bosquetes de usos múltiples que combinan componentes agrícolas, silvícolas y pecuarios como el ramoneo, la producción de forraje, la producción de madera, producción de leña, utilización de abono verde para cultivos, protección del suelo, recuperación de suelos, etc.

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 polen) y el gusano de seda.

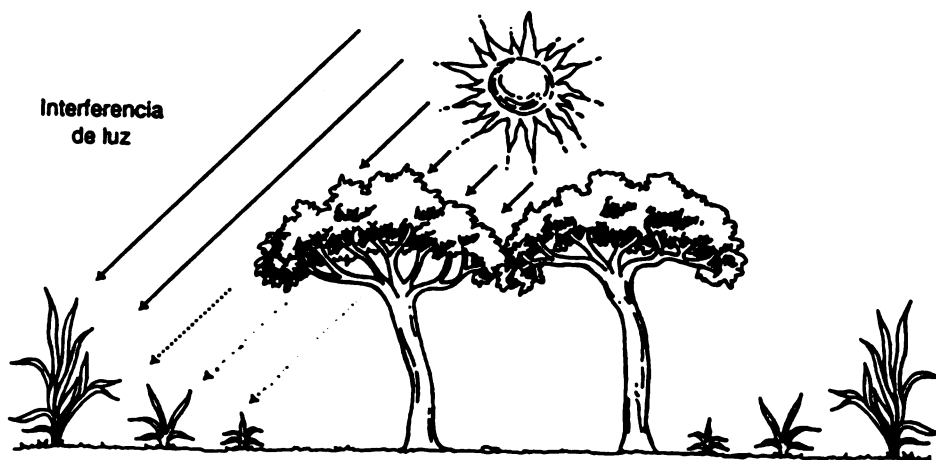
Silvoacuacultura: consiste en la siembra de especies leñosas alrededor de los estanques con el fin de producir sombra, aportar materia orgánica al agua, utilizar las hojas como alimento para los peces, servir de cerca viva y para estabilizar el terrenos de los estanques.

