

SISTEMAS AGROFORESTALES DE CAFE (*Coffea arabica*) CON LAUREL (*Cordia alliodora*)  
Y CON PORO (*Erythrina poeppigiana*) EN TURRIALBA, COSTA RICA. I. BIOMASA  
Y RESERVAS NUTRITIVAS\*/

L. ALPIZAR<sup>1</sup>, H. W. FASSBENDER<sup>2</sup>, J. HEUVELDOP<sup>3</sup>, G. ENRIQUEZ<sup>4</sup>, H. FÖLSTER<sup>1</sup>

**Summary**

*The agro-forestry production systems of coffee (Coffea arabica) with laurel (Cordia alliodora), and coffee with poró (Erythrina poeppigiana), were studied in the "Experimento Central" of CATIE, Turrialba. The distribution of organic material and nutrients was determined for leaves, branches, stems and roots of each species. Similar analyses were made for the litter layer and the mineral soil (0-45 cm).*

*A summary of the results is given below.*

	Coffee with laurel			Coffee with poró		
	Vegetation	Litter layer	Soil	Vegetation	Litter layer	Soil
Org mat (t/ha)	41.6	4.9	195.6	38.1	6.3	164.4
Nitrogen (kg/ha)	345	110	8 873	630	136	8 500
Phosphorus (kg/ha)	33.5	7.4	2 736	47.1	10.1	2 997
Potassium (kg/ha)	256	14.3	687	356	17.1	630
Calcium (kg/ha)	411	103	2 783	433	85.1	2 835
Magnesium (kg/ha)	113.7	19.2	587	107	14.5	573

*The patterns of nutrient accumulation are discussed with respect to the characteristics of the agro-forestry systems and elements under study.*

\* Recibido para publicación el 28 de setiembre de 1984.

- 1 Estudiante graduado y profesor de la Facultad de Ciencias Forestales de la Universidad de Göttingen, República Federal de Alemania, respectivamente
- 2 Profesor de la Facultad Técnica Forestal, República Federal de Alemania.
- 3 Coordinador Proyecto Agroforestal CATIE/GTZ, Turrialba, Costa Rica.
- 4 Experto en cacao, Departamento de Producción Vegetal, CATIE, Turrialba, Costa Rica

**Introducción**

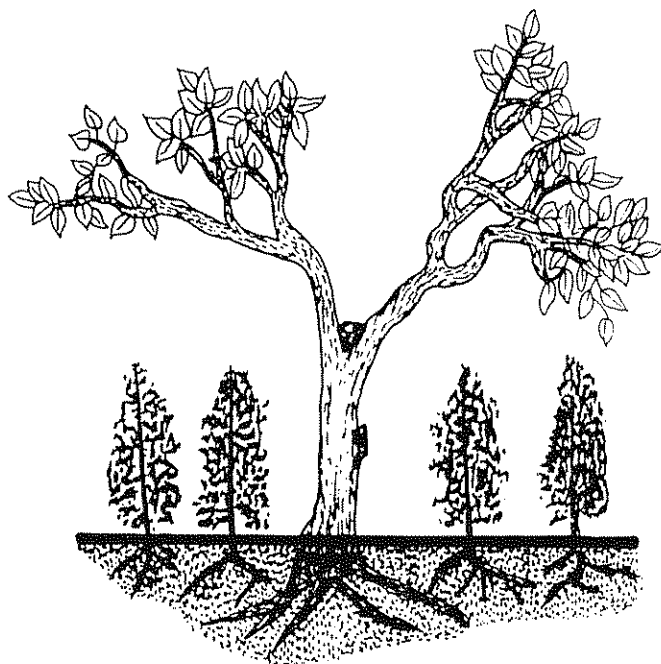
**E**n los últimos años se ha dado mucha atención a los sistemas agroforestales, definidos como el conjunto de técnicas de manejo de tierras mediante combinaciones de árboles forestales con cultivos, con ganadería, o una combinación de ambos, en forma simultánea o escalonada en el tiempo y en el espacio (4, 6, 20). En estas asociaciones de cultivos resultan interacciones múltiples entre las especies involucradas en el sistema de producción, especialmente con relación a las condiciones climáticas (irra-

diación, temperatura, humedad relativa, lluvia, viento), edáficas (materia orgánica, elementos nutritivos, agua) sanitarias (enfermedades, plagas) y bioecológicas (simbiosis, alotropía, alelopatía, parasitismo, necrosis)

El café (*Coffea* spp) es un cultivo umbrofilico facultativo, es decir que bajo sombra generalmente tiene un crecimiento favorable. Los árboles de sombra tienen ventajas y desventajas (3, 7, 10, 28, 29). En las plantaciones de café de América Latina se observa tanto el sombrío transitorio (en la época inicial del cultivo) y el sombrío permanente, como el cultivo sin sombra. Entre las especies de árboles o arbustos de sombra frecuentes se tiene (3, 5, 10, 28, 29):

Transitorios: *Cajanus cajan*, *Leucaena glauca*, *Crotalaria* sp., *Tephrosia* sp.

