

## CONSIDERACIONES EDAFOLOGICAS RELACIONADAS CON LOS SISTEMAS AGROFORESTALES

*Donald L. Kass\**

### COMPENDIO

A pesar de que en los cultivos asociados la competencia por luz recibe mayor importancia que la competencia por nutrimentos y agua bajo la superficie del suelo, aparentemente, esta última es más crítica. En el presente trabajo se consideran los sistemas agroforestales en que se asocian cultivos perennes con árboles de sombra. Se presentan resultados de estudios tendentes a cuantificar las cantidades de nutrimentos reciclados por el sistema. Y, se cuestiona la necesidad de fertilizar estos sistemas. Se concluye que la fertilización tiene que tomar en cuenta los diferentes nutrimentos reciclados y exportados por el sistema, lo cual varía de acuerdo con las especies existentes en el mismo.

### SISTEMAS AGROFORESTALES

A pesar de que en los cultivos asociados la competencia por luz recibe mayor importancia que la competencia por nutrimentos y agua bajo la superficie del suelo, aparentemente esta última es más crítica. A pesar de esto existen pocos experimentos en los que se han comparado adecuadamente los efectos relativos de la competencia, tanto arriba como abajo del suelo. Muchos autores indican que las raíces de dos cultivos asociados ocupan zonas diferentes en el suelo, por lo que la competencia se reduce. Los cultivos asociados pueden así explotar un mayor volumen de suelo que los monocultivos, lo que aumenta la disponibilidad de agua y de nutrimentos (Trenbath 1974).

Recientemente, se ha dado un mayor énfasis al asocio de árboles con cultivos perennes, tales como café y cacao (Budowski 1987). Estos sistemas pueden ser catalogados como sistemas agroforestales.

**Agroforestería** es un nombre colectivo para los sistemas de uso de la tierra y tecnologías, en los cuales las especies perennes leñosas son deliberadamente utilizadas en las mismas unidades de

---

\* Profesor de Manejo y Física de Suelos; Proyecto de Educación Superior CATIE-ROCAP; Líder del Proyecto Árboles Fijadores de Nitrógeno CIID-CATIE; Coordinador del Curso de Desarrollo de Sistemas Agroforestales JICA-CATIE.

manejo que los cultivos agrícolas o animales, o en ambos, en alguna forma de arreglo espacial o temporal. En los sistemas agroforestales existen interacciones tanto ecológicas como económicas entre los componentes (Nair 1989). Como colorario a esta definición, Nair incluye seis clasificaciones que no son valederas en todos los casos. Para este autor agroforestería es:

- Un nombre colectivo para sistemas que involucran el uso de árboles con cultivos o animales, o ambos, en la misma unidad de terreno.
- Aquel sistema que combina producción de egresos múltiples con protección de los recursos.
- Aquel sistema que pone énfasis en el uso de árboles y arbustos autóctonos y de uso múltiple.
- Aquel sistema que es muy adecuado para las condiciones con bajos insumos y ambientes frágiles.
- Aquel sistema que involucra más intensamente la interacción de valores socio-culturales, en comparación con otros sistemas de uso de la tierra.
- Aquel sistema que estructuralmente es más complejo que un monocultivo.

Nair divide los sistemas agroforestales en cuatro grupos según sus componentes, llamándoles agrosilvoculturales (cultivos con árboles), silvopastoriles (animales con árboles), agrosilvopastoriles (árboles con animales y cultivos) y otros que incluyen componentes que no son comúnmente considerados como animales o cultivos. Los sistemas considerados por Nair son resumidos en el Cuadro 1.

Budowski (1987) presenta una clasificación más sencilla para los sistemas agroforestales, reconociendo ocho posibles:

- |  |   |
|--|---|
| 1) "Taungya"; este vocablo de origen birmano se refiere al sistema desarrollado por los ingleses para producir alimentos durante el establecimiento de las plantaciones de teka. | 5) Árboles con animales.                                      |
| 2) De sombra.  | 6) Cercos vivos y rompevientos.                               |
| 3) Árboles con cultivos anuales.   | 7) Agricultura o pastoreo migratorio con barbechos mejorados. |
| 4) Cultivo en callejones.  | 8) Huertos caseros.   |

