

Capítulo 8 El Sistema Agroforestal

La información presentada hasta ahora sobre el cultivo y el manejo forestal trata casi por entero de los árboles, bajo el supuesto de que la producción de árboles es el objetivo principal del manejo de los terrenos. Este énfasis es atrayente por su simplicidad. Resultados concretos y rendimientos altos de madera son posibles porque este tipo de manejo aprovecha los sitios forestados disponibles y apropiados de una región. Sólo mediante una producción concentrada es posible que la mayoría de los países tropicales satisfagan sus necesidades de productos madereros sin tener que incurrir en el creciente costo de las importaciones.

Aún cuando los argumentos a favor de una producción enfocada de esta manera parezcan convincentes y obvios, ningún país dedica suficientes terrenos en forma exclusiva a los bosques para satisfacer sus demandas. Además, el tiempo de espera necesario para que el manejo produzca rendimientos madereros puede causar serias deficiencias a nivel local en el suministro de madera en la mayoría de los países tropicales.

Son muchas las razones de esta anomalía. La profunda divergencia entre los puntos de vista de los que proponen una producción forestal intensificada y los que viven en o cerca de los terrenos involucrados es una de las más importantes. La implementación de un manejo forestal a largo plazo afecta al terreno en maneras que quizás sean nuevas, inexplicables y limitantes para la comunidad rural afectada. Al modo de ver de los pueblos tropicales, el hecho de que quizás el manejo forestal proporcione oportunidades de empleo, no necesariamente compensa las restricciones que los reglamentos forestales imponen.

Estos y otros factores resultan en la limitación de las inversiones forestales del estado en proyectos de bienestar social y económico. También se frustran las inversiones privadas en plantaciones, porque no son populares ni reciben el apoyo del público. El aspecto esencial es que, desde el punto de vista del pueblo, los beneficios son para otra gente, en otras partes y en el futuro; es decir, no hay beneficios inmediatos para el "público" actual. Ese sentimiento de lejanía es más agudo entre las poblaciones rurales, lejos de los centros donde se toman decisiones que afectan el bienestar de la región.

Por consiguiente, la integración de las técnicas forestales y agrícolas en un sólo sistema en las regiones tropicales es considerada como una oportunidad perdida para

acercar el manejo forestal a la gente. En su sentido más amplio, ese concepto incluye la plantación de árboles aguas arriba para proteger los terrenos agrícolas aguas abajo, y los árboles en fincas, que protegen a los cultivos de alimentos o forraje. También incluye la práctica de intercalar cultivos y árboles para el control de malezas en plantaciones forestales.

La combinación de bosques y cultivos puede no ser una asociación entre entes iguales. Por lo general, los cultivos que coexisten son desiguales en cuanto a rendimientos económicos, siendo los árboles los que producen el menor rendimiento. Por lo tanto, la introducción de árboles en las mezclas de cultivos no debe causar pérdidas en el rendimiento de los otros cultivos más apreciados. La tarea de integrar forestería y agricultura involucra no sólo a la tecnología forestal sino también a la agronomía, el conocimiento de tradiciones sociales rurales y destreza en las relaciones humanas, disciplinas que todavía se ignoran en los currículos forestales.

Este capítulo está dedicado principalmente a lo que se sabe en los trópicos sobre agricultura, y que podría ser de utilidad en el campo forestal. Se revisa la práctica de la agricultura migratoria, tan común en y alrededor de las zonas forestales tropicales. También se describe cómo es posible adaptarla para establecer una plantación de árboles con base en el sistema taungya. Por último, se analizan experiencias de prácticas agroforestales.

Agricultura migratoria

La agricultura migratoria (rotación de árboles y cultivos agrícolas) -posiblemente el más antiguo de los sistemas agrícolas- es una fuente de subsistencia para más de un cuarto de un billón de gentes en los trópicos. La aplicación varía de lugar en lugar, pero varias prácticas son casi universales (Blaut 1960). Entre ellas se encuentran la rotación de campos, la limpieza de terrenos mediante la quema, la exclusión de bestias de tiro y de abono, el uso exclusivo de trabajo manual, la siembra a mano y cortos períodos de cultivo alternados con largos períodos de barbecho. El sistema se desarrolló en condiciones de baja densidad de población, orientada hacia la subsistencia, con una alta concurrencia de bosques y producción simultánea de varios cultivos con distintos plazos de cosecha. La fertilidad se restaura mediante un largo período de barbecho, y durante la primera estación del producción hace falta poco o ningún desyerbado.

Costumbres y precedentes. En lo que hoy es Zambia, la agricultura migratoria ha estado íntimamente relacionada con las vidas y costumbres de los pueblos indígenas. Por ejemplo, los árboles se cortan y queman sólo en ciertos días (Endean 1960), y después de cuatro a seis años de cultivo el terreno permanece en barbecho durante 20 o 30 años. Con un manejo como este, se necesitan terrenos de 50 a 80 ha para el sustento de una sola familia. Los pueblos rurales de Filipinas también están apegados sentimental y psicológicamente al bosque (Maturan 1976). Sus actitudes, motivaciones y aspiraciones están profundamente arraigadas en el uso de bosques vírgenes, bosques secundarios y áreas taladas para agricultura migratoria.

Sólo han pasado unos pocos milenios desde que los primeros pobladores llegaron como cazadores y pescadores a la Amazonia (Sioli 1973). Al principio recogían plantas comestibles silvestres, y luego adaptaron prácticas agrícolas, plantando sólo lo necesario para satisfacer las necesidades del hogar. Mientras fueron pocos no influyeron significativamente en la estructura y dinámica de los bosques. Luego, los colonizadores europeos descubrieron que los cultivos eran prácticos solo durante dos años consecutivos, y si se volvía a plantar después de diez años de barbecho, sólo era posible una cosecha más. Los suelos de tierra firme carecían de los coloides necesarios para fijar minerales, por lo que ni siquiera se beneficiaban con minerales agregados (Sioli 1973), y sólo donde las inundaciones anuales reabastecían de minerales era posible continuar cultivando.

Los bosques primarios suelen ser las zonas más fértiles para la agricultura migratoria, pero los bosques secundarios han demostrado ser más fáciles de limpiar y más productivos por unidad de trabajo. Los bosques óptimos, entonces, se ubican en alguna etapa de la sucesión secundaria. Para compensar la base reducida de nutrimentos en bosques secundarios, el campesino simplemente se apoderaba de más terreno.

Los bosques en barbecho difieren en buena medida de los bosques originales, pero parecen restaurar los sitios adecuadamente (Blaut 1960). Los bosques no necesitan retornar a su condición primaria. Aún un sesgo permanente hacia una menor cantidad de especies, hacia especies más resistentes al fuego o hacia menos estratos no debería afectar significativamente el rendimiento de los cultivos después de quemaduras sucesivas. La estructura del suelo o el suministro de

nutrimentos tampoco es mucho menor bajo un bosque secundario que bajo un bosque primario. Hasta cierto punto, los rendimientos totales se pueden aumentar acortando el período de barbecho.

Los cambios ambientales pueden reducir o eliminar los cultivos migratorios. Por ejemplo, el aumento de la densidad de la población, el acceso al comercio externo o la introducción de tecnologías más intensivas tienden a acortar el período de barbecho, y por lo tanto reducir el bosque proporcionalmente. A medida que el período de barbecho se acorta, se necesita más mano de obra para el cultivo y desmalezado, y los rendimientos declinan. Además, se da una tendencia hacia la producción de un menor número de cultivos, más resistentes y más comerciales, y a fijar las fronteras de las propiedades. Todos estos factores influyen en el acortamiento del barbecho.

A medida que el proceso se deteriora, se necesitan nuevos cultivos y cambios drásticos en las técnicas. Los nuevos cultivos no deben competir por la mano de obra con las otras actividades. Además, los suelos se desgastan bajo un uso más intensivo, que resulta cuando la explotación comercial del cultivo se convierte en el objetivo más importante.

Los problemas que surgen de la escasez progresiva de terrenos no se resuelven con sólo intensificar el cultivo (Blaut 1960); quizás se necesite controlar la erosión y la aplicación de fertilizantes. Los cultivos forestales pueden proporcionar un ingreso más permanente, pero menor por unidad de superficie, que los cultivos agrícolas. El hecho de convertir la zona de cultivos migratorios en un bosque puramente comercial o en terrenos de pastoreo no es una solución, a menos que se encuentren otros modos de dar sustento a la gente que han emigrado debido a la falta de empleo.

Tratando de resolver los problemas de la agricultura migratoria, Blaut (1960) señala ciertas falacias que han provocado malentendidos y fracasos. Entre ellas:

- La agricultura migratoria es el único sistema adecuado para los trópicos.
- La agricultura migratoria es incapaz de mantener un equilibrio.
- Los pueblos eventualmente deberán cambiar de lugar debido al empobrecimiento del terreno, una consecuencia inherente a la agricultura migratoria.

Prácticas tradicionales. Los sistemas de cultivo migratorio de los indígenas de la Cuenca del Orinoco en Venezuela se convirtieron en sistemas de cultivos múltiples y complejos de mandioca, camote, calabaza, algodón y tabaco (Harris 1971). Este tipo de mezcla utiliza iluminación lateral y vertical. Los Waikas cultivaron estas mezclas en períodos de 5 o 6 años hasta que cada vez fue más difícil conseguir nuevas tierras; entonces, la transición gradual al barbecho permitió continuar cosechando. Sus monocultivos, por contrario, sólo se podían cultivar de 2 a 4 años y luego eran abandonados abruptamente, debido más a la pérdida de fertilidad que al crecimiento de malezas. El barbecho comenzó con arbustos y árboles como *Aegiphila*, *Cecropia*, *Clidemia*, *Miconia*, *Palicourea*, *Psychotria* y *Trema*.

Los policultivos de la región del Amazonas consistían de campos de 2 a 3 ha, donde se entremezclaban 12 especies de plantas comestibles (Smith 1978). Este enfoque resultó en un estrato inferior, otro mediano y otro superior. Este último generalmente compuesto de árboles pequeños, como *Bixa*. Los campos individuales se ubicaban a 2-3 km de distancia entre uno y otro, lo que reducía el peligro de pestes. El cultivo simultáneo por 2 a 5 años permitía que los cultivos maduraran en secuencia.

En Papúa - Nueva Guinea, la reutilización de desechos orgánicos constituye una práctica importante de la agricultura migratoria (Kingston (1960). Esta práctica permite que en las tierras altas se necesiten huertas de sólo 0,04 a 0,09 ha por cápita. La materia orgánica se deposita en hoyos donde se descompone. *Causarina equisetifolia*, una especie fijadora de nitrógeno, se planta uno o dos años antes de suspender el cultivo agrícola, ya que esta especie es más fácil de talar que las especies nativas y proporciona madera y leña. Las ramas se pueden usar como estacas para el control de la erosión y las hojas se compostan (fertilizante orgánico) o se queman.

Los bosques nativos se convirtieron en cultivos permanentes de café hace más de un siglo en Mysore, India, en laderas empinadas cuya precipitación es de hasta 380 cm/año (Mayne 1947). La base del sistema fue la introducción de un cultivo económico, el café, en la asociación de plantas existentes en el bosque perenne. La regeneración natural se taló y se dejó podrir, generalmente sin quemar. El café se plantó a espaciamientos de menos de 1,8 m x 1,8 m, para producir una cobertura rápida como la del sotobosque

anterior. La densidad del dosel se mantuvo bien por debajo de lo óptimo para alcanzar una cosecha máxima, pero asegurando una cobertura suficiente para proteger el suelo del impacto de las lluvias severas. El manejo de la sombra resultó ser una de las tareas más exigentes.

Con el afán de extender el cultivo del café al sur de la India y en lo que hoy es Sri Lanka, después de 1860, esta técnica exitosa generalmente no fue tomada en cuenta. Los bosques se talaron y quemaron y el café se plantó a campo abierto. Todo lo que queda de esta práctica son bosques pobres secundarios y matorrales de *Lantana*. En otros sitios se efectuaba un aclareo parcial y una quema ligera, y se plantaban especies leguminosas y no leguminosas para sombra. El uso de géneros como *Erythrina* y *Grevillea* se apartaba mucho de la composición del bosque nativo; sin embargo esta empresa tuvo éxito, lo que sugiere que otras especies también pueden servir como cultivo permanente.

En el antiguo Zaire, la agricultura migratoria se desarrolló hasta un grado de gran complejidad, extendiendo el período del cultivo de los buenos suelos hasta un total de nueve años (Cuadro 8-1). La diferencia en el largo del ciclo de cultivo refleja la calidad del suelo.

Un estudio de los sistemas de cultivo de los Bantu, en el antiguo Zaire arrojó conclusiones interesantes (Coene 1956). En las zonas de bosque alto, con sólo una quema el sitio ya estaba preparado para sembrar; no era necesario sacar tocones y raíces para cultivar banano, mandioca y camote. En los bordes del bosque se plantaba principalmente maíz, sorgo y mijo, que requieren un cultivo más intenso. Los terrenos se cultivaron hasta que las quemaduras repetidas los convirtieron en sabanas.

El crecimiento de comunidades urbanas en las zonas tropicales y la consiguiente introducción de cultivos económicos como algodón, arroz y maní, obligaron a los campesinos a alargar el período del cultivo o acortar el período de descanso de los campos. La restauración inadecuada durante el barbecho progresivamente causó el deterioro del suelo. La búsqueda de más suelos frescos, a menudo significó un estilo de vida nómada, un ingreso cada vez menor y la búsqueda de trabajo en las aldeas.

Varias características de la agricultura migratoria inhiben su práctica. El cultivo múltiple es una de ellas; la

Cuadro 8-1.—Regímenes de agricultura migratoria en el antiguo Zaire

Secuencia (año)	Ubicación		
	Bambesa	Gandajika	Yangambi
1	Deforestación, maíz, arroz	Deforestación	Deforestación, maíz
2	Algodón	Algodón	Maíz, arroz, mandioca, bananos
3	Mandioca, bananos	Maíz, cultivos de tubérculos	Bananos, mandioca
4	Barbecho	Maíz, maní, cultivos de tubérculos	Bananos, mandioca
6	Barbecho	Maíz, mandioca	Bananos, mandioca
7	Barbecho	Mandioca	Leguminosas
8	Barbecho	Mandioca	Leguminosas
9	Barbecho	Mandioca	Barbecho de 12 años
10	Barbecho	Barbecho	Barbecho de 6 años

Fuente: Henry 1952.

plantación mixta no permite obtener altos rendimientos con los cultivos más beneficiosos, pero por otra parte, la eliminación del crecimiento natural durante el período de barbecho para establecer monocultivos es difícil de mecanizar. El arado de surcos profundos y el barbecho de leguminosas han producido resultados desastrosos. El uso de abono orgánico favorece la productividad, pero no están al alcance del campesino medio. La mosca tsetse que prevalece en el África occidental significa también una reducción en el uso de estiércol como abono o de bestias de tiro.

Los sistemas de cultivo migratorio que dependen del barbecho e incluyen cultivos forestales pueden sobrevivir donde los cultivos agrícolas permanentes no pueden, pero rinden tan poco por unidad de superficie que son de poca ayuda para sostener servicios comunitarios como carreteras y escuelas (Holdridge 1959).

La extensión y configuración del terreno aclarado para cultivos dentro del bosque es de gran importancia. El eje largo debe estar orientado de este a oeste para obtener la máxima iluminación; el ancho óptimo es de 100 m. Bajo estas condiciones, la pérdida de rendimiento a lo largo de los bordes puede ser del 10% en los bosques densos, pero de sólo 3% en bosques secundarios (Coene 1956).

Por lo general, se pueden obtener dos cosechas de corto ciclo en el mismo año. Los cultivos anuales limpios, como maíz, maní, soya y algodón son muy sensibles a los competidores; por consiguiente, antes de plantar el

suelo se debe exponer al sol y a la lluvia. Cuando se plantan inmediatamente después de eliminar el bosque, estos cultivos por lo general no rinden bien. La corta del barbecho un año antes de cultivar los cultivos anuales, aumenta mucho el rendimiento. Una limpieza completa, sin embargo, elimina los tocones de los árboles como fuente de retoños para el barbecho que sigue. Los cultivos perennes, tales como bananos y yuca, generalmente no requieren este tratamiento; además, protegen mejor el suelo mejor y tienen poco efecto sobre la fertilidad residual.