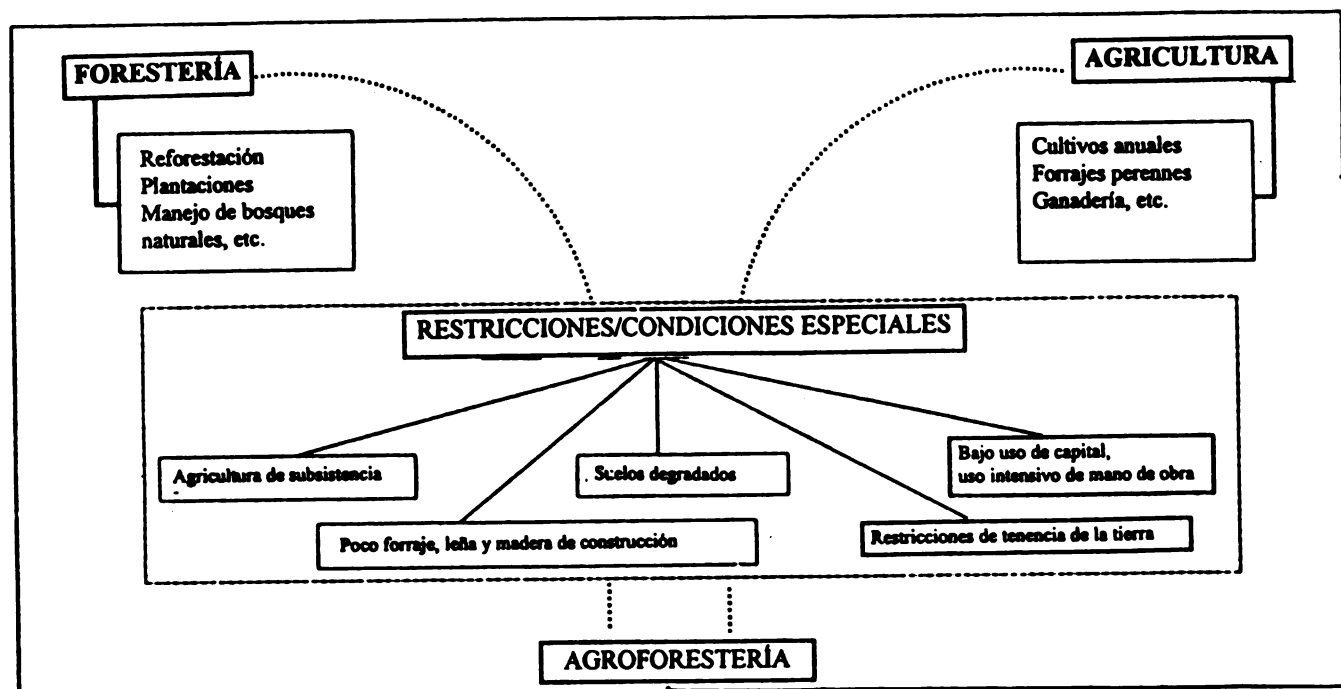
DEFINICION DE AGROFORESTERIA

(Somarriba, 1990)

Agroforestería es una forma de cultivo múltiple en la que se cumplen tres condiciones fundamentales:

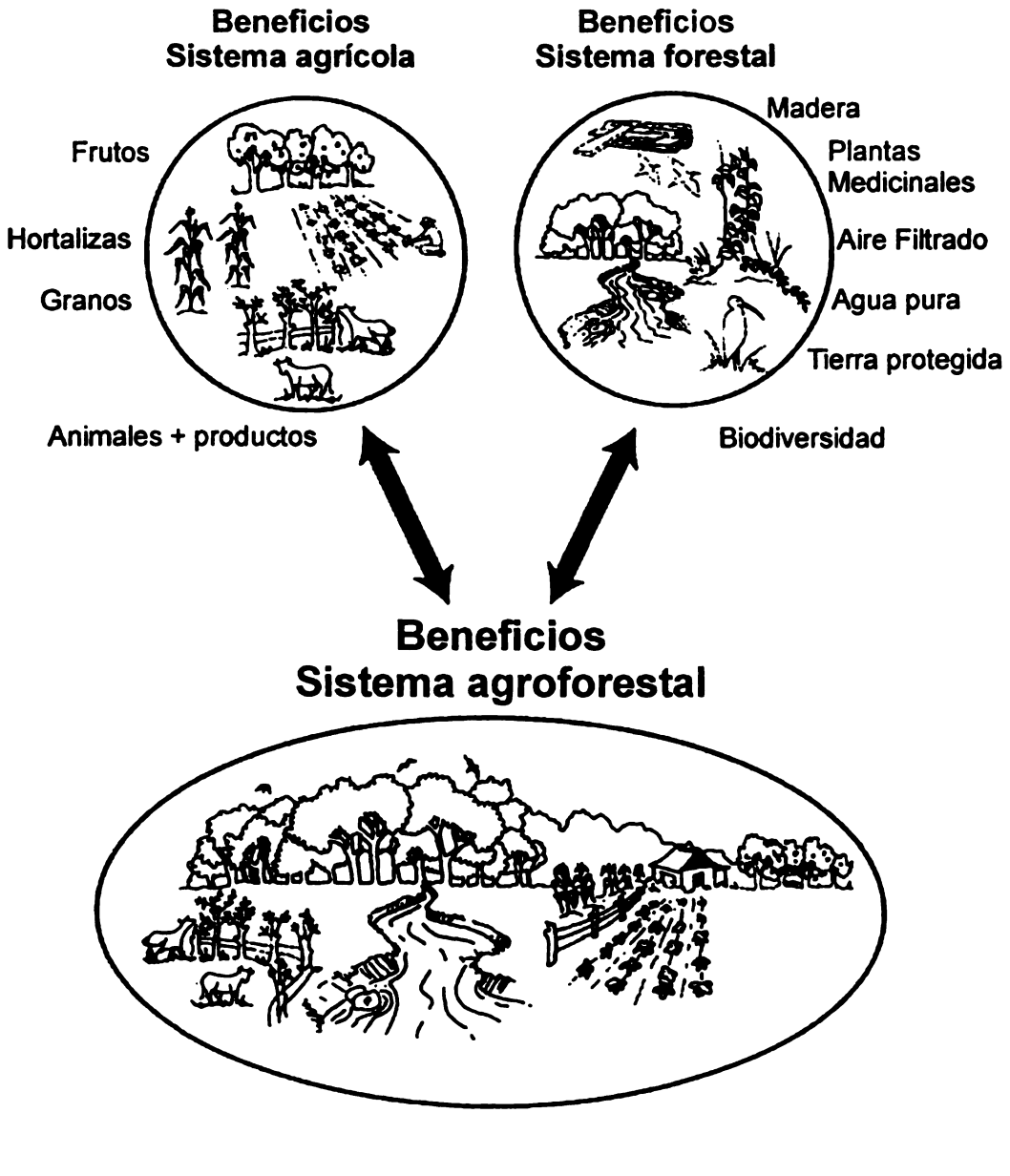
1. Existen al menos dos especies de plantas que interactúan biológicamente;
2. Al menos uno de los componentes es una leñosa perenne;
3. Al menos uno de los componentes es una planta manejada con fines agrícolas (incluyendo pastos).