**Cuadro 1. Clasificación de los sistemas agroforestales de acuerdo con Nair (1989).**

<b>AGROSILVOCULTURALES</b>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Cultivos con árboles (cultivo en callejones).</li> <li>2. Huertos caseros.</li> <li>3. Barbechos mejorados.</li> <li>4. Rompevientos y cercos de protección.</li> <li>5. "Taungya".</li> <li>6. Mezclas de cultivos perennes con otros cultivos.</li> <li>7. Agroforestería para la producción de leña.</li> </ol>
<b>SILVOPASTORILES</b>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Cercos vivos.</li> <li>2. Pastos con árboles.</li> <li>3. Bancos de proteína.</li> <li>4. Integración de animales con producción de madera.</li> </ol>
<b>AGROSILVOPASTORILES</b>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Huerto casero con animales.</li> <li>2. Hileras de arbustos para alimentar animales; conservación de suelos y abono.</li> <li>3. Producción integrada de cultivos, madera y animales.</li> </ol>
<b>OTROS</b>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Apicultura con árboles.</li> <li>2. Lotes de árboles de uso múltiple.</li> <li>3. Acuicultura en manglares.</li> </ol>

Macklin (1990) clasifica los sistemas de acuerdo con el sitio en donde se integran los árboles al sistema global de la finca (Cuadro 2).

**Cuadro 2. Clasificación de los sistemas agroforestales de acuerdo con la posición los árboles en la finca (Macklin 1990).**

Posición	Tipo de sistema agroforestal
Límites	Setos
	Cercos vivos
	Rompevientos
Arboles en campos	Intercultivo con setos (cultivo en callejones)
	Intercultivo en surcos anchos
	Arboles de sombra y protección
	Arboles de soporte
Arboles alrededor de la casa	Huertos caseros
	Arboles ornamentales y para sombra
Sistemas temporales y plantaciones para leña	Barbechos mejorados
	Recuperación de terrenos
	"Taungya"
	Plantaciones de árboles para leña y madera
Arboles en sistemas de producción animal	Bancos de proteína
	Mejoramiento de pastos

Nair (1989) indica siete maneras de clasificar los sistemas agroforestales según 1) componentes; 2) arreglo espacial; 3) arreglo temporal; 4) función productiva; 5) función protectora; 6) nivel de tecnología; y 7) naturaleza de sus relaciones costos-beneficios. Una explicación un poco más amplia de los arreglos temporales se presenta en el Cuadro 3.

Cuadro 3. Clasificación de los sistemas agroforestales de acuerdo con su arreglo temporal (Nair 1985).

Arreglo temporal	Esquema	Ejemplo
<b>Coincidente</b>	————— -----	Hule con pimienta negra; pastos bajo árboles
<b>Concomitante</b>	————— -----	"Taungya"
<b>Intermitente</b> (Dominado por espacio)	————— -----	Cultivos anuales bajo coco; pastoreo temporal de ganado bajo árboles
<b>Interpolado</b> (Dominado en tiempo y espacio)	————— ----- -----	Huerto casero
<b>Sobrepuestos</b>	————— —————	Café con árboles de sombra
<b>Secuenciales (separados)</b> (dominado en tiempo)	----- —————	Agricultura migratoria, barbechos mejorados
<b>Notas:</b> La escala en el tiempo varía de acuerdo al sistema.		
Componente leñoso:	—————	Componente no leñoso: -----

En el presente trabajo, se considerarán principalmente los árboles de sombra. A continuación se presentan algunas características deseables en este tipo de árboles.

