

SISTEMAS AGROFORESTALES DE CAFE (*Coffea arabica*) CON
LAUREL (*Cordia alliodora*) Y CAFE CON PORO (*Erythrina poeppigiana*)
EN TURRIALBA, COSTA RICA. III. MODELOS DE LA MATERIA
ORGANICA Y LOS ELEMENTOS NUTRITIVOS¹

H. W. FASSBENDER*, L. ALPIZAR**, J. HEUVELDOP***, G. ENRIQUEZ****, H. FOLSTER**

Summary

Models for organic matter and nutrients (N, P, K, Ca and Mg) were prepared for the agroforestry systems of coffee (Coffea arabica) with laurel (Cordia alliodora) and poro gigante (Erythrina poeppigiana) based on studies carried out at CATIE (Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza) in Turrialba, Costa Rica.

For each system an inventory was made for organic matter and nutrients considering as compartments the plants (wood, branches, leaves, roots and fruits at age 4.5 years, 1982), the litter layer and the mineral soil (0-4.5 cm). The experiment began in 1977. As input into the system were measured annually (5 experimental year) growth, fertilization and nutrients in the rainfall. As output of the system are considered harvest (5 years) and lixiviation. As transfer processes were measured the litter production (naturally and pruning) and its decomposition. The models are presented grafically and discussed.

Introducción

En la última década se ha hecho hincapié en las técnicas para hacer modelos sobre la energía, la materia, los elementos químicos y el agua en sistemas de producción agrícolas en áreas de clima templado como también tropical y subtropical (10, 21). El desarrollo de modelos matemáticos para describir los ciclos arriba mencionados permite no sólo presentar al sistema en estudio, sino por medio de simulaciones proyectar su comportamiento al futuro.

Existen diversos tipos de modelos. La forma más elemental es el denominado "modelo verbal" y consiste de una descripción con palabras del sistema en estudio en el que se deben establecer los componentes, el tipo de interacciones, los límites del sistema, sus entradas y sus salidas. Una descripción mediante bloques que representa los componentes del sistema y flechas que indican el sentido de las interacciones, da lugar al modelo de compartimentos llamado "diagrama de flujos".

Un análisis de los ciclos de la materia orgánica y los elementos nutritivos implica su descripción estática (inventario de los recursos en compartimentos) y dinámica medida de los procesos de flujo entre los compartimentos (1, 3, 14, 18, 20). El suelo aporta, de acuerdo a su profundidad, el sostén para las plantas y participa directamente en los ciclos del agua y elementos químicos que se desarrollan en la biosfera. El agua juega un papel muy importante dentro de todos los procesos; por ello necesita ella una descripción especial. El ciclo de materia orgánica es el resultado de los procesos biológicos del sistema de produc-

¹ Recibido para publicación el 12 de junio de 1985

* Profesor de la Facultad Técnica Forestal, República Federal de Alemania.

** Estudiante graduado y profesor de la Facultad de Ciencias Forestales de la Universidad de Göttingen, República Federal de Alemania.

*** Coordinador Proyecto Agroforestal CATH/GTZ, Turrialba, Costa Rica.

**** Experto en cacao, Departamento de Producción Vegetal, CATIE, Turrialba, Costa Rica.

ción, su ciclo es primordial y lleva a la acumulación y transferencia de los elementos químicos. Las medidas del manejo del sistema (fertilización, enclavado son importaciones) y las cosechas representan exportaciones del sistema que deben estudiarse en detalle. Con base en todas estas consideraciones pueden desarrollarse los modelos respectivos.

Los modelos de este tipo casi no han sido aplicados a sistemas de cultivos permanentes o a sistemas agroforestales. Existen algunos estudios parciales relacionados con la asociación del café con árboles leguminosos de sombra (3, 18). Con base en estudios realizados en el Experimento Central del CATIE en Turrialba, Costa Rica (2, 17) se han preparado modelos de la materia orgánica y de los elementos nutritivos (N, P, K, Ca y Mg) que se presentarán en este trabajo.

Materiales y métodos

Todos los aspectos relacionados con el Experimento Central del CATIE y las determinaciones para obtener los datos necesarios para los modelos de la materia orgánica y de los elementos nutritivos han sido descritos anteriormente (2, 11, 17).

Los modelos a presentarse se refieren a las reservas del suelo medidas en 1977, la acumulación de materia orgánica y elementos nutritivos acumulados en los sistemas en 4,5 años de edad y las tasas de transferencia (residuos, cosechas, incrementos de biomasa y absorción de elementos nutritivos) en el quinto año experimental. Para el cálculo del incremento de la materia seca y de la absorción de los elementos nutritivos se han considerado:

- una renovación anual (100% del valor de la biomasa) para las hojas y raíces finas (laurel, poró, etc.) y ramas del poró;
- la deposición del material de las podas del poró (hojas y ramas);
- un incremento calculado para el quinto año del laurel de un 22% para los tallos y las ramas;
- un incremento de la biomasa del café (tallos y ramas) en el quinto año de un 26% de la biomasa total basado en las curvas de crecimiento publicadas por Catani y Moraes (8).
- un incremento hipotético de los tallos del poró del 25%.

Resultados

Modelos del ciclo de la materia orgánica

En la Figura 1 se presentan los modelos del ciclo de la materia orgánica del café asociado con laurel (*Cordia alliodora*) y con poró gigante (*Erythrina poeppigiana*). Los resultados de las reservas de la materia orgánica acumuladas en el sistema se pueden resumir de la siguiente manera (t/ha):

	Café con laurel	Café con poró
Vegetación	41.5	38.1
Mantillo	4.9	6.3
Suelo mineral	195.8	164.4
TOTAL EN EL SISTEMA	242.2	208.8

Las reservas orgánicas en la vegetación son así superiores en el sistema café-laurel que en el sistema café-poró. La diferencia en la biomasa del café, así como en 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 (15.3 t/ha). Una comparación absoluta de estos datos de biomasa, sin embargo, es difícil de interpretar. Se trata de datos de parcelas experimentales, homogéneas bajo condiciones bastante controladas. Se pretende representar las condiciones de los sistemas de cultivo utilizados por los agricultores de la región. Los árboles de sombra utilizados cumplen sin embargo funciones muy diferentes. En el caso del laurel se pretende producir madera, la cual constituye la mayor parte de la biomasa del sistema (57%). El poró tiene otras funciones como producción de sombra, producción de residuos vegetales como material de cobertura del suelo y fijación del nitrógeno. La comparación de los datos de biomasa con otros estudios es aún más complicado ya que se trata de otras asociaciones de café con árboles de sombra en otras zonas ecológicas y con otras condiciones de suelos, densidades, edades y variedades de café y árboles de sombra (2).

