

La diferencia en el aumento en biomasa foliar de I. cacao (25X) comparado con el aumento de biomasa de ramas de I. cacao (500X), entre el quinto y el décimo año, puede en parte atribuirse a las podas del cultivo, a la diferente metodología de estimación de hojas (en 1982 se empleó un sistema de conteo de hojas de la copa) y a diferencias fenológicas debidas a la distinta época de realización del inventario. Sin embargo, aún tomando en cuenta estas diferencias, este resultado indica que la biomasa foliar de I. cacao ya está estabilizado. También es interesante señalar que las distintas especies arbóreas asociadas no han influenciado significativamente a la biomasa foliar de I. cacao.

Caida de hojarasca

La caída natural de hojarasca de I. cacao no cambia entre asociaciones (Cuadro 5) y equivale al 50% de la hojarasca natural depositada en cada sistema. Las podas de I. cacao significan un aporte adicional de 3-4 t.ha⁻¹.a⁻¹ de hojas y ramas. Las podas regulares de E. poeppigiana incrementan el aporte de hojarasca al suelo en este sistema en 9,8 t.ha⁻¹.a⁻¹ de hojas y ramas. Este régimen de podas está destinado principalmente a regular la intensidad de la sombra pero obviamente es muy importante para proveer de material orgánico al suelo. Considerando todas las fuentes, el aporte de hojarasca a la capa de mantillo es el doble en la asociación I. cacao/E. poeppigiana. Además, con un valor de 22.9 t.ha⁻¹.a⁻¹, el aporte en este sistema es el doble de lo encontrado como deposición de hojarasca natural en bosques tropicales (Jordan, 1983; Proctor, 1984).

Mantillo y raíces

La biomasa de mantillo es similar en ambos sistemas (Cuadro 4), aunque el incremento entre inventarios fue mayor en la asociación con C. alliodora. Este resultado está estadísticamente confundido con la distinta época de realización de los inventarios, por lo que no es posible afirmar que haya habido una mayor acumulación permanente de mantillo en el sistema con C. alliodora.

Luego de 10 años, las raíces de diámetro menor de 5 mm representan el 62% de la biomasa medida de raíces en el sistema con C. alliodora y 43% en el sistema con E. poeppigiana. Asimismo la biomasa total de raíces es significativamente mayor en la asociación con C. alliodora (Cuadro 4).

Cuadro 5. Hojarasca y residuos de podas en los sistemas agroforestales de Theobroma cacao-Cordia alliodora o I. cacao-Erythrina poeppigiana (materia seca, t.ha⁻¹.a⁻¹; periodo 1983-87)*

	<u>C. alliodora-</u> <u>I. cacao</u>	<u>E. poeppigiana-</u> <u>I. cacao</u>
Hojarasca natural		
Arboles de sombra		
Hojas	2.88	4.62
Ramas	0.83	0.74
Total especie	3.71	5.36
<u>I. cacao</u> hojas	4.40	3.93
Total sistema	8.11	9.29
Residuos podas**		
Arboles de sombra	--	9.77
<u>I. cacao</u>	3.29	3.80
Total	11.40	22.86

* Imbach A et al, Producción de residuos vegetales en sistemas agroforestales de cacao (Theobroma cacao) o café (Coffea arabica) con laurel (Cordia alliodora) o con poró (Erythrina poeppigiana) en Costa Rica. (En preparación).

** Residuos de podas: producción anual calculado en base del total entre Marzo 1985-Mayo 1987 para I. cacao y Junio 1985-Noviembre 1987 para E. poeppigiana.

Biomasa total del sistema

La biomasa total del sistema (incluyendo raíces y mantillo) se incrementó en forma similar en ambos sistemas entre el quinto y el décimo año (120X), y por lo tanto el sistema con C. alliodora tuvo un 25% más de biomasa tanto en el año 5 como en el año 10 (Cuadro 4). Debido al crecimiento rápido de ramas y tallos de I. cacao, las diferencias en la distribución de biomasa (porcentaje) entre ambos sistemas en el quinto año se atenuaron considerablemente al alcanzar el décimo año (Cuadro 6).