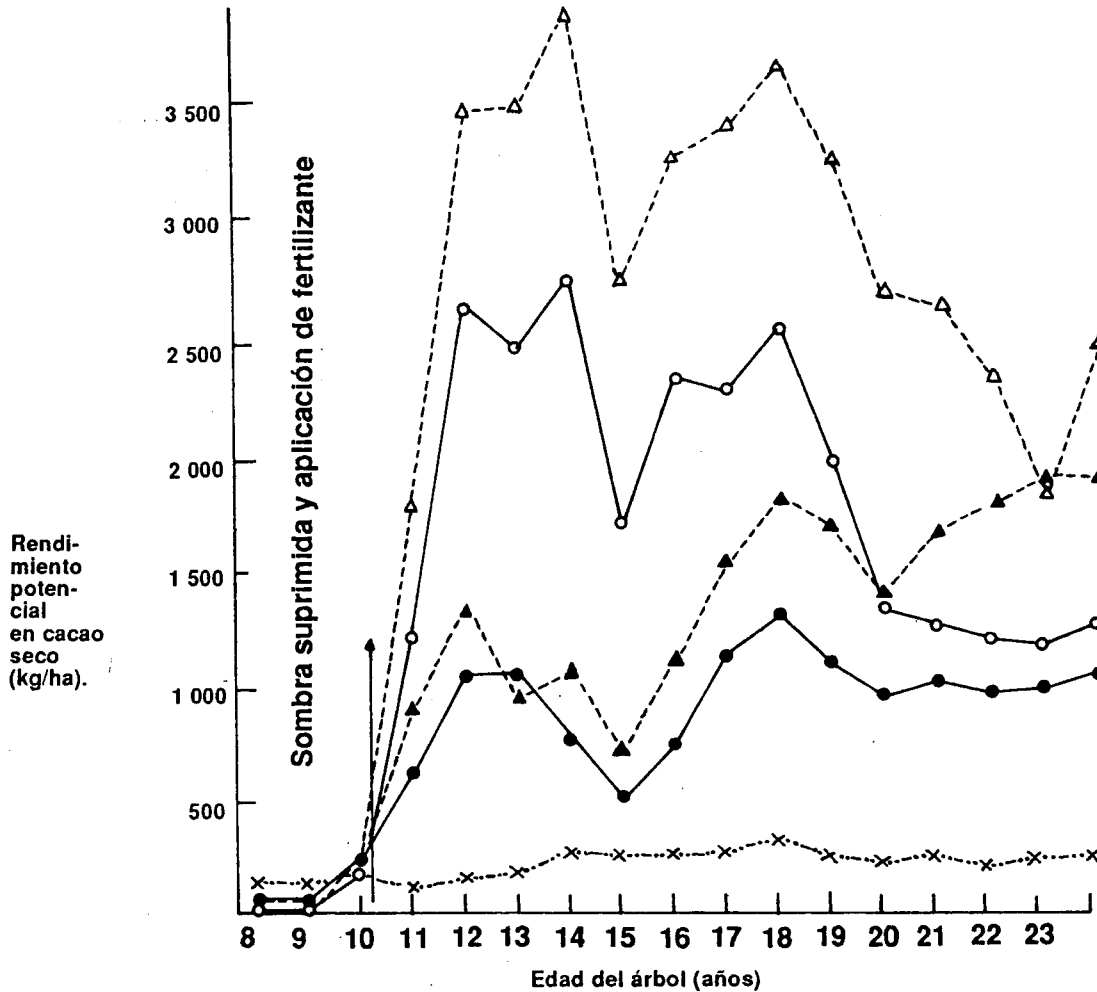
#### Atributos deseables de los árboles de sombra.

- Competencia mínima con el cultivo por nutrientes, agua y luz.
- Facilidad de establecimiento con regeneración rápida de hojas.
- Alta producción de hojarasca, que puede ser relacionada con la fijación de nitrógeno.
- Sombra "abierta" con mucha entrada de puntos de luz.
- No huésped y no estimulador de plagas y enfermedades del cultivo asociado.
- Provisión de productos e ingresos adicionales (frutos, leña, otros).
- Sistema radicular fuerte para evitar la caída de los árboles.
- Persistencia del árbol y de la hojarasca (es cuestionable).

**Fuente:** Beer 1987; Wood y Lass 1985; Purseglove 1968.

Consideraciones edafológicas de este sistema han sido dadas de un modo más completo para cacao (*Theobroma cacao* L.), el cual normalmente es sembrado bajo diversos tipos de sombra: leguminosas, no leguminosas, frutales, sombras temporales, bajo bosque natural raleado, entre otros (Wood y Lass 1985).

Casi todos los investigadores (Akenorah, Akafori y Adri 1974; Cabala-Rosand, Miranda y Santana 1972; Byrne 1972) han informado sobre los aumentos en los rendimientos al fertilizar cacao no sombreado. El rendimiento más alto fue obtenido con cacao fertilizado pero sin sombra. Se observó, sin embargo, que los tratamientos sin sombra mostraban mayor variabilidad en los rendimientos y que los más altos no podían ser mantenidos durante más de diez años (Wood y Lass 1985), (Figs. 1 y 2). Por esta razón se ha recomendado mantener los árboles de sombra en las plantaciones de cacao.