Los datos de cosecha de café (fresco y seco) (kg/ha) se resumen como sigue:

Año	Café con laurel	Café con poró
1979/80	4 431	5 103
1980/81	3 816	11 873
1981/82	2 329	9 776
1982/83	16 736	11 338
1983/84	3 067	3 628
TOTAL RIESCO		
1979-84	30 439	41 718
TOTAL SIEMPRE		
1979-84	9 436	12 933

Las implicaciones de la sombra en la regulación de las cosechas han sido discutidas anteriormente (17).

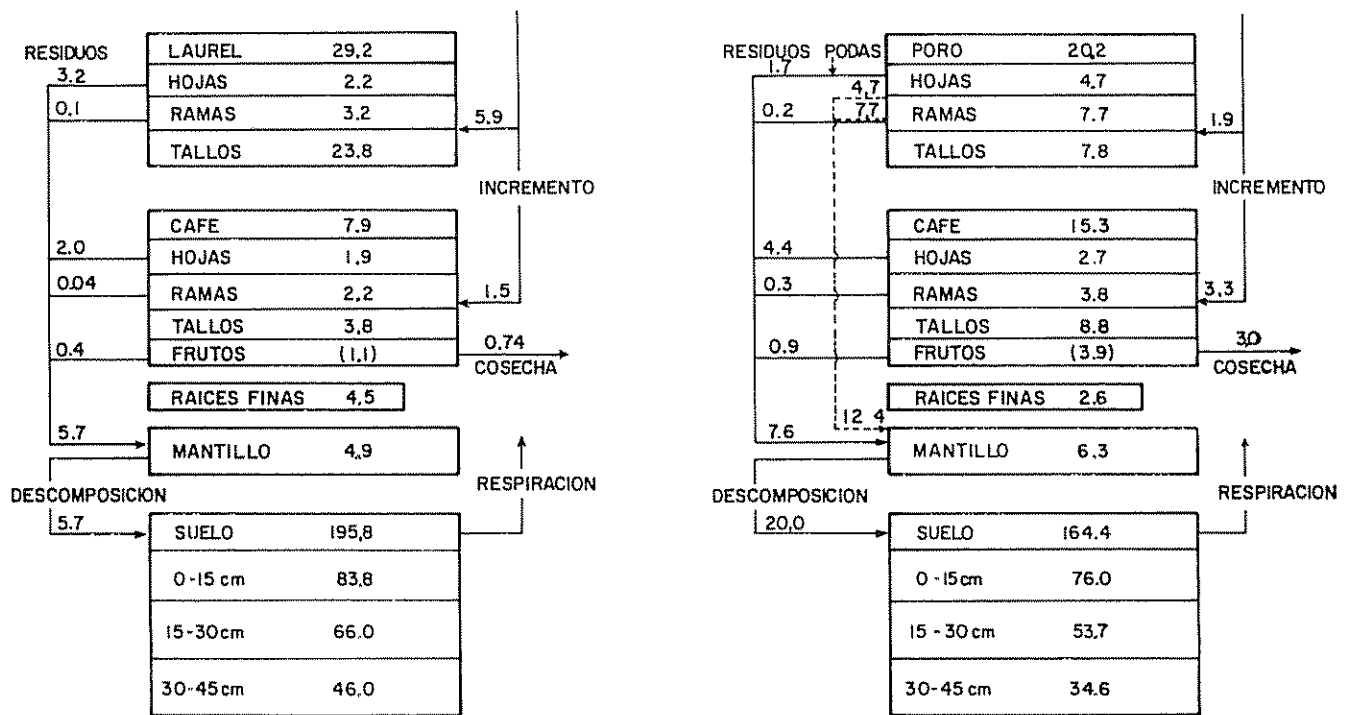


Fig 1 Ciclo de la materia orgánica en los sistemas agroforestales café con laurel y café con poró (reservas t/ha, transferencia t/ha/a)

Las cosechas de café en estas plantaciones aún jóvenes se consideran altas en comparación con otros estudios (5, 7, 15, 22).

Las cosechas de café representan una exportación de materia del sistema. Un índice de exportación es así el porcentaje de la cosecha en el total de la biomasa. En condiciones comparables del quinto año experimental resultan los siguientes valores (t/ha):

	Biomasa	Cosecha	Índice (%)
Café con laurel	41.6	0.74	1.78
Café con poró	38.1	3.03	7.95

Es importante conocer, en producción primaria neta de los sistemas de producción de acuerdo a los métodos utilizados, los siguientes valores (t/ha/a):

Café 4.6; Laurel 8.2; Raíces 4.5; TOTAL	17.3
Café 10.0; Poró 16.3; Raíces 2.6; TOTAL	28.9

Los datos muestran claramente que el sistema con poró tiene una mayor productividad que la del sistema con laurel; a su vez, el poró supera al laurel así como el cafeto poró supera ampliamente al cafeto bajo laurel.

La producción de residuos vegetales naturales y de podas es muy variable, especialmente para el poró en

función de sus podas (17). De acuerdo a la Figura 1, la producción de residuos vegetales del quinto año experimental considerado para el modelo de la materia orgánica se puede resumir como sigue (t/ha/a):

	Café con laurel		Café con poró	
Residuos naturales	2.4	3.3	5.7	1.9
Residuos de podas	-	-	-	12.4
TOTAL	5.6		20.0	

En el sistema café con laurel las hojas del café contribuyen con 35% y las de laurel con 58%. En el sistema con poró el 62% corresponde a los residuos de la poda del poró y el resto proviene de la caída natural de los residuos de los cuales 22% son hojas de café y 9% son hojas de café y poró. En general, se tiene que la relación en la producción total de materia orgánica entre los sistemas café + laurel: café + poró es del orden de 1:3.5; a su vez la relación natural de residuos naturales con la producción de residuos de podas en el sistema con poró es de 1:1.6.

