

## PRODUCCION DE HOJARASCA, APORTE EN NUTRIENTES Y DESCOMPOSICION EN SISTEMAS AGROFORESTALES DE CACAO Y FRUTALES

Ramón E. Jaimez<sup>1</sup> y Wilfredo Franco<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Universidad de Los Andes. Instituto de Investigaciones Agropecuarias. Apartado Postal 77 La Hechicera. Mérida 5101, Venezuela. e-mail: rjaimez@ing.ula.ve <sup>2</sup> Universidad de Los Andes. Facultad de Ciencias Forestales y Ambientales. INDEFOR, Mérida 5101, Venezuela. e-mail: wfranco@forest.ula.ve.

Se evaluó el aporte de N, P, K, Ca y Mg al suelo a través de la hoja y la velocidad de descomposición de la hojarasca en tres tipos de sistemas de cultivo de cacao (*Theobroma cacao*) variedad porcelana, jóvenes, bajo la sombra de frutales: aguacate (*Persea americana*) -cacao (Ag-Ca); zapote (*Pouteria zapota*)-cacao (Zap-Ca), y guanábana (*Annona muricata*)-aguacate-cacao (Gua-Ag-Ca), en la zona de Tucaní, al sur del Lago de Maracaibo, Venezuela. El promedio anual de aporte de hojarasca de los tres sistemas fue de 8,3 t ha<sup>-1</sup>. Los aportes anuales a través de la hojarasca de N, P, K, Mg y Ca en el sistema Ag-Ca fueron de 95, 10, 24, 31 y 147 kg ha<sup>-1</sup>, respectivamente; en el sistema Zap-Ca fueron de 129, 11, 64, 17 y 84 Kg ha<sup>-1</sup> y en el sistema Gua-Ag-Ca de 80, 10, 18, 24 y 161 kg ha<sup>-1</sup>, respectivamente. La velocidad de descomposición del material orgánico sobre el suelo, se ajustó a ecuaciones lineales y exponenciales en los tres sistemas, las cuales predicen que la hojarasca se descompone entre los 11 y 15 meses. Se estima que la transferencia de nutrientes cubre el 40% de los requerimientos del cultivo de cacao porcelana en la región de Tucaní bajo la sombra de frutales, por lo que no debe descartarse la fertilización anual, especialmente al iniciarse la etapa de producción de cacao. Los sistemas estudiados constituyen una alternativa económica cierta para la diversificación económica de la región al sur del Lago de Maracaibo.

**Palabras claves:** *Theobroma cacao*, nutrientes, árboles de sombra, hojarasca, descomposición, sistemas agroforestales

**Litter production, nutrient input and decomposition in agroforestry systems of cacao with fruit trees.** The annual transference of N, P, K, Ca and Mg to the soil through the litterfall, and the decomposition rate of litter, were determined in three agroforestry systems of young *Theobroma cacao* (porcelana variety) under of fruit trees shade: *Persea americana* -cacao (Ag-Ca), *Pouteria zapota*-cacao (Zap-Ca), and *Annona muricata*-*Persea americana*-cacao (Gua-Ag-Ca), in the area of Tucaní, South of Maracaibo Lake, Venezuela. The annual average production of litter was 8,3 t/ha. The annual transference of N, P, K, Mg and Ca in the system Ag-Ca were 95, 10, 24, 31 and 147 kg ha<sup>-1</sup>, respectively. In the system Zap-Ca were of 129, 11, 64, 17, and 84 Kg ha<sup>-1</sup> and in the the system Gua-Ag-Cacao were of 80, 10, 18, 24 and 161 kg ha<sup>-1</sup>, respectively. The decomposition rates of the organic material were explained by lineal and exponential functions in all the three systems. These funtions indicated that litter will be descomposed between 11 to 15 months. This transference of nutrients provide 40% of the requiriments of the three systems. P, K y Mg may cause restrictions to obtain high productions, that have to be faced through fertilization. Cocoa production under shade of fruit trees may be consider a good economical alternative in the South of Maracaibo Lake area.

**Key words:** *Theobroma cacao*, nutrients, shade trees, litter decomposition, agroforestry systems

## Introducción

En Latinoamérica el cultivo de cacao (*Theobroma cacao*) y café (*Coffea sp*) se ha realizado bajo la sombra de especies arbóreas provenientes del bosque natural, que, en muchas ocasiones, no aportan un valor económico directo a las fincas, pero si, un valor biológico. En la última década, se han venido introduciendo otras especies de árboles de sombra, tanto para el café como para el cacao (Alpizar et al, 1986). Especialmente el cacao se ha sembrado bajo la sombra de una amplia variedad de árboles de múltiples usos: alimentación e industria (Paredes, 1993; Rodríguez; 1993; Alvim y Nair, 1986, Dubón y Sanchez, 1993), madera (Cubillo, 1993), rompevientos y leña, entre otros. Estas combinaciones incluyen también varias especies de frutales que permiten tener una producción de frutas a lo largo del año, para satisfacer las demandas familiares y del mercado local.