Permanentes: *Inga* sp., *Albizia* sp., *Gliricidia* sp., *Erythrina* sp., *Acacia* sp., *Leucaena* sp., *Citrus* sp., *Mangifera indica*, *Persea americana*, *Bactris gasipaes*, *Psidum guajava*, *Mamilbara zapota*, *Ficus* sp., *Grevilea robusta*, *Cedrela odorata*, *Cordia alliodora*, etc



La utilización de estos árboles de sombra es muy diferenciada entre las regiones y países productores de café. Las especies de la familia leguminosae, de crecimiento rápido, fuste mediano, ramas extendidas (regulación de la luz) tienen además la ventaja de fijar nitrógeno en el suelo. Las especies frutícolas y madurables tienen la ventaja de producción múltiple (leña, madera, cortavientos, frutos, etc.)

El desarrollo de modelos matemáticos para interpretar la estructura y el funcionamiento de los ecosistemas naturales y los sistemas de producción, se basa en la hipótesis de que un sistema en un momento dado, se puede expresar cuantitativamente con un inventario de recursos y que los cambios en el sistema se pueden describir analizando los procesos de transferencia entre las diferentes partes del mismo. En los últimos años se ha hecho también hincapié en las técnicas del modelaje de energía, agua, elementos químicos y materia orgánica en sistemas de producción agrícola en áreas de clima templado, así como también tropical (12, 13, 15, 18, 19, 26)

En el Experimento Central del CATIE en Turrialba iniciado en 1977 (9), se realizan desde 1981

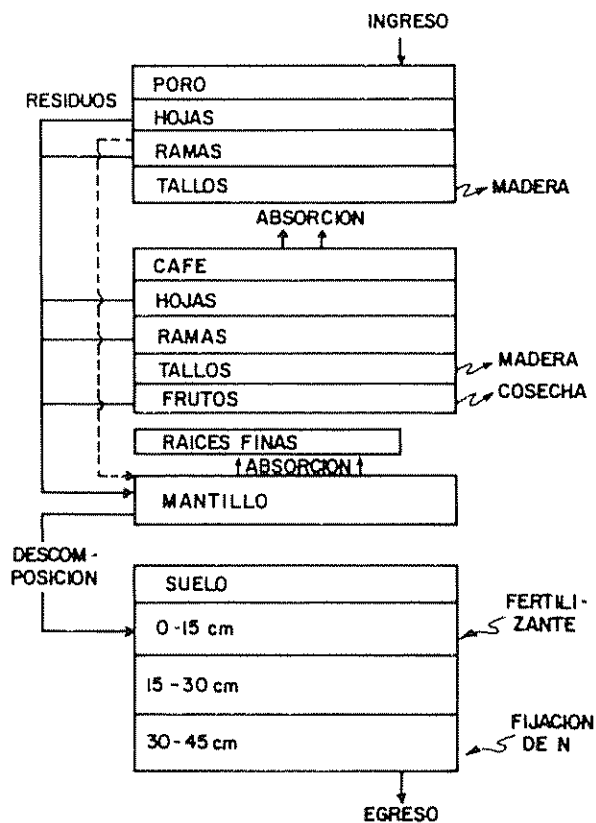


Fig 1 Representación esquemática de un sistema agroforestal y del modelo de la materia orgánica y de los elementos nutritivos

trabajos de investigación para analizar y describir los sistemas de producción agroforestales. Con base en los resultados se han preparado modelos matemáticos para la materia orgánica y los elementos nutritivos (16), Heuvelop *et al.* (21) de los cuales se deriva esta serie de trabajos relacionados a los sistemas de café (*Coffea arabica* híbrido Timor) asociado con laurel (*Cordia alliodora*) y con poró gigante (*Erythrina poeppigiana*)

### El modelo de los ciclos

Con base en los modelos del ciclo de la materia orgánica y elementos nutritivos para ecosistemas forestales (12, 13, 18, 19) se propone en la Figura 1 un modelo para la descripción de los ciclos en sistemas agroforestales. El ejemplo del sistema café asociado con el poró es aplicable a otros sistemas agroforestales.

Los componentes del sistema se agrupan en abióticos como el suelo mineral (con sus diferentes profundidades y horizontes) y la capa de mantillo (con los restos vegetales en descomposición) y los bióticos como las especies involucradas en la producción del sistema (con sus compartimientos, hojas, ramas, tallos, raíces, flores y frutos). Con el fin de simplificar, no se han considerado los componentes bióticos faunísticos.

Una fuente de ingreso considerada es la lluvia con los elementos químicos que ingresan al sistema con el agua. Como fuente de egreso del sistema se considera el agua de lixiviación con la cual pasan elementos nutritivos a la capa freática del suelo y las cosechas como frutos y leña del sistema. Como fuente de ingreso también se considera la fertilización con diferentes elementos nutritivos y la fijación simbiótica del nitrógeno.

Las interacciones que se producen entre los componentes del sistema se expresan con los fenómenos dinámicos de transformación de la materia en el sistema a través de la deposición de residuos vegetales naturalmente producidos y por manejo del sistema basado en podas a los árboles de sombra. A través de la humificación y mineralización pasan componentes orgánicos y minerales de la capa de mantillo al suelo mineral, del cual absorben todos los componentes bióticos las cantidades necesarias de elementos nutritivos.

Modelos de este tipo casi no han sido aplicados en cultivos tropicales ni en sistemas agroforestales. En el caso del café se conocen algunos estudios parciales (2, 16, 17, 27).

