

PLANTACIONES DE CACAO Y CAFE BAJO ARBOLES DE SOMBRA EN VENEZUELA

R. Herrera* J. Aranguren**
G. Escalante* G. Cuenca*
A. Accardi*** E. Navidad****
M. Toro****

RESUMEN

El origen y desarrollo de la práctica de plantar árboles, con otro propósito que el de ser usados como sombra, en plantaciones de café (*Coffea* spp.) y cacao (*Theobroma cacao*) se muestra en su perspectiva histórica. Con base en el trabajo llevado a cabo bajo árboles de sombra mixtos en plantaciones experimentales de *Coffea* y *T. cacao* en el norte de Venezuela, se discuten las principales características de los ciclos de la materia orgánica, del N, P, Ca y Mg usando un conjunto o juego de modelos del ciclo de nutrimentos. El trabajo evidencia la importancia de la transferencia de nutrimentos por medio de la hojarasca y el papel del sistema radicular en acoplar los subsistemas sombra y cultivo. La cantidad de nutrimentos minerales exportados por cosecha resultó ser una pequeña fracción de la circulación anual en la hojarasca,

* Centro de Ecología y Ciencias Ambientales, IVIC, Caracas, Venezuela.
Departamento de Biología, Instituto Universitario Pedagógico de Caracas, Venezuela.

** UCAB, Escuela de Educación, Depto. Ciencias Biológicas, Caracas, Venezuela.

*** Facultad de Ciencias, Universidad Central de Venezuela, Caracas, Venezuela.

sugiriendo que existe un subsidio al sistema de cultivo por los componentes de sombra.

INTRODUCCION

Tanto *Coffea* spp. como *Theobroma cacao* crecen naturalmente como árboles de sotobosque en ecosistemas forestales. Con su expansión como cultivos económicos durante el último siglo, se han desarrollado adaptaciones para esta característica plantando árboles para sombra (6). En Venezuela, *T. cacao* probablemente fue cultivado, y aún continúa siéndolo, por poblaciones indígenas como cultivo semi-doméstico. Durante la época colonial *T. cacao* se convirtió en uno de los principales productos de exportación económica. El cultivo se expandió principalmente hacia los valles húmedos, bajos y costeros, que miran al norte, donde fue manejado tradicionalmente bajo el sistema de plantaciones. Se han utilizado como sombra un gran número de árboles como *Inga* spp., *Erythrina* spp., *Cedrela* spp. y *Castilloa elastica* etc. Junto con estas especies se pueden encontrar algunos árboles frutales tales como: *Artocarpus altilis* (fruta de pan), *Musa* spp. (bananos y plátanos) y *Spondias* sp. (jobo), etc.

Coffea fue introducido en el Nuevo Mundo en el siglo 18, donde se extendió rápidamente para ocupar el primer lugar como un cultivo de exportación en muchos países de América Central y América del Sur. Muchas de las prácticas de cultivo y algunas de las especies para sombra utilizadas fueron adoptadas de los sistemas de plantación de *T. cacao* aunque el número de las especies utilizadas estaban limitadas por las mayores elevaciones donde crece normalmente *Coffea*. De nuevo un número de árboles subsidiarios acompañaron a *Coffea* y a los árboles para sombra principales. Además de *Erythrina* e *Inga*, se encuentran comúnmente *Musa*, *Citrus* y *Annona* spp.

Estas asociaciones en nuestra opinión no son simple coincidencia. En primer lugar, para que una especie sea utilizada como sombra debe cumplir con ciertos criterios: deben ser especies de rápido crecimiento y que sean compatibles con el cultivo en lugar de competidoras. Aparentemente dos leguminosas arbóreas de rápido crecimiento estaban disponibles y pronto se hicieron dominantes como árboles para sombra: *Inga* y *Erythrina* spp. De ambas se informa recientemente que son eficientes fijadoras de N (10, 12). Aunque producen frutos comestibles o en el caso de *Erythrina*, flores comestibles, son empleados principalmente para proveer sombra con la producción de leña como algo adicional.