Una desventaja en el estudio es que no se conoce la dinámica de las raíces gruesas y finas en relación con su longevidad. Se podría suponer que las raíces finas se están renovando anualmente. Sin embargo, los valores respectivos no se han considerado en el modelo

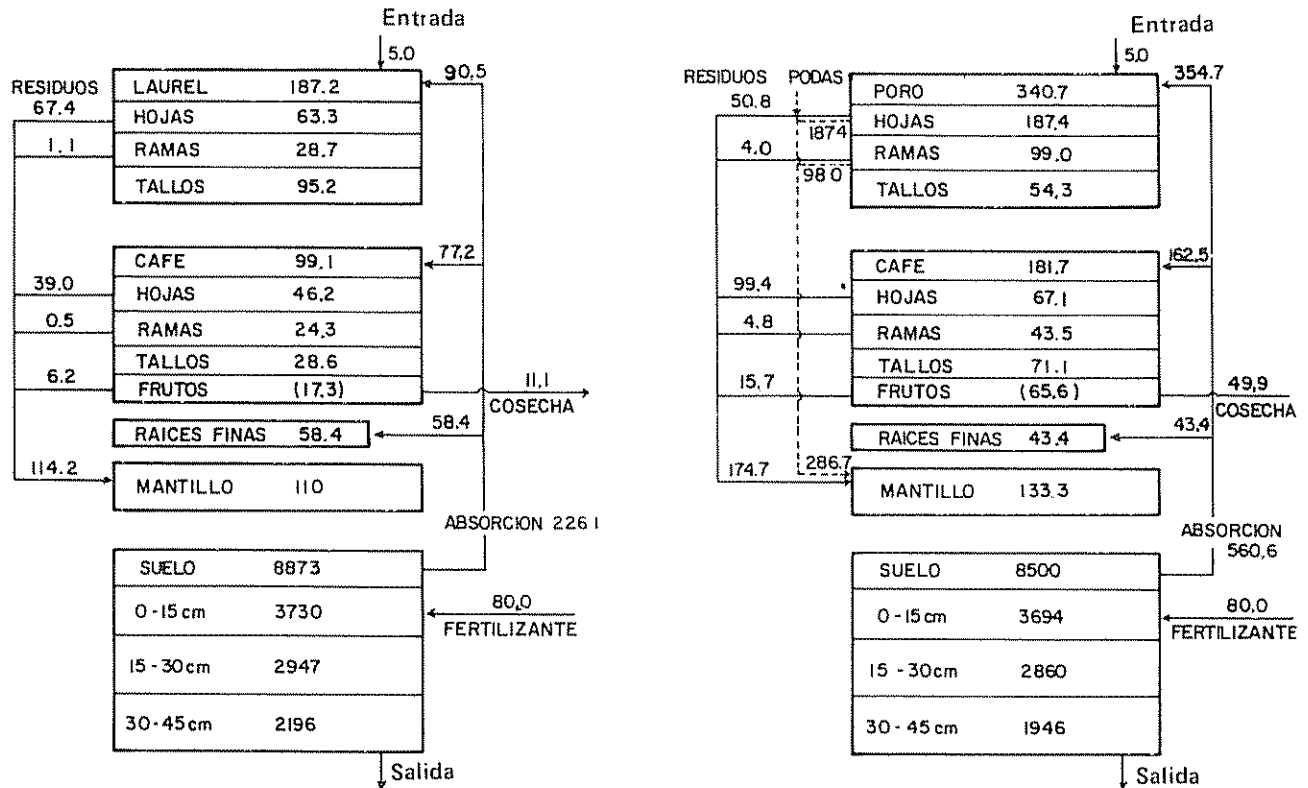


Fig. 2. Ciclo del nitrógeno en los sistemas agroforestales café con laurel y café con poró (reservas kg/ha - transferencias kg/ha/a).

Una forma adecuada de expresar la recirculación de la materia orgánica es el cociente (en porcentaje) de lo que circula como residuo y la cantidad total de biomasa aérea almacenada, ya sea por el sistema o por la planta. A continuación se presentan los cocientes encontrados en el presente estudio (porcentaje).

Café 31; Laurel 15; Sistema 15
Café 37; Poró 71; Sistema 56

Los datos indican la superioridad de circulación de la materia orgánica del sistema con poró, se destaca la capacidad de circulación en el sistema con poró con el sistema con laurel. La circulación, en el caso del sistema con poró, depende no sólo de la fenología natural, sino también del manejo del poró. En el caso del sistema con laurel se depende exclusivamente de la fenología natural del café y laurel.

La descomposición de los residuos vegetales es exponencial en función del tiempo (17). Para los fines del modelo de la materia orgánica se ha considerado que la tasa anual de descomposición es igual que la de deposición de residuos (Figura 1). Esta decisión se ba-

sa en observaciones de campo (17), así como estudios similares sobre disposición de hojas de laurel en Turrialba (4), y de hojas de *Erythrina* sp. e *Inga* sp. en Venezuela (3). Aquí es necesario nuevamente indicar que faltan conocimientos sobre la descomposición de residuos de raíces.

Respecto a las reservas orgánicas del suelo al inicio del experimento sólo se puede afirmar que las diferencias encontradas de 164.4 t/ha en café con poró y de 195.8 t/ha en café con laurel se deben sobre todo el manejo y formación del suelo antes del experimento y sólo sirven como un punto de partida o de comparación conforme los sistemas se van desarrollando. El efecto de los sistemas en estudio sobre el contenido de materia orgánica en el suelo se puede analizar después de varios años, en forma ideal cuando se termine un ciclo de producción.

Modelos del ciclo del nitrógeno

En la Figura 2 se pueden observar los siguientes valores de las reservas de nitrógeno en los sistemas en estudio (kg/ha):

	Café con laurel	Café con poró
Vegetación	344.7	565.5
Mantillo	110	133
Suelo (0-45 cm)	8 873	8 500
TOTAL	9 328	9 199

Los frutos en el quinto año son parte de la biomasa dinámica del sistema y correspondió a (kg/ha/a):

	17.3	65.6
--	------	------

Los valores totales de N son comparables pero la distribución presenta características muy diferentes para los dos sistemas. Así, la biomasa aérea del sistema café con poró corresponde a 522 kg N/ha, mientras que en el sistema asociado al laurel sólo se acumuló 286 kg N/ha. Las raíces finas correspondientes son 43.4 y 58.4 kg/ha. Esto se refleja en la extracción del N del sistema con los frutos, equivalente a 65.6 y 17.3 kg N/ha para las asociaciones con poró y laurel respectivamente para el quinto año. La dinámica del nitrógeno en los sistemas se caracteriza con el porcentaje de la reserva de N que se transfiere al suelo en forma de residuos vegetales naturales. Así resultan los siguientes valores porcentuales:

	Índice de circulación del N (%)
Sistema café con laurel	40
Laurel	36
Café	46
Sistema café con poró	82
Poró	100
Café	66

La extracción de N del suelo por los sistemas se puede cuantificar de la manera siguiente (kg/ha/a en el quinto año experimental):

	Café con laurel		Café con poró	
Hojas	46.2	63.3	67.1	150.8
Ramas	6.3	6.3	11.3	94.0
Tallos	7.4	20.9	18.5	13.5
Frutos	17.3	—	65.6	—
Podas	—	—	—	286.4
Subtotal	77.2	90.5	162.5	354.7
Raíces finas	58.4	—	43.4	—
TOTAL	226.1	—	560.6	—

En el caso de las hojas del café y laurel existen a veces algunas discrepancias en los datos encontrados de la biomasa de los residuos anuales; así p.e., para el café con laurel se registraron valores de 46.2 y 39.0 kg N/ha respectivamente. Para el cálculo correspondiente se utilizó el dato de la biomasa.

Una limitación muy grande de estos estudios es que no se conocen los valores correspondientes de las

raíces gruesas del sistema. Estas acumulan seguramente cantidades apreciables de N y en su incremento se genera una fuente de absorción de N.

Los valores de la absorción total anual de N por los sistemas demuestran la gran divergencia que existe entre ellos. La combinación café con poró (560 kg N/ha/a) moviliza una cantidad mucho mayor que el sistema con laurel (226 kg N/ha/a). Las cantidades de N que por cosechas están saliendo del sistema son relativamente pequeñas, estas totalizan 49.9 kg N/ha para el sistema café con poró y 11.1 kg para el sistema asociado con laurel. La concentración de N en los granos de café en el estudio (1.5 y 1.65% en combinación con laurel y con poró, respectivamente) es comparable a la que se encontró en otros estudios de Costa Rica (6), Brasil (20) e India (9). Un balance completo del N en el suelo no es factible mientras no se conozca la tasa de lixiviación del N. Sin embargo, es posible puntualizar los siguientes valores (kg/ha/a):

	Café con laurel	Café con poró
Ganancias		
Fertilizante	80	80
Agua de lluvia	5	5
Residuos vegetales	114	461
TOTAL	119	546
Pérdidas		
Absorción	226	561
Filtración	desconocido	desconocido

Así las fuentes de ganancia no cubren las fuentes de pérdida y se está utilizando continuamente la reserva del suelo. Los datos del balance deben ser tomados con precaución. Un entendimiento más adecuado de la dinámica del nitrógeno implica determinaciones específicas sobre:

- tasas de fijación de N por los árboles de poró;
- determinación de la lixiviación de N en el suelo;
- análisis de la distribución de N en la solución del suelo (N total, N nitratos, N amoniacal) durante el año y en función de la fenología de los cultivos.

Modelos del ciclo del fósforo

El fósforo que se encuentra en el sistema agroforestal en estudio (Figura 3) se resume de la siguiente manera (kg/ha):

	Café con laurel	Café con poró
Vegetación	38.2	49.1
Mantillo	7.4	10.1
Suelo (0-45 cm)	2 736	2 997
TOTAL	2 781	3 056

Los granos de café del quinto año experimental equivalen a (kg/ha/a):

	1.7	5.9
--	-----	-----

Las cantidades de fósforo acumuladas en la vegetación son pequeñas en comparación con otros elementos nutritivos, p.e. el nitrógeno. Sin embargo, existen diferencias grandes entre los sistemas estudiados, la asociación del café con poró logró un valor total de 49.1 kg P/ha, superando a la asociación con laurel (38.2 kg P/ha). Esto se refleja también en la extracción de P con los frutos, que equivale a 5.9 y 1.7 kg P/ha en los sistemas respectivos. Los coeficientes de variabilidad de las determinaciones de P tanto en el material vegetal (de 20 a 40%) como en el suelo (de 40 a 50%) son bastante elevados. La digestión ácida de los materiales vegetales y especialmente de los suelos conduce a tales diferencias.

La extracción de P del suelo por los sistemas en el quinto año de estudios se puede resumir como sigue (kg/ha/a):

	Café con laurel		Café con poró	
Hojas	1.7	5.4	2.9	3.2
Ramas	1.1	1.2	1.2	0.3
Tallos	1.1	2.6	2.3	1.3
Frutos	1.7	—	5.9	—
Podas	—	—	—	24.2
Subtotal	5.6	9.2	12.3	29.0
Raíces finas	4.5		3.4	
TOTAL	19.3		44.7	

La participación de la cosecha de granos en la extracción de P del sistema de producción es pequeña, alcanzó 1.1 y 4.5 kg P/ha/a en las combinaciones con laurel y poró, respectivamente. La concentración de P en los granos de café (0.15% para ambos sistemas) es comparable a la encontrada en otros estudios en Costa Rica (6, 7) pero más alta que la encontrada en Brasil (20) e India (9). Los valores de mayor acumulación de P en la biomasa y en las cosechas del sistema café con poró se pueden deber a la mayor actividad nutritiva de esta combinación y así como también a la posible actividad de micorrizas del poró. Russo (22) ha indicado la presencia de micorrizas en las raicillas del poró en el área de Turrialba. López *et al.* (19) han indicado la ocurrencia de micorrizas en los suelos de la región cafetalera del Estado de São Paulo, Brasil.

Las tasas de absorción del P son pequeñas en comparación con las reservas del suelo y la fertilización aplicada (240 kg P₂O₅ equivalente a 105 kg P/ha). Estudios sobre las formas de P en la región de Turrialba han demostrado el predominio de fosfatos de hierro y solubles en reductante que no son disponibles para las plantas (13). Por otro lado, se ha demostrado que los suelos del área de estudio tienen

una capacidad de fijación de fósforo muy elevada y, así, los fertilizantes aplicados se transforman en compuestos de baja solubilidad (12). El balance del fósforo en el suelo se puede representar de la forma siguiente (kg/ha/a):

	Café con laurel	Café con poró
Ganancias		
Fertilizante	105	105
Agua de lluvia	0.2	0.2
Residuos vegetales		
TOTAL	112.5	139.8
Pérdidas		
Absorción	19.3	44.7

Las fuentes de ganancia cubren completamente las pérdidas por absorción de las plantas. Sin embargo, hay que considerar en detalle los procesos de transformación del fertilizante aplicado.