## Materiales y métodos

### Sitio de los estudios

Todos los aspectos relacionados con el Experimento Central del CATIE se han descrito anteriormente (9). Algunos detalles sobre las determinaciones realizadas se resumen a continuación:

La región de Turrialba se caracteriza por una temperatura promedio anual de 22.3°C, sus máximas promedio alcanzan 27°C y las mínimas promedio son de 17.7°C. La precipitación promedio anual es de 2 647 mm en 246 días de lluvia. La humedad relativa está a un promedio de 87.6%.

El suelo del campo experimental pertenece a la serie Instituto fase normal, con una topografía plana, con drenaje pobre a imperfecto y es de origen fluvio-lacustre. La estructura de los suelos es franco arcillosa y han sido clasificados como "typic dystropepts, fine, mixed, isohyperthermic" (1). En el Cuadro 1 se presentan algunos resultados encontrados en muestras del suelo experimental.

### El Experimento Central

El presente ensayo más conocido como "Ensayo Central de Cultivos Perennes de La Montaña", está ubicado en los terrenos del CATIE en Turrialba, fue iniciado en agosto de 1977 y se planificó para tener una duración de 8 años (9).

Los objetivos generales del experimento son:

1. Comparar, por varios métodos, los sistemas agrícolas de plantas perennes más comunes en la zona, incluyendo cultivos de ciclo corto y medio.
2. Estudiar en forma detallada el medio ambiente (ecosistema) de cada uno de los sistemas agrícolas comparados en su evolución y transformación durante el tiempo que dure el experimento.

De los 18 tratamientos originales considerados, se escogieron para realizar los presentes estudios, las variantes:

- Café con laurel (parcelas 33, 34, 35 y 36).
- Café con poró (parcelas 37, 38, 39 y 40).

En parcelas de 18 x 18 metros con cuatro repeticiones al azar se plantaron en agosto de 1977 plantas de café con una distancia de siembra de 1 x 2 metros (5 000 plantas/ha); de laurel con una distancia de 6 x 6 metros (278 árboles/ha) y de poró con una dis-

Cuadro 1. Características químicas de los suelos del estudio (Tratamiento café con poró con promedio de 4 muestras).

Profundidad (cm)	Densidad aparente g/cm <sup>3</sup>	pH		Humus		Nitrógeno %		Fósforo total mg P/kg		Potasio camb. meq/100 g		Calcio camb. meq/100 g		Magnesio camb. meq/100 g	
		$\bar{X}$	$\pm$	$\bar{X}$	$\pm$	$\bar{X}$	$\pm$	$\bar{X}$	$\pm$	$\bar{X}$	$\pm$	$\bar{X}$	$\pm$	$\bar{X}$	$\pm$
0 - 15	1.20	3.82	0.13	4.32	0.54	0.21	0.03	709	164	0.48	0.04	2.20	0.73	0.90	0.14
15 - 30	1.15	4.02	0.24	3.07	0.77	0.16	0.05	531	200	0.26	0.08	2.73	0.90	0.88	0.09
30 - 45	1.07	4.21	0.16	1.87	0.56	0.11	0.04	475	200	0.17	0.05	3.10	0.61	0.93	0.19

tancia de siembra de 3 x 6 metros (555 árboles/ha) Se aplicó una fertilización inicial al café de 50 kg N/ha, 150 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/ha y 50 kg K<sub>2</sub>O/ha y al laurel de 2.8 kg N/ha, 8.4 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/ha y 2.8 kg K<sub>2</sub>O/ha. El poró no se fertilizó. A partir de 1978 se han aplicado anualmente 80 kg N, 240 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> y 80 kg K<sub>2</sub>O por hectárea.

#### Determinación de biomasa y reservas nutritivas

En marzo de 1982 (edad 4.5 años) se realizó la determinación de biomasa del café, poró y en noviembre de 1982 la del laurel, en las parcelas correspondientes. Se escogieron en total 36 arbustos de café por sistema, o sea 9 por parcela, pertenecientes a las hileras centrales. Por arbusto se midió el largo y diámetro de los tallos a diferentes alturas, número total de hojas, número total de ramas plagiotrópicos (bandolas). En muestras compuestas se determinó el porcentaje de humedad. El volumen de los tallos se multiplicó por su peso específico (0.33 g/cm<sup>3</sup>, medido con un barreno de Pressler). Los valores se expresan como toneladas de materia seca por hectárea.

Los datos de la biomasa del poró se basan en la medición de todos los tallos de las parcelas, su cubicación y la determinación de su peso específico básico (0.24 g/cm<sup>3</sup>, medido con barreno de Pressler). La biomasa de ramas y hojas se basa en el material de podas (febrero y setiembre de 1982), en las cuales se cortó todo el material existente a 2.6 m de altura, se anotaron los pesos frescos totales de ocho árboles, se secaron 16 muestras en una estufa y con el por ciento de humedad se calcularon los pesos por hectárea.

La biomasa del tallo del laurel se calculó basado en la altura y diámetro de los árboles de las parcelas y el peso específico de la madera (0.44 g/cm<sup>3</sup>, determinado con barreno de Pressler). La biomasa de hojas y ramas se determinó en ocho árboles del experimento.

Para determinar la biomasa de raíces finas (diámetro 20 mm) se utilizó un anillo metálico (27.4 cm de

diámetro y 15 cm de altura) que se introdujo en el suelo en profundidades de 0-15, 15-30, 30-45 con 16 repeticiones por tratamiento. Las raíces se separaron del suelo con agua a presión normal. Las muestras se secaron y pesaron y así se calculó la biomasa por hectárea.