Los cultivos perennes se adaptan bien a las zonas recientemente aclaradas y son un precursor excelente para los cultivos anuales, ya que aumentan el pH del suelo y favorecen la descomposición y mineralización de los residuos orgánicos. El gandul (*Cajanus indicus*) ha resultado ser un buen cultivo, cuya siembra suele ser oportuna antes de abandonar un terreno (Page 1948). Además, sus tallos son lo suficientemente grandes para ser usados como combustible.

En Filipinas, la agricultura migratoria (conocida como “swidden”) puede producir el doble del promedio nacional de rendimiento del arroz (Conklin 1957). El sistema usa 2 ha de terrenos cultivables por persona en un ciclo de 12 años. La intensidad del manejo varía; en ciertos casos, la vegetación se limpia todos los años; en otros, se establecen cultivos arbóreos abundantes con poco o ningún desmonte del bosque clímax. Durante el primer año, que es el más activo, un *swidden* promedio puede tener 40 distintos cultivos básicos y de 85 a 150 tipos de productos al mismo tiempo (Conklin 1957). En

el segundo año, se cambia a cultivos arbóreos, incluso bananos, frutales y bambú. Cuando todos los cultivos agrícolas se agotan, el barbecho ya puede estar bien avanzado. El período de barbecho corresponde a dos tercios o tres cuartos del ciclo total.

El sistema *swidden* abarca grandes extensiones de terreno y usa la mano de obra intensivamente (Harris 1972), ya que implica de 500 a 1000 horas de trabajo por familia por año. Sin embargo, no requiere por lo general que grandes grupos de gente participen simultáneamente. Aunque el sistema es ineficaz en términos de extensión de terreno cultivado, el rendimiento por unidad de trabajo puede igualar o aún sobrepasar a otros tipos de cultivos permanentes. El barbecho, y no la productividad, es lo que limita la capacidad del sistema *swidden* de dar sustento a gran cantidad de gente. El número de personas que viven en las zonas dedicadas al *swidden* rara vez son más de 60 por kilómetro cuadrado, y generalmente son menos de 40.

La agricultura migratoria en Venezuela ha sido practicada en las tierras bajas húmedas (Watters 1968c). Más arriba de los 1600 m de altura, la descomposición es más lenta y la agricultura tiende a ser más continua. La agricultura migratoria no es el sistema más productivo en suelos pobres, pero es la mejor práctica disponible para la gente sin implementos ni fertilizantes. Los primeros dos cultivos pueden ser iguales a los de terrenos mejores sin fertilización, pero con fertilizante podrían rendir mucho más.

Debido a que los campesinos migratorios se mudan a otros sitios cuando los rendimientos se reducen al 50%, esta práctica es la causa principal de deforestación (Watters 1968c). Aunque las zonas de bosque primario permiten que el ciclo sea más corto, los cultivadores normalmente eligen bosques secundarios si están más accesibles. En términos de rendimiento por unidad de trabajo, el sistema es muy rentable, pues requiere de 32 a 86 d/ha.

En la parte central del Brasil, una aldea de 145 habitantes ha permanecido estable durante 90 años cultivando una superficie bruta de 5500 ha; casi 40 ha per cápita (Watters 1974), pero menos de 3 ha per cápita en uso en cualquier momento. La mitad de la producción se vende. Sólo emplean 3^o horas por día para la subsistencia, y de estas sólo 2 se dedican a la agricultura. Este sistema se ha desarrollado a partir de

un enfoque que hace buen uso del amplio recurso disponible (tierra), economizando el recurso más escaso (capital).

La agricultura migratoria en lo que hoy es Sri Lanka depende mucho de la quema para obtener nutrimentos, y por lo tanto no provoca una gran fuga de nutrimentos del suelo durante los períodos cortos de cultivo (Joachim y Kandiah 1948). La composición intrínseca del suelo se restaura entre los 5 y 10 años.

En el Sudán donde el clima es muy seco, se usa una variante inusitada de la agricultura migratoria (Jackson y Shawki 1950). Se limpia la vegetación nativa en las dunas y se cultiva sorgo entre 4 y 10 años, plazo en que el suelo se agota. Luego se renueva la vegetación natural con *Acacia senegal* y *A. seyal*; después de ocho años, los árboles están listos para ser resinados para goma arábiga. El resinado continúa entre 6 y 10 años, plazo en que los árboles se agotan y mueren. La zona entonces se quema y se vuelve a cultivar.

Los cultivadores migratorios generalmente tienen una preocupación particular en la subsistencia. Por consiguiente, sus parcelas cultivadas normalmente consisten de una mezcla compleja de plantas. Esta mezcla aparentemente se produce para satisfacer los diversos requisitos de la mesa familiar y para garantizar una relativa seguridad que proviene de un cultivo diverso. Sin embargo, como es de esperar, las mezclas producen menores rendimientos por unidad de superficie y por cultivo de lo que producirían los cultivos puros (Cuadro 8-2).

La diversidad de la vegetación natural en los trópicos, producto de una larga evolución y sucesión, sugiere que las mezclas de cultivos se basan en otras razones, por lo que muchas investigaciones se han emprendido sobre ese tema. Algunos piensan que las interacciones

Cuadro 8-2.—Rendimientos comparativos de los cultivos migratorios en el antiguo Zaire (t/ha)

Cultivo	Rendimiento mixto	Rendimiento puro
Arroz	1.5	2.5
Mandioca	15.0	25.0
Banano	4.0	15.0

Fuente: Henry 1952.

interespecíficas no sólo protegen a los cultivos mixtos contra las plagas y enfermedades más que un cultivo puro, sino que además pueden hacer que las mezclas sean tan (o aún más) productivas que los cultivos puros. Sin embargo, los estudios demuestran que la mayoría de los rendimientos de los cultivos mixtos son de carácter medio, en comparación con los de cada componente como monocultivo (Trenbath 1974). Los rendimientos totales tienden a ser casi iguales. Los rendimientos transgresivos (los que exceden los límites de cualquier componente único) son pocos y rara vez significativos o repetidos. Tales rendimientos ocurren sólo en mezclas de componentes similares y por consiguiente, no se espera que presenten grandes diferencias en las mezclas de cultivos de subsistencia.

Los sistemas de cultivos mixtos han dominado el norte de Nigeria (Baker 1975) y se justifican por su rendimiento confiable por unidad de superficie o por las horas de trabajo durante junio y julio, que son mayores que para los cultivos puros. Para obtener ganancias con cultivos mixtos superiores a las de los cultivos puros, los componentes deben tener ciclos de crecimiento complementarios. La competencia entre cultivos debe ser menor que la competencia intra cultivos. La disposición y cantidad relativa de las distintas plantas en las mezclas influyen en el grado de competencia. Los factores capaces de producir ganancias con cosechas mixtas son las diferencias en la cantidad de iluminación interceptada (debido a las diferentes alturas y estructuras del dosel) y las diferencias en la utilización del agua. Estos mismos factores cambian a través del tiempo debido a los distintos períodos de crecimiento de los componentes en las mezclas.

Harper (1977) exploró el significado teórico de las mezclas (Fig. 8-1). En el caso "A", las especies 'x' y 'y' compiten con un efecto más o menos igual una con la otra; por lo tanto, los rendimientos son directamente proporcionales a su representación relativa. En el caso "B", la especie 'x' es más agresiva que la especie 'y'; por lo tanto, la mezcla de las dos tiende a ser mayor que los rendimientos proporcionales de 'x' a expensas de 'y'. En el caso "C" ocurre lo opuesto: el rendimiento de 'y' es mayor que su representación proporcional en el cultivo. Cuando, como en el caso "D", cada cultivo es recesivo en cuanto a su nivel de competencia intraespecífica, el rendimiento de las mezclas es menor para cada componente de lo que su representación proporcional indicaría, y el rendimiento total es menor que el que cada especie podría producir por sí sola. En el caso "E",

ambas son más agresivas, la una contra la otra, de lo que son intraespecíficamente. Por consiguiente, cada una permite un mayor rendimiento de la otra especie de lo que su representación proporcional sugeriría y su rendimiento total en la mezcla es mayor que la suma de sus rendimientos respectivos por sí solas. Solamente, en esta última instancia se puede esperar un rendimiento transgresivo.

Sin embargo, contrario a lo que se cree, por lo general no es cierto que la capacidad de rendimiento se correlaciona directamente con la agresividad; que el rendimiento de las mezclas siempre sobrepasa el de plantaciones puras; que las mezclas como promedio igualan el rendimiento de la plantación pura; que la capacidad competitiva es acumulativa; que la competencia es siempre más intensa entre los miembros de la misma especie (Harper 1977). Cada una de estas aseveraciones puede ser verdad en casos específicos, pero también puede ser completamente falsa.

Un estudio de 572 cultivos mixtos demostró que dos tercios produjeron rendimientos totales próximos a la suma de sus rendimientos individuales (Trenbath 1974); otro 20% excedió esta suma hasta en un 70%, mientras que un 14% de los cultivos mixtos presentaron un rendimiento menor que los cultivos puros.

Nueve sistemas de cultivos mixtos produjeron un mayor rendimiento que el monocultivo de camote en Jamaica (Schroder y Warnken 1981); además, se necesitó más trabajo y capital, incluso fertilizante, pero aumentó el ingreso total en un 50%, sobrepasando en tres o cuatro veces el ingreso típico agrícola en la zona. Aparentemente, el uso de fertilizantes fue una buena ayuda, pero la mayor parte del beneficio se debió al uso de cultivos múltiples.

Se han descrito las siguientes ventajas y desventajas de los cultivos múltiples (Gleissman 1981b):

Ventajas

- Mejor uso del tiempo y del espacio vertical, absorben la energía solar y los nutrientes y permiten el traslapeo de cultivos.
- Extraen nutrientes de mayores profundidades del suelo.
- Menor vulnerabilidad a los extremos climáticos y al viento.

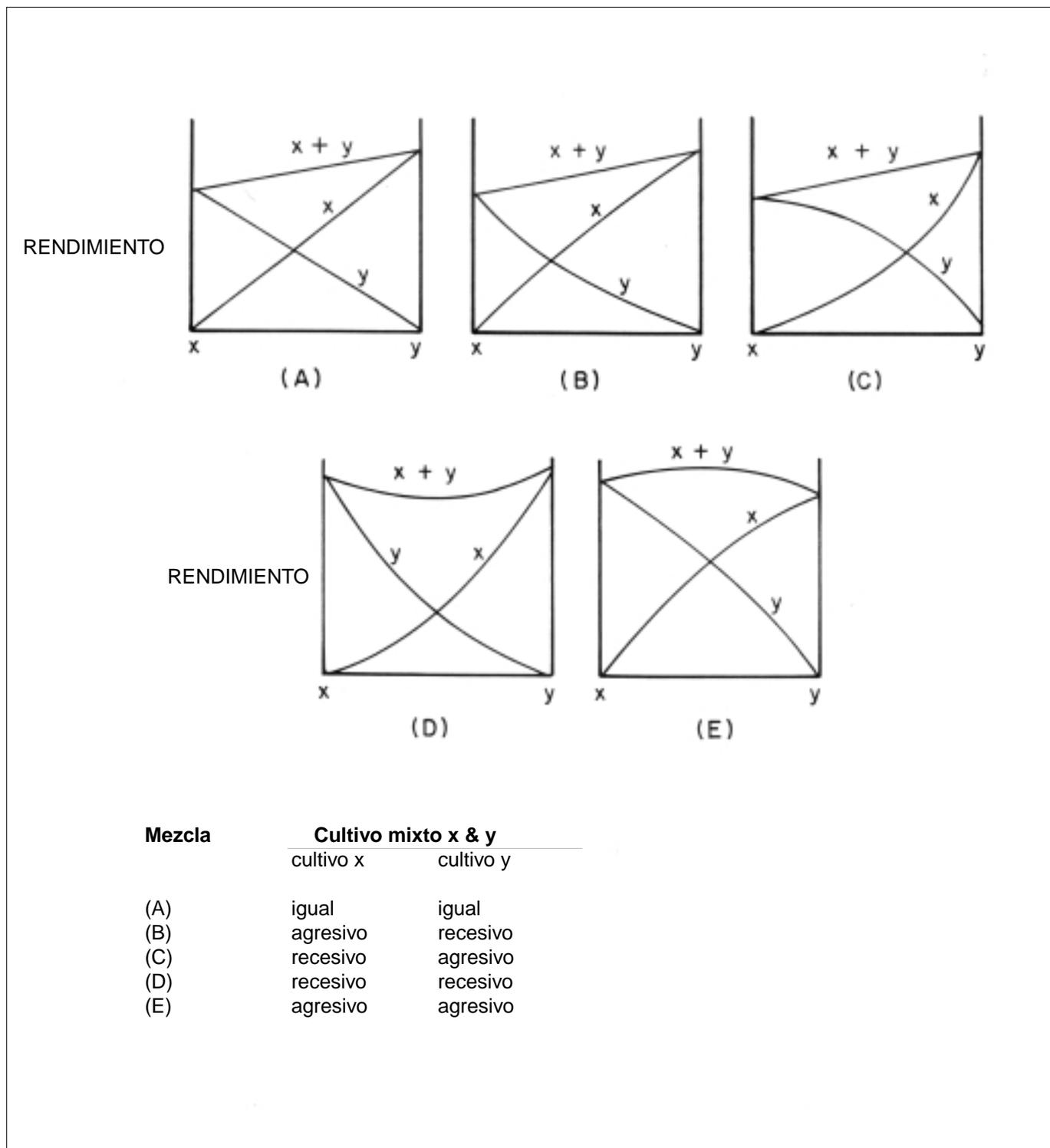


Fig. 8-1. — Efecto de los cultivos mixtos en los rendimientos futuros (Harper 1977)

Capítulo 8

- Menor vulnerabilidad a las pestes y enfermedades.
- Mayor flexibilidad para la distribución de la mano de obra durante el año.

Desventajas

- Inhiben la competencia en los cultivos de corto plazo.
- Limitaciones por especies incompatibles.
- Daños causados por las cosechas parciales.
- Inconsistencias en los plazos de barbecho.
- Rendimiento limitado de cada cultivo.
- Inapropiados para la mecanización y para obtener productos uniformes comerciales.
- Mayor complejidad, lo que dificulta su manejo agronómico y biológico.
- Incompatibles con los sistemas sociales, económicos y políticos prevalecientes.

Aunque mediante la agricultura migratoria se ha usado la mano de obra y los recursos en los trópicos ingeniosamente para el sostén de las culturas primitivas, su capacidad limitada de sostener poblaciones mayores ha resultado en la destrucción de bosques extensos. En 1952, la agricultura migratoria en África occidental presentaba un panorama trágico. En el Sudán, fracasaron todos los intentos por evitar extensos incendios anualmente. La falta de leña minaba los bosques y los cultivos migratorios con plazos de barbecho cada vez más cortos estaban destruyendo la composición del suelo (Faure 1952). En Nigeria, los plazos del barbecho se habían acortado tanto que el terreno ya no se reponía entre los períodos del cultivo y la región entera se quemaba todos los años (Jorvanceau 1952). En Chad, la "disciplina" que anteriormente imponía para el uso del suelo había desaparecido (Anón. 1952j). Como resultado, se talaban casi 150 000 ha de bosques anualmente, había incendios por todas partes y la agricultura migratoria estaba agotando al suelo.

En lo que hoy es Burkina Faso, debido a la explotación del bosque para leña y carbón y ante la imposibilidad de protegerlos contra incendios se propuso que las reservas

forestales fueran entregadas a los pobladores para que las cultivaran (Civette 1953). En Costa de Marfil, las prácticas de cultivo autóctonas mantenían el equilibrio con los terrenos boscosos, pero este equilibrio se perdió a causa del crecimiento excesivo de la población, del mayor énfasis en el desarrollo industrial, del cambio de dieta y de la inmigración (Piolant 1952).