**Leyenda:**

- Δ---Δ Sin sombra, con fertilizante
- ▲---▲ Con sombra y con fertilizante
- X...X Promedio nacional aproximado
- Sin sombra ni fertilizante
- Con sombra y sin fertilizante

Fig. 1. Efecto de diferentes grados de sombra y de aplicaciones de fertilizantes sobre el rendimiento del cacao "Amelonado" en Ghana.

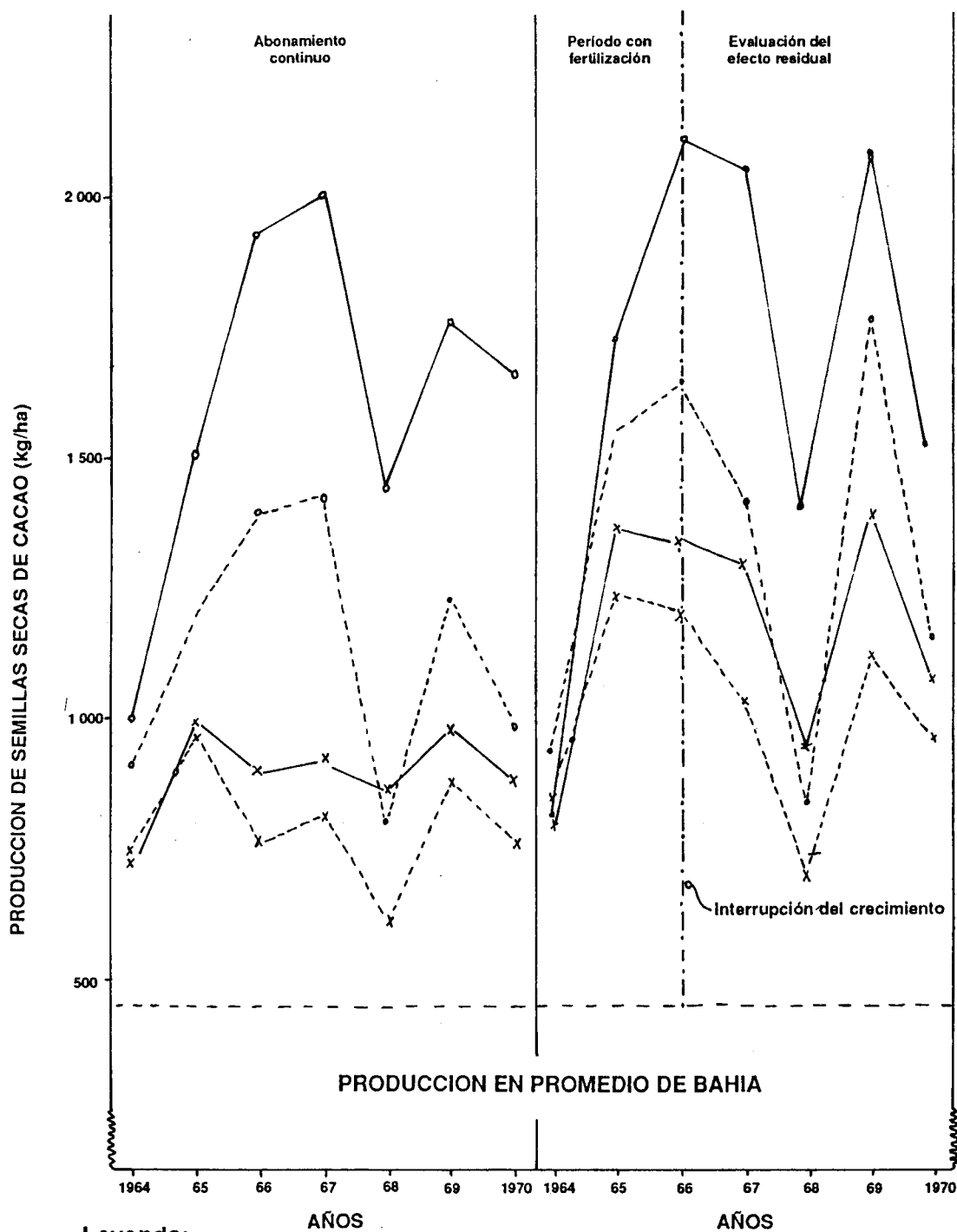


Fig. 2. Producciones en promedio obtenidas en cacao en las replicaciones con abonamiento continuo y evaluación del efecto residual de los fertilizantes (Itabuna, Bahía, Brasil).