La materia orgánica de la capa de mantillo se determinó utilizando un marco de madera de 0.25 m<sup>2</sup> con 16 repeticiones por tratamiento. Las muestras del material en descomposición se secaron y pesaron para calcular su peso por hectárea. Las muestras del suelo mineral (0-15, 15-30, 30-45 cm de profundidad) se tomaron con 5 barrenamientos para una muestra por parcela y se analizaron en su contenido de humus y en función de su peso (densidad aparente promedio 1.20, 1.15 y 1.07 g/cm<sup>3</sup> para las profundidades en estudio) se calculó la reserva orgánica por hectárea.

Las muestras obtenidas fueron analizadas químicamente para los elementos N (Kjeldal), P (digestión nitroperclórica) y K, Ca y Mg totales (digestión nitroperclórica) para las muestras de biomasa y cambiables (acetato de amonio) para las muestras de suelos.

#### Resultados y discusión

##### Características químicas del suelo

Los resultados de los análisis de los suelos para el tratamiento café con poró se presentan en el Cuadro 1. Los valores resultan de cuatro análisis de muestras compuestas de cada parcela. Los valores de pH son homogéneos y se les debe considerar como ácidos. La materia orgánica es alta y su disminución con el perfil del suelo es normal. Un comportamiento similar presentan el nitrógeno y el fósforo totales. La relación C/N en las diferentes profundidades es de 9.9, 9.2 y 8.2. Los valores de los cationes cambiables son igualmente altos, especialmente para el potasio. Los coeficientes de variación de todas las determinaciones son altas, variando generalmente entre 10 y 50 por ciento, a pesar del número alto de submuestras y determinaciones. Esta variabilidad conduce a dificultades en la interpretación de los cambios a largo plazo en función del manejo del suelo.

## Reservas de materia orgánica

En el Cuadro 2 se presentan los datos de la materia orgánica del café asociado con laurel (*Cordia alliodora*) y con poró gigante (*Erythrina poeppigiana*). Las reservas orgánicas en la vegetación son superiores en el sistema café-laurel (41.6 t/ha) que en el sistema café-poró (38.1 t/ha). La diferencia de la biomasa del café, así como el crecimiento de estos arbustos es más notable bajo la sombra de laurel (biomasa aérea 7.9 t/ha) que bajo la sombra de poró (15.2 t/ha). Existen en la literatura una serie de trabajos (24, 25, 28, 29, 30) que han evaluado como factor principal la sombra muerta y la interacción de la sombra viva con arbustos de café. En general, dichos estudios concuerdan en que el crecimiento del cafeto, y con ello su producción de biomasa, disminuye considerablemente cuando el porcentaje de luz que la plan-

ta recibe es menor de 30%, observándose un crecimiento normal pero no máximo en condiciones de sombra media entre 40 y 75%; el máximo crecimiento se logra con valores cercanos a 100% de luz recibida, siempre y cuando factores tales como la fertilización y el agua no sean limitantes. Sylvain (29) indica que la poda fuerte de la sombra del cafeto efectuada dos veces por año (a principios y a mediados de año), en la zona de Turrialba, permite una entrada de luz al cafetal que oscila entre 85 y 90%.

Analizando las condiciones de manejo de la sombra de los sistemas en discusión, se tiene que si bien la densidad del poró es grande (555 árboles/ha) en comparación con el laurel, el hecho de existir un manejo de la sombra del poró con las podas favorece el crecimiento del cafeto; además la sombra permanente del laurel fue de 278 árboles/ha hasta julio

Cuadro 2. Reservas orgánicas de los sistemas agroforestales café con laurel y café con poró (Materia seca t/ha).

	Café			Laurel			Café			Poró		
	$\bar{X}$	$\pm$	C.V.%	$\bar{X}$	$\pm$	C.V.%	$\bar{X}$	$\pm$	C.V.%	$\bar{X}$	$\pm$	C.V.%
Hojas	1.89	0.53	28	2.23	0.82	36	2.70	0.53	20	4.68	0.50	11
Ramas	2.19	0.37	17	3.16	0.49	16	3.82	0.22	6	7.73	0.94	12
Tallos	3.77	0.60	16	23.80	5.57	23	8.78	1.73	20	7.75	2.16	28
Subtotal	7.85			29.19			15.3			20.16		
Total aéreo	37.4						35.46					
		$\bar{X}$	$\pm$	C.V.				$\bar{X}$	$\pm$	C.V.		
Raíces 0-5 cm		2.50	0.49	19				1.84	0.36	20		
Raíces 0.5-2.0 cm		1.99	1.83	92				0.76	0.63	83		
Subtotal		4.49	1.53	34				2.60	0.78	30		
Total Biomasa	41.53						38.06					
		$\bar{X}$	$\pm$	C.V.				$\bar{X}$	$\pm$	C.V.		
Mantillo		4.93	1.97	40				6.35	2.27	36		
Suelo 0-15 cm	83.75						76.00					
15-30 cm	65.98						53.74					
30-45	46.07						34.65					
Total suelo	195.8						164.35					
TOTAL SISTEMA	242.26						208.76					

de 1981 (4 años), fecha en que se raleó a 185 árboles/ha y así la sombra del laurel es fija y no manejable. Esto, unido al efecto de autosombramiento del cafeto, contaría como una de las causas principales de la disminución de la capacidad fotosintética del cafeto y, por lo tanto, de su crecimiento. Lo anterior, ligado a otros posibles factores, tales como competencia por el espacio radical, agua y nutrientes, calidad de luz que llega al cafeto, alelopatía, etc., serían los responsables de la disminución del crecimiento del cafeto asociado con laurel.