En Sierra Leona y Gambia, el equilibrio entre el cultivo y el barbecho ya se había perdido en 1952, y el plazo del barbecho se había acortado a menos de siete años (Anón. 1952m). Todos los bosques no reservados se estaban dedicando al uso agrícola. En Togo, se decidió que los cortafuegos que protegían a los bosques eran demasiado caros y el gobierno consideraba otorgar los terrenos forestales a los campesinos (Chollet 1952). En lo que hoy es Ghana, los bosques fueron invadidos y explotados ilegalmente por falta de patrulleo en bosques no reservados; en consecuencia, en poco tiempo fueron transferidos al uso agrícola (Anón. 1952i).

Se ha documentado la destrucción del suelo por la agricultura migratoria en la región de los Ghats Occidentales de la India (Satyanarayan 1960). La profundidad del suelo variaba entre 150 cm bajo bosques de teca (*Tectona grandis*) a 15 cm bajo pastos pobres. El pH en este último decreció 0,8 puntos, el contenido arenoso se duplicó; la materia orgánica se redujo a un tercio, el N a un sexto, la capacidad de intercambio a un tercio y el calcio a un quinto.

Estudios en lo que hoy es Malasia han demostrado que la agricultura migratoria, que persiste durante 18 meses, elimina todos los retoños de los árboles del bosque anterior (Wyatt-Smith 1958c). Un cambio de millo a arroz de monte extendió el cultivo al segundo año, y eliminó la mayoría de los brotes de árboles (Carey 1960). Aún los árboles aislados que se habían dejado como posibles árboles semilleros pronto desaparecieron (Wyatt-Smith 1960d). La degradación del suelo continuó porque la gente no deseaba volver a cultivar el millo por un año; los suelos se consideraban demasiado pobres para justificar el gasto en conservación y el área era demasiado remota para el uso de fertilizantes o producir cultivos para la venta (Carey 1960).

La destrucción de los bosques para establecer cultivos migratorios en Tailandia ha sido espectacular. En 1958, dos tercios de los bosques a elevaciones de más de 1000 m ya habían desaparecido (Loetsch 1958). El

Cuadro 8-3.—Efectos de la quema en las propiedades del suelo en la Amazonia

Propiedades del suelo	Antes de la tala	Días después de la quema		
		14	148	290
pH	3.70–4.10	4.30–4.80	3.50–3.80	4.10–4.50
Calcio y magnesio (meq% ^a)	0.30–0.50	1.00–1.60	0.50–1.00	1.00–1.40
Potasio (meq%)	.06–.09	.17–.31	.08–.12	.15–.09
Fósforo (meq%)	.46–.67	.69	.69	.69
Aluminio (meq%)	1.20–2.10	.50–.90	1.10–1.80	.40–1.10

Fuente: Brinkman y Nascimento 1973.

^ameq% = miliequivalentes por 100 g.

desperdicio era obvio porque la madera se quemaba, y sin embargo el Parlamento demostró poco interés o compasión por el tema de la práctica forestal.

La quema, casi universalmente asociada al cultivo migratorio, causa que ciertos nutrientes se pierdan en la atmósfera o se liberen en las cenizas, expuestas al escurrimiento del agua. Sin embargo, estudios efectuados en Ghana demostraron que después de la quema, el suelo forestal retiene casi todo el potasio (K), calcio (Ca) y magnesio (Mg) en los primeros 30 cm (Nye y Greenland 1964). También hubo un aumento pronunciado del pH. El aumento del N y del carbono (C) en el suelo se debió a la mezcla de partes de la vegetación con el suelo. No hubo una pérdida neta del humus como resultado de la quema. Al año siguiente, se perdió materia orgánica como resultado de la oxidación del material no humidificado; sin embargo, la tasa de pérdidas fue mucho menor durante el segundo año. En general, hubo una rápida pérdida de nutrientes por lixiviación y erosión durante el primer año. La quema acentúa estas pérdidas, particularmente cuando se repite, después de lo cual los pastos pueden invadir la zona e impedir que se efectúen nuevos cultivos (Frissel 1977).

Un estudio en latosoles de la Amazonia brinda más información de los resultados de la quema (Brinkman y Nascimento 1973). Después de la quema, el pH, Ca, Mg y K de los primeros 20 cm de la capa superficial del suelo habían aumentado (Cuadro 8-3), pero luego el K, que es relativamente móvil, disminuyó.

En 1957, la FAO describió en detalle las desventajas de los cultivos migratorios (Anón. 1957b):

- El barbecho no está sujeto a control; por lo tanto, la mejora del sitio es imposible.
- La erosión y los incendios están destruyendo los suelos.
- La vida nómada no ofrece incentivos para intensificar el manejo o hacer mejoras a largo plazo.
- Los campesinos migratorios no reciben ninguna recompensa por las buenas prácticas, tal como más propiedad o dinero.
- Cuando la población supera el límite sostenible, todo el suelo se degrada y el hambre dispersa a la población.
- No hay posibilidad de crear una especialización o efectuar un cambio progresivo.
- La tendencia hacia cultivos para la venta destruye el suelo.

Phillips (1961) enumera las causas de la baja eficiencia de los cultivos de subsistencia. Entre ellas, las siguientes parecen ser especialmente importantes: el mal uso de los terrenos; el pobre cuidado al suelo; pobres semillas; insuficientes herramientas e implementos; un control inadecuado de las malezas, pestes y enfermedades.

La importancia de estos factores difiere y en algunos casos son debatibles. No hay duda de que el campesino, cuando no está sometido a influencias externas, hace un buen uso de los terrenos, de las plantas disponibles, de la mano de obra y de su ingenio

en cuanto al espaciamiento y momento de cultivar. Tampoco cabe duda de que las prácticas de agricultura de subsistencia son tan durables como las de la agricultura moderna sin fertilización. La dificultad empieza con el deseo de producir más de lo que se necesita para subsistir. Este objetivo requiere mayores rendimientos y generalmente un modo de cultivar que difiere de los cultivos mixtos y la cobertura de estratos múltiples. También exige una producción competitiva que involucra fertilización o un alto rendimiento de la mano de obra. La eficiencia, por consiguiente, se debe juzgar no sólo por los costos por unidad de producción, sino también por la satisfacción de necesidades de la comunidad rural productora.

Uno de las críticas más comunes en contra de la agricultura migratoria es que sostiene sólo a 8-12 personas/km² (Nye y Greenland 1964). En teoría, el sistema podría dar sostén a una aldea de 630 a 950 personas usando los terrenos comprendidos en un radio de 5 km. El hecho de que la agricultura migratoria no necesariamente requiere bajas densidades de población o poco desarrollo social se ilustra a continuación (Rebugio 1976). En Campeche, México, se ha dado sostén a más de 20 personas/km², hasta 40 personas/km² en Uaxactum, y hasta 50 personas/km² en Indonesia. En partes del África, este número es de 90 o más, y en las tierras altas de Nueva Guinea, casi 200 personas/km².

La cultura de los Xingu en Brasil practica un cultivo migratorio de tres años en 0,3 ha por persona y un barbecho de 25 años, el cual ha proporcionado sostén a una aldea de 145 personas con sólo 385 ha (Carneiro 1961b). Una aldea de 2000 podía ser alimentada a estas densidades con 5400 ha, a distancias que se pueden abarcar a pie.

Aunque bajo ciertas circunstancias estos sistemas de cultivo pueden abastecer a poblaciones densas, no hay pruebas convincentes para afirmar su capacidad de alimentar a una sociedad compleja y estratificada concentrada en grandes aldeas o pueblos. De hecho, algunos sugieren que la agricultura migratoria causó la desaparición de la civilización maya (Rebugio 1976). La gente de los poblados pequeños y dispersos enfrenta una transición difícil cuando empiezan a depender de un mercado centralizado y remoto. El sostén de grandes poblaciones se puede facilitar si depende de cultivos de vegetales y tubérculos cuya cosecha extrae sólo una pequeña fracción de los nutrientes que existen en el suelo. Estos y otros cultivos, como *Guiljelma gasipaes* y *Brosimum alicastrum*, pueden haber sido el sostén de la civilización maya (Harris 1972).

El barbecho: conservación de nutrientes. La cosecha repetida puede agotar nutrientes de las plantas, lo que puede seriamente amenazar la productividad, aún bajo sistemas de cultivos migratorios. Una porción significativa de los nutrientes de que disponen las plantas se pueden almacenar en la vegetación bajo barbecho. La destrucción del barbecho hace que estos nutrientes se descompongan y se pierdan por escurrimiento y lixiviación. La rapidez de estas pérdidas se ve en los resultados de un estudio efectuado en Ghana donde se compararon los niveles de nutrientes tres años después del tratamiento forestal (Cunningham 1963). En un área donde se aprovechó la mitad de la densidad forestal, en los primeros 5 cm del suelo se encontró una disminución del nitrógeno del 47%, 44% del fósforo y 48% del carbono orgánico. En comparación, en un área talada los porcentajes de pérdidas correspondientes fueron del 53, 50 y 57%, respectivamente.

En la Amazonia venezolana, la disminución de la productividad de un cultivo de yuca (4,3 t/ha en el primer año y 2,8 t/ha en el segundo) se atribuyó a la pérdida de fertilidad del suelo (Uhl y Murphy 1981). El primer año después de la corta y quema del barbecho, el cultivo de yuca produjo casi cinco veces más materia seca que el bosque secundario. En el segundo año, sin embargo, el bosque secundario (bajo barbecho) fue 2,7 veces más productivo que la yuca.

El escurrimiento y la erosión aumentan dramáticamente después que los bosques primarios se convierten en cultivos limpios (Cuadro 8-4). Estos datos, provenientes de Mindanao, Filipinas, corresponden a un período de 227 días, y se tomaron en laderas con pendientes de casi

Cuadro 8-4.—Pérdidas por sedimentación y escorrentía causadas por la tala en bosques de Mindanao, Filipinas

Tipo de bosque	Escorrentía de la precipitación (%)	Pérdida media diaria (kg/ha)	Pérdida anual de materia orgánica (kg/ha)
Primario	26	200	45
Secundario de 6 años	26	290	65
Abacá de 10 años	64	590	133

Fuente: Kellman 1969.

25% (Kellman 1969). Un barbecho secundario, sin embargo, a los seis años es casi tan efectivo como un bosque primario.

Los sistemas de barbecho no aceleran la liberación de nutrientes en las fuentes primarias del suelo. Sin embargo, los barbechos tienen una capacidad única de capturar e inmovilizar los nutrientes liberados. Los dos siguientes factores ayudan a realzar la productividad del suelo durante la época de barbecho (Bartholomew *et al.* 1953):

- Acumulación de nutrientes en combinaciones orgánicas y prevención de pérdidas mediante la inmovilización en la planta.
- Mejora de la estructura del suelo debido tanto a la actividad biológica como al período de descanso después del cultivo.

Estudios efectuados en Yangambi demostraron cuál era la acumulación de biomasa total en peso seco en terrenos bajo barbecho (Cuadro 8-5). La composición química de la biomasa indica además la tasa de inmovilización de nutrientes que el barbecho logra (Cuadro 8-6). La inmovilización de nutrientes bajo cobertura de pasto de tres años en la misma zona produjo una biomasa total promedio de 86,1 t/ha de peso seco, 418 kg/ha de N, 46 kg/ha de P, 348 kg/ha de K, y 201 kg/ha de Ca y Mg (Bartholomew *et al.* 1953). Naturalmente, los pastos pueden inmovilizar inicialmente más nutrientes que el barbecho forestal, pero a la larga este inmoviliza mucho más.

Cuadro 8-5.—Peso seco de biomasa acumulada en barbechos en Yangambi, antiguo Zaire (t/ha).

Componente de árbol	Peso seco del barbecho		
	2 años	8 años	17-18 años
Hojas	5.6	5.3	6.4
Madera	5.4	116.3	114.6
Raíz	6.9	22.7	31.2
Hojasca	1.9	8.0	22.8
Total	19.8	152.3	175.0

Fuente: Bartholomew *et al.* 1953.

Los cultivos de árboles y arbustos que mantienen el suelo cubierto, como los árboles de caucho, la palma aceitera, coco y té producen una hojarasca significativa capaz de sostener un cultivo de cobertura que puede ser manejado para mantener el nivel de materia orgánica (Young 1976). Sin embargo, con el cultivo de plantas anuales no parece haber un medio práctico de mantener la materia orgánica del suelo en zonas húmedas, a no ser que se extienda el plazo del barbecho o se apliquen al suelo tratamientos complementarios.

Un beneficio del barbecho, no generalmente reconocido, es su relativa resistencia a la quema. Aún cuando los barbechos frecuentemente son afectados por incendios, rara vez se consume toda la materia orgánica y los sistemas de raíces y su capacidad de rebrotar favorecen una inmovilización rápida del máximo de los nutrientes liberados.

Existen evidencias de que las especies pioneras que surgen después de una tala tienen una mayor capacidad de inmovilizar nutrientes (Kellman 1969). La mayor parte de la recuperación del suelo ocurre durante la vida de estas pioneras, sea a los 5, 10 o 15 años. Durante este período, las condiciones de la superficie del suelo deben reponerse y el escurrimiento y la erosión se reducen a niveles similares a los de los bosques más antiguos.

El largo plazo que el barbecho necesita para restaurar sitios forestales y producir un nuevo cultivo alimenticio se ha convertido en un problema en sitios donde la densidad de la población o las mayores exigencias crean presiones por nuevas extensiones de terreno para la agricultura. Se han efectuado muchos cálculos sobre este período a partir de observaciones generales. Los estimados iniciales sugieren que el plazo oportuno para el barbecho es de 15 años en Borneo del Norte (Coene 1956, Lee 1961) y de 5 a 10 años en lo que hoy es Sri Lanka (Rosayro 1961). En Trinidad, el período de barbecho requerido después de la tala, quema y un año de cultivo está directamente relacionado con la pendiente y la humedad, debido a la gran tendencia del suelo a la erosión y lixiviación (Cornforth 1970b). El aumento del K, Ca y Mg, y la reducción del N resultante de la quema, desaparecieron en casi cuatro años; el nitrógeno alcanzó su nivel original en casi diez años; el fósforo se redujo durante siete años y nunca volvió a recuperar su nivel original, permaneciendo a un nivel 25% inferior. En Sarawak, los períodos estimados de recuperación del sitio varían de 7 a 12 años (Cramb 1978, Hatch 1980).

Cuadro 8–6.—Composición química de los bosques en barbecho en Yangambi, antiguo Zaire (kg/ha)

Componente del árbol	Nutrimento	Contenido de nutrimentos		
		2 años	8 años	17–18 años
Hojas	Nitrógeno	80.0	120.0	143.0
	Fósforo	10.7	6.6	7.5
	Potasio	80.0	79.0	80.0
	Calcio, magnesio	63.0	87.0	76.0
Madera	Nitrógeno	18.0	206.0	301.0
	Fósforo	6.2	15.3	62.2
	Potasio	37.0	579.0	305.0
	Calcio, magnesio	34.0	344.0	378.0
Raíz	Nitrógeno	76.0	152.0	146.0
	Fósforo	4.9	9.1	34.0
	Potasio	65.0	100.0	200.0
	Calcio, magnesio	42.0	127.0	266.0
Hojarasca	Nitrógeno	15.0	101.0	11.0
	Fósforo	0.4	13.2	4.1
	Potasio	4.0	81.0	16.0
	Calcio, magnesio	21.0	110.0	102.0
Total	Nitrógeno	189.0	579.0	701.0
	Fósforo	22.2	44.2	108.0
	Potasio	186.0	839.0	601.0
	Calcio, magnesio	160.0	668.0	822.0

Fuente: Bartholomew *et al.* 1953.

Estudios efectuados en Centroamérica proporcionan mayores detalles del efecto de la duración del barbecho en la recuperación del sitio (Ewel 1976, Ewel y Conde 1978). Ya a los 14 años, la hojarasca en los bosques secundarios de Guatemala es igual a la de bosques maduros. Los ciclos de algunos nutrimentos se igualaron antes. La hojarasca puede ser aún mayor en los bosques secundarios que en los primarios debido al carácter caducifolio y a los cambios en la sucesión de las especies.

En el este de Guatemala, en sitios donde la precipitación anual es de 200 cm, se descubrió que la acumulación de materia orgánica después de una tala alcanzó la mitad de la de un bosque sin perturbar en menos de un año bajo barbecho, y la igualó entre los 3 y 5 años de edad (Ewel y Conde 1978). La producción de hojarasca culminó a los 21 años y declinó a su nivel natural entre los 30 y 35 años. La materia orgánica se descompuso

más lentamente en las zonas taladas que en las zonas cubiertas por vegetación.