Cuadro 6. Distribución de biomasa en los sistemas agroforestales de Theobroma cacao-Cordia alliodora y I. cacao-E. poeppigiana (% de totales respectivos)

	<u>I. cacao</u>	<u>C. alliodora</u>	Raíces	Mantillo
Edad 5 (1982)	20	63	8	9
Edad 10 (1987)	32	45	9	14

	<u>I. cacao</u>	<u>C. alliodora</u>	Raíces	Mantillo
Edad 5 (1982)	21	56	5	18
Edad 10 (1987)	31	43	7	19

Materia orgánica del suelo

Se nota una tendencia en ambos sistemas a la acumulación de materia orgánica a medida que transcurre el tiempo (Cuadro 7). Los valores más altos corresponden al sistema con E. poeppigiana. Sin embargo las diferencias detectadas entre años no son estadísticamente significativas, posiblemente debido a que el nivel de materia orgánica en el suelo (> 4%) era elevado (Fassbender y Bornemisza, 1986) al iniciarse el experimento.

El contenido de materia orgánica del suelo es más alto en el décimo año en el sistema con E. poeppigiana, lo que puede ser consecuencia de los mayores aportes de hojarasca al suelo, pero también debido a diferencias entre sistemas en cuanto a las tasas de descomposición y mineralización de materia orgánica. De todas formas, las evidencias acumuladas hasta ahora permiten afirmar que ambos sistemas son capaces de mantener los niveles de materia orgánica en el suelo en condiciones permanentes de cultivo.

Materia orgánica total del sistema

La materia orgánica total (biomasa total más materia orgánica del suelo) aumentó entre 125 y 130 t.ha⁻¹ en los primeros diez años, conservándose la diferencia inicial de 30 t.ha⁻¹ en favor de las parcelas con E. poeppigiana (Cuadro 7). Sin embargo es necesario consignar que mientras que en la asociación con E. poeppigiana la materia orgánica tiende a concentrarse en el suelo (aumento de 56 t.ha⁻¹), en el sistema con C. alliodora lo hace en la biomasa aérea. Eso significa que los beneficios de los sistemas agroforestales relacionados con la fertilidad de suelos sean posiblemente mayores en las asociaciones con E. poeppigiana, ratificando las hipotéticas ventajas del uso de E. poeppigiana en asociación con Coffea sp. o I. cacao sugeridas por Beer (1988).

Cuadro 7. Reservas de materia orgánica en los sistemas agroforestales Theobroma cacao-Cordia alliodora y I. cacao-Erythrina poeppigiana

		<u>C. alliodora-</u>		<u>E. poeppigiana-</u>	
		<u>I. cacao</u>	(t.ha ⁻¹) (%)*	<u>I. cacao</u>	(t.ha ⁻¹) (%)*
Suelo	1977	168	100	198	100
	1982	188	112	229	116
	1986	184	109	240	121
Total**	1977	168	100	198	100
	1982	239	142	268	135
	1987	294	175	327	165

* Valor relativo tomando 1977 como 100%

** Materia orgánica en el suelo más biomasa total

Productividad primaria neta

Todos los datos de biomasa total y de productividad primaria neta (PPN) reportados en este trabajo son subestimaciones de la realidad debido a que la metodología no destructiva empleada para el muestreo impidió la estimación de la biomasa de las raíces principales de los árboles y del cacao. La PPN es similar en ambos sistemas, debiéndose consignar que los valores del segundo quinquenio son el doble de los del primero, siendo la principal razón de este incremento la mayor producción de hojarasca, en especial la proveniente de podas (Cuadro 8).

Cuadro 8. Productividad primaria neta (PPN) de los sistemas Theobroma cacao-Cordia alliodora o I. cacao-Erythrina poeppigiana (materia seca; $t \cdot ha^{-1} \cdot a^{-1}$)

	<u>C. alliodora</u>		<u>E. poeppigiana</u>	
	<u>I. cacao</u> 1977-82	1983-87	<u>I. cacao</u> 1977-82	1983-87
Producción Fitomasa:				
<u>I. cacao</u>	2.0	5.2	1.7	3.8
Arbol sombra	6.4	3.6	4.4	3.2
Raíces	0.8	1.1	0.4	0.8
Producción Agrícola (Almendras más cáscara)	0.7	2.5	0.9	2.5
Producción Residuos	3.1*	11.4	2.9*	22.9
Renovación raíces**	2.6	6.1	1.2	2.5
Total (P.P.N.)	15.6	29.9	11.5	35.7

* Valor estimado; residuos de podas no incluidos.