Como el trabajo de plantación fue organizado durante la época de la colonia usando la abominable práctica de la esclavitud, quienes atendían las cosechas no tenían su propio campo para producir alimentos. Con el fin de completar las raciones provistas por los dueños, ellos sembraron algunos productos de consumo tales como *Colocasia esculenta* (taro) y

Dioscorea spp. (yam) como cultivos adicionales. Probablemente la práctica de intercalar árboles frutales en las plantaciones de *T. cacao* tiene el mismo origen. Otros productos forestales fueron obtenidos colateralmente a *T. cacao*. Especies de madera fina como *Cedrela* y árboles productores de látex como *Castilloa*, son aún comúnmente encontrados en las viejas plantaciones de *T. cacao*, pero el último tiene poco o ningún uso en el presente. Parece razonable suponer que esta combinación fue desarrollada para cubrir varias demandas: las semillas de cacao para la exportación, la madera para la construcción, el látex se hizo importante en una época y pudo también ser exportado. Para los trabajadores en el campo, la plantación también fue una fuente de frutos, féculas y leña.

Las plantaciones de *T. cacao* y *Coffea* en Venezuela han sido manejadas tradicionalmente con niveles bajos de insumos. En el caso de *T. cacao* se han sembrado variedades muy productivas, pero más exigentes. En la actualidad se está regresando al cultivo de variedades de "criollo" de alta calidad. *Coffea* continúa creciendo bajo sombra de árboles, con algunos intentos hacia el desarrollo de plantaciones abiertas.

En el Centro de Ecología y Ciencias Ambientales del IVIC, cerca de Caracas, se comenzó en 1978 un modesto programa de investigación con la finalidad de estudiar los factores que controlan la fertilidad y por tanto la productividad en estas plantaciones de *T. cacao* y *Coffea*, que son manejadas con niveles bajos de insumos, pero sin embargo, han mantenido su productividad por décadas. El enfoque principal ha sido el de usar modelos de ecosistemas, como los empleados para bosques tropicales. Estos modelos están centrados alrededor de los patrones de los ciclos de nutrientes y tratan de interpretar el funcionamiento del ecosistema en términos de distribución y flujo de nutrientes entre los compartimientos del ecosistema.

Algunos estudios publicados, han hecho contribuciones para la comprensión de estos sistemas agroforestales (3, 4, 5, 11, 12, 13). Varias interrogantes están aún sin responder: el papel que juegan los árboles para sombra en explotar niveles más profundos del suelo y así proveer al cultivo de otros nutrientes no disponibles, el sincronismo fenológico del cultivo y de los árboles de sombra, la competencia de las raíces y la influencia de los fijadores de nitrógeno y de las asociaciones de micorrizas en la productividad del cultivo.

MATERIALES Y METODOS

El trabajo en sistemas agroforestales con *T. cacao* fue llevado a cabo en la "Hacienda Monasterio", cerca de Ocumare de la Costa, Aragua,

al norte de Venezuela a 12 m.s.n.m.* La precipitación promedio anual es 750 mm y la temperatura media anual 25°C. Solo un 3% de la precipitación anual ocurre entre enero y marzo. Los picos máximos de lluvia se observan en julio - setiembre y octubre - noviembre. En esta área experimental se escogió una plantación de 30 años que no había sido fertilizada desde 1972. La parcela de 7,600 m² contenía 720 árboles de *T. cacao* de la variedad "criollo morado". Los principales árboles para sombra seleccionados fueron *Castilloa elastica*, *Erythrina poeppigiana* y *Artocarpus altilis* cuyos índices de valor de importancia eran 204, 54 y 41 respectivamente. Igualmente se observan algunos individuos de *Spondias* sp. e *Inga* sp. (2). El suelo ha sido descrito por Cañizales (7) como un Psamment de reciente origen aluvial. El terreno tiene buen drenaje y es casi plano. Se escogió una parcela contigua de *T. cacao* variedad "criollo" con sombra exclusivamente de *E. poeppigiana*, manejada con fertilización y riego, para realizar comparaciones.