El nitrógeno, probablemente más que cualquier otro elemento estudiado, refleja los beneficios del barbecho. Los aportes de N dependen de la edad y nunca son mayores en los bosques secundarios que en los primarios (Ewel y Conde 1978). El fósforo en un bosque secundario se redujo a la mitad de su nivel anterior en cinco semanas y a un cuarto en seis meses; los aportes de P se relacionan estrechamente con la producción de hojarasca y alcanzaron su máximo en aproximadamente 20 años. El potasio declinó un 5% en tres semanas o menos y un 10% en seis semanas; las pérdidas posteriores fueron más graduales. Los niveles subsiguientes de K no se correlacionaron con la edad del bosque ni con los niveles de Ca y Mg, ambos relativamente estables.

Donde no se puede dejar en terreno en barbecho por largo tiempo, es necesario fertilizar, especialmente con N, P y K (Kanehiro 1978). No obstante, es difícil adquirir fertilizantes en muchas zonas tropicales; por ello se ha difundido el uso de plantas leguminosas fijadoras de nitrógeno. El nitrógeno en la atmósfera es estable, inerte y no se puede usar directamente. La fijación involucra partir al binitrógeno en dos átomos que reaccionan con el hidrógeno (H) para formar, primero amonio y luego una gama de compuestos (Halliday 1981). Las bacterias rizobias penetran las raíces de ciertas especies leguminosas y de otras plantas, donde forman órganos muy especializados llamados nódulos, los cuales son capaces de fijar N. Algunas leguminosas tropicales se asocian con unas pocas bacterias, y otras con muchas. Estas especies pueden fijar hasta 100 kg de N por hectárea por año; *Leucaena* tiene la tasa más alta de fijación: 350 kg/ha/año.

Aunque algunas leguminosas, *bajo ciertas circunstancias*, pueden aportar N al suelo (Halliday 1981), la mayoría no lo pueden hacer (Kellog 1963). De las 68 especies de leguminosas nativas y exóticas estudiadas en la Península de Malasia y Singapur, 37 no tenían nódulos en las raíces (Lim 1977); de las Caesalpinioideae, sólo 4 de 27 tenían nódulos; de las Mimosoideae, sólo 5 de 13, y 22 de 27 Papilionoideae. La falta de nódulos en un hábitat natural, sin embargo, no quiere decir que no se puedan formar. Pero, no existen evidencias convincentes de que aún las leguminosas con nódulos excretan cantidades significativas de N a partir de sus raíces o nódulos. Un cultivo que fija 100 kg de N por año excreta sólo aproximadamente 0,5 kg al suelo (Halliday 1981). Aún en suelos pobres, sólo una parte del N acumulado por las leguminosas proviene de la fijación biológica. El beneficio principal del N para las plantas asociadas se considera indirecto, a través de la pérdida y descomposición de los tejidos de los brotes, raíces y nódulos. Per aún así, 5 t de materia verde añade sólo 40 kg/ha de N al suelo, del cual sólo la mitad aproximadamente se mineraliza para beneficiar al resto de la vegetación.

Estos descubrimientos contradicen muchas de las afirmaciones sobre la capacidad de las plantas fijadoras de N. Sin embargo, estas plantas claramente tienen un lugar en suelos pobres donde el N es limitado. Además, en asociación con otras plantas, las que fijan N presumiblemente compiten menos por el N que las demás especies.

Mejoramiento del efecto de la agricultura migratoria

La agricultura migratoria ha sido tan criticada que muchos han llegado a la conclusión que se deben eliminar. Bajo ciertas condiciones, la agricultura migratoria sin duda crea muchos y serios problemas; sin embargo, la eliminación de la práctica no es factible ni deseable en gran parte de los trópicos. En vez, la práctica debe adaptarse a la capacidad productiva del ambiente. Eso requiere que se entiendan no sólo las necesidades humanas sino también las técnicas capaces de aliviar los problemas.

Debido a la creciente población de los trópicos, Gourou (1956) creía que la producción forestal se debía relegar a laderas y mesetas. Al concentrar la agricultura en las regiones más bajas, ricas y húmedas se aumenta la productividad en tres formas: por hectárea de terreno, por hora de trabajo y por volumen de producción. Esta tendencia, sin embargo, no significa necesariamente que se abandone la agricultura migratoria, porque sin abono, el cultivo migratorio rinde más por día de trabajo que un arrozal.

Al contrario, Watters (1968a) observó que el aumento de producción por unidad de trabajo rara vez corresponde a una mayor inversión para aumentar la productividad. En vez, lo que se genera es más tiempo libre. Para resolver los problemas de la agricultura migratoria, Watters recomendó aumentar el rendimiento por unidad de área en los sitios densamente poblados y por hora de trabajo en los sitios más despoblados (Watters 1971). Además, concluyó que aunque todavía quedan muchos problemas técnicos, la mayoría son relativamente simples de resolver. La verdadera dificultad yace en la implementación de las soluciones; esto es, lograr que la gente rural las acepte; no es que el desarrollo se debe efectuar *para* la gente, sino que debe ser efectuado *por* la gente. Los gobiernos deben darse cuenta de que lo que está en juego en última instancia es la conservación de la gente; sus propias vidas y culturas (Watters 1974). Estos propietarios históricos tienen el derecho de participar en la toma de decisiones que afectan el curso futuro de sus vidas y el uso futuro del bosque. Desafortunadamente, a menudo sus necesidades y deseos no se consideran siquiera. Por ejemplo, en el norte de Borneo los decisores recomendaron controlar la agricultura migratoria, limitando la densidad de población a diez familias (57 personas) por cada 4 km² (Lee 1961). Tales propuestas evidencian la gran distancia entre los que toman las decisiones y los que deben sufrirlas.

Capítulo 8

Los campesinos migratorios recelan de todo intento de cambiar sus prácticas. En lo que hoy es Malasia, los técnicos propusieron como único “remedio” para la agricultura migratoria, el uso de métodos de cultivo más permanentes por medio de producción cooperativa y que se encerraran los animales. Los campesinos no aceptaron el cambio hasta comprobar sus beneficios (Arnot y Smith 1937).

La tribu Bantu, en el antiguo Zaire, consideraba al cultivo migratorio como una garantía de estabilidad económica (Tondeur 1955). El sistema opera a base del trabajo de la familia y les proporciona alimento y protección contra los malos tiempos económicos causados por las fluctuaciones del mercado de productos y de trabajo. Un sistema agrícola más desarrollado podría ser mucho más vulnerable.

Comúnmente se dice que las expectativas de protección y manejo de los bosques en los trópicos depende de que se intensifique la agricultura y la cría del ganado en otros lugares, aliviando a los bosques de la presión ejercida por la agricultura extensiva (Fontaine 1976). Este enfoque sin duda tiene mérito, pero la agricultura intensiva generalmente no emplea a todos los que anteriormente se dedicaban a labores agrícolas extensivas. También, debido a que la agricultura intensiva requiere mayor especialización y destreza, es posible que los que por último se empleen no sean los que anteriormente se dedicaban al cultivo migratorio.

El reemplazo de los sistemas agrícolas primitivos por técnicas más intensivas se debe examinar a la luz de las ciencias económicas. Mientras los campesinos migratorios comienzan con nada, para cambiar sus métodos se tendría que efectuar una inversión enorme en la mejora de los terrenos, irrigación, drenaje, implementos, galpones, caminos, máquinas, vehículos, ganado, bestias de tiro y control de pestes. Debido a que la agricultura nativa no puede aguantar siquiera un pequeño aumento de los costos, la intensificación sería aconsejable sólo si el rendimiento neto del cultivo fuese claramente superior. La economía no sólo debe ser capaz de absorber la inversión; además, debe garantizar financiamiento para quienes no tienen capital (Tondeur 1955).

Los principios científicos en los que se basa la práctica agrícola pueden ser universales, pero las prácticas individuales se deben ensayar a nivel local (Greenland 1975). No se puede suponer que los nuevos métodos

agrícolas desarrollados por los países industriales sean superiores a los métodos locales (Egger 1981). Los países industriales y en desarrollo tienen distintas metas y distintos recursos. En los trópicos, el énfasis ha sido la subsistencia y no la producción para el mercado; seguridad y estabilidad en vez de un rendimiento máximo, y gran diversidad en la economía doméstica, en vez de trabajo mecanizado y productos químicos. Una manera de cambiar el énfasis sería adoptar los métodos avanzados que se usan en regiones cercanas. Otro modo podría ser adoptar métodos modernos, cuidadosamente seleccionados para aumentar la eficacia de los sistemas tradicionales, sin poner en peligro la estructura básica de estos últimos (Egger 1981). La mejor estrategia sería equilibrar los factores de la población con el potencial tecnológico de la agricultura migratoria, en vez de eliminar la práctica o controlarla rígidamente (Rebugio 1976).

Para fomentar cambios en la agricultura migratoria se requiere una rara combinación de tacto y pericia. Raghavan (1960a) llegó a la conclusión de que en la India, los que intenten hacerlo deben ser no sólo científicos sino también sociólogos practicantes con celo misionero. Aún para los que tienen experiencia en economía y organización práctica, esta misión toma tiempo, paciencia y persistencia (Jurion y Henry 1967). Las escuelas tradicionales no proporcionan el tipo de educación capaz de cambiar estas prácticas (Raghavan 1960b). Para ayudar a que la población rural se aúne al ambiente forestal, los currículos forestales deben enfatizar la importancia de los bosques para un sinnúmero de oportunidades aliadas a la agricultura, tales como cría de pollos, manejo de pastos, producción de productos lácteos, labrado de la madera, fabricación de canastos y carpintería.

En Tailandia, la estabilización de campesinos migratorios se ha intentado mediante un extenso desarrollo rural (Samapudhi 1974). El bosque se divide en grandes parcelas para cada aldea, algunas de 96000 ha para 100 familias. Los líderes de la comunidad reciben materiales educativos sobre cómo organizar a la aldea para ayudar a la gente. Además, se pueden efectuar mejoras en la aldea (agua corriente, electricidad y educación). Las tareas forestales constituyen una fuente de empleo parcial. Se organiza un sistema taungya para producir ingresos significativos para la comunidad.

Planificación local mejorada. Los esquemas de asentamiento rural comúnmente tienen metas que suponen el cese de la agricultura migratoria. Como

ejemplo, en el antiguo Zaire, se aplicaron dos sistemas (Coene 1956); con el primero, las familias recibían una parcela en la cual labraban una pequeña porción durante un tiempo dado. Con el segundo, recibían franjas de terreno en forma secuencial. Con el primer método se logró un mejor cuidado del suelo, porque cada campesino se ocupaba siempre del mismo terreno.

Cuando la agricultura de subsistencia ha dado lugar al cultivo para la venta, se pierden las relaciones previamente armoniosas con el ambiente. Generalmente no es deseable ni posible recrear las viejas relaciones (Watters 1960); en vez, la tarea es establecer nuevas relaciones que no violen el “diseño de la naturaleza” y que, sin embargo, sean consistentes con las necesidades actuales.

Donde los cultivos arbóreos, tales como el caucho, la palma aceitera, las nueces y la fruta, son apropiados para laderas lluviosas y suelos marginales, la inversión inicial necesaria y el largo plazo para obtener rendimientos hacen que el cultivo no sea atractivo para los propietarios privados (Santiago 1961). Se necesita, entonces, la participación del sector público en la forma de manejo directo, al menos temporal, o incentivos gubernamentales continuos.

La participación gubernamental requiere el reconocimiento de que la producción forestal juega un doble papel. La asistencia a las comunidades rurales y particularmente a los campesinos capaces de beneficiarse con las mejores prácticas en terrenos que requieren medidas especiales de conservación podría ser el objetivo público principal. Sin embargo, el gobierno debe también estimular la producción de suficiente madera industrial para satisfacer la demanda nacional. Para asegurar el logro de ambos objetivos, los que están a cargo de la planificación pública deben identificar los bosques permanentes, además de los bosques cuya función primaria es el barbecho para sostener la producción de otros cultivos.

Un ejemplo de planificación local se ve en Madras, India (Venkataramany 1960c). La comunidad consistía de 100 familias (500 personas) y 400 cabezas de ganado. El consumo doméstico anual de leña era de 1/6 de tonelada per cápita (83 t en total). Para una rotación de 30 años se necesitaban 100 ha de bosque. Además, el ganado necesitaba 80 ha de pastos, para un total de 180 ha; es decir, 0,36 ha por persona, más del triple del terreno generalmente disponible en aquellos tiempos en

la India. Las recomendaciones presentadas para remediar esta deficiencia incluían reducir la cantidad de ganado y cambiar del abono a fertilizantes químicos, dedicando los terrenos en barbecho y parte de las reservas forestales cercanas a la producción de leña y forraje.

En una encuesta efectuada en la década de los 1960, los administradores de tierras tropicales convinieron en que los cultivos alimenticios y los árboles podían prosperar en terrenos que no eran capaces de sostener un cultivo continuo (King 1968a). Los barbechos de bosques secundarios o árboles plantados se consideraron la clave del éxito. Por consiguiente, se propusieron proyectos a nivel de aldea, en que el uso de los terrenos estaría estrechamente controlado y la producción se complementarían mediante cultivos taungya continuos, dentro de las reservas forestales. El atractivo consistía en las ventajas aportadas, en comparación con otros sistemas, tales como el tener que mudarse frecuentemente, monocultivos caros y cuadrillas de trabajadores pagados para plantar árboles (King 1968a).

Uso de la tierra. Una amplia gama de técnicas, algunas comprobadas pero en su mayoría todavía sin usar, ofrecen la esperanza de que el uso de la tierra pueda ser mejorado y estabilizado donde la agricultura migratoria impide una productividad sostenida. Algunas de las prácticas actuales no protegen el suelo ni agradan a los campesinos. En la India (Sagreiya 1946a), los aldeanos usaban el abono de ganado como combustible sólo como último recurso; la alternativa recomendada fue establecer plantaciones de “combustible y forraje” con especies robustas de crecimiento rápido tales como *Acacia* spp., *Dalbergia sissoo*, *Melia* spp., *Prosopis* spp. y *Senna siamea*, raleadas hasta un espaciamiento de 5 m x 5 m después de 2 a 3 años e intercaladas con pastos de forraje.

El sistema del corredor desarrollado en el antiguo Zaire, se diseñó para estabilizar los límites entre los campos de distintos labradores (Kellogg 1963). La zona entera se manejaba con una rotación basada en la cantidad de años de cosecha, además de los años de barbecho. Cada año, se plantaban cantidades apropiadas de terrenos, mientras que otros se dejaban en barbecho. Cultivos permanentes complementarios se plantaban en las cercanías. Como fertilizante se usaban cenizas de leña, abonos y compost. Los cultivos altos que no requerían un cultivo limpio, como yuca y bananos, se usaban durante el último año antes del barbecho, para

dar a los árboles un buen comienzo. Cada cultivador labra franjas de 100 m de ancho a lo largo de las curvas de nivel con una franja protectora entre una franja y otra (Nath 1968).

La "cosecha en callejones" es una práctica desarrollada por los agrónomos, mediante la cual los cultivos alimenticios se establecen entre hileras de árboles o arbustos. Los cultivos alimenticios deben ser periódicos, y los árboles se podan sólo durante los períodos de cosecha. Las especies arbóreas usadas deben ser fáciles de establecer, de crecimiento rápido, buenas para rebrotar y capaces de desarrollar raíces profundas y follajes densos. Las hileras se espacian de 2 a 4 m, y de 25 a 100 cm entre árboles. Durante los períodos de cosecha, los árboles se podan cada 5 a 6 semanas hasta alcanzar una altura de 2,5 a 7,5 m. Cinco podas de *Leucaena* por año en suelos ligeramente ácidos rindieron 160 kg de P, 100 kg de K, 40 kg de Ca y 15 kg de Mg por hectárea. La aplicación de estas podas al maíz triplicó los rendimientos en cuatro años.