En los trópicos, la agroforestería surge como respuesta a las necesidades y restricciones biofísicas y socioeconómicas existentes que no han sido satisfechas a través de la forestería o la agricultura de manera independiente.

Sistemas agroforestales combinan beneficios agrícolas con beneficios forestales



Atributos de los sistemas agroforestales

Productividad

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

Sostenibilidad

El sistema permanece productivo 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.

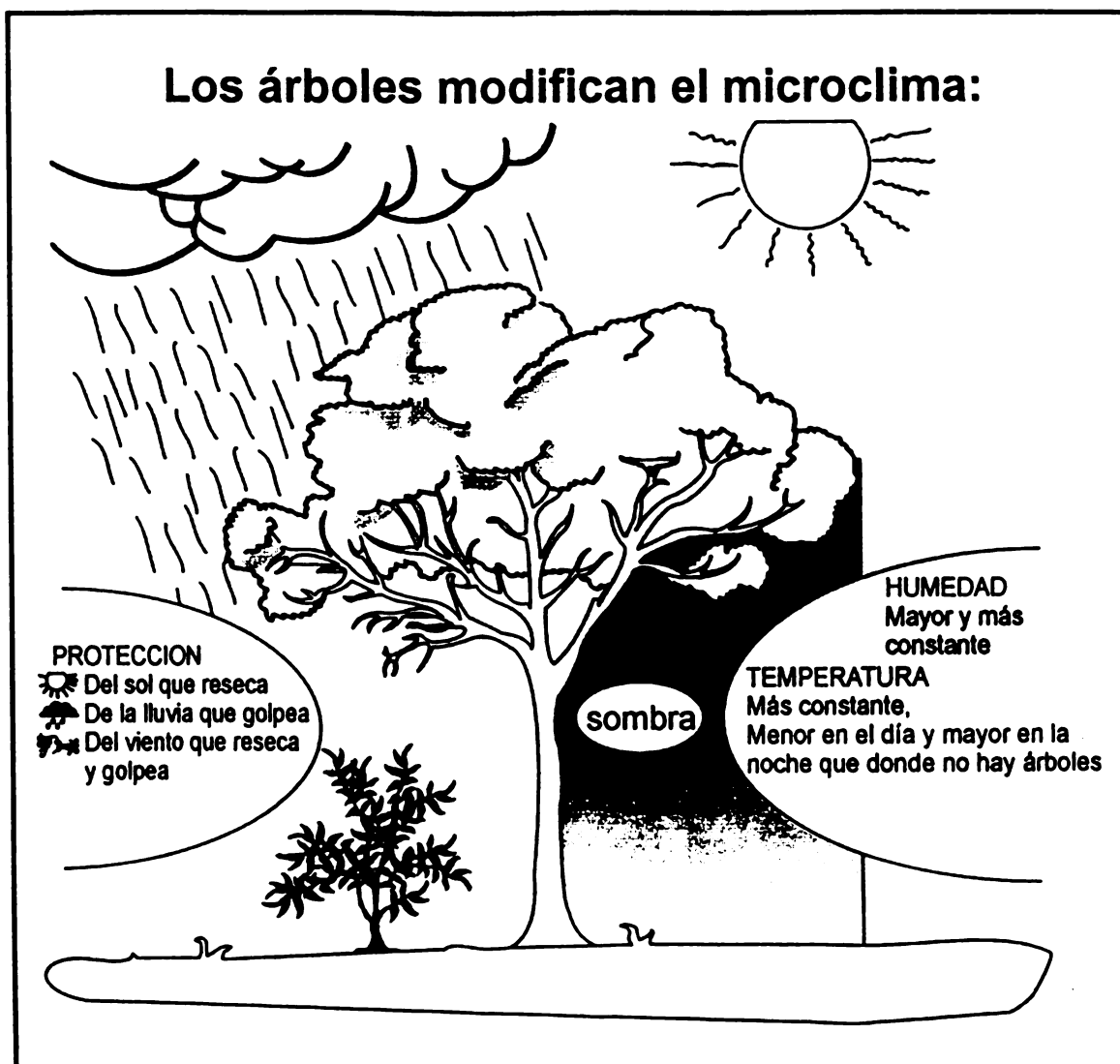
Funciones de la Agroforestería

Funciones productivas

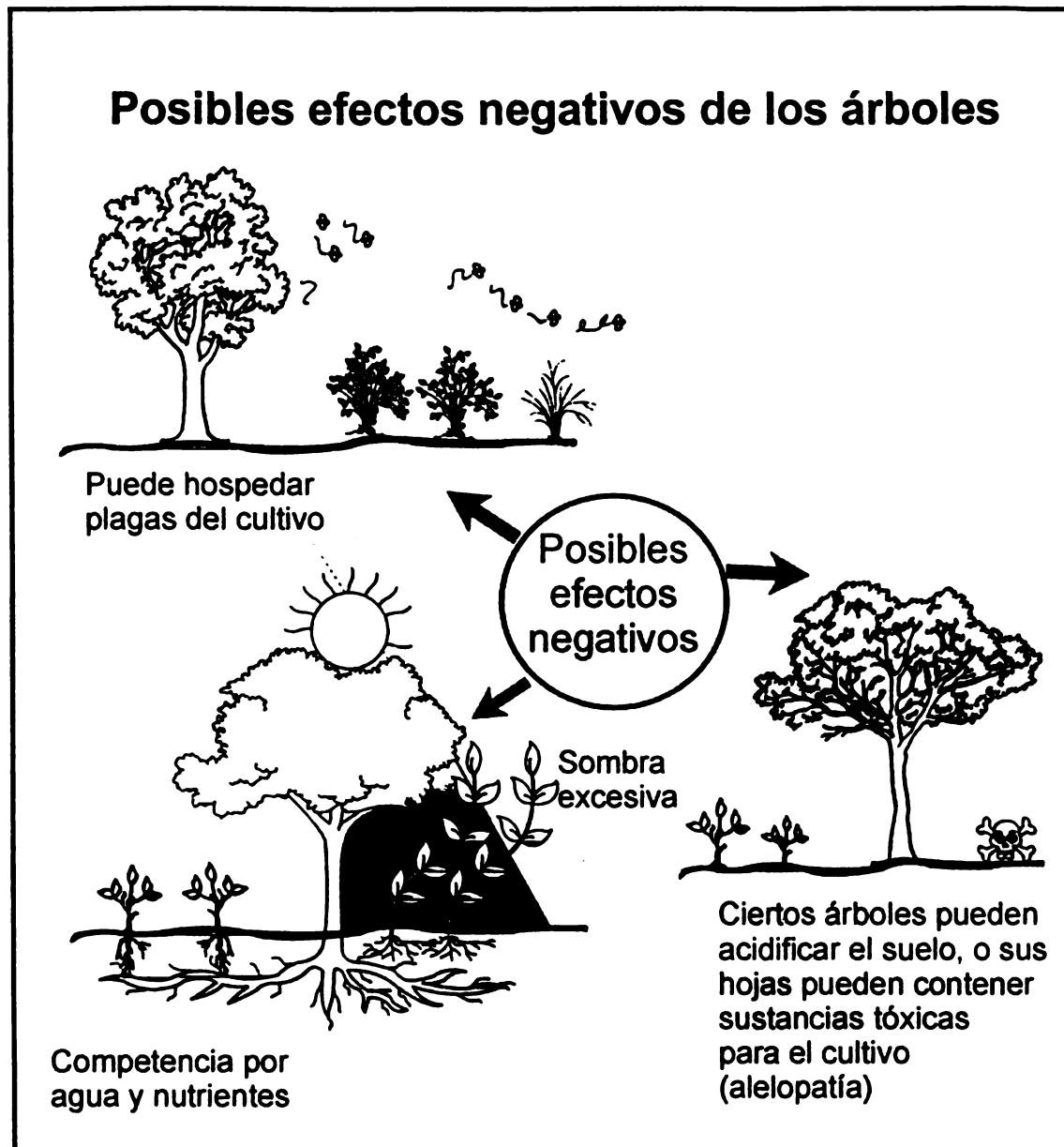
- Producción forestal: madera, leña, carbón, estacones, varas, postes.
- Producción de alimentos: carne, frutos, flores, brotes, nueces, aceites comestibles, bebidas, forraje.
- Producción de otros productos: aceites, esencias, gomas, resinas, taninos, fibras, latex, ceras, sustancias medicinales, cueros, artesanías.