Una comparación directa de la biomasa seca del cafeto con otros datos de la literatura es bastante difícil, debido sobre todo a que los datos publicados provienen de plantaciones en condiciones bastante heterogéneas, p e diferentes zonas ecológicas, diferentes densidades del cafeto y árboles de sombra, diferentes edades y variedades de la sombra y el cafeto, diferente manejo de la sombra. Así se tiene como comparación relativa que el dato de biomasa seca total del cafeto con poró de 15.29 t/ha se aproxima al valor reportado por Goldberg y Jiménez Avila (17) que es de 16.71 t/ha y se aleja demasiado del valor encontrado por Aranguren, Escalante y Herrera (2) que es de 40.54 t/ha. A su vez, la biomasa del cafeto con laurel de 7.85 t/ha es muy inferior a cualesquiera de las biomásas encontradas bajo sombra. Un valor interesante es el dato de biomasa del cafeto que indican Catani y Moraes (4) quienes, trabajando con una plantación de cinco años sin sombra del cultivar "*Mundo Novo*" y con técnicas modernas de manejo, encontraron una biomasa seca total de 38.0 t/ha, lo que da una idea clara del potencial de producción de biomasa bajo condiciones de sol.

Respecto a la biomasa del laurel no se encontraron datos en la literatura que se puedan comparar en el presente estudio (23). El laurel presenta un diámetro y una altura promedio a los cinco años de 25.9 cm y 11.9 m, respectivamente, con un volumen de madera de 54 m<sup>3</sup>. Si bien se tiene que el laurel supera al poró en la biomasa de sus tallos, no sucede lo mismo con la biomasa de ramas y hojas donde el poró lo aventaja ampliamente.

La determinación de la biomasa de hojas y ramas del poró está basada en la suma de los promedios por poda dos veces al año, así la producción de la biomasa total es controlada y depende mucho de la técnica de la poda. Russo (27), realizando estudios en un cafetal de Turrialba sobre el efecto de la intensidad de la poda del poró sobre su propia producción de biomasa de hojas y ramas, ha publicado para dos podas anuales un valor de biomasa seca de 11.8 t/ha que se aproxima mucho al del presente estudio de 12.4 t/ha; a su vez indica un valor mucho mayor de 18.5 t/ha para

una poda anual. Por su parte, Glover y Beer\* indican para un cafetal cuya sombra de poró fue podado 3 veces al año, una biomasa seca de 7.8 t/ha/a, y para un cafetal aleñaño con sombra de laurel y poró, este último podado 3 veces al año, indican un valor de 2.9 t/ha/ha.

En cuanto a las raíces, se nota que su biomasa en el sistema con laurel es superior a la del sistema con poró. Las raíces menores de 5 mm de diámetro presentan para los dos sistemas una variabilidad mucho menor, con coeficientes de variación del 20%, que las raíces cuyo diámetro oscila entre 5 y 20 mm, con coeficientes de variación superiores a 80%.

Bajo las condiciones de manejo del presente experimento es factible suponer que la diferencia de biomasa hallada en los dos sistemas obedece entre otras cosas al hecho de que el sistema radical del poró se ve afectado por las podas, muriendo en parte y lográndose de esa forma un control inconsciente en la producción de la biomasa radical de raíces finas de tal sistema.

Es difícil comparar los datos de biomasa radical del presente estudio con los encontrados en la literatura, pues éstos parecen variar mucho dependiendo de las condiciones de sombra, tipo de suelo, densidad de plantas, etc. Por ejemplo Ewell *et al.* (11) indican, para un cafetal de Turrialba con sombra de poró, un valor de 2.35 t/ha de raíces con un diámetro de hasta 20 mm y a una profundidad de 25 cm.

El valor de la biomasa seca del mantillo en el sistema con poró es superior que en el sistema con laurel. Al respecto, hay que considerar que los datos corresponden a una determinada época del año y que, por lo tanto, sólo reflejan parcialmente la dinámica del mismo si se piensa que tal dinámica depende de factores tales como fenología del laurel y café, época de poda del poró, etc. Sin embargo, los datos indican en parte esta dinámica, si se tiene en cuenta que la época de medición fue a inicios de setiembre de 1981, casi mes y medio después de que se había podado el poró, el cual adicionó cantidades considerables de materia orgánica al suelo.

Por su parte, los valores del mantillo se encuentran dentro del ámbito que Suárez de Castro (28) indica al estudiar cafetales con sombra de *Inga* sp en Colombia. Dichos valores oscilaron desde

\* Spatial and temporal fluctuation of litterfall in the agroforestry associations *Coffea arabica* - *Erythrina poeppigiana* and *C. arabica* - *E. poeppigiana* - *Cordia alliodora*. Turrialba, Costa Rica, CATIL 1984. 43 p. (mimeogr.).