** Asumiendo una renovación anual de todas las raíces ≤ 5 mm.

Durante el segundo quinquenio los valores de incremento de la biomasa aérea, renovación de raíces finas y producción de hojarasca en la asociación I. cacao/C. alliodora son similares a los valores más altos publicados para bosques húmedos tropicales (Fassbender, 1987). En el mismo período la PPN de $35,7 t \cdot ha^{-1} \cdot a^{-1}$ para el sistema I. cacao/E. poeppigiana se ubica en el nivel máximo del rango (10 - 35 $t \cdot ha^{-1} \cdot a^{-1}$) definido para bosques tropicales pluviales (Fassbender, 1987; Jordan 1983, 1985), demostrando la excepcional productividad de esta leguminosa arbórea.

Indices de productividad (1982-1987)

La exportación anual de biomasa por cosecha (semillas y cáscaras) equivale al 3,1% de la biomasa total del sistema con C. alliodora y al 4,0% de la del sistema con E. poeppigiana (Figs 1 y 2). Dicha exportación equivale solamente a 8 y 7% de la PPN para estos sistemas respectivamente.

El ciclaje de biomasa (Figs. 1 y 2; producción anual de hojarasca en relación con la biomasa aérea) es mucho mayor en el sistema con E. poeppigiana (48%) comparado con el sistema con C. alliodora (18%). Asimismo, la mayor fijación de

biomasa en los troncos de C. alliodora lleva a plantear la posibilidad de una mayor competencia entre esta especie y el cacao asociado con ella, especialmente si la madera es exportada del sitio.

Indices de descomposición

El factor k para la tasa de descomposición (Olson, 1963) fue calculado empleando la expresión $k = L/X_{ss}$, donde L es la caída natural de hojarasca ($kg \cdot ha^{-1} \cdot a^{-1}$) y X_{ss} el valor del mantillo en su estado de equilibrio dinámico ($kg \cdot ha^{-1}$). Usando los valores promedio de caída de hojarasca entre 1983 y 1987 (Cuadro 5) como L y el valor de inventario de 1987 para mantillo como X_{ss} (Cuadro 4), los valores de k obtenidos fueron de 0,75 para el sistema con C. alliodora y de 1,39 con E. poeppigiana. Dado que en la época en que se realizó el inventario el mantillo de C. alliodora estaba en su máximo nivel y el otro en su mínimo, precediendo a la época de poda de E. poeppigiana, parece razonable suponer que lo valores de k para ambos sistemas se encuentran más bien próximos a 1,00 lo que indicaría que más de la mitad de la hojarasca caída se descompone en 8 meses.

Esta inferencia esta apoyada en alguna medida por trabajos previos en el sitio (Heuveldop *et al*, 1988) quienes encontraron un 50% de descomposición de mantillo en los primeros 300 días. Los autores indicaron limitaciones en el acceso de la macrofauna detritívora a las bolsas de descomposición debido a la malla empleada (1 mm), lo que podría haber conducido a una subestimación de la velocidad de descomposición.

CONCLUSIONES

En las condiciones experimentales señaladas, que incluyeron niveles moderados de fertilización, los sistemas agroforestales estudiados incrementaron su producción agrícola y su productividad primaria neta durante el segundo período quinquenal, indicando su sostenibilidad desde el punto de vista productivo. La tendencia al incremento en el contenido de materia orgánica en el suelo en ambos sistemas, pero especialmente con E. poeppigiana, provee evidencia de la sostenibilidad ecológica de las asociaciones estudiadas.

Cuando la producción de madera de C. alliodora ($9 m^3 \cdot ha^{-1} \cdot a^{-1}$) es sumada a la producción de semilla seca de cacao ($1 t \cdot ha^{-1} \cdot a^{-1}$), la ventaja económica de este sistema parece evidente. Sin embargo, el hecho de que la circulación de biomasa es más intensa con E. poeppigiana unido al de la exportación de nutrientes con la madera de C. alliodora,

podría balancear las ventajas económicas del asocio con C. alliodora a largo plazo. Por lo tanto el empleo de E. poeppigiana en los sistemas agroforestales podría ser más recomendable bajo condiciones de fertilidad de suelos limitada o de manejo poco intenso de las plantaciones.

De todas maneras parece prudente mantener la evaluación de los sistemas estudiados hasta el fin del ciclo a fin de contar con datos completos del periodo de 20 años, los que proveerán conclusiones más contundentes sobre el comportamiento de estos sistemas a largo plazo.

RECONOCIMIENTOS

Los autores quieren reconocer la participación de G. Enríquez, L. Alpizar y J. Heuvel dop en evaluaciones previas de este ensayo. Se agradece a la Srta. R. Solano por la preparación del manuscrito y al Sr. E. Ortiz por los dibujos. El apoyo técnico y financiero para la realización de este trabajo fue previsto por el Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE) y por la Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit (GTZ). Se agradece también a J. Haggar, E. Somarriba, C. Ramirez y J. Morera por sus valiosos comentarios a este trabajo.