Modelos del ciclo del potasio

El potasio que se ha acumulado en el sistema (Figura 4) se puede resumir de la siguiente manera (kg K/ha):

	Café con laurel	Café con poró
Vegetación	258.8	356.3
Mantillo	14.3	17.1
Suelo (0-45 cm)	687	630
TOTAL	958	1003

Los frutos alcanzaron en el quinto año del sistema (kg/ha/a):

	18.7	57.6
--	------	------

Las cantidades porcentuales 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 cambiante. El valor de K total es desconocido, pero como la mayor parte corresponde al K estructural, la 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 K/ha y en café con laurel 257 kg K/ha. En esta asociación el K acumulado en las ramas y tallos del laurel (146.6 kg K/ha) corresponde a un 57% del total. Igualmente, el K en los granos alcanzó valores muy diferentes, 57.6 kg K/ha para café con poró y 18.7 kg K/ha/a para café con laurel. La dinámica del K asociada con los residuos de la biomasa aérea, se expresa con los cocientes de circulación expresados en porcentaje y calculados de la misma for-

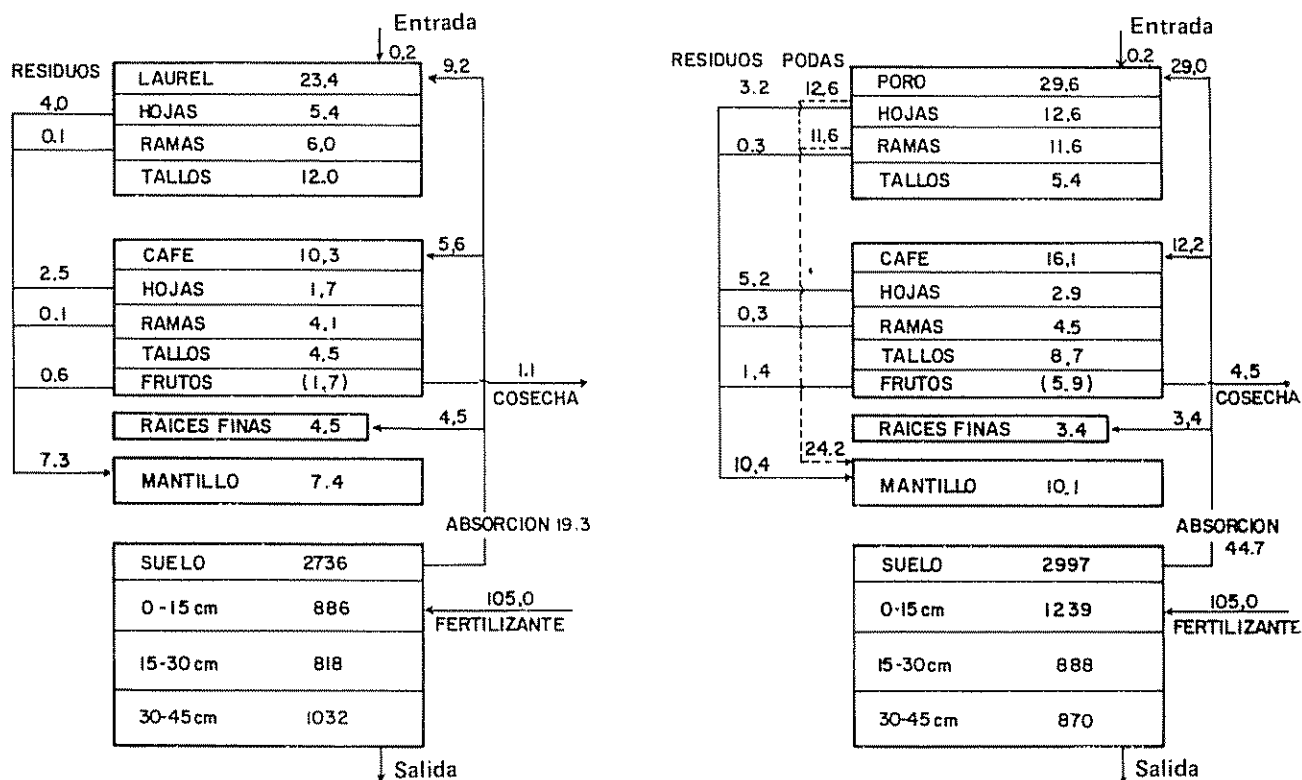


Fig. 3. Ciclo del fósforo en los sistemas agroforestales café con laurel y café con poró (reservas kg/ha, transferencia kg/ha/a).

ma que para la materia orgánica, de la siguiente manera:

	índice de circulación del K (%)
Sistema café con laurel	24
Laurel	12
Café	97
Sistema café con poró	77
Poró	93
Café	50

La absorción de K por las plantas se puede resumir con los siguientes datos (kg/ha/a):

	Café con laurel		Café con poró	
Hojas	4.1	51.7	19.4	11.2
Ramas	2.6	8.2	3.9	2.6
Tallos	4.3	24.1	23.3	7.3
Frutos	18.7	-	57.6	-
Podas	-	-	-	184.3
Subtotal	29.7	84.0	104.2	205.4
Raíces finas	27.8	-	18.5	-
TOTAL	141.5	-	328.1	-

Se ratifica una vez más que la cantidad absorbida de K anualmente por el sistema café con poró es más elevada que la absorbida en la asociación café con laurel. La actividad nutricional del primer sistema es mucho más elevada que la del segundo. La concentración de K encontrada en los frutos (1.6% en café + laurel y 1.5% en café + poró) es más baja que la encontrada por otros autores en Costa Rica (6, 7) y en otros países (20,21)

El balance anual de K del suelo se puede resumir como sigue (kg K/ha/a):

	Café con laurel	Café con poró
Ganancias		
Fertilizante	66	66
Agua de lluvia	2.5	2.5
Residuos vegetales	54.3	259.5
TOTAL	122.8	328.0
Pérdidas		
Absorción por planta	141.5	328.1
Filtración	desconocido	desconocido