En Venezuela, el cacao se ha cultivado bajo la sombra de diferentes árboles, en especial maderables y, en algunas regiones, también han usado aguacate (*Persea americana*). En la región entre Caño Zancudo y Caja Seca, en el Sur del Lago de Maracaibo, además de la utilización de árboles como el bucare (*Erythrina sp.*) y especies maderables como cedro (*Cedrela odorata*), existe un creciente número de fincas utilizando especies frutales con la misma función: aguacate (*Persea americana*), zapote (*Pouteria sapota*), cambur (*Musa sp*), guanábana (*Annona muricata*) y cítricos (*Citrus sp.*). La producción de frutales, tradicional en esta zona, ha hecho posible una diversidad de combinaciones de árboles frutales con cacao, conformando sistemas agroforestales con favorables perspectivas.

Otra característica de esta región es el bajo o casi nulo uso de fertilizantes, constituyendo la hojarasca el principal aporte de nutrientes al suelo en los sistemas agroforestales. Por otra parte, en las pocas fincas donde se fertiliza, tal práctica se realiza sin conocer el aporte nutricional del árbol de sombra utilizado y siguiendo patrones establecidos con otras combinaciones tradicionales, como por ejemplo bajo la sombra de *Erythrina sp.* Pocos trabajos han evaluado la dinámica de nutrientes en combinaciones de cacao con otras especies arbóreas, en especial frutales. Este desconocimiento impide un manejo más eficiente, en lo económico y agroecológico, de estos sistemas, lo que puede traer como consecuencia sobre-dosis o restricciones a la producción por deficiencia de algunos nutrientes.

Este trabajo tiene como objetivos proveer información sobre el aporte de N, P, K, Mg y Ca a través de la hojarasca,

en tres sistemas combinados de cacao con frutales y determinar la velocidad de descomposición de la hojarasca.

## Materiales y Métodos

Las fincas donde se realizó el estudio se encuentran a 15 km de la población de Tucaní, estado Mérida, Venezuela, en el límite entre el piedemonte andino y la planicie aluvial (Lat Norte 09° 11' y Long. Oeste 71° 14') a una altitud de 100 m. El suelo es un Typic Tropopsamments de muy baja fertilidad (Jaimez, 1997). El promedio de temperatura de la región es de 27,8 °C. Los meses de mayor temperatura promedio son junio y agosto (28,9 °C) y la menor temperatura promedio se ha registrado en el mes de enero (26,6 °C). (Datos de la Estación El Vigía, Ministerio del Ambiente, período 1970-1984). La precipitación promedio anual de la zona es de 1249 mm (datos suministrados por el Ministerio del Ambiente- Estación San Antonio, período 1973-1990). Existen dos períodos bien diferenciados de alta precipitación: uno de mayor precipitación de marzo a mayo, con registros mensuales arriba de los 120 mm, y otro período de octubre a diciembre con valores entre los 100 y 120 mm. Los meses de enero, febrero y agosto presentan la menor precipitación con valores no menores a 55 mm mensuales. (figura 1A).

En el año del presente estudio (1996), la precipitación total fue de 1369 mm. En el período de febrero a mayo hubo valores de precipitación mensual cercanos a 110 mm con 150 mm en abril, mientras que de octubre a diciembre se registró una precipitación mensual mayor a 170 mm. Entre junio y septiembre hubo la menor precipitación, oscilando entre 50 y 80 mm por mes (figura 1B).

Los tres sistemas estudiados corresponden a las combinaciones: aguacate-cacao (Ag-Ca), zapote-cacao (Zap-Ca) y guanábana-aguacate-cacao (Gua-Ag-Ca), localizados en pequeñas unidades de producción al sur del Lago de Maracaibo. Las plantas de cacao variedad "porcelana", cuyas características y origen son dadas por Soria (1962), tenían tres años de edad, habiendo sido sembradas entre los meses de octubre y noviembre de 1992 a una distancia de 3 x 3 m (1111 plantas/ha). Las parcelas de estudio fueron ubicadas en dos fincas. Una de ellas posee dos sistemas, la combinación Ag-Ca, siendo el distanciamiento del frutal 9 x 10 m. La otra combinación es la de cacao bajo la sombra de zapotes, plantados a 7 x 10 m. En el sistema Gua-Ag-Ca, ubicado en otra finca, los árboles de guanábana están sembrados cada 4 m y los de aguacate cada 10 m. En esta finca las plantaciones son fertilizadas anualmente, sin embargo, durante el año de realización de este estudio no se aplicó fertilizantes.

El muestreo de hojarasca caída se llevó a cabo siguiendo la metodología usada por Anderson e Ingram (1987). Para la recolección de hojarasca se colocaron en cada uno de los sistemas 10 cestas de 1 m<sup>2</sup>, elaboradas con mallas de 1 mm de apertura y ubicadas aleatoriamente en un área de 2000 m<sup>2</sup>. Las recolecciones se hicieron mensualmente durante un año, siendo instaladas el 27-1-96. El material fue separado en los diferentes componentes: hojas, ramas, flores y frutos, tanto del cultivo como de las especies arbóreas.