Este informe está basado en el documento "Modelling agroforestry systems of cacao (Theobroma cacao) with laurel (Cordia alliodora) or poro (Erythrina poeppigiana) in Costa Rica. V. Productivity indices, organic material models and sustainability over ten years" lo cual ha sido presentado, por los mismos autores, para publicación en la revista *Agroforestry Systems*.

BIBLIOGRAFIA

- ALPIZAR L, FASSBENDER HW, HEUVELDOP J, ENRIQUEZ G, FÖLSTER H (1985) Sistemas agroforestales de café (Coffea arabica) con laurel (Cordia alliodora) y café con poró (Erythrina poeppigiana) en Turrialba, Costa Rica. I. Biomasa y reservas nutritivas. *Turrialba* 35: 233-242
- ALPIZAR L, FASSBENDER HW, HEUVELDOP J, FÖLSTER H, ENRIQUEZ G (1986) Modelling agroforestry systems of cacao (Theobroma cacao) with Cordia alliodora and Erythrina poeppigiana in Costa Rica. I Inventory of organic matter and nutrients. *Agroforestry Systems* 4: 175-189
- BEER J (1988) Litter production and nutrient cycling in coffee (Coffea arabica) or cacao (Theobroma cacao) plantations with shade trees. *Agroforestry Systems* 7:103-114

- CANNELL MGR (1982) World forest biomass and primary production data. Academic Press, New York-London. 391 p
- DIAZ ROMEU R, HUNTER A (1978) Metodología de muestreo de suelos, análisis químico e investigación de invernadero. Turrialba/Costa Rica. CATIE 62 p
- ENRIQUEZ G (1979) Central trial of perennial crops as compared with some annuals. In: De las Salas G, ed, Workshop Agro-forestry Systems in Latin America, pp 193-196. Turrialba/Costa Rica. CATIE
- FASSBENDER HW (1987) Modelos edafológicos de sistemas agroforestales. Turrialba/Costa Rica. CATIE. 475 p
- FASSBENDER HW, ALPIZAR L, HEUVELDOP J, ENRIQUEZ G, FÖLSTER H (1985) Sistemas agroforestales de café (Coffea arabica) con laurel (Cordia alliodora), café con poró (Erythrina poeppigiana) en Turrialba, Costa Rica. III Modelos de la materia orgánica y elementos nutritivos. *Turrialba* 35: 403-413
- FASSBENDER HW, ALPIZAR L, HEUVELDOP J, FÖLSTER H, ENRIQUEZ G (1988) Modelling agroforestry systems of cacao (Theobroma cacao) with laurel (Cordia alliodora) and poro (Erythrina poeppigiana) in Costa Rica. III. Cycles of organic matter and nutrients. *Agroforestry Systems* 6: 49-62
- FASSBENDER HW, BORNEMISZA E (1986) Química de suelos. San José/Costa Rica. IICA. 420 p
- HEUVELDOP J, ALPIZAR L, FASSBENDER HW, ENRIQUEZ G, FÖLSTER H (1985) Sistemas agroforestales de café (Coffea arabica) con laurel (Cordia alliodora) y café con poró (Erythrina poeppigiana) en Turrialba, Costa Rica. II. Producción agrícola, maderable y de residuos vegetales. *Turrialba* 35: 347-355
- HEUVELDOP J, FASSBENDER HW, ALPIZAR L, ENRIQUEZ G, FÖLSTER H (1988) Modelling agroforestry systems of cacao (Theobroma cacao) with laurel (Cordia alliodora) and poro (Erythrina poeppigiana) in Costa Rica. II. Cacao and wood production, litter production and decomposition. *Agroforestry Systems* 6: 37-48
- IMBACH AC, FASSBENDER HW, BEER J, BOREL R, BONNEMANN A (1989a) Sistemas agroforestales de café (Coffea arabica) con laurel (Cordia alliodora) y café con poró (Erythrina poeppigiana) en Turrialba, Costa Rica. IV. Balances hídricos e ingreso y lixiviación de elementos nutritivos. Turrialba (In press)
- IMBACH AC, FASSBENDER HW, BOREL R, BEER J, BONNEMANN A (1989b) Modelling agroforestry systems of cacao (Theobroma cacao) with laurel (Cordia alliodora) and poro (Erythrina poeppigiana) in Costa Rica. IV. Water balances, nutrient inputs and leaching. *Agroforestry Systems* 8: 267-287