El trabajo con *Coffea* se realizó en dos lugares diferentes. El primero de ellos localizado en el estado Miranda a 1,380 m.s.n.m. Esta plantación está sombreada principalmente por *E. poeppigiana* e *Inga* sp., pero también se observaron árboles de los géneros *Heliocarpus*, *Clethra*, *Ficus* y *Cedrela*. spp. El área de 922 m² de terreno empinado contenía 596 plantas maduras de *Coffea* de las variedades "caturra" y "mundo nuevo". No ha recibido fertilización desde 1969. La temperatura media anual es 20°C y la precipitación promedio alcanza 1,200 mm con un marcado período seco durante los tres primeros meses del año. Los suelos son Ultisoles poco profundos desarrollados en esquistos de mica fuertemente meteorizados. La pendiente general de la parcela experimental es de 25%. Una segunda parcela experimental se escogió recientemente en una de las áreas donde *Coffea* es cultivado a campo abierto. El área se encuentra cercana a Río Claro en el estado Lara a 1,200 m.s.n.m. Los suelos son más ricos, más arcillosos y calcáreos en algunos sectores. No hay árboles para sombra en esta parcela experimental.

El trabajo de investigación se ha diseñado con base en un modelo de ciclaje de nutrientes publicado por Aranguren *et al.* (3, 4) y completado posteriormente para *T. cacao* por Accardi (1). Este último modelo considera 12 compartimentos separando la biomasa de los árboles de sombra o del cultivo en: hojas y ramitas; ramas y troncos, flores y frutos; y raíces gruesas y finas. El mantillo y los tres estratos del suelo conforman los compartimentos restantes. Cada compartimiento de biomasa fue muestreado por completo removiendo y determinando los pesos frescos y secos de un número variable de individuos de acuerdo a las especies y al tamaño de los árboles. El mantillo del cultivo y de los árboles de sombra

* Metros sobre el nivel del mar.

fue separado en: hojas, ramitas, flores y frutos, el resto de la muestra no identificable era tomada como miscelánea. El suelo fue separado en capas (0-20; 20-30; 30-60 cm). En todos los casos se tomaron submuestras para la determinación de peso seco y análisis. Los flujos estudiados fueron: lluvia, lixiviación del follaje, caída del mantillo, tasas de descomposición del mantillo, salida por cosecha, retorno de los subproductos de la cosecha al campo, deshierbe, poda y fertilización cuando es practicada. La fijación de N se estudió por medio de la evaluación en el campo de la presencia de nódulos, y su actividad por medio de la técnica de reducción de acetileno. El efecto de las micorrizas en la descomposición de la hojarasca fue medido en la plantación de *Coffea* bajo sombra (9). Descripciones más detalladas de métodos específicos han sido publicados (1, 2, 3, 4, 8, 10.).

RESULTADOS Y DISCUSION

T. cacao (Fig. 1)

La cantidad promedio del mantillo en la parcela experimental de *T. cacao* fue de 2,460 kg.ha⁻¹. La tasa de transferencia de nutrientes al suelo por la hojarasca fue de 972 kg.ha⁻¹.a⁻¹, de los cuales, 80% provienen de los árboles para sombra. Ello representa un total de 321 kg N.ha⁻¹.a⁻¹. La cantidad neta de nutrientes exportados por la cosecha de la almendra de *T. cacao* fue de 102 kg.ha⁻¹.a⁻¹, tan solo 1/9 del total que circula en la hojarasca. La tasa promedio de descomposición de la hojarasca bajo *T. cacao* fue de k = 8.5. Las raíces superficiales de *E. poeppigiana* producen numerosos nódulos (*Rhizobium*) capaces de fijar N activamente, especialmente al comienzo del período lluvioso. Los nódulos alcanzan su mayor biomasa (148 g.m⁻²) en el máximo de la estación de lluvias y prácticamente desaparecen al final de la estación seca. Escalante *et al* (10), lo consideran como una entrada de N muy importante para el suelo, puesto que los nódulos contienen más de 4% de N en promedio.