Para determinar la velocidad de descomposición se utilizaron bolsas rectangulares de 30 x 21 x 2,5 cm, hechas de malla plástica de aproximadamente 4 mm de apertura. En las bolsas se colocaron 40 g de una mezcla de hojas de cacao y el frutal, preparada con las primeras colectas de las trampas de hojarasca, previamente secadas a 60 °C. El día 24/5/96 se colocaron en forma aleatoria 60 bolsas por sistema, para tomar 10 en cada muestreo para un total de seis muestreos, los cuales fueron realizados a las 2, 4, 10, 17, 28 y 33 semanas. Inmediatamente después de la recolección se eliminaron raíces, macrofauna y restos de suelo del material tomado de cada bolsa.

### Análisis químicos:

Las muestras vegetales procedentes de las trampas de intercepción y de las bolsas de descomposición; previamente secadas a 60 °C, se molieron y se pasaron por un tamiz de 0,01 cm; posteriormente se homogeneizaron. Para cada recolección de hojarasca en cada sistema se unieron las muestras en tres grupos, dando un total de 45 determinaciones por elemento. El N fue determinado por el método de Kjeldahl, P por el método colorimétrico después de una digestión nitroperclórica. K, Ca y Mg por espectrofotometría de absorción atómica.

## Resultados y Discusión

### Producción de hojarasca

La producción anual de hojarasca en los sistemas varió entre 7,2 y 10,9 t ha<sup>-1</sup> (Cuadro 1). En todos los sistemas la fracción foliar del árbol de sombra aportó más del 50% del total de la hojarasca caída anualmente. El aporte foliar de las hojas de cacao fue bajo, debido a la edad juvenil de las plantaciones.

El sistema Ag-Ca presentó un valor total de 8,9 t ha<sup>-1</sup> a<sup>-1</sup>,

presentando el mayor valor de aporte de ramas (1,4 t ha<sup>-1</sup> a<sup>-1</sup>), del cual un alto porcentaje provino de los árboles de aguacate. Aranguren (1979) reportó para ramas un valor alto (4,4 t ha<sup>-1</sup> a<sup>-1</sup>) en Ocumare de la Costa, Venezuela, a una altitud similar (12 m) a la de este estudio.

El sistema Zap-Ca fue el de mayor producción de hojarasca con 10,9 t ha<sup>-1</sup> a<sup>-1</sup>. En este sistema un aporte sustancial lo constituyó la caída de frutos (31,7%) que en los otros sistemas no fue mayor al 10%. Esto obedece a que la abundante cosecha de frutos maduros de zapote que cayeron, en especial en la época de mayor producción (noviembre-enero), se dejaron en el suelo debido a que muchos estaban dañados o a que en la época el precio a puerta de finca era muy bajo.

El sistema Gua-Ag-Ca tuvo el menor promedio de caída de hojarasca anual (7,3 t ha<sup>-1</sup>), y el mayor porcentaje de la fracción foliar caída (77%) (cuadro 1). El alto aporte de flores de este sistema obedeció especialmente a la copiosa floración del aguacate.

Los resultados de hojarasca total encontrados no difieren de otros reportados en la literatura. Boyer (1973)

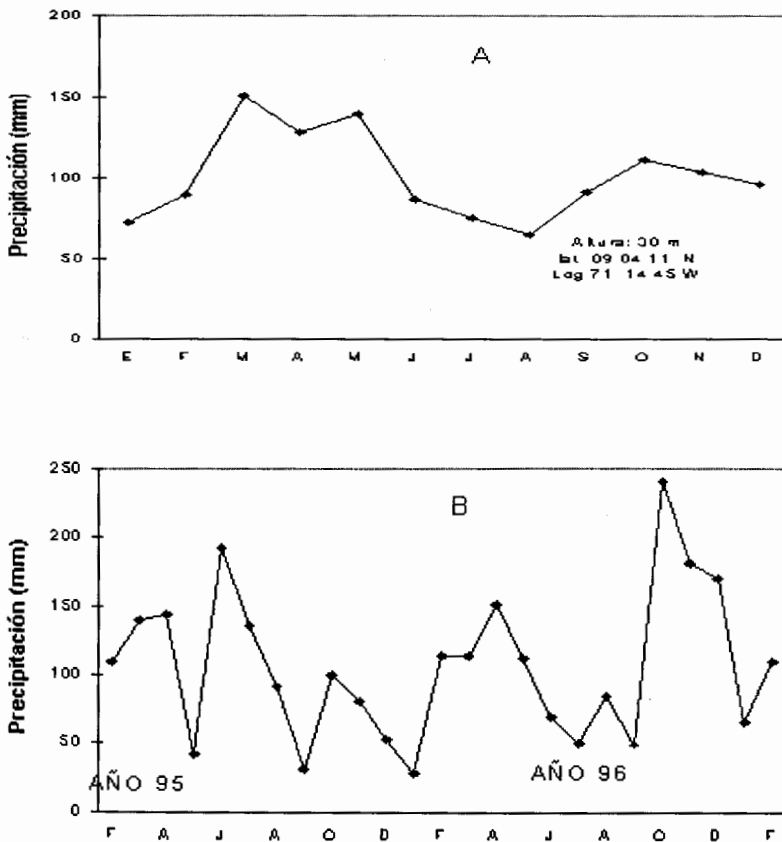


Figura 1. Promedios de precipitación mensual (1974-1994) (A) y durante el período de estudio (B) en Tucaní, Mérida, Venezuela.