En el cultivo del café a diferencia del de cacao, no es tan fácil encontrar experimentos de largo plazo en los que se pueda medir el efecto de la sombra y la fertilización. En él se recomienda, a menudo, quitar la sombra (Franco e Inforzato 1951), al menos en las plantaciones grandes. A pesar de esto, los rendimientos más estables a través del tiempo son atribuidos con frecuencia a los sistemas sombreados (Beer 1987; Willey 1975).

Existe evidencia considerable acerca del reciclaje de nutrimentos en los sistemas sombreados de cultivos perennes (Fassbender 1987; Cabala-Rosand, Santana y Cadima 1987). No existen, sin embargo, estudios en los que se haya determinado el efecto de la fertilización en el reciclaje de los nutrimentos. Dos estudios de largo plazo en Venezuela (Herrera *et al.* 1987) fueron conducidos en plantaciones de cacao y café que no habían sido fertilizadas durante unos quince años (Fig. 3).

Se encontró que en la plantación de cacao se había reciclado una mayor cantidad de nutrimentos que en la de café, pero el suelo de cacao (un Psamment aluvial) tenía una mayor fertilidad original que el de café (un Ultisol de poca profundidad). Los nutrimentos totales (N + P + K + Ca + Mg) obtenidos en el cacao fueron de 102 kg/ha/año, o sea, aproximadamente, un noveno del total circulado en la hojarasca. En la plantación de café, se exportaron 57 kg/ha/año de nutrimentos, lo cual representó aproximadamente un séptimo del total recirculado.

El hecho de que el período principal de la caída de la hojarasca —proporcionada principalmente por *Erythrina poeppigiana* e *Inga*, pero también por *Heliocarpus*, *Clethra*, *Ficus* y *Cedrella* sp.— ocurre antes del período de fructificación del café, debería mejorar la eficiencia en el reciclaje de los nutrimentos. Se demostraron también asociaciones de micorrizas en el caso del café. En el ecosistema de cacao, los árboles fijadores de nitrógeno (*E. poeppigiana*) fueron el componente menos importante de las especies de sombra; sin embargo, se midió un total de 1480 kg/ha de nódulos, que contenían un 4% de nitrógeno. Ya que los nódulos desaparecen al final del período seco, su aporte representaría una contribución considerable a los nutrimentos del sistema, lo cual se suma a la cantidad recirculada por la hojarasca (Escalante, Herrera y Aranguren 1984).

Es parcialmente difícil comparar los resultados de Herrera *et al.* (1987) con los obtenidos por el Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE) en el Experimento Central, en el cual se sembró café y cacao bajo sombra de *Cordia alliodora* o con *E. poeppigiana* en un suelo Typic Humitropept (Fassbender 1987; Fassbender *et al.* 1988).

El café fue fertilizado con 66 kg/ha/año, 105 kg/ha/año y 80 kg/ha/año de N, P y K, respectivamente, y el cacao fue fertilizado con 120 kg/ha/año, 29.3 kg/ha/año y 33 kg/ha/año de N, P y K, respectivamente. La exportación total de nutrimentos (N + P + K + Ca + Mg) fue de 61 kg/ha/año en el sistema cacao/*C. alliodora* y de 91 kg/ha/año en el sistema cacao/*E. poeppigiana*, lo cual, a pesar de la fertilización suministrada, es levemente inferior a lo encontrado en el experimento de Venezuela. A pesar de esto, los rendimientos de cacao en el experimento del CATIE fueron relativamente bajos (alrededor de 800 kg/ha/año), (Von Platen 1991), y el suelo en Venezuela pudo haber tenido una mayor fertilidad nativa.

Los nutrimentos exportados constituyen la mayor parte de la hojarasca: menos que un séptimo para cacao/*C. alliodora* y un quinto para cacao/*E. poeppigiana*, que debe incluir el material podado (calculado a partir de Fassbender 1988). En los sistemas de café, se presentaron datos solamente para N, P y K, pero la exportación total de estos nutrimentos fue de 35 kg/ha/año para café/*C. alliodora* y de 98.2