Los cambios en el sistema de cultivo migratorio considerados en la India incluyen barbechos de plazo más largo (taungya) con cultivos de árboles como *Alnus*, *Gmelina*, *Leucaena* o *Sesbania*, o el uso de mejores terrenos para el cultivo continuo con fertilización, rotación de cultivos o cultivo en terrazas (Nath 1968).

Donde la agricultura migratoria está erosionando el terreno, la recomendación más divulgada es intensificar el tratamiento. Esto incluye el uso de fertilizantes, arar cuando los tocones dejan de rebrotar, un uso más eficaz del forraje y de los cultivos arbóreos y el uso de fungicidas y pesticidas (Watters 1974). Estas recomendaciones, sin embargo, constituyen un gran cambio en relación con las prácticas de agricultura de subsistencia y de economía dual. Además, tal intensificación generalmente no ha ayudado mucho a los aldeanos, sino más bien les ha esclavizado a unos pocos cultivos a expensas de lo que necesitan para vivir. A menos que el gobierno pueda compensar a los pequeños campesinos con beneficios que ayuden a desarrollar a la comunidad, los que cultivan terrenos marginales generalmente pierden la carrera debido a la competencia de quienes producen en mejores terrenos.

Sea cual fuere el obstáculo aparente a la mejora de la agricultura migratoria, la productividad natural primaria de los trópicos húmedos sigue siendo una de las más altas del mundo (Lieth 1976). Aunque esta

productividad se reduzca significativamente debido a la conversión de ecosistemas naturales a terrenos de cultivo, y aunque se necesiten fertilizantes para una producción sostenida, aún quedan muchas zonas y un gran número de especies nativas sin ensayar que podrían ser prometedoras.

Tanto en el caso de los sistemas naturales como agrícolas, una gran actividad biológica casi siempre se logra con la ayuda de aportes de fuera del sistema (Odum 1972). Sin embargo, si se intenta aumentar la productividad en demasía, puede aumentar también la contaminación por el uso de sustancias químicas, se desestabiliza el sistema por el monocultivo y se incrementa la vulnerabilidad de las plantas a las enfermedades, si sus mecanismos protectores se suprimen genéticamente para favorecer un mayor rendimiento. Los ecosistemas jóvenes tienen una alta tasa de producción, crecimiento y rendimiento; los ecosistemas maduros tienen altos valores de protección, estabilidad y calidad. Es necesario conservar los mejores rasgos de ambos sistemas.

Para que cualquier sistema agrícola sea estable, la condición física del suelo debe permanecer idónea. Para mantener el carácter arable del terreno se debe controlar la erosión, acidez y toxicidad. El suelo debe permanecer protegido contra la fuerza directa de la precipitación; por consiguiente, se necesita un cultivo de cobertura continua o intermitente. Los nutrientes eliminados por las cosechas se deben reaprovisionar y no se debe permitir que se acumulen malezas o plagas (Greenland 1975). Bajo un cultivo migratorio, estas condiciones se pueden cumplir sólo con un período de barbecho que sea de 1 a 20 veces mayor que el período de cosecha. Si se reduce el tiempo de barbecho y se alarga el de cultivo se induce al deterioro del sitio.

Un sistema de cultivo beneficioso para el pequeño agricultor no incluye el arado, pero sí el abono orgánico, el uso de variedades de alto rendimiento resistentes a plagas y enfermedades, la aplicación de P y posiblemente de otros fertilizantes, el establecimiento de especies leguminosas y el control de la acidez mediante cenizas y hojarasca. Para ser prácticas, las alternativas a la agricultura migratoria deben requerir una inversión mínima de capital, y reducir o eliminar el período de barbecho y aumentar la productividad al menos cuatro veces (Greenland 1975). Sin embargo, la posibilidad siempre existe de que el cultivo intensivo pueda exacerbar la degradación del suelo. Por consiguiente, se

deben controlar los niveles y la estructura de la materia orgánica para anticipar cualquier necesidad y aplicar con prontitud las medidas correctivas necesarias (Young 1976).

Con frecuencia, la agricultura tradicional puede ser mejorada adoptando métodos usados en sitios cercanos (Egger 1981). Ejemplos de tales métodos incluyen el uso de cultivos arbóreos, cultivos de cobertura, manejo de malezas, mezclas y rotaciones escalonadas. La tendencia de estas prácticas es de convertir a la agricultura de subsistencia en un cultivo comercial, una transformación que es mejor efectuar en forma gradual.

Barbechos mejorados. Una buena posibilidad de aumentar la producción agrícola consiste en intensificar los sistemas de barbecho (Greenland 1974a). Esto resultaría en un barbecho de plazo más corto o en un período más largo de cultivos. La fertilización durante los períodos de cosecha siempre será necesaria para estimular la producción significativamente. Los fertilizantes a base del amonio tienden a acidificarse, por lo que se requiere que eventualmente se añada cal, lo cual es costoso. El barbecho seguido por quema agrega nutrimentos que neutralizan la acidificación, por tratarse de carbonatos la mayoría de ellos (Greenland 1974b). Sin embargo, la protección contra la quema es crítica pues el barbecho podría no acumular suficientes nutrimentos para dar sostén a los cultivos posteriores. Este problema, presente en todo el trópico, surgió hace años en el antiguo Zaire, donde se resolvió dejando franjas de bosque nativo en todas las zonas agrícolas para que actuaran como cortafuegos (Collin 1952b). La protección del barbecho contra los incendios de por sí aumenta su efectividad enormemente.

Los barbechos leñosos de las sabanas almacenan mucho más K, Ca y Mg que los barbechos de pasturas (Nye 1958). Aún el barbecho de gandules es muy superior al de pastos nativos.

Distintas especies de árboles pueden ser igualmente valiosas como barbecho, pero varían mucho en cuanto a su utilidad para otros propósitos. *Acioa barteri*, un arbusto de la familia Chrysobalanaceae nativa del África occidental, fue ensayado por su capacidad de rebrote (Nye y Hutton 1957). Después de cuatro años, había almacenado menos N, P y K que la regeneración natural, pero había producido casi el doble de la fitomasa sobre la superficie del suelo (Cuadro 8-7). Por consiguiente, a

la larga, quizás resulte tan beneficioso como el barbecho natural.

Otra alternativa para barbecho son las especies de crecimiento rápido (Young 1976). Si se introducen al final del período de cosecha, pueden ser tan efectivas como el barbecho natural para restaurar el humus del suelo. Un barbecho de seis años con tales especies en ladera con un declive del 25% en Mindanao, Filipinas, mantuvo las pérdidas de sedimento y materia orgánica a un nivel del 45% de la pérdida en bosque primario, y la escorrentía a sólo un 2% de la del bosque primario (Cuadro 8-8). Un período corto de cosecha y el uso adecuado del barbecho de coníferas de crecimiento rápido podrían mantener la tasa de deterioro del sitio a menos de lo que comúnmente ocurre en bosques tradicionales con extracciones regulares, y quizás podrían proporcionar, al mismo tiempo, un beneficio óptimo al ciclo del cultivo (Kellman 1969).

Prácticas mejoradas de cosecha. En los trópicos se tienen la creencia de que el aumento en el uso de cultivos alimenticios puede aumentar el período de cultivo. Para períodos prolongados, en el antiguo Zaire se recomendó dos secuencias de cultivos compatibles (Coene 1956):

Zonas forestales densas:

Año 1: Bananos y arroz, luego yuca (después de cosechar el arroz)
Año 2: Bananos y yuca, la cosecha comienza a fines de año

Cuadro 8-7.—Almacenaje de nutrimentos durante cuatro años en un barbecho de *Acioa barteri* en África Occidental (kg/ha)

Nutrimento	Almacenaje de 4 años (tallos, hojas y hojarasca)	
	Barbecho natural	Barbecho de <i>A. barteri</i>
Materia seca total	24,800	46,700
Nitrógeno	382	310
Fósforo	52	27
Potasio	367	174
Calcio	168	230
Magnesio	104	147

Fuente: Nye y Halton 1957.

Capítulo 8

Año 3:	Cosecha de bananos y yuca
Año 4:	Maíz, calabaza y frijol, seguidos por algodón
Año 5:	Maní, seguido por algodón
Años 6-19:	Barbecho arbustivo

Después del barbecho arbustivo:

Año 1:	Arroz en 20% del terreno; maíz, frijol y calabaza seguido por algodón en el otro 80%.
Año 2:	Maní en 100% del terreno, seguido inmediatamente por algodón en 50%; 2 meses más tarde, yuca intercalada con el algodón
Año 3:	Bananos y yuca sin desyerbar
Años 4 y 5:	Cosecha de bananos y yuca
Años 5-17:	Barbecho arbustivo

El equilibrio entre los cultivos de subsistencia y los cultivos para la venta es de naturaleza crítica pero varía mucho de un lugar a otro. A medida que mejoran las comunicaciones y el transporte, el cambio hacia cultivos del mercado y hacia una economía monetaria para las poblaciones rurales va en aumento. Esta tendencia acentúa la necesidad de reconocer y desarrollar variedades superiores de plantas de cultivo. Desde luego, muchas variedades mejoradas dependen de los fertilizantes para ofrecer rendimientos más altos. Sin embargo, los cultivos más eficaces, frecuentemente ignorados pero que ganan popularidad, son para los que raramente usan fertilizantes.

Un cambio hacia cultivos más permanentes, tales como el forraje y los árboles, ha sido recomendado como modo de aumentar la estabilidad de los agricultores migratorios. Ciertos árboles, bajo prácticas de cultivo cuidadosas, han mantenido su productividad durante décadas.

También es posible mejorar las cosechas con un mejor uso de especies leguminosas. Aunque las leguminosas difieren en su capacidad de fijar N (Halliday 1981), esta capacidad puede ser mejorada significativamente mediante inoculaciones de razas seleccionadas de rhizobias. El resultado puede ser, no solo una menor pérdida del N del suelo, sino también un mejor uso del N. Las plantas leguminosas que fijan N absorben una menor cantidad del N del suelo de lo que absorben las no leguminosas. Si las no leguminosas viven más que las leguminosas, aquellas se benefician por la liberación del N producido con la descomposición de estas últimas. Además, entre el 60 y 90% del N producido en granos por las leguminosas se puede cosechar como alimento humano, una contribución mucho más importante que el beneficio que las especies significan para los cultivos cercanos (Halliday 1981).

El nitrógeno fijado por las especies leguminosas actúa más como complemento que como sustituto del fertilizante a base de N (Halliday 1981). No es realista pensar que se puede reemplazar la fertilización a base de N en cultivos de cereales y vegetales mediante el N fijado biológicamente, porque estos cultivos necesitan mucho más N de lo que se puede suministrar por fijación.

Cuadro 8-8.—Efectos de la cosecha sobre el suelo en Mindanao, Filipinas

Índice	Bosque primario	Bosque talado y abandonado durante 7 años	Bosque talado, abacá durante 12 años, abandonado 7 años
Nitrógeno (%)	1.1	0.6	0.4
Fósforo (ppm P ₂ O ₅)		8.0	24.0
Potasio (meq%) ^a	0.4	0.4	0.4
Calcio (meq%)	2.6	3.3	3.9
Magnesio (meq%)	1.0	0.8	1.0
Carbón (%)	8.5	9.0	4.0
Sodio (meq%)	0.1	0.04	0.1
pH	4.7	5.2	5.5
Capacidad de intercambio catiónico	76.7	46.5	43.3

Fuente: Kellman 1969.

^ameq% = miliequivalentes por 100 g.

Sin embargo, el uso de leguminosas en el futuro será muy importante. Las leguminosas no se producen extensamente todavía debido a los bajos rendimientos en volumen (Halliday 1981); los cereales rinden cuatro veces más. No obstante, las leguminosas son capaces de rendir cinco veces más proteína que los cereales, por lo que las técnicas que aumentan los rendimientos merecen ser investigadas. Una lista de especies de árboles apropiadas para sistemas agroforestales se presentan en el apéndice L.

Uso de fertilizantes. El cambio de cultivos de subsistencia a cultivos comerciales evidencia la necesidad de competir con los productos de fincas que usan fertilizantes. Hay poca duda de los beneficios que la fertilización trae, en términos de producción y ganancias, para los pequeños agricultores, a pesar de las limitaciones financieras y de balance de pagos que existen en la actualidad. El uso de pequeñas cantidades de fertilizantes y sustancias químicas puede aumentar significativamente el crecimiento. No es lógico pasar por alto a los fertilizantes en nombre de la tradición; si su uso se justifica económicamente y se aplican como se debe, no deberían haber reservas ecológicas contra su uso o el uso de otras sustancias químicas (Egger 1981).

En el Campo Cerrado de Brasil, donde la corta y quema han reducido el bosque húmedo perenne a una sabana de pastos de chaparral, los cultivos migratorios no pueden tener éxito sin fertilizantes, incluyendo P, Ca, sulfuro (S) y elementos menores (Hardy 1962a).

Se han propuesto subsidios para fomentar la producción con fertilizante de cultivo para la venta en América tropical como remedio contra la agricultura migratoria (Watters 1971). Se supone que el pequeño campesino sólo podrá participar activamente en la economía nacional mediante una asistencia financiera semejante.

La intensificación de pequeñas fincas en los trópicos debe basarse en el uso de fertilizantes para alargar el período de cosecha y para aumentar los rendimientos a niveles competitivos (Greenland 1974b). Las cosechas de cultivares mejorados (incluyendo variedades de alto rendimiento) requieren más nutrientes que las variedades de más bajo rendimiento (Young 1976). Las deficiencias potenciales de nutrientes no se remedian sólo con fertilizantes; se requieren, además, buenas prácticas de manejo del suelo. La clave para proporcionar una cantidad adecuada de N es mantener niveles razonables de materia orgánica, aplicando

fertilizantes a los cuales se añade compost como complemento.

El objetivo de usar fertilizantes sería maximizar la relación de ingreso y salida de nutrientes, en vez de maximizar el rendimiento solamente (Liebhardt 1981). Pequeñas cantidades de fertilizante pueden aumentar la producción enormemente; en los suelos de base alta que cubren el 18% de los trópicos, pequeñas cantidades de N, P y micro-nutrientes deberían ser suficientes. En suelos cuya base es pobre, o sea el 51% de los trópicos, donde la acidez, toxicidad por aluminio (Al) y deficiencias de P son extensas, quizás se tenga que añadir también cal, P y posiblemente S. Las necesidades de fertilización pueden reducirse usando cultivos que toleran condiciones adversas, tales como arroz de altura, yuca, batata, frijol de palo, algunas especies de pastos y leguminosas (Liebhardt 1981).

Sistema taungya

Los sistemas taungya involucran el uso de cultivos agrícolas cuyo propósito es mejorar los terrenos para iniciar una plantación forestal. Esta palabra, que significa literalmente "terreno de ladera" es birmana (Birmania, hoy Myanmar, de donde el sistema emigró en 1870); en la India esa misma práctica se llamó "kumri" (Clarke-Butler-Coke 1943, Raghavan 1960b).

En Java, el sistema taungya se usó para plantar 40 000 ha de teca (*Tectona grandis*) alrededor de 1891 (Becking 1951). Para 1920 habían 190 000 ha y en 1952, 312 000 ha (Figs. 8-2 y 8-3). En lo que hoy es Myanmar, en 1962 se habían plantado 40 000 ha de teca y otras mezclas (Hundley 1962). En 1977 solamente, se plantaron 132 000 ha de teca en Java, mediante ese sistema (Atmosoedarjo y Banyard 1978). El sistema taungya se diseminó a través de la India después del año 1914, incluyendo además los bosques secos para leña plantados durante la década de 1920. Al África occidental el sistema llegó a fines de la década de 1920 (Brookman-Amisshah 1976). En 1935, la autoridad nativa en lo que hoy es Benin convino en liberar anualmente 400 ha de reservas forestales para establecer plantaciones tipo taungya (Clarke-Butler-Coke 1943).

Para tener éxito, el sistema taungya debe ser aplicado en sitios donde: hay necesidad de terrenos; los suelos son adecuados para producir cultivos alimenticios con rendimientos temporales razonables, sin causar un deterioro excesivo del suelo; las especies arbóreas en demanda son de adaptabilidad comprobada; existe una



Fig. 8-2.—Como se aprecia en las paredes del Templo de Boburadur en Java (siglo VIII), la agroforestería quizás no sea tan nueva después de todo.

población campesina, y el personal local está entrenado para operar el sistema (Clarke-Butler-Coke 1943, Raghavan 1960b, Raynor 1941).