Cuadro 1. Promedios de caída anual ( $t\ ha^{-1}\ a^{-1}$ ) de los diferentes componentes de la hojarasca y sus porcentajes.

Sistema	hojas S*	hojas C	ramas	frutos	flores	Total
Ag-Ca	6,0 (0,48) <sup>1</sup>	0,1 (0,02)	1,4 (0,28)	0,9 (0,26)	0,5 (0,13)	8,9
%	67	2	15,6	10,3	5,4	100
Zap-Ca	6,1(0,40)	0,1 (0,04)	0,95 (0,08)	3,5 (0,43)	0,25 (0,04)	10,9
%	56	1,2	8,7	31,7	2,3	100
Gua-Ag-Ca	2,0 (0,48) 3,6 <sup>2</sup> (0,50)	0,1 (0,02)	0,4 (0,13)	0,2 (0,09)	1,0 (0,33)	7,3
%	77,0	1,2	5,7	3,0	13,3	100

\* hojas S= hojas del árbol sombra; C =hojas de cacao.

<sup>1</sup>Entre paréntesis error estándar.

<sup>2</sup>hojas de guanábana.

encontró una producción de  $8,4\ t\ ha^{-1}\ a^{-1}$  en una plantación de cacao de 30 años en Camerún. Resultados similares obtuvo en Costa Rica Heuvelodop et al (1988) en combinaciones cacao-poro (*Erythrina poeppigiana*) y cacao-laurel (*Cordia alliodora*) de 6 años, con  $8,9$  y  $7,1\ t\ ha^{-1}\ a^{-1}$ , respectivamente. Aranguren (1979) reportó una producción, excepcionalmente alta, de  $20,8\ t\ ha^{-1}\ a^{-1}$  en una plantación de cacao de 30 años, sin ningún tipo de manejo por mas de siete años, bajo la sombra de árboles de caucho (*Castilloa elástica*), bucare (*Erythrina sp*) y topán (*Artocarpus attilis*). Santana et al (1990) en la zona de Bahía, Brasil, reportaron caídas anuales de hojarasca en el orden de  $7,1\ t/ha^{-1}$  en plantaciones de cacao bajo sombra de *Erythrina sp.*, mientras que bajo la sombra de otras especies los valores oscilaron entre  $5,2$  y  $8,8\ t/ha^{-1}$ .

En promedio, en la región de estudio, el aporte de hojarasca en sistemas de cacao bajo sombra de frutales está por el orden de las  $8,3\ t/ha^{-1}\ a^{-1}$ . Sería interesante medir durante varios años para conocer la variación interanual, sujeta especialmente a las fluctuaciones de las condiciones climáticas.

### Aporte de nutrientes en la hojarasca

La incorporación de nutrientes a través de la hojarasca mostró valores muy semejantes en los tres sistemas para algunos elementos y fracciones. En primer término, las cantidades de macronutrientes aportados por la hojarasca de los árboles de sombra representó en los tres sistemas mas del 50% del total. El aporte de N a través de las flores caídas es relativamente alto en comparación con las ramas, siendo mas significativo en las combinaciones con aguacate.

El aporte de N varía desde  $79,7\ kg\ ha^{-1}\ a^{-1}$  (sistema Gua-Ag-Ca) (Fig.4), hasta  $129,5\ kg\ ha^{-1}\ a^{-1}$  (sistema Zap-Ca) (Fig. 3). La cantidad de N de la fracción foliar de los árboles de sombra por sistema de este estudio varió poco entre los sistemas ( $57,9 - 64,7\ kg\ ha^{-1}\ a^{-1}$ ). La cantidad de N aportado por el sistema Gua-Ag-Ca esta entre los valores mas bajos reportados (Fassbender et al, 1988, Santana et al, 1990).

La transferencia de P en los tres sistemas es poco variable ( $9,9 - 11,2\ kg\ ha^{-1}\ a^{-1}$ ) siendo el promedio  $10,3\ kg\ ha^{-1}\ a^{-1}$ . La combinación Gua- Ag aportó en la caída de hojas mayor cantidad de P ( $7,9$  en comparación con  $5,3$  y  $4,7\ kg\ ha^{-1}\ a^{-1}$  en los otros sistemas). Fassbender et al

(1988) reportaron una transferencia de  $13,8$  y  $8,8\ kg\ ha^{-1}\ a^{-1}$  de P para los sistemas *C. alliodora* - cacao y *E. poeppigiana* - cacao, respectivamente. Aranguren (1979) encontró una alta transferencia ( $22,7\ kg\ ha^{-1}\ a^{-1}$ ), mientras que Santana et al (1990) reportaron en Bahía valores que oscilan entre  $5$  y  $10,7\ kg\ ha^{-1}\ a^{-1}$ .