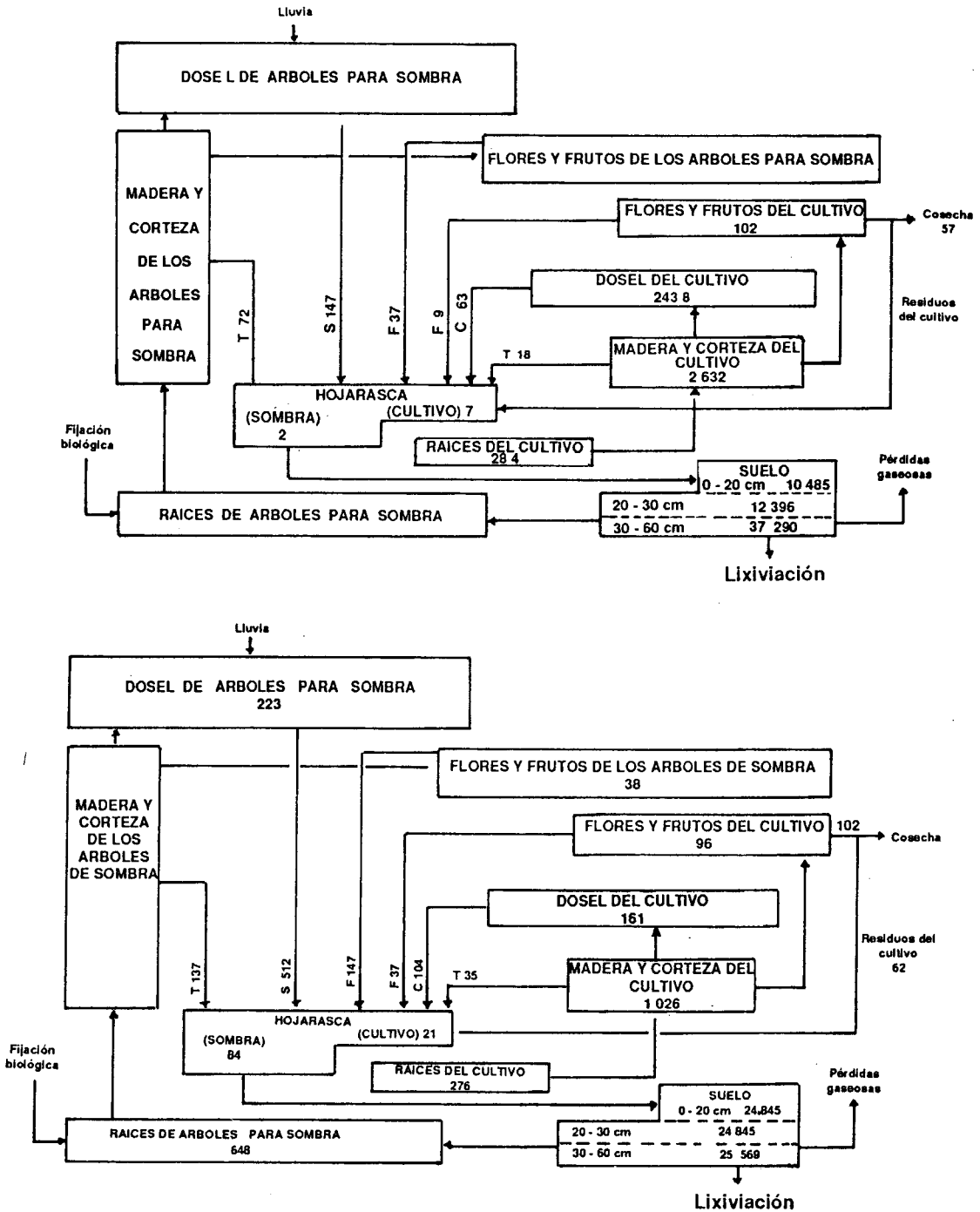


Fig. 3. Reciclaje total de nutrientes (N + P + K + Ca + Mg) en ecosistemas de café y cacao en Venezuela.

Notas: El sistema de café fue localizado en un Ultisol y el de cacao en un Fluvent.

Legenda: Las flechas indican transferencias en kg/ha/año.  
 Las entradas al compartimiento de mantillo son: C=hojas de cultivo, S=árboles de sombra; T= ramas; F= flores y frutos.  
 Fuente: Herrera *et al.* 1987

kg/ha/año para café/*E. poeppigiana*, siendo aproximadamente un quinto de la hojarasca para café/*C. alliodora* y menos de un séptimo de hojarasca y material podado para café/*E. poeppigiana* (calculado a partir de Fassbender 1987). A pesar de las diferencias en el tipo de suelo y de árboles de sombra, se puede concluir de estos datos que la fertilización resulta en una mayor exportación de nutrimentos en relación con la cantidad recirculada, contribuyendo a una degradación más rápida del sistema.