El sistema fue introducido en Bengala occidental, India, debido a que la regeneración natural era poco satisfactoria (Talukdar 1948). Cada campesino recibió de 0,4 a 0,8 ha para cultivar. En algunas zonas, los campesinos recogen las semillas de los árboles, las siembran y limpian la plantación durante dos años sin ningún costo para el gobierno. Además, a los campesinos se les ofrece hasta 2 ha de tierras bajas para que cultiven arroz y se les permite pastar dos bestias de tiro y una vaca en los terrenos forestales. También se les permite obtener productos forestales para construcción y hasta el momento de la cosecha reciben granos alimenticios en préstamo. Además, por todos los trabajos forestales, los campesinos reciben paga.

Se describió como exitosa en la India una combinación de taungya con bosques comunales y zonas de pastoreo (Smythies 1938b). Una zona de casi 15 000 ha había sido usada tradicionalmente por 86 aldeas ubicadas a unos 5 km del borde del bosque. El mismo se había deteriorado, ya que hasta 1947 se había permitido el uso ilimitado para el pastoreo y extracción de madera. En ese año se protegieron del pastoreo 5700 ha, las cuales mejoraron rápidamente. Según el plan, 6700 ha fueron clasificadas como de producción de madera (de estas, 5700 ha se establecerían mediante el sistema taungya), y 8700 ha se dedicaron al uso de las aldeas (6500 ha para



Fig. 8-3.—Los terrenos ricos y llanos de la parte oriental de Java están muy poblados e intensamente cultivados; sin embargo, los árboles se han mantenido durante siglos por sus frutos, madera y leña para la población agrícola.

establecer plantaciones para leña mediante el sistema taungya).

En Java, el sistema taungya se usó simplemente porque se necesitaban cultivos alimenticios (Weff 1954). Se plantaron los siguientes cultivos: maíz, maní y ají (Becking 1951). La yuca y el aceite de castor se consideraron plantas demasiado altas. Entre los cultivos alimenticios se intercalaron árboles de *Leucaena*, especie que produjo un aumento de la hojarasca y del nitrógeno. Más recientemente, se ha cultivado arroz de secano al lado de la teca en Java, usando N y P como fertilizantes (Atmosoedarjo y Banyard 1978). El fertilizante aumentó los rendimientos de los cultivos en más del 50% y pareció estimular a la teca también.

En 1952, el sistema taungya había sido ensayado en gran parte del África occidental. En Gambia, Costa de Marfil y Sierra Leona, el sistema taungya tuvo éxito con teca y *Senna siamea* (Anón. 1952n, Piolant 1952). En el antiguo Zaire, se usaron sólo dos clases de taungya (Collin 1952a). En las reservas estatales, se otorgaron a los campesinos parcelas de 5 ha ya preparadas para plantar. Los campesinos cultivaron bananos para la exportación con espaciamientos de 8 m x 12 m, y cuidaron de los árboles plantados por el departamento forestal. En los terrenos de las tribus, se permitió que la regeneración natural de las especies madereras surgiera entre los cultivos, con un espaciamiento amplio, cuyo promedio era de 20 m. En

Nigeria, se operan dos sistemas semejantes dependiendo de la propiedad del terreno. El tamaño de finca varía de 0,5 a 2,0 ha por familia (Olawoye 1975); allí, el sistema taungya se ha convertido en una fuente importante de alimentos y de empleo.

En las zonas secas del África, como el Sudán, el sistema taungya se ha practicado usando maíz durante un año intercalado con *Acacia arabica* (Jackson y Shawki 1950). Maíz, sorgo y pastos bajos también fueron establecidos junto con *Eucalyptus microtheca* en Sudán durante tres años, sin aparente detrimento al crecimiento del árbol. La altura promedio del árbol después de tres estaciones de crecimiento fue de más de 3 m (Khan 1966a). Donde el agua del subsuelo no era demasiado profunda, tuvo éxito intercalar *Azadirachta indica* (neem) con cultivos de millo y frijol. Cuando los árboles se plantan a espaciamientos de 2,4 m x 2,4 m, el dosel se cierra en tres años (Mackay 1952). En Paquistán, la práctica de intercalar *D. sissoo* con algodón resultó ser no sólo barata para el gobierno, sino que también produjo algodón de buena calidad después de 13 meses (Khan 1957).

La experiencia con el sistema taungya en África oriental (donde el sistema es conocido como *shamba*) demostró que en la segunda rotación los campesinos obtienen una cosecha menor que en bosque primario cosechado por primera vez (Anón. 1968d). Sin embargo, se consideró necesario repetir la práctica aún si eventualmente se debieran añadir nutrimentos.

En Trinidad, donde el sistema taungya ha sido practicado desde hace tiempo con teca, se han otorgado arrendamientos anuales para su cultivo. La práctica normal es cosechar cultivos alimenticios durante 1 a 3 años antes de abandonar (Fig. 8-4).

El sistema taungya ha sido usado con éxito en otras partes del neotrópico. En lo que hoy es Belice, se ha cultivado el maíz entre árboles jóvenes de caoba (*Swietenia macrophylla*) (Flinta 1960). En el sur de Brasil, se ha cosechado arroz y frijoles durante dos años en plantaciones de *Cunninghamia lanceolata*; y en Sao Paulo, arroz y algodón con eucaliptos. Un ensayo de sistema taungya a base de *Eucalyptus* y maíz en Brasil, demostró lo importante que es el espaciamiento (Cuadro 8-9). Tres hileras de maíz entre eucaliptos produjeron el valor más alto por unidad de terreno, pero debido a que los suelos eran pobres se consideró preferible usar sólo una hilera.



Fig. 8-4. — Una plantación exitosa de teca (*Tectona grandis*) bajo sistema taungya en Trinidad; el cultivo agrícola ya ha terminado y los árboles dominan.

En 1968, una encuesta a nivel mundial sobre el sistema taungya (King 1968a) registró que más del 60% de los departamentos forestales en los países tropicales tenían programas de plantación diseñados para ayudar a los campesinos. Se reportaron 79 especies madereras y 39 cultivos agrícolas. Los cultivos menos usados eran banano, maíz, caña de azúcar, tabaco y camote, generalmente porque producían una sombra excesiva, tenían un período de cosecha demasiado largo o tendían a trepar por los árboles. Según los informes, los rendimientos declinaban después del primer año porque para entonces se cerraban las copas de los árboles.

El sistema taungya ha sido de mucho éxito como forma de establecer plantaciones arbóreas en diferentes condiciones. En las zonas secas de lo que hoy es Myanmar, con 45 a 110 cm de precipitación anual, se establecieron bosques comunales usando sistemas taungya durante 2 o 3 años para proporcionar leña a partir de *Acacia* spp., *Albizia lebbek*, *Senna siamea*, *D. sissoo*, *M. azedarach*, *Prosopis* spp. y eucaliptos (Aung Din 1954). El sistema taungya ha sido usado con éxito para producir cuatro especies de madera para pulpa. Por su trabajo, los campesinos reciben incentivos tales como créditos y el privilegio de pastorear su ganado en zonas forestales. En Jari, Brasil, algunas de las plantaciones de madera para pulpa de *Gmelina* se establecieron mediante el sistema taungya.

Este sistema no está a prueba de problemas. En algunas zonas es difícil que los campesinos abandonen la parcela

Cuadro 8–9.—Rendimientos de *Eucalyptus* y maíz bajo sistema taungya en Brasil

Espaciamiento	Maíz (kg/ha)	Tamaño medio del árbol a los 18 meses	
		Dap (cm)	Altura total (m)
<i>E. alba</i> sola 1.5 x 3.0 m	0	5.3	7.0
<i>E. alba</i> separado por 1 hilera de maíz a 1.0 x 1.5 m	4,600	4.9	6.5
<i>E. alba</i> separado por 2 hileras de maíz a 1.0 x 1.0 m	5,400	4.0	5.9
<i>E. alba</i> separado por 3 hileras de maíz a 1.0 x 1.5 m	6,700	3.2	5.1

Fuente: Gurgel Filho 1962.

una vez que comienzan a labrarla (Civette 1953). En la India, los campesinos descuidan los árboles y luego reclaman el sitio para agricultura permanente (Banerji 1960). Donde hay abundancia de terrenos, hay poco interés en la práctica (Anón. 1952h, Cristovao Henriques 1952).

Tres factores se ve que incrementan la necesidad para el sistema taungya (Wyatt-Smith 1979): 1) la creciente población en el mundo en desarrollo; 2) el reconocimiento de que el desarrollo industrial no es la panacea; 3) la necesidad de detener la emigración hacia los centros urbanos mediante una mejora de la calidad de vida rural.

El desarrollo de la agroforestería

La agroforestería ha tenido muchas definiciones, a menudo contradictorias. Según la etimología, parece que el término se deriva de “agrosilvicultura” (Townshend 1952). King (1979a) definió a los “sistemas agrosilviculturales” como una mezcla de cultivos agrícolas y árboles; a los “sistemas silvopastorales” como una mezcla de cultivos forrajeros y árboles, y a los “sistemas agrosilvopastorales” como una mezcla de estos tres tipos de cultivos combinados en forma escalonada.

Wyatt-Smith (1979) considera que el término “sistema agroforestal” tiene un sentido general y abarca a la agrisilvicultura además de otros sistemas. Richards (1982) usó límites más estrechos para confinar al sistema agroforestal a prácticas en que los árboles se integran verticalmente con otros cultivos; es decir que uno de los cultivos sobrepasa al otro en altura. A los sistemas que se integran en forma horizontal, tales como las cortinas rompevientos, las llamó “forestería en fincas” (farm forestry). Esta distinción parece tener mérito.

La clasificación de los sistemas agroforestales y la experiencia acumulada en torno a los mismos se ha

compilado en una publicación llamada “Sistemas agroforestales en América Latina y el Caribe”, publicada por una oficina regional de la FAO (Anón. 1984e). Además, las actas de un taller de planificación efectuado en Kandy, Sri Lanka en 1984 presentan datos de punta sobre el uso y producción de árboles de propósitos múltiples en Asia, y descripciones de un sinnúmero de prácticas de aplicabilidad universal (Burley y Steward 1985).

Variables conceptuales. Mucho de lo que se dice sobre la agroforestería es meramente promocional. Por décadas han existido algunas técnicas para la cosecha del caucho, cacao y cultivos mixtos en tierras bajas de Indonesia, cuyos rasgos principales son la permanencia, las cosechas continuas y los árboles. Pero todavía no se ha desarrollado una tecnología para los cultivos anuales en grandes áreas de terrenos agotados y marginales en los trópicos.

El entusiasmo reciente por la agroforestería no significa que los forestales de los países tropicales han ignorado hasta ahora el bienestar de la población en zonas de bosques (Wyatt-Smith 1979). Su preocupación ha sido crear plantaciones forestales grandes y compactas con un manejo sostenido para beneficiar la economía del país entero y generar divisas.

Con la gran necesidad de reservar las buenas tierras para la agricultura, la forestería ha sido relegada a terrenos submarginales para la agricultura, gran parte de los cuales son pobres también para la producción maderera. Al mismo tiempo, aumenta la demanda por madera y leña. La única solución es aumentar la capacidad productiva por unidad de superficie mediante una mejor protección y reducir el período de producción de los nuevos cultivos mediante plantaciones (Wyatt-Smith 1979). Estas tendencias afectan profundamente a los departamentos forestales y a la profesión forestal.

Típicamente, la planificación forestal a escala nacional ha involucrado el establecimiento de objetivos en términos de las necesidades futuras de los que se han considerado los “principales” productos madereros: madera de aserran, contrachapado, tablas de partículas y madera para pulpa y papel (Mackney 1968). Otros productos de madera en rollo y leña se consideran secundarios.

Algunos consideran que la agroforestería es un sistema capaz de quebrar la falsa dicotomía entre la agricultura y la técnica forestal (Adeyoju 1980). Los valores más extensos del desarrollo rural trascienden la producción convencional forestal, y por lo tanto, se deben incorporar en la capacitación de los profesionales forestales.

Una característica de la agroforestería, que la distingue de las demás actividades forestales, es su complejidad multidisciplinaria. Esta complejidad no resulta tanto de problemas técnicos, como en el caso de las plantaciones convencionales de árboles, sino del hecho de que las posibilidades de éxito o fracaso no están en las manos de los forestales. La agroforestería generalmente se practica en terrenos agrícolas donde los cultivos agrícolas eclipsan a los cultivos arbóreos, tanto en productividad como en importancia; además, es ejecutada por campesinos cuyo objetivo principal es producir cultivos agrícolas en vez de forestales. Por consiguiente, el forestal debe negociar como socio minorista con los agrónomos de la comunidad agrícola. Para hacerlo, él o ella debe aprender todo lo posible sobre la ciencia y práctica agrícola en la región, además de las tradiciones y motivaciones de los campesinos. Al fin de cuentas, el futuro de la agroforestería depende más de la aceptación y de los empeños efectivos de los agrónomos y los campesinos que de las convicciones de los forestales.

Todas estas facetas de la práctica agroforestal apuntan hacia un requisito preliminar y continuo: observación cuidadosa. La agroforestería es el trabajo de comunidades rurales en conjunto; no sólo una tarea para los profesionales. Los que la proponen deben estar involucrados con la comunidad y ser aceptados por ella. Deben llegar a saber cuáles son los motivos y las aspiraciones de la gente que vive en la comunidad.

Los árboles, si ya están en uso como parte de la agricultura en la región, pueden ofrecer un punto de partida significativo. Se deben considerar cuáles son las prácticas actuales en cuanto a la producción de cultivos

alimenticios y forraje, y se debe entender el papel que juegan los suelos, que quizás impongan límites sobre la capacidad de las fincas y de los cultivos arbóreos. Los patrones actuales estacionales de cultivos mixtos también se deben explorar, además del equilibrio entre el consumo directo y los cultivos para la venta. Quizás se pueda establecer un paralelismo a nivel local entre la agricultura comercial y la de subsistencia y entre la práctica agroforestal y la producción de madera comercial.

Ya sea que los árboles formen parte o no de la agricultura local, es probable que las prácticas agrícolas actuales estén profundamente arraigadas, generalmente por buenas razones. La principal de ellas quizás sea la seguridad; la certeza de contar con un rendimiento conocido. Donde la subsistencia es precaria, la seguridad es más atrayente que las promesas de que algo nuevo va a suceder. El significado de este postulado es que las nuevas prácticas se deben fundir con las tradicionales, para que no sustituyan meramente algo conocido por algo nuevo. Por lo tanto, el proceso mediante el cual se gana la aceptación de los campesinos por fuerza debe ser gradual.

Los sistemas agroforestales se pueden clasificar con base en sus funciones y la naturaleza y disposición de sus componentes (Nair, P.K.R. 1985). Sus funciones protectoras incluyen la conservación del suelo, la conservación de la humedad, la mejora del suelo y el mantenimiento de la sombra y de rompevientos. Pueden producir alimentos, forraje, madera y otros productos (Fig. 8-5). Sus componentes pueden ser cultivos y árboles; pastizales y árboles; cultivos, pastizales y árboles; u otras combinaciones, incluyendo acuicultura y apicultura con árboles.

Los principales sistemas agroforestales del neotrópico se presentan a continuación (Anón. 1984c):

1. Sistemas secuenciales
 - A. Cultivos migratorios
 - B. Sistema taungya
2. Sistemas simultáneamente asociados
 - A. Árboles y cultivos
 - a. Café, cacao, té
 - b. Árboles sobre cultivos anuales
 - c. Árboles que sostienen cultivos trepadores
 - d. Huertos sobre cultivos de legumbres
 - e. Cultivos perennes mixtos



Fig. 8-5.— *Un cultivo secundario importante son los anthuriums para la exportación, los cuales se producen bajo el bosque montano bajo húmedo de la Isla de Dominica*

- B. Árboles y cultivos forrajeros
 - a. Árboles en pasturas
 - b. Bosques naturales pastoreados
 - c. Árboles forrajeros
- 3. Sistemas de árboles adyacentes
 - A. Aclareos por franjas
 - B. Cercos vivos

Los detalles de estos sistemas en uso en la región se presentan en la publicación “Sistemas Agroforestales” (Anón. 1984e).