Funciones de servicio y/o protección

- Conservación del suelo y del agua.
- Creación de un microclima que puede ser beneficioso para los seres vivos.
- Protección de cultivos, animales y humanos.
- Funciones sociológicas, ligadas a múltiples roles que juegan los árboles en diferentes culturas y zonas.
- Servicios ambientales y ecológicos.



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. 657 p.



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.

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).
- Mayor protección contra vientos fuertes y el impacto erosivo de las gotas de lluvia y la escorrentía superficial.
- Mayor posibilidad de fijación de nitrógeno atmosférico mediante el componente arbóreo.
- Restitución al suelo de una mayor cantidad de materia orgánica mediante diferentes componentes de la fitomasa.
- Reciclaje más eficaz de nutrientes, especialmente por su extracción de los horizontes profundos del suelo.
- Productos adicionales: madera, frutos, leña, hojarasca, forraje, etc.
- Se puede tener mayor producción y calidad de las cosechas en ambientes marginales.
- Mayor biodiversidad y menor probabilidad de plagas dominantes.

Desventajas biofísicas de los sistemas agroforestales con respecto al monocultivo

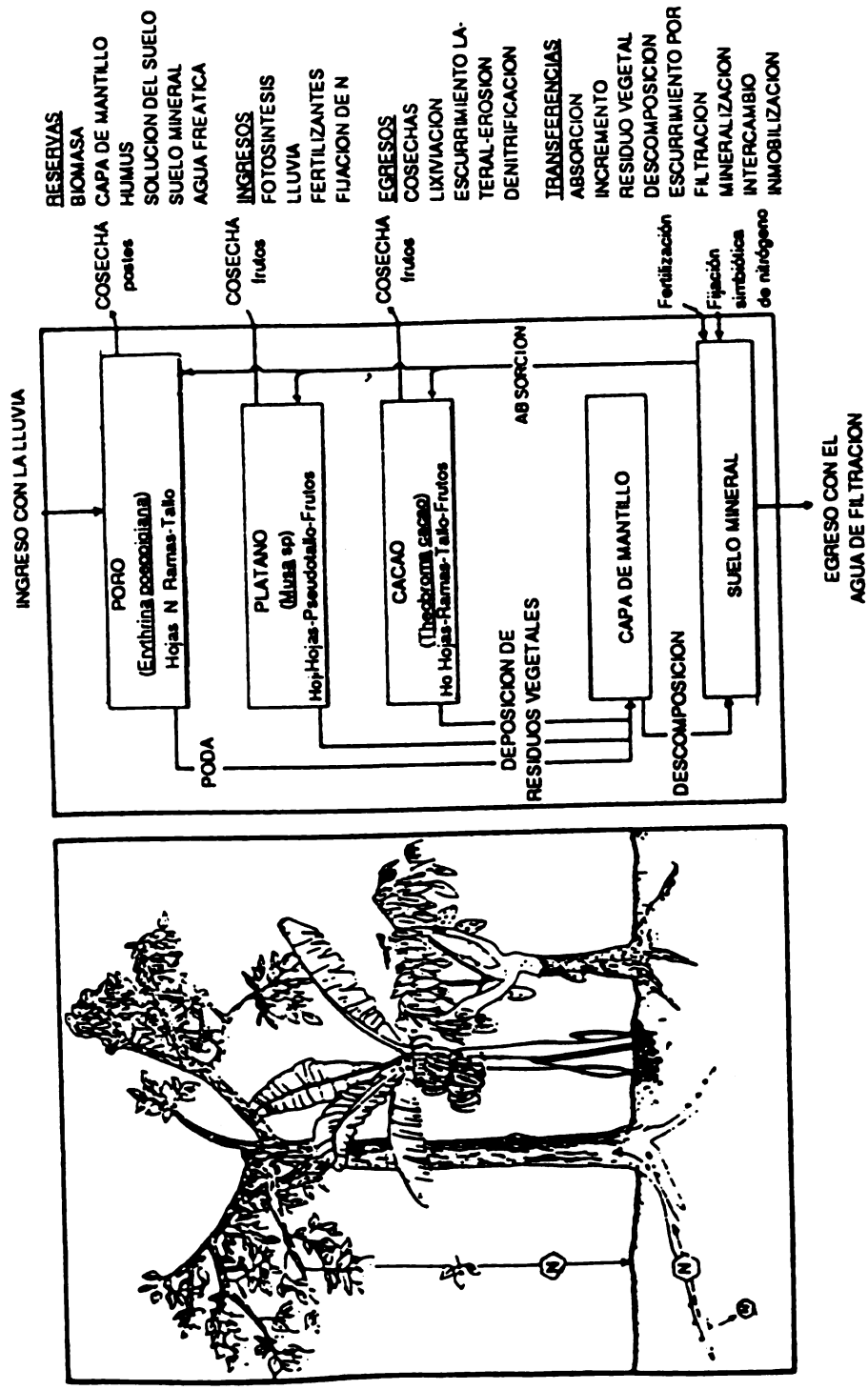
- Puede bajar la producción de los cultivos (principalmente cuando se utilizan demasiados árboles (competencia) y/o especies incompatibles).
- Pérdida de elementos nutritivos cuando la madera y otros productos forestales son cosechados y exportados fuera de la parcela.
- Interceptación de parte de la 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.
- Se puede crear un microambiente más favorable para algunas plagas y enfermedades.