El uso de árboles leguminosos como sombra parece aumentar la cantidad total de nutrimentos circulados, sin embargo el análisis económico del experimento del CATIE demostró que el aumento en la producción de cacao fue efímero y no compensó el valor de la madera de *C. alliodora* (Von Platen 1991). Como se anotó anteriormente los rendimientos de cacao en este experimento fueron ligeramente bajos, y el uso de una especie de sombra diferente a *E. poeppigiana* que produjera un producto comercial podría alterar el análisis económico. Los rendimientos en promedio de cacao entre el cuarto y el decimotercer años del experimento, fueron de 821 kg/ha/año con *C. alliodora* y de 860 kg/ha/año con *E. poeppigiana* (Von Platen 1991). No se ha realizado aún un análisis económico para el sistema que incluye café.

Muchos pequeños productores de café y, especialmente, de cacao no fertilizan sus cosechas. El cacao es frecuentemente sembrado en bosque primario o secundario raleado (Wood y Lass 1985). Por otro lado, en algunos países productores de café, tales como Costa Rica, el fertilizante es subsidiado y su uso es frecuentemente excesivo, especialmente bajo sistemas de sombra donde la exportación de nutrimentos es bajo en relación con las cantidades recicladas. Con la disminución de los precios del café y del cacao y la reducción de los subsidios para fertilizantes, el uso excesivo de éstos en café y cacao debería disminuir, lo cual quizás tendría efectos beneficiosos en la balanza de pagos y en la degradación ambiental. Las ventajas y desventajas de los árboles de sombra en café y cacao han sido revisadas por diversos autores (Willey 1975; Budowski, Kass y Russo 1984; Wood y Lass 1975; Beer 1987).

El reemplazo parcial de un árbol leguminoso por uno maderable no leguminoso, puede reducir la cantidad de nutrimentos reciclados a un grado suficiente que amerite una fertilización mineral, al menos en el caso del café (Beer 1988). Glover y Beer (1986) encontraron que la contribución de P y K por parte de *E. poeppigiana*, tiende a ser mayor que la de estos elementos cuando se combina con *C. alliodora*. Las contribuciones de N en ambos sistemas fueron más o menos iguales, mientras que la de Ca y Mg en la combinación *E. poeppigiana*/*C. alliodora* fue mayor que en la de sólo *E. poeppigiana*. En Brasil se han realizado algunos esfuerzos para incorporar los efectos del reciclaje de nutrimentos y el tipo de suelo en las recomendaciones de fertilizantes para cacao (Cabala-Rosand *et al.* 1987).

En conclusión, se puede considerar que los sistemas de cultivos perennes con árboles de sombra son, quizás, el sistema agroforestal de mayor éxito practicado en muchos países del mundo. Estos sistemas involucran cultivos de exportación que representan importantes fuentes de ingresos en los países en donde se practican. Además, son, quizás, los sistemas agrícolas en donde más se utilizan fertilizantes en el trópico. Los cambios en las prácticas de fertilización en estos sistemas tendrían un considerable impacto. Los cambios en las especies utilizadas para sombra, pueden afectar la cantidad de nutrimentos reciclados; consecuentemente, podrían influir en las necesidades de fertilización de los cultivos asociados.