Posibilidades y limitaciones. Las prácticas agrícolas actuales en los trópicos varían, algunas veces inexplicablemente, de un lugar a otro. Esta variación puede deberse a que los campesinos no se comunican entre sí, pero también a que los ambientes de una región suelen ser muy distintos y presentan distintos climas, suelos y hasta mercados. De modo que no se puede suponer simplemente que las distintas prácticas se basan en la ignorancia y que por lo tanto se pueden superar, informando a los campesinos de las mejores prácticas que se usan en otras partes. Primero, los forestales deben asegurarse que las diferencias no son el resultado de largos períodos de pruebas y ensayos que desembocan en la adopción de ciertas prácticas bien adaptadas a la región. En caso opuesto, las nuevas prácticas deben coexistir con las tradicionales en vez de reemplazarlas, al menos por un tiempo.

Las mezclas complejas y tradicionales de cultivos agrícolas en los trópicos son un blanco tentador para la simplificación, pero esta tentación se debe resistir, al menos hasta que tales sistemas de cultivo sean bien entendidos. Las mezclas generalmente incluyen plantas cuya compatibilidad ha sido comprobada a través del tiempo y la experiencia. Sus ciclos de crecimiento o los momentos oportunos de cosecha a veces pueden ser asíncronos, y por lo tanto complementarios. Su disposición y representación en el esquema de cultivos puede ser óptimo. Las alturas de los doseles y su capacidad para interceptar la luz quizás minimicen la competencia. Sus exigencias individuales de agua pueden congeniar de manera temporal. Pueden también ser complementarios en cuanto a las tareas de cosecha. Pueden proporcionar un equilibrio necesario entre los cultivos comerciales y los de subsistencia. Sus productos quizás proporcionen la diversidad necesaria para la seguridad o el equilibrio nutritivo. Su poco peso puede facilitar el mercadeo en zonas donde los árboles son difíciles de transportar. Cualquier cambio drástico por lo tanto, puede destruir algunas o todas estas características complementarias, que quizás sean esenciales (o al menos, no negociables al principio), para los campesinos.

Ya que las prácticas agroforestales se aplican a los productos madereros y a sus beneficios, se deben considerar desde el punto de vista de las necesidades de la nación entera y como posible complemento de la producción de madera concentrada en otras partes no relacionadas con la agricultura. Estas zonas normalmente serían la fuente primaria de madera industrial para las poblaciones urbanas o para la exportación, ya que para un flujo sostenido de productos forestales se requiere un control centralizado y economías de escala para apoyar a las industrias procesadoras y competir en los mercados libres. El sistema agroforestal es por naturaleza una actividad muy dispersa que ocupa superficies relativamente pequeñas, pertenecientes a distintos propietarios. Por consiguiente, se adapta mal para cumplir con estándares de calidad uniforme y flujo requerido en los principales mercados madereros a escala nacional. En vez, su potencial es para abastecer de madera a las comunidades rurales, y posiblemente a algunos mercados especializados como las artesanías, madera rolliza y leña. Por consiguiente, las prácticas agroforestales se deben centrar primero en abastecer las necesidades de las comunidades rurales.

La eficacia con que la sucesión del bosque secundario acumula fitomasa sugiere que el cultivo forestal se asemeja a este proceso (Holdridge 1959). Estudios en Costa Rica demuestran que los huertos caseros alrededor de los hogares se asemejan al bosque en el hecho de ser diversos y relativamente permanentes. La agricultura de cultivo mixto a mayor escala, capaz de mantener un reciclaje de nutrientes adecuado sin fertilizantes, puede incluir un estrato superior de *Cordia* y palma pejibaye (*Gulielma gasipaes*), un sotobosque de cacao y cobertura herbácea. Durante su establecimiento, se pueden usar cultivos de arroz, maíz, yuca y bananos. Un ciclo completo estaría compuesto de 30 parcelas de 0,1 ha cada una, estableciéndose una por año, además de 0,6 ha para la casa, jardín, árboles frutales y pastizal (Holdridge 1959).

Un enfoque usado en el Brasil se centró también en la retención de nutrientes, simulando la sucesión natural (Uhl y Murphy 1981). El sistema comienza con ciperáceas, pastos, especies leñosas de sucesión, lianas y árboles forestales de especies de valor económico. Entre las prácticas de establecimiento se incluyen adición de hojarasca seca, introducción de especies leguminosas (especialmente variedades mejoradas) y la aplicación de cal. Hasta qué punto un sistema así puede soportar cosechas intensivas, queda por verse.

Burley (1980b) concluyó que el mejoramiento genético de árboles para la agroforestería debe comenzar ahora y que el empeño debe ser de alcance internacional. Sin embargo, los genetistas indican que la variedad de usos en sistemas agroforestales complica todo intento de mejorar la calidad de los árboles. Este proceso difiere del mejoramiento genético de los árboles para plantaciones de madera industrial en cuatro aspectos principales:

- Las pruebas genéticas para propósitos agroforestales deben incluir a los cultivos agrícolas asociados, además de los tratamientos de manejo.
- La ponderación de las características debe reflejar una extensa variedad de usos del árbol.
- Los campesinos normalmente no efectúan trabajos genéticos; por lo tanto se necesitará un trabajo de extensión para diseminar los resultados.
- El muestreo y los ensayos se complican con el desarrollo de razas que ya pueden haber ocurrido en muchas especies.

El entusiasmo por lo que aparentemente promete el sistema agroforestal no debe conducirnos a repetir a ciegas los empeños del pasado, que pretendían desarrollar la agricultura en todas partes (Sholto Douglas 1968). Muchas zonas forestales permanecen dentro de regiones agrícolas, en sitios en que la producción de los árboles por sí sola, al servicio de la población rural, es más apropiada que el cultivo intercalado de árboles y otros cultivos. Ejemplos de esto son los terrenos baldíos al borde de carreteras, canales, parques y bosques comunales (Randhawa 1946). Además, aún donde el cultivo intercalado pareciera apropiado porque la agricultura no ha tenido éxito, han de persistir variaciones en cuanto a la productividad. Por consiguiente, las zonas más favorables deberían recibir la mayor atención, las menos favorables se deberían dejar en barbecho o bajo cobertura boscosa hasta que se hallan desarrollado bien los mejores sitios. En otras palabras, todavía se necesita un manejo separado de la mayoría de los terrenos mejor adaptados, dedicándolos a la agricultura o a las prácticas forestales, en vez de suponer que es necesario que se mezclen los dos sistemas en todas partes (Holdridge 1959).

Es indudable que cuando se añaden árboles a los cultivos agrícolas, se mejora la estabilidad de la agricultura en las regiones tropicales. Sin embargo, la permanencia de la combinación como fuente de alimentos para la subsistencia o para la venta, sin añadir fertilizantes, todavía queda por comprobar. Pero aún si el sistema no suministra todos los nutrientes necesarios, quizás pueda alcanzar la autosuficiencia, por lo que se necesitarían sólo aplicaciones mínimas de fertilizantes.

Una revisión de la literatura revela que las posibilidades y limitaciones de la agroforestería son poco conocidas por falta de información confiable (Alvim 1981). La comunidad científica considera que la agroforestería no está suficientemente documentada para que su aplicación técnica sea factible en forma inmediata y extensa (Gleissman 1981a). Esta opinión se debe, en parte, a que en general no se acepta la idea de que la evaluación de los rendimientos se debe efectuar a largo plazo y sobre una base diversificada.

Un uso más generalizado de la agroforestería en los trópicos requerirá mucho más que la aceptación técnica. Aún en una sociedad tan educada y desarrollada como la de Dinamarca, el desarrollo de pequeñas parcelas forestales, de propiedad privada, ha requerido el uso de subvenciones gubernamentales

(Frolund 1962). Aparentemente, tales incentivos serán necesarios por mucho tiempo todavía.

Beneficios futuros de la agroforestería. El éxito de la agroforestería implica beneficios sociales y económicos. En la India (Sangal 1981), se emplearon técnicas agroforestales para producir leña y madera pequeña fuera de los bosques, reduciendo así la presión de la población rural sobre los bosques, necesarios para producir madera industrial. Otros posibles beneficios incluyen la reducción de la agricultura migratoria, el establecimiento de agricultura productiva en terrenos abandonados y generación de empleo.

Un cambio hacia cultivos perennes dentro del sistema agroforestal puede de por sí aumentar los rendimientos. Por ejemplo, una plantación de 12 años de palma aceitera puede producir 4 toneladas de aceite por hectárea al año, un rendimiento que ningún cultivo anual puede lograr, por más largo que sea el período (Best 1962). También, los árboles de raíces profundas, cuya hojarasca beneficia a los cultivos intercalados de raíces superficiales, sirven para bombear nutrientes de mayores profundidades. Las raíces de *Erythrina glauca* en Surinam pueden ser tres veces más profundas que las raíces del café o del cacao (Stahel 1949).

El intercalado de cultivos es beneficioso por otras razones que la mera diversificación. Los estudios en el antiguo Zaire (Sparnaay 1957) indicaron que el intercalado de cultivos permite un desarrollo inicial vigoroso de la palma aceitera. El cultivo múltiple tampoco es necesariamente dañino para los cultivos de sombra. En Bangladesh se considera que una sombra del 50% es ideal para el té (Skoupy y Vaclav 1976). En las Islas Solomón, los beneficios de la sombra de árboles en los cultivos se aceptan como compensatorios del espacio que ocupan y su susceptibilidad al daño causado por las tormentas (Yen 1974). En Malasia, durante un período de 63 semanas se midió el rendimiento del pasto *Axonopus compressus*, el cual produjo 21,3 t/ha/año sin sombra y 25,4 t/ha/año con sombra proporcionada por *Samanea saman* (Jagoe 1949). Los sitios a la sombra produjeron pastos con un porcentaje de proteína de 9,6 a 11,7%, en comparación con 9,1 a 10,4% de los pastos sin sombra.

Donde no se usan fertilizantes, los rendimientos del café son típicamente más altos a la sombra que sin ella (Ostendorf 1962). El argumento de que la presencia de los árboles reduce la humedad del suelo es dudoso. En

las regiones áridas del África occidental, se notaron varios beneficios producidos por la sombra de *Acacia albida* en los cultivos asociados, incluso un aumento de la humedad relativa, una reducción de los extremos de temperatura, un aumento de la absorción de la humedad durante las lluvias y mejor conservación de la humedad del suelo después (Dancette y Poulain 1969).

Los beneficios de la hojarasca de los árboles en los cultivos asociados se han demostrado bajo muchas condiciones. En África occidental, la producción de la palma aceitera aumentó un 8% con el plantado de un sotobosque de café, atribuyéndose tal beneficio a la hojarasca (Sparnaay 1957). Dentro de las plantaciones de palma, el suelo era más productivo cerca de las plantas (Kang y Moorman 1977); al aumentar la distancia entre 0,25 y 4,00 m, los primeros 30 cm del suelo tenían un contenido de humedad reducido y una mayor densidad por unidad de volumen. El C orgánico, el N total y el P, K, Ca y Mg extraíbles decrecieron al menos en 50%. El efecto no pudo ser revertido aún con la aplicación de NPK. Después que las palmas se eliminaron, un cultivo posterior de maíz mostró haber recibido beneficios significativos de las palmas, como lo determinó un análisis del contenido de N, P, K, Ca, Mg y Mn (manganeso) de las hojas.

La hojarasca producida por las especies leguminosas quizás sea más rica en nutrientes que la hojarasca de especies no leguminosas, aún cuando las hojas se caen naturalmente y no debido a una poda. En lo que hoy es Malasia, la sombra de especies leguminosas produjeron pastos con un contenido de proteína de 13,8 a 14,8%, en comparación con los pastos producidos bajo no leguminosas, que arrojaron porcentajes de 9,6 a 11,7% (Jagoe 1949). La sombra para las plantaciones de té en Bangladesh generalmente es proporcionada por leguminosas como *Albizia spp.*, *Gliricidia sepium* y *Senna siamea* (Skoupy y Vaclav 1976); la sombra en cafetales en la América tropical también típicamente proviene de especies leguminosas.

Las cosechas de alimentos se pueden extender de 8 a 10 años bajo ciertas condiciones si se incluye una vez cada dos años un cultivo leguminoso de abono verde (Newton 1960). Dos cultivos de leguminosas pueden aumentar el rendimiento del cultivo alimenticio posterior; sin embargo, eso no prueba que las leguminosas sean más económicas que el barbecho natural. El valor como barbecho de las leguminosas en comparación con las no leguminosas merece ser comprobado.

Pruebas efectuadas en la India (Ranganathan y Ghatnekar 1984) ilustran el potencial de la agroforestería en una región que recibe casi 200 cm de precipitación por año entre junio y setiembre, pero con una irrigación complementaria de 1,5 a 2 L por árbol una vez al mes desde octubre a mayo. *Leucaena* (variedad K8) espaciada a 1 m x 1 m rindió 23 t/ha/año en 33 meses. A un espaciamiento de 2 m x 2 m, el rendimiento fue de 12 t/ha/año. Comparaciones entre plantaciones mixtas y monocultivos no demostraron una superioridad evidente; de hecho, un monocultivo de *Eucalyptus* rindió casi 36 m³/ha/año después de 33 meses, en comparación con 27 m³/ha/año en una plantación mixta de cinco especies.

El cultivo intensivo en la India también demostró ser prometedor. Plantaciones sin irrigación de *Leucaena* K8, espaciadas a 0,3 m x 0,3 m y cortadas de 8 a 9 veces en 12 meses, rindieron 13 t/ha/año, un valor de 2,9 veces el costo. La irrigación foliar con 3,5 L de agua por árbol todas las semanas entre octubre y mayo aumentó el rendimiento a 23 t/ha/año, sin cambiar el valor que siguió siendo 2,9 veces el costo.

Según algunas definiciones, el dosel protector de árboles (shelterbelt) en los bordes de tierras de cultivo no son parte estricta de la agroforestería porque su integración con los cultivos es horizontal en vez de vertical. Sin embargo, unos pocos principios parecen apropiados. En las zonas templadas, es más posible obtener ganancias óptimas de los aclarados sucesivos en franjas estrechas (Stoeckeler 1965).

Para un beneficio máximo, las franjas se deben orientar en forma perpendicular a los vientos más dañinos. Hileras solas no sobreviven bien en zonas secas, así que se recomiendan cortinas de hasta cinco hileras. La distancia entre las cortinas puede variar de 5 a 25 veces la altura del árbol, dependiendo de la topografía y de la velocidad del viento. Las especies seleccionadas de árboles deben estar bien adaptadas, ser efectivas como cortinas rompivientos, resistentes al viento y a las rupturas, libres de enfermedades, de crecimiento rápido, de vida larga y fáciles de establecer (Stoeckeler 1965).

El valor de empleo de la agroforestería es significativo. El establecimiento de una nueva plantación de palma aceitera en Benin mostró que la palma intercalada con cultivos alimenticios durante los primeros cuatro años podía aumentar el número de empleos durante el período de 390 a 1455 días, en comparación con la cobertura natural mantenida regularmente (Sparnaay 1957).

El valor en términos de empleo de varios cultivos forestales es favorable en relación con otros cultivos agrícolas. En las Islas Andamán, plantaciones de caucho que abarcan 7400 ha han creado 6000 empleos y 1200 empleos en plantaciones de palma aceitera de 2400 ha (Singh, B. 1973).

Desventajas de los cultivos mixtos. Las combinaciones de cultivos pueden ser beneficiosas bajo ciertas circunstancias, pero también existen importantes limitaciones. Rara vez es posible mantener condiciones óptimas para dos distintos cultivos en un mismo terreno (Sparnaay 1957). Una combinación de caucho y café robusta bajó los rendimientos de ambos cultivos y su manejo fue más costoso, porque ninguno de los dos cultivos crecía en condiciones óptimas. Ya que el caucho es el que domina económicamente, es el que generalmente determina la idoneidad del segundo cultivo. Según Allen (1955) las combinaciones de cultivos tienen las siguientes limitaciones:

1. El segundo cultivo no debe ser tan alto como el cultivo principal, y los sistemas de raíces deben explotar distintos horizontes del suelo.
2. El segundo cultivo debe ser tolerante a la sombra parcial.
3. El segundo cultivo no debe ser más susceptible que el cultivo principal a las enfermedades que ambos tienen en común.
4. La cosecha del segundo cultivo no debe dañar ni al cultivo principal ni al suelo.
5. La vida económica del segundo cultivo no debe ser más larga que la del cultivo principal.