Coffea (Fig. 2)

La hojarasca en la plantación de *Coffea* bajo sombra, fue de 11,159 kg.ha⁻¹.a⁻¹ y el promedio trimestral del mantillo fue de 2,314 kg.ha⁻¹. Los residuos de los árboles de sombra representó un 50% del total del mantillo producido. Por esta vía, el flujo de nutrientes (N + P + K + Ca + Mg) alcanzó un total de 346 kg.ha⁻¹.a⁻¹ de los cuales el N representa 172 kg.N.ha⁻¹.a⁻¹. El sistema radical del cultivo es bastante superficial y crece muy cerca del mantillo en descomposición, e inclusive dentro de él. Cuenca *et al.* (9) ha encontrado que las raíces de *Coffea* que poseen micorrizas,

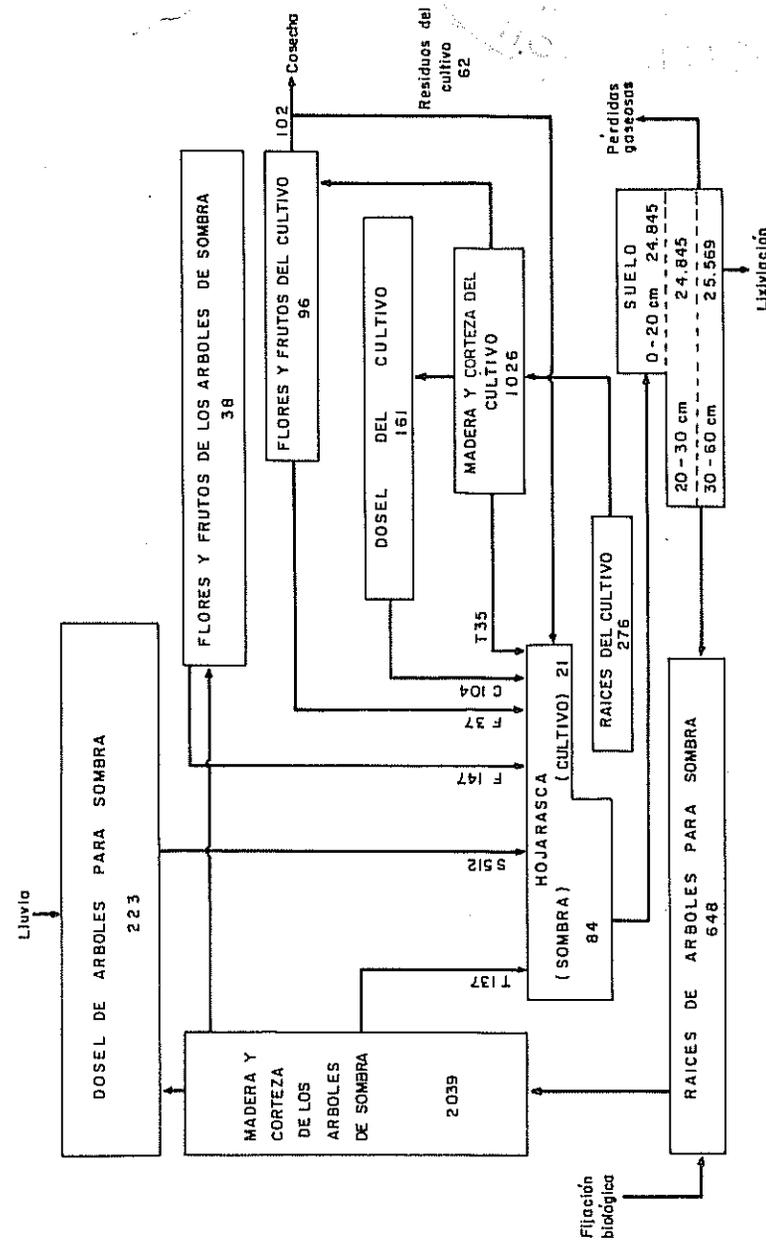


Fig. 1 Ciclos de nutrientes (N+P+K+Ca+Mg) en un agroecosistema de *T. cacao* bajo árboles de sombra mixtos. Los cuadros indican los compartimentos y sus contenidos en kg.ha⁻¹. Las flechas indican transferencias en kg.ha⁻¹.a⁻¹. Las entradas al compartimento de mantillo son: C = hojas de cultivo; S = hojas de árboles de sombra; T = ramas; F = flores y frutos

pueden crecer adheridas firmemente al mantillo, pero no tienen prácticamente ningún efecto en su tasa de descomposición. Los nutrientes acumulados en la biomasa de las plantas de *Coffea* representan el 11% del total almacenado, en el mantillo el 0.03% y el 89% restante en el compartimento suelo. El total de nutrientes (N + P + K + Ca + Mg) exportados del sistema por cosecha es 57 kg.ha⁻¹ lo que representa solamente 1/7 de la cantidad que anualmente circula en la hojarasca y se descompone. El mayor período de caída de hojarasca de los árboles de sombra, precede a la floración y fructificación de *Coffea*. Esta sincronización es importante para el funcionamiento del sistema, cuando no se lo fertiliza artificialmente, debido a que permite la liberación de nutrientes cerca de las raíces de *Coffea*, justamente en el momento