Las hojas de zapote poseen altas concentraciones de K (Jaimez, 1997) y el aporte de este elemento a través de la hojarasca es alto ( $62,1\ kg\ ha^{-1}$ ) (Fig. 3), lo que se refleja en el contenido de K de los tres sistemas en los primeros 20 cm de profundidad del suelo ( $140\ kg\ ha^{-1}$ ). Como se mencionó anteriormente, en la combinación con zapote un aporte sustancial de K ( $35\ kg\ ha^{-1}\ a^{-1}$ ) que se suma al de las hojas, lo proporciona la gran cantidad de frutos de zapote que se dejan en la plantación. En los otros dos sistemas el aporte de K por los frutos es bajo (entre  $4,2$  y  $2,9\ kg\ ha^{-1}\ a^{-1}$ ) (Fig. 2 y 4).

En Bahía los valores reportados de K presentan amplia margen de diferencia entre los lugares estudiados (entre  $29,9$  y  $73\ kg\ ha^{-1}\ a^{-1}$ ) (Santana et al, 1990). Se puede presumir que una significativa proporción de K en la región de estudio con precipitación relativamente constante durante el año, puede estar siendo incorporado al suelo a través del lavado de las hojas y troncos. Según la literatura, este valor podría estar entre el 25 y 30% del aporte dado por la hojarasca (Leite y Valle, 1990; Vitousek y Sanford, 1986). Quedaría por realizar en esta región, estudios que permitan conocer con precisión el aporte anual de este elemento y de otros macronutrientes a través del lavado de troncos y follaje.

En relación al Mg, el sistema Ag-Ca presentó el mayor aporte ( $31,7/kg\ ha^{-1}\ a^{-1}$ ) (Fig. 2), mientras que en los

### Velocidad de descomposición y dinámica de los nutrientes

Se encontró que el sistema que tuvo mayor velocidad de descomposición es el Gua-Ag-Ca, (Cuadro 2) encontrándose en la semana 33 un remanente de material orgánico de sólo 34,4 %; mientras que en los otros dos sistemas con velocidades de descomposición similares a lo largo de los ocho meses, el remanente fue de 45%. Es importante notar que en estos últimos dos sistemas, al cabo de la semana 16, sólo se había descompuesto 20 y 25,8%, respectivamente. En todos los sistemas, la mayor cantidad de hojarasca descompuesta ocurre entre las semanas 28 a 33. Tal cambio en la velocidad de descomposición puede ser debido a que el período entre la segunda y decimo sexta semana coincidió con los meses de menor precipitación.

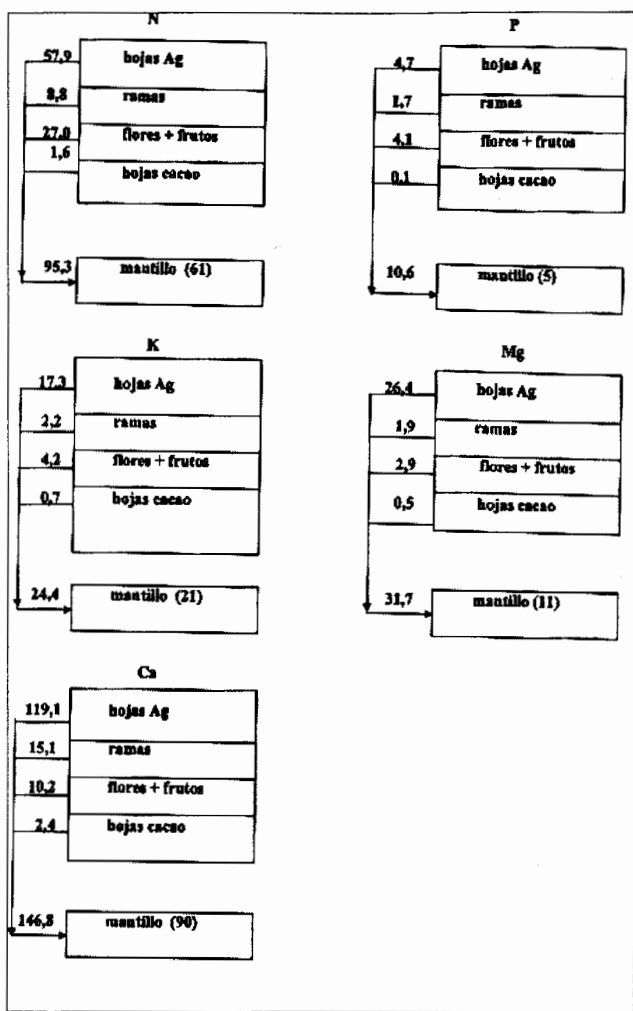


Figura 2. Transferencia de NPK, Mg y Ca (kg ha<sup>-1</sup> a<sup>-1</sup>) y reserva (kg ha<sup>-1</sup>) en el mantillo orgánico del sistema Ag-Ca.

sistemas Zap-Ca y Gua-Ag-Ca el aporte anual fue de 17 y 23,6 kg ha<sup>-1</sup> a<sup>-1</sup>, respectivamente (Fig. 3 y 4). Aranguren (1979) encontró aportes de 80,4 y 24,9 kg ha<sup>-1</sup> a<sup>-1</sup> en los agroecosistemas de cacao y café, respectivamente, mientras que Fassbender et al (1988) afirman que los aportes de Mg no difieren entre los sistemas cacao-*E. poeppigiana* y cacao-*C. alliodora* y dan como promedio 50,1 kg ha<sup>-1</sup> a<sup>-1</sup>. Al igual que en el K, Santana et al (1990) reportaron valores muy variables de Mg, que oscilan entre 20 y 60 kg ha<sup>-1</sup> a<sup>-1</sup>.