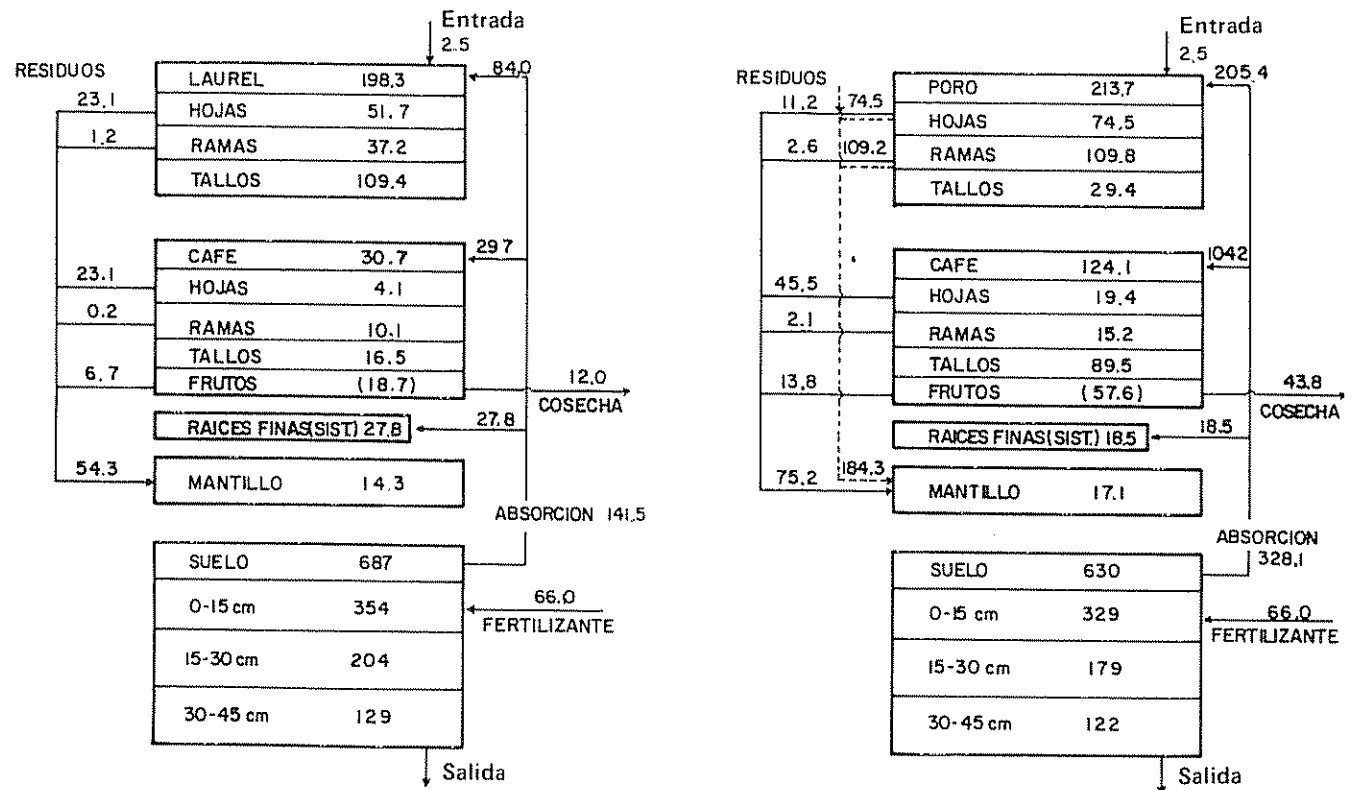


Fig. 4. Ciclo del potasio en los sistemas agroforestales café con laurel y café con poro (reservas kg/ha, transferencias kg/ha/a).

Aquí nuevamente se observa una diferencia importante entre los sistemas en estudio. Las ganancias de K en el sistema café con poro superan las tasas de absorción de K del suelo. Sin embargo, las cantidades notables de K en los residuos vegetales provienen originalmente del suelo y así se está produciendo a largo plazo una extracción notable de K del suelo. En el caso del sistema café con laurel las tasas de deposición de K en el suelo son superiores a las de absorción. La filtración de K con el agua freática es desconocida y dada la movilidad de este elemento se podría pensar que se está perdiendo K. Tanto para todos los elementos en estudio, es limitante que sólo se hayan estudiado los primeros 45 cm del suelo mineral. Observaciones de campo indican que la profundidad de enraizamiento de los sistemas en estudio es mayor.

Modelos de los ciclos de calcio y magnesio.

Los resultados obtenidos en el inventario de estos elementos en los sistemas agroforestales en estudio se pueden resumir en la siguiente forma (kg/ha):

	Ca		Mg	
	Café + laurel	Café + poro	Café + laurel	Café + poro
Vegetación	329.9	370.5	93.4	86.9
Mantillo	103.1	85.1	19.2	14.0
Suelo	2 783	2 835	587	573
TOTAL	3 216	3 291	700	674

Los frutos alcanzaron en el quinto año los siguientes valores (kg/ha/a):

Ca	Mg
7.1	22.2
2.0	5.6

Los sistemas exhiben una acumulación de reservas de Ca en la biomasa aérea de 259 y 340 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 poro, respectivamente.

Para el Mg se tiene una acumulación de reservas en la biomasa aérea de 75.9 y 76.9 kg/ha, con 17.5 y 10.0 kg/ha en las raíces y 19 y 14 kg/ha en el mantillo en los sistemas con laurel y poro respectivamente.

Se desconoce el ritmo de acumulación de reservas a través del tiempo. Respecto a la dinámica del Ca y Mg asociada con los residuos de la biomasa aérea se tiene que los cocientes de circulación expresados en porcentajes y calculados de la misma forma que para la materia orgánica son los siguientes:

	Indice de circulación del Ca (%)	Indice de circulación del Mg (%)
Sistema café + laurel	42	49
Laurel	43	38
Café	40	120
Sistema café + poró	58	99
Poró	73	100
Café	40	95

Los datos indican índices superiores de circulación para Ca y Mg en el sistema con poró, si bien la superioridad en el caso del Ca no es tan marcada como la observada en los demás elementos. Por otro lado, en el caso del Mg los cafetos muestran índices bastante altos en los dos sistemas, debido probablemente a que no se puede dar una acumulación del Mg en las hojas del cafeto poco antes de su absorción. Algo similar se observó para el K.

La absorción de Ca y Mg en el quinto año experimental se puede resumir con los siguientes resultados (kg/ha/a):

	Ca				Mg			
	Café + laurel		Café + poró		Café + laurel		Café + poró	
Hojas	20.0	39.0	33.4	36.0	1.8	18.6	8.1	7.2
Ramas	5.7	3.0	10.3	4.0	0.4	1.8	1.2	1.5
Tallos	9.2	28.3	21.4	15.9	1.3	8.9	3.2	2.0
Trufos	7.1	-	22.2	-	2.0	-	5.6	-
Podas	-	-	-	121.1	-	-	-	42.8
SUBTOTAL	42.0	70.5	87.3	216.3	5.5	29.3	18.1	53.5
Raíces	70.4		30.4		17.5		10.0	
TOTAL	183.0		294.7		52.3		81.6	

Las cantidades absorbidas de Ca son equiparables a las de K. Como es de esperar, la absorción de Mg es menor que la de K y Ca. Nuevamente se ratifica que el sistema café con poró presenta una mayor absorción de estos elementos que la asociación café con laurel.