de máxima demanda de nutrientes. En los primeros 10 cm del suelo se encuentra un tercio del total de biomasa de raíces finas; el total acumulativo a los 30 cm alcanza el 73%. La tasa de descomposición del mantillo en la plantación de *Coffea* es k= 4.8. Se encontró una fase bien definida de acumulación de N y P en el mantillo en descomposición, mientras que el K, Ca y Mg se liberan a una tasa que es equivalente a la desaparición del peso seco del mantillo. La concentración de K en las raíces está correlacionada positivamente con el K del mantillo en descomposición. La plantación estuvo intensamente infectada con micorrizas V-A.

Tanto para *T. cacao* como para *Coffea* es evidente que la transferencia de nutrientes por la de hojarasca y la rápida descomposición compensa ampliamente la "exportación" por cosecha, constituyendo así un "fertilizante natural". La distribución espacial de las raíces de los árboles de sombra y las del cultivo sugieren que, más que competir por los nutrientes disponibles, las primeras explotan capas del suelo más profundas mientras que las segundas crecen cercanas o aún adheridas al mantillo en descomposición. Esto, en efecto, confirma que los árboles para sombra subsidian a los cultivos mediante los nutrientes que circulan en la hojarasca.

TRABAJO PRESENTE Y FUTURO

Actualmente está siendo estudiada la presencia de micorrizas V-A en plantaciones de *Coffea* bajo sombra. El efecto de la inoculación con *Gigaspora margarita* es parte de un proyecto para evaluar el efecto nutricional de las micorrizas en el desarrollo y crecimiento de las plántulas. El ciclo de nutrientes en una plantación de *Coffea* bajo árboles de sombra, está siendo comparado con el ciclo en una de las plantaciones sin sombra, dando particular énfasis en el ciclo del N incluyendo una aplicación alta de fertilizantes.