La transferencia de Ca al suelo varió entre 84 y 162 kg ha<sup>-1</sup> a<sup>-1</sup> (Fig. 2,3 y 4). A excepción de la combinación, Zap-Ca, estos valores están en los rangos reportados por Fassbender et al (1988) bajo condiciones de fertilización; lo cual permite suponer que este elemento no es limitante en los sistemas frutales-cacao en la región de Tucaní. Para comparación, valores relativamente bajos de transferencia de Ca (81-100 kg ha<sup>-1</sup> a<sup>-1</sup>), se obtuvieron en la zona de Camacan, estado de Bahía, Brasil (Santana et al, 1990).

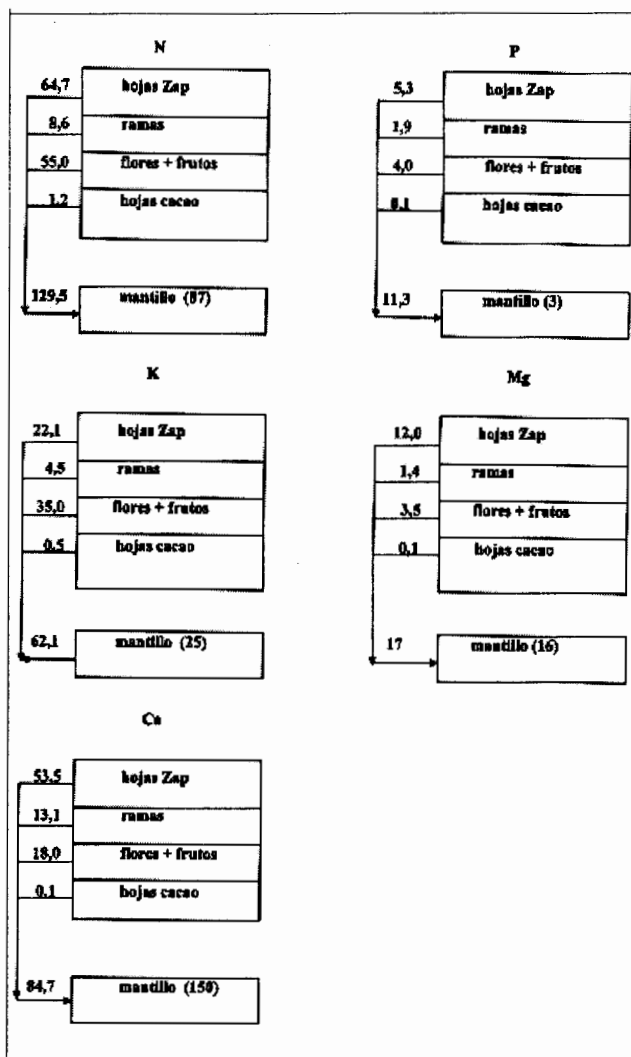


Figura 3. Transferencia de NPK, Mg y Ca (kg ha<sup>-1</sup> a<sup>-1</sup>) y reserva (kg ha<sup>-1</sup>) en el mantillo orgánico del sistema zap-Ca.

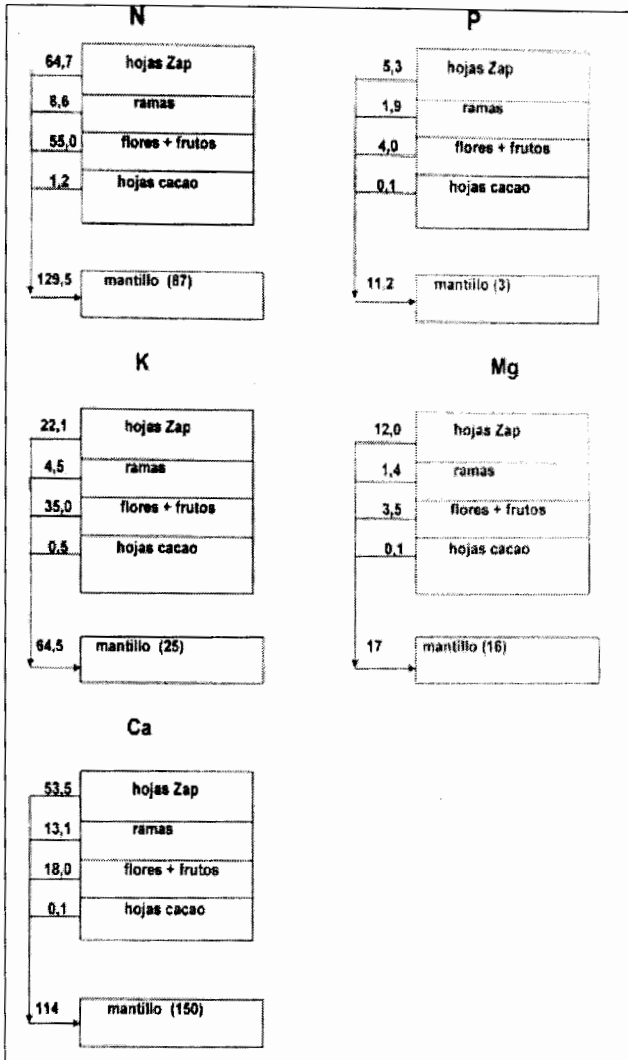


Figura 4. Transferencia de NPK, Ca y Mg (kg ha<sup>-1</sup> a<sup>-1</sup>) y reserva (kg ha<sup>-1</sup>) en el mantillo orgánico del sistema Gua-Ag-Ca.