Al considerar el balance de Ca y Mg en el suelo es necesario indicar que estos elementos no se están fertilizando. Así se obtienen los siguientes valores (kg/ha/a):

	Ca		Mg	
	Café + laurel	Café + poró	Café + laurel	Café + poró
Ganancias				
Lluvia	1.4	1.4	1.5	1.5
Residuos vegetales	109.9	242.7	37.3	75.9
TOTAL	111.3	244.4	38.8	77.4
Pérdidas				
Absorción Plantas	183.0	294.7	52.3	84.6
Lixiviación	desconocido	desconocido	desconocido	desconocido

Las pérdidas de Ca en ambos sistemas son más altas que las ganancias por lo tanto se está produciendo una pérdida constante de este elemento que es acentuada por la lixiviación. En el caso de Mg ambas asociaciones tienen un balance negativo.

Discusión

Los métodos tradicionales del análisis químico están basados en el análisis del suelo o materia vegetal para predecir las necesidades de fertilización de los cultivos. Estos valores no tienen ninguna relevancia para interpretar el balance nutricional. Su aplicabilidad depende del estudio de la correlación que existe

entre el valor en el suelo elegido y la respuesta de cosecha.

Para interpretar el balance o ciclo nutricional se propone el estudio complejo de todo el sistema de producción. Así se obtienen resultados que permiten describir al sistema como un todo y también sus componentes por separado.

La interpretación de los valores depende en gran parte del arreglo experimental. En el caso del Experi-

mento Central del CATIE, el tamaño de las parcelas (18 x 18 metros), la profundidad de los suelos estudiados (0-45 cm), la falta de datos de raíces gruesas (biomasa y formación de residuos), las negligencias en las cosechas de café limitan en parte las conclusiones finales. La fecha de la determinación de la biomasa del poró y la edad del campo experimental son también limitantes.

Los datos de las Figuras 1 a 4, que incluyen la vegetación, cosechas, producción de residuos y absorción de elementos nutritivos, permiten una interpretación muy específica de los sistemas en estudio; la asociación café con poró se caracterizó por una dinámica de producción muy elevada, sin duda la leguminosa no sólo provee nitrógeno sino también activa la absorción y recirculación de P, K, Ca y Mg, ello, sin embargo, con base en una extracción muy elevada de estos elementos en el sueño; la combinación con laurel se caracterizó por una dinámica menos activa, protectora de los elementos nutritivos del suelo.

En el caso del sistema café con poró se tiene una producción muy elevada de café, en el caso de la combinación con laurel su ventaja económica está en la producción de madera. Una decisión final sobre la aplicabilidad de estos sistemas agroforestales dependerá del análisis económico a realizarse cuando el experimento avance y cuando las cosechas y ventas de madera puedan cuantificarse a largo plazo. Además debe considerarse el mantenimiento o mejora de las condiciones del suelo, ya que este en el futuro podría dedicarse a otro tipo de cultivo.

Resumen

En el Experimento Central del CATIE, Turrialba, Costa Rica, se estudiaron los sistemas agroforestales café (*Coffea arabica*) con laurel (*Cordia alliodora*) y café con poró (*Erythrina poeppigiana*) y se desarrollaron modelos para describir los ciclos de la materia orgánica y de los elementos nutritivos N, P, K, Ca y Mg.

Para cada uno de los elementos se realizó un inventario en el sistema, considerando los componentes bióticos (plantas con sus compartimentos, hojas, ramas, tallos, raíces y frutos) y abióticos (capa de mantillo y suelo mineral, 0-45 cm). Como fuentes de ingreso se consideraron la fertilización y las lluvias, como fuentes de egreso las cosechas; la lixiviación con la filtración del agua no se determinó. Como fuente importante de transferencia de los elementos se consideran la producción de residuos vegetales naturales y de podas del poró.

Los modelos se basaron en datos de los suelos al iniciarse el estudio (1977), el inventario de las reser-

vas orgánicas y minerales a los 4-1/2 años del experimento y en las tasas de transferencia (residuos, cosechas, incrementos de biomasa y absorción de elementos nutritivos) en el quinto año experimental.

Se discuten los detalles de todos los modelos presentados gráficamente.

Literatura citada

1. AGUIRRE, V. Estudio de los suelos del área del Centro Tropical de Enseñanza e Investigación, CATIE, Turrialba. Tesis Mag. Sci. Turrialba, Costa Rica, 1971, 138 p.
2. ALPIZAR, L. *et al.* 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 (3):233-242, 1985.
3. ARANGUREN, J., ESCALANTE, G. y HERRERA R. Nitrogen cycle of tropical perennial crops under shade trees. I. Coffee Plant and Soil 67: 249-258. 1982.
4. BABBAR, L. Recirculación de nutrimentos en tres ecosistemas: sucesión natural, monocultivo y agroecosistema completo. Tesis Mag. CATIE, Turrialba, Costa Rica, 1983 p.
5. BEER, J.W. *et al.* Un estudio de caso sobre prácticas agroforestales tradicionales en el trópico húmedo: el proyecto "La Suiza". Turrialba, Costa Rica, UNU-CATIE. 1979. 28 p.
6. CARVAJAL, J. F. Nutrición mineral del cafeto. Requerimientos de la cosecha Costa Rica. MAG-STICA. Información Técnica No 9. 1959. 16 p.
7. CARVAJAL. Cafeto - cultivo y fertilización. Instituto Internacional de la Potasa. 2da. Edición. Berna, Suiza. 1984. 254 p.
8. CATANI, R.A. y MORAES, F.P. A. Composição química do cafeeiro. Quantidade e distribuição de N, P₂O₅, K₂O, CaO e MgO em cafeeiro de 1 a 5 anos de idade. Revista de Agricultura (Piracicaba). 33:45-52. 1958.
9. CHOKKANA, N.G. Nitrogen, Phosphate and Potash status of some coffee soils of South India and manuring of coffee. Planters Chronicle. pp. 1-19. 1950.