Ventajas socioeconómicas de los sistemas agroforestales con respecto al monocultivo

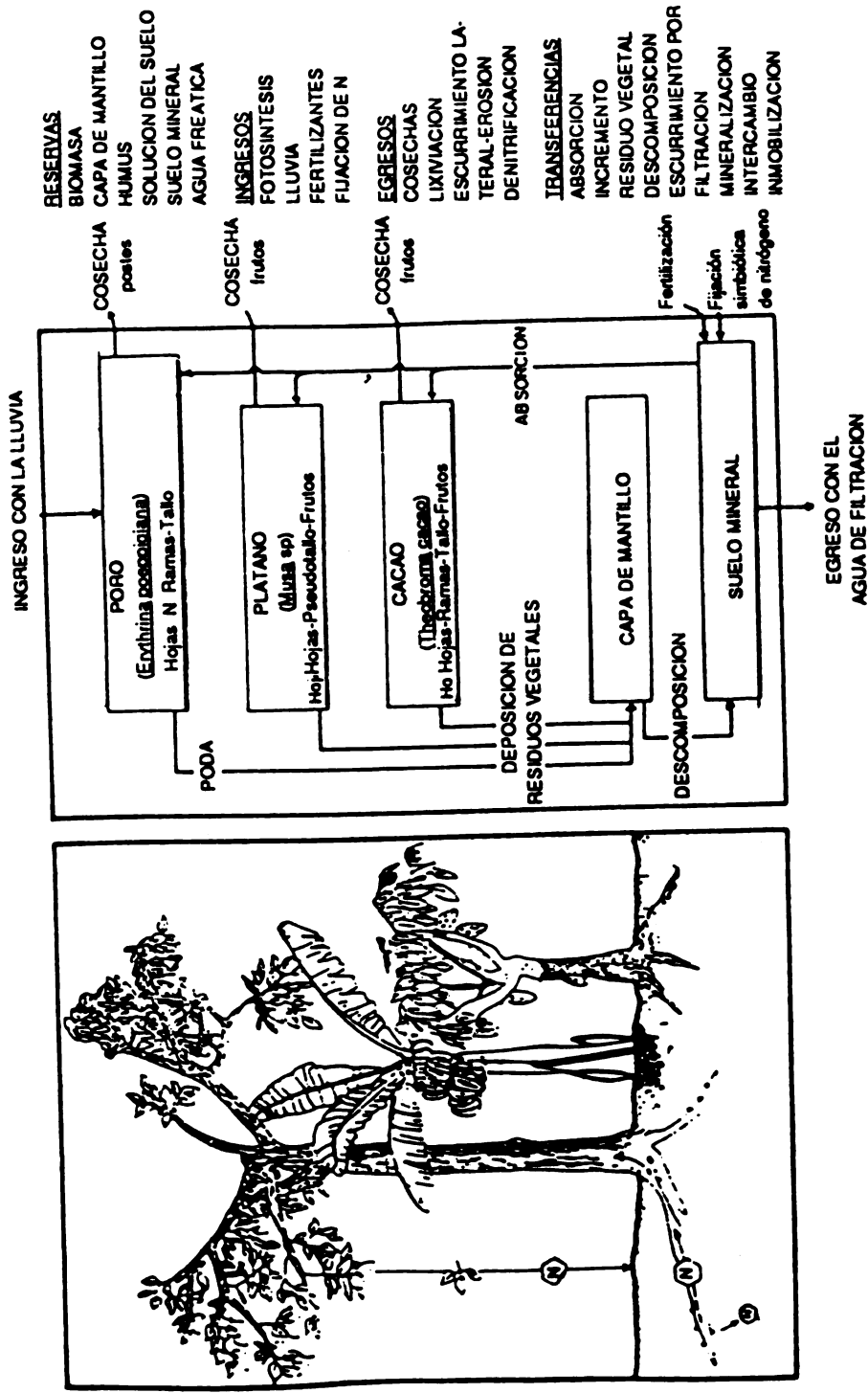
- Los productores pueden reducir sus gastos al satisfacer necesidades de madera, leña y alimentos.
- Madera producida reduce la necesidad de extraerla del bosque.
- Constitución de un capital tangible y estable (caso de árboles maderables).
- Se reducen los riesgos asociados al monocultivo (clima, mercados, plagas, etc.).
- Mayor diversificación de la producción de alimentos que puede ayudar a mejorar la dieta de las familias.
- Reducción potencial de requerimientos y gastos en insumos (fertilizante, herbicidas, etc.).
- Mayor flexibilidad en la 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.