0.86 t/ha en cafetales jóvenes hasta 23.06 t/ha en cafetales viejos

Las reservas en el suelo mineral son por un lado superiores en el sistema con laurel que en el sistema con poró, y por otro lado ellas representan 81% de las reservas totales del sistema con laurel y 79% en el sistema con poró, dando así una gran estabilidad a los sistemas. Una comparación de las reservas orgánicas en el suelo sólo es factible entre los dos sistemas, debido sobre todo a la similitud en profundidades y tipos de suelos. Una comparación fuera de este ámbito sería peligrosa.

### Reservas minerales

En el Cuadro 3, donde aparecen los datos de los análisis químicos, se observa en general que los contenidos de elementos disminuye en la dirección de hojas, ramas y tallos; se nota que los contenidos de N en las hojas, ramas y tallos de poró son mayores que los contenidos en el laurel. Los valores del poró se ajustan junto con los otros elementos a los publicados por Russo (27). Por otro lado, los contenidos de elementos nutritivos de hojas, ramas y tallos del café bajo sombra de laurel son muy similares a los contenidos de hojas, ramas y tallos del café bajo sombra de poró, con la única excepción de que las hojas y tallos del café bajo poró contienen un poco más de potasio. Por último, comparando los contenidos de elementos nutritivos en las hojas con los que se encontraron en la literatura (7) se tiene que el N y el Ca se consideran de un nivel medio, el Mg de bajo a medio, el P de bajo a deficiente, y el K deficiente. Sin embargo, es necesario indicar que esta interpretación es transitoria ya que en el análisis foliar se toman muestras específicas de las hojas.

Los valores totales de N son comparables pero la distribución presenta características muy diferentes

para los sistemas. Así, la biomasa aérea del sistema café con poró corresponde a 587 kg N/ha, mientras que el sistema asociado al laurel sólo acumuló 286 kg N/ha. Las raíces finas correspondientes son 43.4 kg N/ha y 58.4 kg N/ha. En los arbustos de café se registraron 99.1 y 181.7 kg N/ha bajo la sombra de laurel y poró respectivamente. Los árboles de sombra acumularon el N en forma muy diferenciada, predominando en el caso del laurel los tallos y en el caso del poró las hojas.

La capa de mantillo es una reserva transitoria de elementos nutritivos; los residuos vegetales se encuentran en los procesos de mineralización y humificación; los valores encontrados dependen de la época de la determinación específica.

Las reservas de N del suelo son elevadas y representan para la asociación con laurel el 95 y para la asociación con poró el 92 por ciento del N total del sistema.

Las cantidades de fósforo acumuladas en la vegetación son pequeñas en comparación con otros elementos nutritivos, pero el nitrógeno. Sin embargo, existen diferencias grandes entre los sistemas estudiados: la asociación del café con poró logró un valor total de 47.1 kg P/ha, superando a la asociación con laurel (33.5 kg P/ha). Las cantidades de P acumuladas en la vegetación y en el mantillo son pequeñas en comparación con las cantidades presentes en el suelo.

Los coeficientes de variabilidad de las determinaciones de P tanto en el material vegetal (20 a 40%) como en el suelo (40 a 50%) son bastante elevados. La digestión ácida de los materiales vegetales y especialmente de los suelos conducen a tales diferencias.

Cuadro 3. Determinación del contenido de elementos nutritivos de los compartimentos del café, cacao, árboles de poró y árboles de laurel (por ciento).

SISTEMA	CAFE + LAUREL						CAFE + PORO					
	HOJAS		RAMAS		TALLOS		HOJAS		RAMAS		TALLOS	
	Café	Laurel	Café	Laurel	Café	Laurel	Café	Poró	Café	Poró	Café	Poró
N	2.45	2.79	1.11	0.91	0.76	0.40	2.49	4.00	1.14	1.28	0.81	0.70
P	0.09	0.24	0.19	0.19	0.12	0.05	0.11	0.27	0.12	0.15	0.10	0.07
K	0.22	2.28	0.46	1.18	0.44	0.46	0.72	1.59	0.40	1.42	1.02	0.38
Ca	1.06	1.72	1.00	0.46	0.94	0.54	1.24	1.40	1.04	0.72	0.94	0.82
Mg	0.10	0.82	0.08	0.26	0.14	0.17	0.30	0.47	0.12	0.27	0.14	0.12

Cuadro 4. Reservas orgánicas de los sistemas café con laurel y café con poró en kg/ha.

SISTEMA	CAFE + LAUREL									
	HOJAS		RAMAS		TALLOS		RAICES MANTILLO		SUELO 0-45	TOTAL
	Café	Laurel	Café	Laurel	Café	Laurel	Café + Laurel	Café + Laurel		
N	46.2	63.3	24.7	28.7	28.6	95.2	58.4	110	8.873	9.328
P	1.7	5.5	4.1	6.0	4.5	11.9	1.5	10.1	2.736	2.779
K	4.1	51.7	10.1	37.2	16.5	109.4	27.8	14.3	687	958
Cu	20.0	39.1	21.9	14.5	35.4	128.5	70.5	103.1	2.783	3.216
Mg	1.8	18.6	1.7	8.2	5.2	40.4	17.5	19.2	587	700
	CAFE + PORO									
N	67.0	187.4	43.5	98.9	71.0	54.3	43.5	136	8.500	9.201
P	3.0	12.6	4.6	11.6	8.8	5.4	1.1	7.4	2.997	3.051
K	19.4	74.5	89.5	109.8	15.2	29.4	18.4	17.0	630	1.003
Ca	33.4	65.5	39.6	55.6	82.5	63.5	30.4	85.1	2.835	3.291
Mg	8.1	22.0	4.5	20.8	12.2	9.3	10.0	14.5	573	674

Las cantidades porcentuadas de K encontradas en el suelo (para las asociaciones con poró 63 y con laurel 72% del total) son pequeñas en comparación con otros elementos nutritivos. Esto se debe especialmente a la determinación de K en su forma cambiable. El valor del potasio estructural, asociado a los minerales es sin duda mucho mayor, pero esta fracción no es disponible para las plantas, así su cantidad tiene poca importancia.