La mayoría de las combinaciones de cultivos perennes con palma aceitera presentan problemas (Sparnaay 1957). El cacao, por ejemplo, requiere una cantidad cada vez mayor de luz, mientras que las palmas aumentan cada vez más su sombra. Pruebas en el antiguo Zaire con café a varios espaciamientos demostraron que no había ninguna combinación que se justificara económicamente. Era necesario podar las palmas o librarse del café demasiado pronto después de haberlo plantado.

La sombra sobre el cacao intercepta el agua de lluvia, reduce la radiación solar, rebaja la temperatura, aumenta

la humedad y reduce la velocidad del viento (Hardy 1962b). El efecto neto es una reducción en la tasa de transpiración del cacao que afecta en forma adversa la nutrición mineral y, por consiguiente, los rendimientos.

En climas secos, la competencia entre cultivos por el agua puede causar daños. Esto se ilustra con los efectos del anillamiento selectivo de árboles en espaciamientos amplios en los bosques de miombo del África (Ward y Cleghorn 1964), donde se logró un aumento en el rendimiento de pastos para forraje de 355 a 1460 kg/ha durante los siguientes cuatro años.

Una característica de muchos cultivos es producir rendimientos reducidos bajo sombra. Por ejemplo, aunque el 50% de la sombra se considera favorable para el té en Bangladesh (Skoupy y Vaclav 1976), en África oriental el rendimiento disminuye entre 10 y 15% bajo sombra del 20 a 90%, a distancias de hasta 12 m de los árboles que arrojan sombra (McCulloch y Pereira 1965). Una disminución en los rendimientos del cacao en las proximidades de *Terminalia ivorensis* se demostró en Ghana (Cuadro 8-10). Las diferencias altamente significativas en las cantidades de frutos producidos por el cacao se atribuyeron a la distancia entre este y los árboles de sombra. La explicación más probable es la cantidad de luz, ya que la humedad era abundante y quizás haya sido máxima cerca de los árboles de sombra (Bonaparte 1967).

Combinación de cultivos. A pesar de lo incompleta que la información pueda ser, muchos ejemplos de cultivos intercalados parecen tener éxito, al menos temporalmente. Una de las combinaciones más exitosas usa el caucho como cultivo principal. En lo que hoy es Malasia, los árboles plantados en hileras a distancias de 20 m, e intercalados con cultivos alimenticios bien

abonados proporcionaron un ambiente apropiado para ambos cultivos (Allen 1955). Esta configuración aumentó la eficacia de la mano de obra, permitiendo que se pudiera replantar. Entre los cultivos recomendados se encuentran el café, cacao, banano, té, palma aceitera, la balsa en rotación de seis años y rebrotes de *Gmelina arborea* en tocones de ocho años.

El café ha crecido bajo la sombra durante siglos. Aunque con manejo intensivo, es posible lograr una producción mayor sin sombra, pero se espera que el uso de la sombra ha de continuar. Los árboles de sombra son generalmente de menor valor que el café y típicamente se trata de leguminosas, como *Erythrina*, *Inga* o *Senna*, que se usan principalmente como leña. La selección de tales árboles por sus copas amplias indica una falta de énfasis en la producción maderera (García Gutiérrez 1976, Uribe Uribe 1945). Otros indicadores de que la madera es de poca importancia en comparación con el café se han encontrado en Uganda, donde los campesinos rechazaron las especies caducifolias y los géneros “excesivamente competitivos”, tales como *Casuarina*, *Cedrela*, *Eucalyptus* y *Senna* (Thomas 1940).

La posibilidad de producir madera en combinación con el café se reconoció en Costa Rica, donde las especies recomendadas fueron *Cordia alliodora*, *Enterolobium cyclocarpum* y *Samanea saman* (Budowski 1959). En la India, *Grevillea robusta* se ha considerado una buena especie asociada, a pesar de sus problemas con los insectos y las enfermedades y de su reputación de secar el suelo (Rao 1961).

El cacao, como el café, generalmente se produce bajo sombra. Especies tales como *Erythrina* se usan comúnmente y producen beneficios evidentes al cacao en Costa Rica (Zevallos y Alvim 1967). Se descubrió que el cacao era mucho más productivo cuando crecía cerca de *Erythrina* (2,5 m) que cuando crecía mucho más lejos de ella (8,4 m). Sin embargo, tal mejora no fue causada por la sombra, sino porque el suelo cerca de *Erythrina* es más rico en minerales y que la capa superficial hasta los 30 cm es más húmeda.

Aunque el forraje quizás no constituya un “cultivo” en el mismo sentido, el pastoreo es importante en un sistema agroforestal. Cuando se combinan los árboles con el pastoreo es posible favorecer al pasto solamente, o al pasto y los árboles. Árboles leguminosos de copas amplias favorecen a los pastos solamente, mientras que

Cuadro 8-10.—Efectos de la sombra de *Terminalia ivorensis* sobre el rendimiento de cacao en Ghana

Distancia al árbol de sombra (m)	Luz solar (%)	No. de frutos por árbol	
		Total	Sanos
2.2	38	37	25
4.8	52	44	31
6.5	62	51	36

Fuente: Bonaparte 1967.

las combinaciones de coco o palma aceitera con pastos de forraje favorecen a ambos cultivos. En las regiones no forestadas del norte de Argentina se necesitan 2,5 ha de plantaciones de árboles por cada 1000 cabezas de ganado para proporcionarles protección contra el viento y las tormentas (Flinta 1960).

En Costa Rica se determinaron los valores del forraje bajo rodales abiertos de *C. alliodora*, *E. poeppigiana*, *Gliricidia sepium* y *S. saman* (Daccarett y Blydenstein 1968). La materia seca producida por árboles de siete años no fue menor que en praderas sin sombra, pero sí fue menor el porcentaje de fibra. Bajo las tres leguminosas, el N en las capas superiores del suelo era levemente mayor que bajo *C. alliodora*, o en sitios sin sombra. El contenido de proteína de los pastos era mucho mayor bajo las leguminosas.

Se lograron aumentos del peso animal de 0,25 kg/d en zonas mixtas de praderas y *Pinus caribaea*, con una densidad de un animal por hectárea aún durante una sequía severa en México. Los árboles se habían raleado severamente de 1330 árboles por hectárea a los seis años a 740 árboles por ha y luego a 500 árboles por ha a los nueve años (Gregor 1973). El pastoreo bajo los pinos también redujo el riesgo de incendios.

Una combinación de raleos severos de *P. radiata* y pastoreo de ovejas en Nueva Zelandia creó menos conflicto con las prácticas de cultivo tradicionales que las plantaciones puras forestales (Knowles 1972). No se permitió el paso de los animales hasta que los árboles alcanzaron una altura de 3 m; donde fue necesario se usaron herbicidas para el control de las malezas. A los cuatro años, los árboles se ralearon a 500 por ha y se podaron a 2 m de altura; cuando tenían 10 m, se aplicó un raleo final dejando 200 árboles por ha. Cuando las alturas alcanzaron 14 m, se volvió a podar a 8,5 m. La rotación de los árboles se redujo de 35 a 25 años.

Leucaena leucocephala es una de las especies más prometedoras para la agroforestería porque las variedades más vigorosas combinan un crecimiento rápido de la madera con un follaje valioso como forraje. Un estudio en la India (Mohatkar y Relwani 1985) demuestra el efecto combinado de producir forraje y madera. Durante un período de tres años, los árboles se podaron a una altura de 120 cm una o dos veces al año (Cuadro 8-11). Aparentemente aún los espaciamientos más estrechos no lograron disminuir los rendimientos del forraje.

Un producto agrícola que todavía no se ha desarrollado en los bosques tropicales es la miel. En los bosques pluviales de las tierras bajas ecuatoriales, hay tanto néctar que las abejas nativas no tienen el instinto de almacenar, pero donde el clima es estacional las abejas europeas producen bien (Smith 1960). El flujo de la miel es máximo durante la estación fría o seca. Unos pocos árboles melíferos que se han adaptado en sistemas agroforestales son: *Albizia* spp., *Anacardium* spp., *Azadirachta indica*, *Cocos nucifera*, *Coffea arabica*, *D. sissoo*, *Eucalyptus* spp., *Eugenia* spp., *Grevillea robusta*, *Mangifera indica*, *Melicocca bijuga*, *Moringa oleifera*, *Musa* spp., *Persea* spp., *Prosopis* spp., *Psidium* spp., *Roystonea* spp., *Syzygium jambos*, *Tamarindus indica* y *Toona ciliata*.

Se han propuesto planes agroforestales para incorporar cultivos aparentemente compatibles, con el fin de favorecer la subsistencia. En Brasil, se han recomendado tres sistemas que involucran distintas regiones terrestres (Bishop 1978). En una zona de 2 ha, ocho secciones de 0,25 ha cada una se plantaron con cultivos de huerta durante 2 a 3 años, seguido por un barbecho de 5 a 6 años, con aves de corral sueltas y pastos leguminosos, bajo árboles de especies leguminosas para leña. Un segundo plan involucró ocho parcelas de 1 ha cada una, también con un ciclo de ocho años. La única diferencia fue que se usaron cerdos en las zonas de pastoreo bajo barbecho en vez de aves de corral (Bishop 1978). Un tercer plan requirió 40 ha, con 20 divisiones de 2 ha cada una y un ciclo de al menos 20 años. Se produjo maíz durante el tiempo en que se establecían los árboles, después de lo cual, el ganado pastoreó bajo los árboles madereros, frutales o productores de nueces durante 19 años.

Un plan para combinar zonas de pastoreo con la producción de árboles en la Amazonia brasileña se basó

Cuadro 8-11.—Producción de madera y forraje de *Leucaena leucocephala* en la India

Densidad (no./ha)	Rendimiento a 3 años (t/ha)	
	Leña seca	Forraje verde
5,000	44.4	39.1
10,000	44.6	46.1
20,000	53.0	53.7

Fuente: Mohatkar y Relwani 1985.

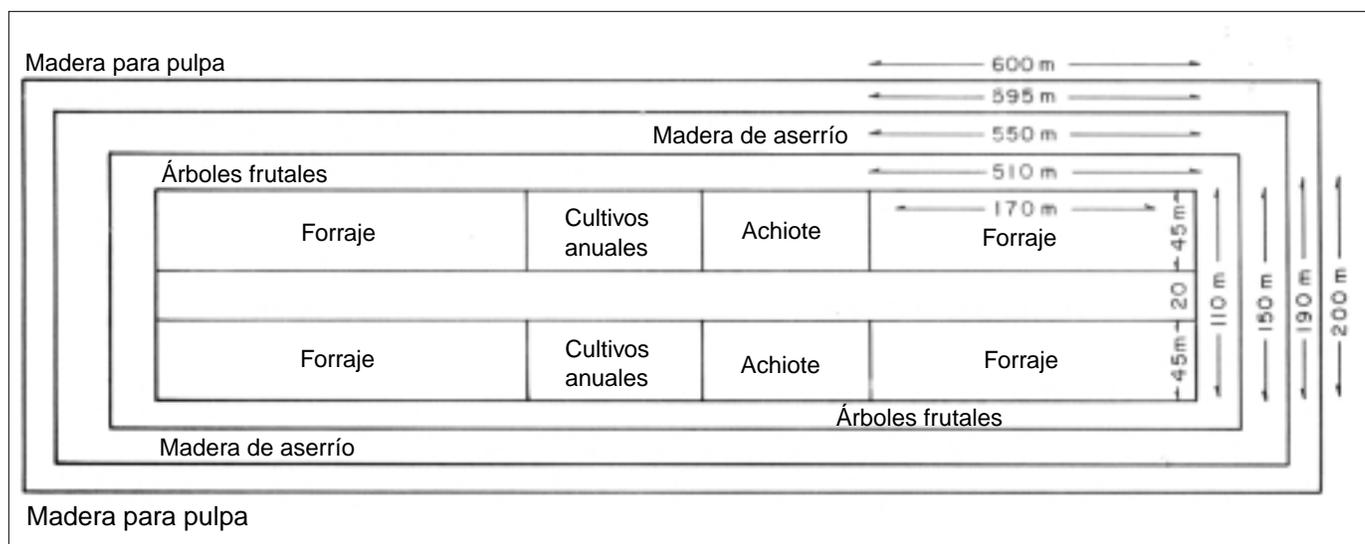


Fig. 8-6.—Plan agroforestal de uso múltiple para 12 ha en el sur de México (Chavelas Pólito 1980)

en el supuesto de que una plantación de árboles muy espaciada -que comenzó con 750 árboles por hectárea y fue raleada hasta 150 a 200 árboles por ha entre los 13 y 15 años- permitió el desarrollo de un buen campo de pastoreo (Kirby 1976). La propuesta supone que una cría temprana de carne vacuna y un control adecuado de la intensidad del pastoreo pueden evitar el deterioro del sitio. Esta combinación usa mano de obra más intensivamente que cada cultivo por separado. Parece que todavía no se ha registrado la necesidad de mayores nutrientes.

En Quintana Roo, México se desarrolló un modelo agroforestal de 12 ha (Chavelas Pólito 1980). El diseño consistió de cuatro rectángulos concéntricos (Fig. 8-6), con una franja exterior de 5 m de ancho donde se plantaron casi 0,8 ha de árboles para la producción de pulpa y madera de enchapar (*Gmelina arborea* y *Pseudobombax ellipticum*) y una especie apta para la construcción (*Colubrina arborescens*). La franja siguiente, de 20 m de ancho y una superficie de casi 3 ha, contenía una variedad de árboles frutales y pastos de forraje. En el centro, se estableció un rectángulo de 110 por 510 m dividido por una franja central de 10 m de ancho plantada con palmas de coco (*Cocos nucifera*). La superficie restante se subdividió en seis parcelas de 0,85 ha; cuatro se usaron para cultivar forraje y dos para cultivar una mezcla de cultivos anuales y bienales. El ensayo no tuvo éxito porque se efectuó cerca de un mercado urbano de cultivos para la venta.

Otro plan propuso la creación de “fincas de biomasa arbórea” en zonas áridas mediante la siembra de especies fijadoras de N de raíces profundas, tales como *Acacia*, *Leucaena* y *Prosopis* (Felker 1981). Los árboles se intercalaron con cultivos alimenticios de uso general, como millo, sorgo y maní, con irrigación por un tiempo. En zonas de al menos 25 cm de precipitación anual, el sistema prospera si la napa freática está a no más de 10 m de profundidad. Se necesitan aplicaciones de fertilizante a base de fosfato y micronutrientes, y una inoculación de rhizobios para que las plantas puedan fijar el N.

Muchos de los datos presentados en este capítulo son de carácter conceptual. Hay escasez de información sobre resultados de prácticas reales, aunque recientemente mucho se ha escrito sobre el tema. Vergara (1985) indicó que la base de datos sobre agroforestería es extremadamente débil y advierte que datos incorrectos podrían conducir a que se rechazaran los resultados si no llenaran las expectativas de los campesinos. Groenendijk (1988) ve una tendencia general a sobreestimar el potencial del sistema agroforestal; según él, los conocimientos sobre las interacciones entre árboles y cultivos todavía son limitados.

Scherr *et al.* (1989) también notaron una falta de “datos comprobados” en materia agroforestal, y mencionaron la ausencia de estudios reales en fincas existentes y de información económica.

A estas palabras de advertencia no les falta fundamento. El entusiasmo por la agroforestería ha sobrepasado todos los límites y excede todas las bases científicas disponibles. El riesgo es que los funcionarios que toman decisiones pueden apoyarse en información sin fundamento para

aumentar la presión sobre terrenos marginales. No cabe duda de que la integración de los árboles con la agricultura tradicional en los trópicos es muy prometedora. Este objetivo se puede lograr, sin embargo, sólo con la investigación que sustente las nuevas propuestas.