cm de apertura. En ambos estudios, puede asumirse que los tamaños tan pequeños de apertura de malla pudieron haber restringido la entrada de microfauna participante en el proceso, lo que explicaría el porque estos autores obtuvieron un remanente entre el 40 y el 50% del colocado inicialmente no descompuesto al cabo de un año. Existen evidencias que refieren que, tanto los modelos lineales como los exponenciales, ofrecen buenas aproximaciones de la velocidad de descomposición de diferentes sistemas, ya que reflejan la suma de la pérdida anual de los diferentes constituyentes que conforman el material, la que puede estar en el rango entre 10 % para compuestos fenólicos hasta 99 % para azúcares (Swift et al, 1979).

Las velocidades de descomposición encontradas en Tucaní no son tan elevadas como podría esperarse en razón de las condiciones climáticas imperantes ; ello está influenciado por la baja fertilidad de los suelos y por su carácter excesivamente arenoso (deseccamiento frecuente del suelo superficial). Sin embargo, la distribución bastante regular de la precipitación y las altas temperaturas permiten la continuidad del proceso de descomposición durante todo el año, en comparación a lugares donde existe una marcada estación seca o fría.

En relación al cambio en la concentración de los diferentes macronutrientes a medida que el proceso de descomposición avanza (cuadro 3), está bien definido para los tres sistemas que la concentración de N se incrementa. Resultados similares fueron encontrados por Aranguren (1979). Tal incremento es un indicador del desarrollo de microorganismos descomponedores, cuya separación es muy difícil de lograr del material base; incluso puede ser que parte del material remanente sea de origen fúngal (Swift et al, 1979).

En las condiciones de baja fertilidad de los suelos de

La cantidad de material descompuesto en función del tiempo transcurrido (días) se ajusta a ecuaciones exponenciales y lineales. Las funciones lineales encontradas permiten inferir que al cabo de un año el material se ha descompuesto en 75%, aproximadamente, mientras que las funciones exponenciales estiman que el material estará totalmente incorporado al cabo de 11 meses. Aranguren (1979) obtuvo ajuste a funciones exponenciales con bolsas de malla de 0,5 cm de apertura, y ajustes lineales con mallas de 3 micras. Por su parte, Heuvelodop et al (1988) encontró un mejor ajuste exponencial con bolsas de malla de 0,1

Cuadro 2. Peso (g) de la hojarasca remanente y % de descomposición (D).

Intervalo transcurrido (días)	Ag-Ca		Zap-Ca		Gua-Ag-Ca	
	peso g	D %	peso g	D %	peso g	D %
15	36,5 (0,7) <sup>1</sup>	8,7	36,7 (0,6)	8,1	36,0 (0,7)	10,0
30	36,2 (1,8)	9,3	35,0 (1)	12,5	32,1 (1,8)	20,0
70	33,0 (1,3)	17,5	34,3 (0,3)	14,1	28,7 (0,4)	28,1
120	29,6 (0,5)	25,8	31,7 (0,3)	20,6	25,6 (0,8)	35,8
196	27,0 (1,4)	32,5	29,3 (0,6)	26,6	19,3 (3,3)	51,6
240	18,3 (1,8)	54,1	18,0 (2,0)	55,4	13,7 (2,3)	65,6

Sistema Ag -Ca:  $y(*) = 7,436e^{0,0083x}$   $R^2 = 0,77$ ;  $y = 0,2107x$   $R^2 = 0,78$   
 Sistema Zap-Ca:  $y = 8,039 e^{0,0075x}$   $R^2 = 0,86$ ;  $y = 0,197x$   $R^2 = 0,79$   
 Sistema Gua-Ag-Ca:  $y = 8,506e^{0,007x}$   $R^2 = 0,78$ ;  $y = 0,293x$   $R^2 = 0,82$   
 (\*) y = % de descomposición; x= días; <sup>1</sup>entre parentesis error estándar.