El K acumulado en la vegetación en los sistemas estudiados es muy diferente, en la asociación café con poró alcanzó 356 kg/ha, en café con laurel 256 kg/ha. En esta asociación el K acumulado en las ramas y tallos del laurel (146.6 kg K/ha) corresponde a 57% del total.

Los sistemas exhiben una acumulación de reservas de Ca en la biomasa aérea de 340 y 403 kg/ha con 71 y 30 kg/ha en las raíces, y 103 y 85 kg/ha en el mantillo para el sistema con laurel y poró, respectivamente. Para el Mg se tiene una acumulación de reservas en la biomasa aérea de 95.7 y 97 kg/ha, con 18 y 10 kg/ha en las raíces y 19 y 14 kg/ha en el mantillo. Se desconoce el ritmo de acumulación de reservas a través del tiempo.

La determinación de las reservas de la materia orgánica y elementos nutritivos realizada en el presente estudio, como también en otros trabajos, es afectada por la situación fenológica de las especies estudiadas y las condiciones climáticas reinantes. En la biomasa del café se determinó al finalizar la cosecha, poco

antes del nuevo rebrote de los arbustos. En el caso del poró la determinación se realizó 12 meses después de la última poda, así la estimación de la biomasa de hojas y ramas es relativamente alta. Además se ha considerado como biomasa foliar la misma de dos podas anuales. En la determinación del laurel realizada en noviembre los árboles tienen un desarrollo foliar exuberante.

Las determinaciones realizadas no se deben interpretar sin embargo por separado, sino dentro del sistema total incluyendo los procesos de transformación (Heuvelodp, J. *et al.* (22) en un modelo analítico del sistema Fassbender *et al.* (14) como se tratará en publicaciones subsiguientes.

En la biomasa estudiada no se ha incluido las raíces gruesas del sistema, para poder dejar el experimento en marcha. No hay duda que aquí existe una depreciación de los datos.

### Resumen

En el Experimento Central del CATIE, Turrialba, Costa Rica se estudian los sistemas de producción agroforestales de café (*Coffea arabica*) con laurel (*Cordia alliodora*) y café con poró (*Erythrina poeppigiana*), mediante la determinación de la materia orgánica y elementos nutritivos separando las especies en sus compartimentos (hojas, ramas, tallos y raíces). Se realizaron, además, las determinaciones correspondientes en las copas del mantillo y del suelo mineral (0-45 cm).

Los resultados obtenidos se pueden resumir como sigue:



	Café con laurel			Café con poró		
	Vegetación	Mantillo	Suelo	Vegetación	Mantillo	Suelo
Mat Org. (t/ta)	41.6	4.9	195.6	38.1	6.3	164.4
Nitrógeno (kg/ha)	345	110	8 873	630	136	8 500
Fósforo (kg/ha)	33.5	7.4	2 736	47.1	10.1	2 997
Potasio (kg/ha)	256	14.3	687	356	17.1	630
Calcio (kg/ha)	411	103	2 783	433	85.1	2 835
Magnesio (kg/ha)	113.7	19.2	587	107	14.5	573

Se discuten los patrones de acumulación en función de las características de los sistemas agroforestales y de los elementos umbrílicos en estudio