Desventajas 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.
- Labores de manejo pueden ser más difíciles.
- Resistencia a la plantación de árboles en zonas con poca disponibilidad de tierra o uso muy intensivo.
- Poca disponibilidad de técnicos con conocimiento para el diseño y mejoramiento de sistemas agroforestales útiles para los productores.
- Menor disponibilidad de crédito, asistencia técnica e incentivos gubernamentales.
- Mayor complejidad y menor conocimiento de los sistemas agroforestales con respecto a los monocultivos.
- Desconocimiento de las potencialidades de la agroforestería por parte de muchos técnicos y decisores.



Ejemplo de un sistema agroforestal como un agroecosistema



Ejemplo de un sistema agroforestal como un agroecosistema

Acetato 12

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

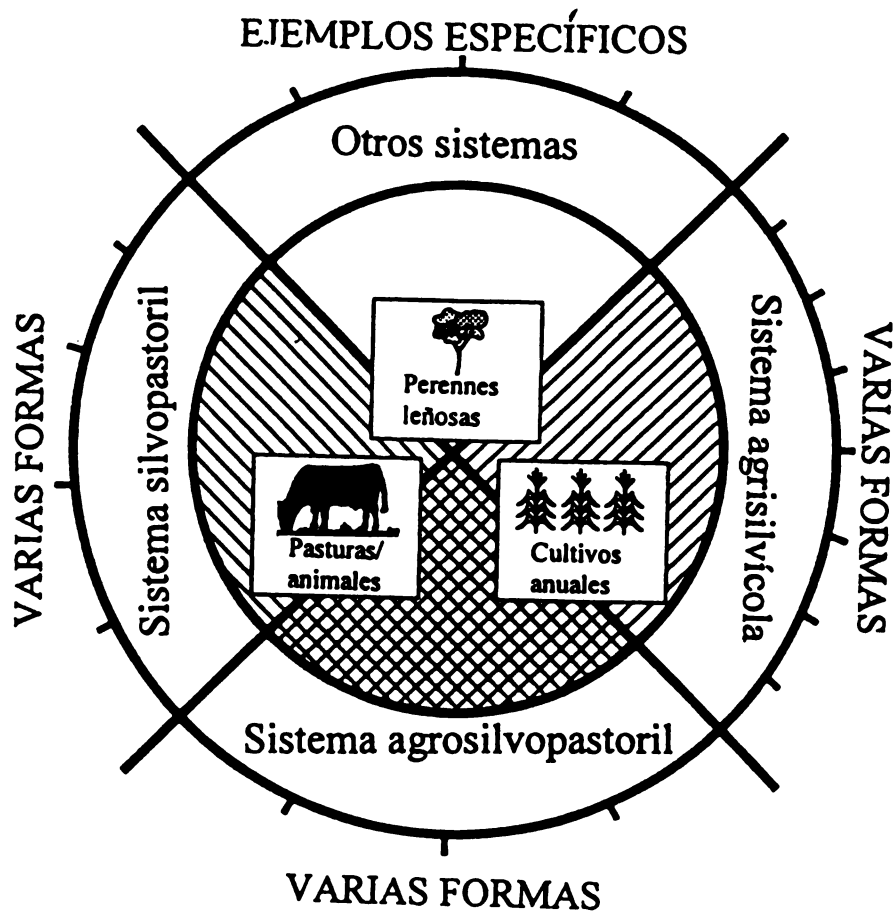
Se refiere a la función principal del sistema, casi siempre condicionado por el componente leñoso (protección, servicio, producción).