## BIBLIOGRAFIA

- AKENORAH, Y.; AKAFORI, G.S.; ADRI, A.K. 1974. The end of the first cocoa shade experiment at the Cocoa Research Institute of Ghana. *Journal of Horticultural Science (U.K.)* 49:43-51.
- BEER, J. 1987. Advantages and disadvantages and desirable characteristics of shade trees for coffee, cocoa, and tea. *Agroforestry Systems (C. R.)* 3:3-13.
- . 1988. Litter production and nutrient cycling in coffee (*Coffea arabica*) or cacao (*Theobroma cacao*) in plantations with shade trees. *Agroforestry Systems* 7:103-104.
- ; BONNEMANN, A.; CHAVEZ, W.; FASSBENDER, H.W.; IMBACH, A.C.; MARTEL, I. 1990. Modelling agroforestry systems of cacao (*Theobroma cacao*) with laurel (*Cordia alliodora*) and poro (*Erythrina poeppigiana*). V. Productivity indices, organic material models and sustainability over ten years. *Agroforestry Systems* 12:229-249.
- BUDOWSKI, G.; KASS, D.C.L.; RUSSO, R. 1984. Leguminous trees for shade. *Pesquisa Agropecuária Brasileira. Serie Agronomia (Bra.)* 19:205-222.
- . 1987. The development of agroforestry in Central America. In H. Steppler y P.K.R. Nair (Eds.). *Agroforestry: a decade of development*. Nairobi, ICRAF.
- BYRNE, P.N. 1972. Cacao shade spacing trial in Papua and New Guinea. In *International Cocoa Research Conference (4., St Augustine, Tri.)*.
- CABALA-ROSAND, F.P., MIRANDA, E.R. DE; SANTANA, C.J.L. DE. 1972. Interacción sombra-fertilizantes en cacaotales de Bahía. In *International Cocoa Research Conference (4., St Augustine, Tri.)*.
- ; SANTANA, M.; CADIMA Z., A. 1987. Associations between cacao (*Theobroma cacao*) and shade trees in southern Bahia, Brazil. In J. Beer, H.W. Fassbender y J. Heuvelodop (Eds.). *Advances in Agroforestry Research. CATIE. Serie Técnica no. 117*.
- ESCALANTE, G.; HERRERA, R.; ARANGUREN, J. 1984. Fijación de nitrógeno en árboles de sombra (*Erythrina poeppigiana*) en cacaotales del norte de Venezuela. *Pesquisa Agropecuária Brasileira. Serie Agronomia (Bra.)* 19:223-230.
- FASSBENDER, H.W. 1987. Nutrient cycling in agroforestry systems of coffee (*Coffea arabica*) with shade trees in the Central Experiment of CATIE. In *Advances in Agroforestry Research. CATIE. Serie Técnica no. 117. p. 155-165*.
- ; ALPÍZAR, L.; HEUVELDOP, J.; FOELSTER, H.; ENRÍQUEZ, G. 1988. Modelling agroforestry systems of cacao (*Theobroma cacao*) with laurel (*Cordia alliodora*) and poro (*Erythrina poeppigiana*). III. Cycles of organic matter and nutrients. *Agroforestry Systems* 6:49-62.
- FRANCO, C.M.; INFORZATO, R. 1951. Quantidade de água transpirada pelo cafeeiro sombreado pelo Ingazeiro. *Bragantia (Bra.)* 11:12-15.

- GLOVER, N.; BEER, J.W. 1986. Nutrient cycling in two traditional Central American agroforestry system. *Agroforestry Systems* 4:77-87.
- HERRERA, R.; ARANGUREN, J.; ESCALANTE, G.; ACARDI, A.; NAVIDAD, E.; TORO, M.; CUENCA, G. 1987. Coffee and cacao plantations under shade trees in Venezuela. In J. Beer, H.W. Fassbender, J. Heuvelop (Eds.). *Advances in Agroforestry Research (C.R.)*. CATIE. Serie Técnica no. 117.
- MACKLIN, B. 1990. An overview of agroforestry systems: A classification developed for extension training. In E. Moore (Ed.). *Agroforestry Land Use Systems*. Nitrogen Fixing Tree Association. Special Publication 90-02.
- NAIR, P.K.R. 1985. Classification of agroforestry systems. *Agroforestry Systems* 3:97-128.
- . 1989. Classification of agroforestry systems. In P.K.R. Nair (Ed.): *Agroforestry Systems in the Tropics*. Kluwer, Dordrecht, The Netherlands.
- . 1990. The prospects and promise of agroforestry in the tropics: A review of the technical and socioeconomic information with special emphasis to Africa. Report to World Bank. 121 p.
- PURSEGLOVE, J.W. 1968. *Tropical crops: Dicotyledons*. Longmans, London.
- TRENBATH, B.R. 1974. Biomass productivity of mixtures. *Advances in Agronomy (EE.UU.)* 24:177-210.
- VON PLATEN, H. 1991. Economic evaluation of agroforestry systems of cacao (*Theobroma cacao*) with laurel (*Cordia alliodora*) and poro (*Erythrina poeppigiana*) in Costa Rica. In Informe Reunión Interna, Proyecto Agroforestal CATIE/GTZ.
- WILLEY, R.W. 1975. The use of shade in coffee, cocoa, and tea. *Horticultural Abstracts (U.K.)* 45(12):791-798.
- WOOD, G.A.R., LASS, R.A. 1985. *Cocoa*. 4 ed. Londres, Longmans.