#### Literatura citada

- AGUIRRE, V. Estudio de los suelos del área del Centro Tropical de Enseñanza e Investigación. CATIE, Turrialba. Tesis Mag. Sc. Turrialba, Costa Rica, 1971. 138 p.
- ARANGUREN, J., ESCALANTE, G. y HERRERA, R. Ciclo del nitrógeno en cultivos tropicales bajo árboles de sombra; I. Café. *Plant and Soil* 67:247-258. 1982.
- CARVAJAL, J. F. Nutrición mineral del café. Requerimientos de la cosecha. Costa Rica. MAG-STICA. Información Técnica No. 9. 1959. 16 p.
- CATANI, R. A. y MORAES, F. P. A composição química do cafeeiro. Quantidade e distribuição de N, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, K<sub>2</sub>O, CaO e MgO em cafeeiro de 1 a 5 años de idade. *Revista da Agricultura (Piracicaba)* 33:45-52. 1958.
- CENTRO AGRONÓMICO TROPICAL DE INVESTIGACION Y ENSEÑANZA. Taller sistemas agroforestales en América Latina. 1979. Actas, editado por G. De las Salas. Turrialba, Costa Rica. 1979. 226 p.
- COMBE, J. y BUDOWSKI, G. Clasificación de las técnicas forestales: una revisión de literatura. In CATIE, Taller sistemas agroforestales en América Latina. 1979. Actas, editado por G. De las Salas. Turrialba, Costa Rica. 1979. 226 p.
- CHAVERRI, G. R., MAY, E. S. y CHAVES, F. S. Resultados del análisis foliar del café en Costa Rica. STICA, San José, Costa Rica, Información técnica No. 3. 1957.
- CHOKKANA, N. G. Nitrogen, phosphate and potash status of some coffee soils of South India and manuring of coffee. *Planters Chronicle* 1950. pp. 1-19.
- ENRIQUEZ, G. Ensayo central de cultivos perennes en comparación con algunos anuales. In De las Salas, ed. Taller Sistemas Agroforestales en América Latina. Turrialba, Costa Rica, CATIE. 1979. 119 p.
- ESPINOZA, L. Estructura general de cafetales de pequeños agricultores. In Heuvelodop, J. y Espinoza, L., eds. El componente arbóreo en Acosta y Puriscal. Costa Rica. CATIE, 1983. pp. 72-84.
- EWELL, J. *et al.* Leaf area, light transmission, roots and leaf damage in nine tropical plant communities. *Agro-Ecosystems* 7:305-326. 1982.
- FASSBENDER, H. W. y GRIMM, U. Ciclos bio-geo-químicos en un ecosistema forestal de los Andes Occidentales de Venezuela. II. Producción y descomposición de residuos vegetales. Turrialba 31:39-47. 1981.
- FASSBENDER, H. W. y GRIMM, U. Ciclos bio-geo-químicos en un ecosistema forestal de los Andes Occidentales de Venezuela. IV. Modelos y conclusiones. Turrialba 31:101-108. 1981.
- FASSBENDER, H. W., *et al.* Sistemas agroforestales de café (*Coffea arabica* con laurel (*Cordia alliodora*) y café con poró (*Erythrina poeppigiana*) en Turrialba, Costa Rica. III. Modelos de la materia orgánica y elementos nutritivos. Turrialba 35(4). 1985.
- FRISSELL, M. J., ed. Cycling of mineral nutrients in agriculture ecosystems. Elsevier Scientific Publishing Co., Amsterdam. 1978. 356 p.

16. FOURNIER, L. A. Fundamentos ecológicos de cultivos del café IICA Zone Norte. Turrialba, Costa Rica. 1980. 29 p. Publicación miscelánea.
17. GOLBERG, A. D. y JIMENEZ E. Estudios ecológicos en el agroecosistema cafetalero; IV Distribución de la biomasa aérea en diferentes estratos del cafetal INIREB 8030120, Xalapa, Veracruz, México. s.f. s.p. (Publicación reciente 1982).
18. GRIMM, U. y FASSBENDER, H. W. Ciclos biogeo-químicos en un ecosistema forestal de los Andes Occidentales de Venezuela. I. Inventario de las reservas orgánicas y minerales (N, P, K, Ca, Mg). Turrialba 31:27-37. 1981.
19. GRIMM, U. y FASSBENDER, H. W. Ciclos biogeo-químicos en un ecosistema forestal de los Andes Occidentales de Venezuela. III. Ciclo hidrológico y translocación de elementos químicos con el agua. Turrialba 31:39-47. 1981.
20. HENDRY, C. D., BERISH, C. W. y EDGERTON, E. S. Precipitation chemistry at Turrialba, Costa Rica (Central America). Water Resources Research. 1984. (In press).
21. HEUVELDOP, J. y LAGEMANN, J. eds. Agroforestry. Proceedings of a seminar held in CATIE, Turrialba, Costa Rica. 1981.
22. HEUVELDOP, J. *et al*. Sistemas agroforestales de café (*Coffea arabica* con laurel (*Cordia alliodora*) y café con poró (*Erythrina poeppigiana*) en Turrialba, Costa Rica. II Producción vegetal maderable y de residuos vegetales. Turrialba 35(4). 1985.
23. JOHNSON, P. and MORALES, R. A review of *Cordia alliodora* (Ruiz and Pav.) Oken. Turrialba 22(2):210-220. 1972.
24. MACHADO, A. The effect of shade, soil and cultural practices on the early development of the coffee tree. Horticulture Abstracts 21:3 009. 1946.
25. MONTOYA, L. A., SYLVAIN, P. G. y UMAÑA, R. Effect of light intensity and nitrogen fertilization upon growth differentiation balance in *Coffea arabica* L. Coffee 3:97-104. 1961.
26. ROBERTSON, G. P., HERRERA, R. y ROSWALL, T. Nitrogen cycling in ecosystems of Latin America. Plant and Soil 67, Special Volume. 1982.
27. RUSSO, R. Efecto de la poda de *Erythrina poeppigiana* (poró) sobre la nodulación, producción de biomasa y contenido de nitrógeno en el suelo en un sistema agroforestal "Café-poró". Tesis Mag. Sc. Turrialba, Costa Rica. CATIE. 1983. 106 p.
28. SUAREZ DE CASTRO, F. *et al*. Efecto del sombrero en los primeros años de vida en un cafetal. Café 3:81-102. 1961.
29. SYLVAIN, P. G. Effect of shade upon growth and differentiation of coffee seedlings as expressed by physical measurements and chemical composition. IICA, Turrialba, Costa Rica. 1952. (mimeogr.).
30. WILLEY, R. W. The use of shade in coffee, cocoa and tea. Horticultural Abstracts 45(1):791-798. 1975.