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).

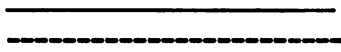
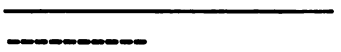
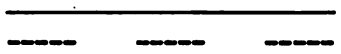
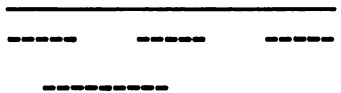
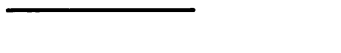



Clasificación de los sistemas agroforestales de acuerdo al tipo de componentes.

Clasificación de sistemas agroforestales con base en arreglos espaciales

- **Sistemas mixtos:** los diferentes componentes no tienen un arreglo geométrico, sino irregular; pueden ser:
 - **Sistemas mixtos densos,** como por ejemplo huertos caseros.
 - **Sistemas mixtos dispersos** como por ejemplo árboles dispersos en campos de cultivo o en áreas de pasturas.
- **Sistemas en zonas o fajas:** los diferentes componentes tienen un arreglo geométrico; pueden ser:
 - **Arreglos en microzonas,** como por ejemplo hileras alternas, linderos.
 - **Arreglos en macrozonas,** como bloques o fajas alternas o rompevientos con varias hileras.
- **Sistemas en estratos simples;** por ejemplo cercas vivas, cultivo en callejones, rompevientos de una sola especie.
- **Sistemas multiestratos;** por ejemplo huertos caseros, rompevientos con varias especies, setos leñosos de usos múltiples.

Clasificación de sistemas agroforestales con base en arreglos temporales

Arreglo temporal	Ilustración esquemática	Ejemplos
Coicidente		Café bajo árboles de sombra.
Concomitante		Sistema Taungya
Intermitente		Pastoreo estacional del ganado en pasturas bajo árboles.
Interpolado		Huerto casero
Sobrepuesto		Pimienta negra y hule
Separado		Barbechos mejorados

----- Componente no leñoso

_____ Componente leñoso

Principales prácticas agroforestales

Sistemas agrosilviculturales (cultivos + especies leñosas)

- **Agricultura migratoria.**
- **Barbechos mejorados.**
- **Sistemas Taungya.**
- **Árboles en parcelas de cultivo.**
- **Cultivo en plantaciones forestales.**
- **Árboles para sombra de cultivos.**
- **Leñosas como soportes vivos.**
- **Huertos caseros.**
- **Cultivo en callejones.**
- **Árboles en linderos y cinturones de protección.**
- **Cortinas rompeviento.**
- **Árboles en obras 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.
-

Sistemas agrosilvopastoriles

(cultivos + especies leñosas + pasturas y/o animales)

- Huertos caseros con animales.
- Setos y bosquetes de usos múltiples.

Sistemas especiales

- Silvo-entomología (ej. árboles para apicultura).
- Silvo-acuacultura (ej. piscicultura).

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

Bene, J. G.; Beal, H. W.; Cote, A. 1977. Trees, food and people: land management in the tropics. Ottawa, Canada. IDRC. 59 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.

Lundgren, B. O. 1982. Cited in Editorial: 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. 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.

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. Wallingfor, U. K. CABI.

Pezo, D.; Ibrahim, M. 1998. *Sistemas Silvopastoriles*. Turrialba, Costa Rica. CATIE. Proyecto Agroforestal CATIE/GTZ. Materiales de enseñanza No. 40, Módulo de enseñanza agroforestal No. 2. 258 p.

Sánchez, P. 1995. Science in agroforestry. *Agroforestry Systems* 30: 5-55.1995.

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.

Torquebiau, 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.). *Agroforestry 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. *In*: *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.