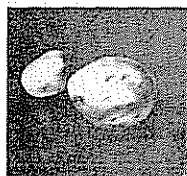
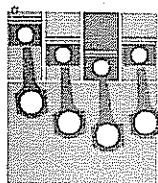
10. DE LAS SALAS, G y FASSBENDER, H W The soil science bans of agroforestry production systems. In HeuvelDop, J y Lagemann, J. Agroforestry. Proceedings of a seminar held in CATIE, Turrialba, Costa Rica 1981. pp. 27-33.
11. ENRIQUEZ, G. Ensayo central de cultivos perennes en comparación con algunos anuales. In De las Salas, ed. Taller Sistemas Agroforestales en América Latina. Turrialba, Costa Rica CATIE. 1979. 119 p.
12. FASSBENDER, H W. Estudio del fósforo en suelos de América Central. IV. Capacidad de fijación de fósforo y su relación con características edáficas. Turrialba 19(4): 497-505. 1969
13. FASSBENDER. Química de suelos con énfasis en suelos de América Latina. IICA. Programa de Libros y Textos. San José, Costa Rica. 1975. 398 p.
14. FRISSELL, M J., ed. Cycling of mineral nutrients in agriculture ecosystems. Elsevier Scientific Publishing Co., Amsterdam. 1978. 356 p.
15. GLOVER, N. Coffee yields in a plantation of *Coffea arabica* var. caturra shaded by *Erythrina poeppigiana* with and without *Cordia alliodora*. Turrialba, Costa Rica. CATIE. Informe Técnico 17, 1981. 26 p.
16. HENDRY, C d , BERISH, C W. and EDGERTON, E S. Precipitation chemistry at Turrialba, Costa Rica (Central America). Water Resources Research 1984 (In press)
17. 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 agrícola, maderable y de residuos vegetales. Turrialba 35(4):347-355. 1985.
18. JIMENEZ, A E y MARTINEZ, V.P. Estudios ecológicos del agroecosistema cafetalero II. Producción de materia orgánica en diferentes tipos de estructura. Biótica 4(3): 109-126. 1979
19. LOPEZ, E.S. *et al.* Occurrence and distribution of vascular-arbuscular Mycorrhizal fungi in coffee (*Coffea arabica* L.) plantations in Central São Paulo State, Brasil. Turrialba 33: 417-422. 1983.
20. MALAVOLTA, E. *et al.* Estudos sobre a alimentação mineral do cafeiro. XI. Extração de macro e micronutrientes na colheita pelas variedades "Bourbon Amarelo", "Caturra Amarelo" e "Mundo Novo". Turrialba 13(3): 188-189. 1963.
21. ROBERTSON, G P. *et al.* Nitrogen cycling in ecosystems of Latin America. Plant and Soil 67 Special Volume. 1982.
22. 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.

SERIE DE LIBROS Y MATERIALES EDUCATIVOS

PRECIO US\$

Arroz en los trópicos

Robert F. Chandler

crédito rural**DIAGNOSTICO DE FALLAS EN MOTORES DE COMBUSTION****DIAGNOSTICO DE FALLAS EN MOTORES DE COMBUSTION**

- Acarología. *E. Doreste* 12.50
- Administración de empresas asociativas de producción agropecuaria. *H. Murcia* 7.00
- Agroecología del trópico americano. *P. Montaldo* 3.50
- Articulación social y cambio técnico en el agrolatinoamericano. La producción de azúcar en Colombia. *E. Trigo y M. Piñeiro* 9.50
- Arroz en los trópicos. *R. F. Chandler* 10.00
- Associative farm management. *H. Murcia* 9.60
- La batata o camote. *F. Folquer* 4.00
- En busca de tecnología para el pequeño agricultor. *A. Marzocca* 14.00
- Cambio técnico en el agro latinoamericano. Situación y perspectivas en la década del 80. *E. Trigo y M. Piñeiro, Coordinadores* 7.00
- Caribbean seminar on farming systems research methodology. *Varios* 13.00
- Compendio de agronomía tropical. *IICA/Embajada de Francia* 8.00
- Compendio de mercadeo de productos agropecuarios. *G. Mendoza* 9.00
- Comunicación escrita. *A. Mac Lean* 3.00
- Conservación de suelos. *F. Suárez de Castro* 6.00
- Crédito rural. *J. Vélez* 10.00
- Cultivo de cítricos. *Ch. Morin* 14.00
- Cultivo de raíces y tubérculos tropicales. *A. Montaldo* 4.50
- Cultivo y mejoramiento de la papa. *A. Montaldo* 12.00
- Diagnóstico de fallas en motores de combustión interna. *J. Gilardi* 3.50
- Ecología basada en zonas de vida. *L. Holdridge* 5.00
- Elementos del diseño del tractor y herramientas de labranza. *J. Ashburner y B. Sims* 8.50
- Enfoque de sistemas para el desarrollo agrícola. *A. Saravia* 5.00
- Estrategias de enseñanza-aprendizaje. *J. Díaz Bordenave y A. Martins P.* 10.50
- Farm management handbook. *G. Guerra* 16.50
- Física de suelos. *W. Forsythe* 4.00
- Guía para la elaboración de proyectos. *S. Miragen, Coordinador* 6.00
- Introducción a la estadística. *W. Caballero* 4.50
- Introducción a la evaluación económica y financiera de inversiones agropecuarias. Manual de instrucción programada. *J. A. Aguirre* 7.00
- Introducción a la fitopatología. *L. C. González* 3.00
- An introduction to the diagnosis of plant disease. *Ch. Brathwaite* 2.50
- Management of low fertility acid soils of the american humid tropics. *Varios* 15.00
- Manual de administración de empresas agropecuarias. *G. Guerra* 7.00
- Manual de enseñanza práctica de producción de hortalizas. *M. Holle y A. Montes* 5.25
- Métodos de investigación fitopatológica. *E. R. French y T. T. Hebert* 6.50
- Mineralogía de arcilla de suelos. *E. Besoain* 30.00
- Modelos operacionales de reforma agraria y desarrollo rural en América Latina. *A. García* 5.00
- Motores de combustión interna. *J. Gilardi* 4.00
- Organización de la investigación agropecuaria. *E. Trigo y M. Piñeiro* 11.90
- Organización y administración de la investigación agrícola. *I. Arnon* 9.00
- Plagas invertebradas de cultivos anuales alimenticios en América Central. *A. B. S. King y J. L. Saunders (Distribución)* 15.00