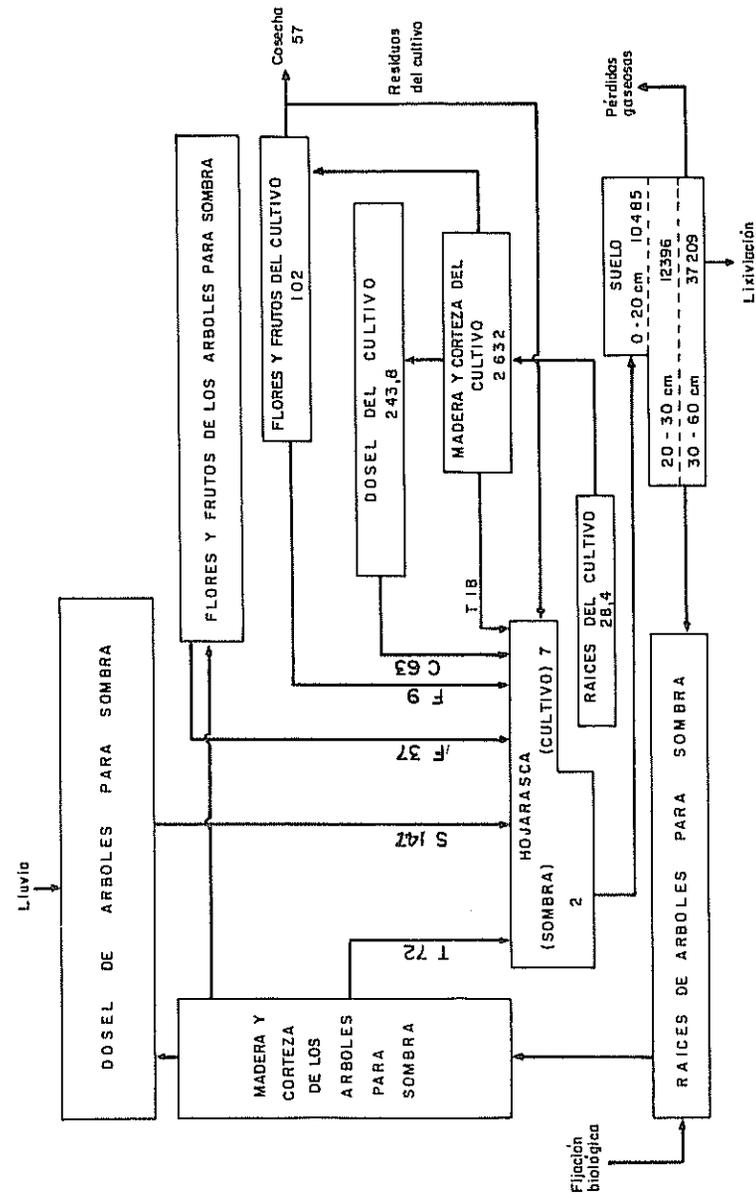


Fig. 2 Ciclos de nutrientes (N+P+K+Ca+Mg) en un agroecosistema de *Coffea* bajo árboles de sombra mixtos. Los cuadros indican los compartimentos y sus contenidos en kg.ha⁻¹. Las flechas indican transferencias en kg.ha⁻¹.a⁻¹. Las entradas (ganancias) al compartimento de mantillo son: C=hojas de cultivo; S=hojas de árboles de sombra; T=ramas; F=flores y frutos

Actualmente se continúan los trabajos de campo y laboratorio para completar las estimaciones de biomasa de los árboles para sombra en plantaciones de *T. cacao*. Accardi (1) encontró aproximadamente cuatro veces más nutrimentos almacenados en las partes aéreas de los árboles para sombra que en su biomasa radical. La distribución vertical de las raíces de cuatro especies de árboles para sombra comparados con plantas de *T. cacao*, indican que la competencia por el mismo volumen de suelo no parece ser importante puesto que los árboles seleccionados para sombra generalmente presentan raíces más profundas. Los flujos de nutrimentos en el agua del suelo están siendo completados en una fase reciente del proyecto de *T. cacao*. Estudios más detallados de entradas por precipitación, lixiviación del follaje, flujo caulinar, lixiviación y fijación de N están siendo realizados. Se realizarán estudios más detallados de la descomposición del mantillo y la influencia de raíces superficiales en el proceso. El papel de las micorrizas y los microorganismos de vida libre en la transferencia de nutrimentos hacia las raíces también será estudiado.

AGRADECIMIENTOS

Deseamos expresar nuestro agradecimiento al Ministerio de Agricultura y a la Facultad de Agronomía, "Universidad Central de Venezuela", por permitirnos hacer uso del área experimental de la "Hacienda Monasterio". Al CONICIT, por financiar parte del proyecto de tesis de uno de nosotros (J.A.) en los agroecosistemas de *Coffea* y *T. cacao*, y en la actualidad financiar el proyecto de *T. cacao* y el trabajo de tesis con *Coffea* de E.N. y M.T. Se agradece a las asistentes de laboratorio Srta. Laura Martín, Srta. Elisa Martínez y al Sr. Saúl Flores. Al personal que labora en las haciendas de café y cacao por toda la colaboración prestada en la realización de los trabajos.

BIBLIOGRAFIA

1. ACCARDI, A. Biomasa aérea y radical, distribución espacial y contenido de nutrientes en tres especies de árboles para sombra (*E. poeppigiana*, *A. altilis* y *C. elastica*) en cacaotales. Tesis Lic. Ed. Biol., Caracas, Venezuela, Univ. Cat. Andres Bello, 1985. 103 pp.
2. ARANGUREN, J. Contribución de la caída de hojarasca al ciclo de nutrientes en cultivos de café y cacao bajo árboles de sombra. Tesis Mag. Sci. Caracas, Venezuela, IVIC, 1980. 285 pp.

3. _____; ESCALANTE, G.; HERRERA, R. Nitrogen cycle of tropical perennial crops under shade trees. I. Coffee. Plant and Soil 67: 247-258. 1982.
4. _____. Nitrogen cycle of tropical perennial crops under shade trees. II. Cacao. Plant and Soil 67: 259-269. 1982.
5. BORNEMISZA, E. Nitrogen cycling in coffee plantations. Plant and Soil 67: 241-246. 1982.
6. BUDOWSKI, G.; KASS, D.C.L.; RUSSO, R.O. Leguminous trees for shade. Pesq. Agr. Bras. 19 (Ed. Spec.): 205-222. 1984.
7. CAÑIZALES, R. Estudio de los suelos del Centro de Propagación de cacao. Maracay, Venezuela, Inst. Agr. Min. Agr. Cría, 1978. 35 pp.
8. CUENCA, G. Papel de las raíces micorrícicas del café (*Coffea arabica*) en la descomposición de la hojarasca. Tesis Mag. Sci. Caracas, IVIC, 1982. 136 p.
9. _____; ARANGUREN, J.; HERRERA, R. Root growth and litter decomposition in a coffee plantation under shade trees. Plant and Soil 71:477-486. 1983.
10. ESCALANTE, G.; HERRERA, R.; ARANGUREN, J. Fijación de nitrógeno en árboles de sombra (*Erythrina poeppigiana*) en cacaotales del norte de Venezuela. Pesq. Agr. Bras. 19 (Ed. Spec.): 223-230. 1984.
11. JIMENEZ AVILA, E.; GOMEZ POMPA, A. eds. Estudios ecológicos en el agroecosistema cafetalero. Xalapa, Veracruz, México, Instituto Nacional de Investigaciones Recursos Bióticos, 1982. 143 p.
12. ROSKOSKI, J.P. Nitrogen fixation in a Mexican coffee plantation. Plant and Soil 67: 283-291. 1982.
13. SANTANA, M.; CABALA R., P. Dynamics of nitrogen in a shaded cacao plantation. Plant and Soil 67: 271-281. 1982.