Cuadro 3. Concentración (%) de los diferentes macro-nutrientes en la hojarasca en función del tiempo transcurrido. (\*)

Sistema	Días transcurridos	N	P	Ca	Mg	K
Ag-Ca	30	0,96	0,09	4,40	0,38	0,31
	70	1,19	0,13	2,62	0,61	0,42
	120	1,22	0,09	0,35	2,05	0,30
	196	1,49	0,08	1,79	0,77	0,16
	240	1,45	0,07	2,80	0,77	0,20
Zap-Ca	30	1,00	0,09	2,12	0,20	0,38
	70	1,19	0,08	2,56	0,21	0,20
	120	1,33	0,10	2,37	0,19	0,11
	196	1,28	0,04	2,32	0,40	0,11
	240	1,52	0,05	2,11	0,47	0,12
Gua- Ag-Ca	30	1,06	0,06	2,70	0,32	0,29
	70	1,14	0,08	2,90	-	0,23
	120	1,20	0,10	3,42	0,41	0,12
	195	1,34	0,07	2,35	0,67	0,09
	240	1,58	0,1	3,40	0,66	0,12

(\*) La muestra colocada: hojas secas en bolsas de mallas de 4 mm de abertura.

los sistemas estudiados, las condiciones de inmovilización de los diferentes elementos pueden prevalecer; esta tendencia es más acentuada para Mg y N. Esto implica que la liberación de estos elementos a formas inorgánicas sólo ocurrirá cuando se llegue a niveles en que el elemento no sea limitante para los organismos descomponedores. Por otra parte, en determinados momentos el flujo de nutrientes en el proceso de descomposición puede tener períodos de inmovilización o liberación, como en el caso de Ca en los tres sistemas evaluados, lo cual está relacionado con la forma molecular del nutriente o la razón en concentración entre un nutriente con otros (Swift et al, 1979). Estos últimos autores también plantean que es importante tener presente que la disminución de un elemento no es necesariamente debida a la mineralización y solubilización, sino que puede ocurrir a causa de la emigración de micro-organismos, la translocación a hifas de hongos o a pérdidas en las esporas fungales. Incluso la misma velocidad de descomposición está relacionada con la calidad (propiedades de la superficie, dureza, etc) y composición del material que forma parte de la hojarasca que influye en el nivel poblacional de las diferentes comunidades de micro-organismos.

Los datos con respecto a la reducción del K en los

tres sistemas demuestran que este elemento está en constante proceso de solubilización y tal comportamiento coincide con lo reportado por Aranguren (1979). Otros autores han reportado en otras especies y condiciones de campo, que este elemento se libera más rápidamente que cualquiera de los otros (Tian et al, 1992; Lehmann et al, 1995).

Vitousek y Sanford (1986) plantean que en el proceso de descomposición en bosques situados en suelos de baja fertilidad el P es inmovilizado por los organismos descomponedores por lo que tal proceso se transforma en una competencia con las plantas por el P disponible. En nuestro caso, tal explicación puede ser la causa por la que entre 70 y 120 días el P tenga una tendencia a inmovilizarse, cambiando posteriormente el comportamiento en cada uno de los sistemas.

## Conclusiones

En promedio, en la región de estudio el aporte de hojarasca en el sistema de cacao bajo sombra de frutales fue del orden de las 8,3 t/ha<sup>-1</sup> a<sup>-1</sup>. Los aportes anuales aproximados a través de la caída de hojarasca fueron de 101, 10, 35, 23 y 140 kg/ha<sup>-1</sup> de N, P, K, Mg y Ca, respectivamente. Cerca de un 60% de estas cantidades fue aportada por la fracción foliar, que al cabo de 8 meses después de caída, sólo se había descompuesto en un 65 % aproximadamente.

Desde el punto de vista nutricional se recomienda la utilización de árboles de zapote en plantaciones de cacao por su mayor aporte de K, sin embargo, es necesario manejar mayores distancias de siembra ya que su sombra es muy pronunciada en las distancias estudiadas.

## Agradecimientos

Este estudio fue financiado por el Consejo de Desarrollo Científico, Humanístico y Tecnológico (Fo-384-96-01-E) de la Universidad de Los Andes, Mérida-Venezuela y CONICIT, proyecto 96001-500 de la agenda cacao. Se agradece la asistencia técnica de la Ing. Isabel de Amaya en las determinaciones químicas en laboratorio y la asistencia técnica en el trabajo de campo del Perito Onaz Vielma.

### Literatura citada

- ALPÍZAR, L., FASSBENDER, H. W., HEUVELDOP, J., FÖLSTER H. and ENRIQUEZ G. 1986. Modeling agroforestry systems of cacao (*Theobroma cacao*) with laurel (*Cordia alliodora*) and poro (*Erythrina poeppigiana*) in Costa Rica. I. Inventory of organic matter and nutrients. *Agroforestry Systems* 4 :175—189.
- ALVIM, R. and NAIR P. 1986. Combination of cacao with other plantation crops: an agroforestry system in Southeast Bahia, Brazil. *Agroforestry Systems* 4: 3-15.
- ANDERSON, J. and INGRAM, J. 1987. Tropical soil biology and fertility programme. TSBF methods handbook. s.l. UNESCO-MAB. 74 p.
- ARANGUREN, J. 1979. Contribución de la caída de hojarasca al ciclo de nutrientes en cultivos bajo árboles de sombra. Tesis Mag. Sc. Caracas, Instituto Venezolano de Investigaciones Científicas. 285 p.
- BOYER, J. 1973. Cycles de la matière organique et des éléments minéraux dans une cacaoyère camerounaise. *Café Cacao Thé* 17:3-24.
- CUBILLO O. 1993. Desarrollo de un sistema sostenible cacao-platano-maderables en la región central de Costa Rica. *In* Seminario Regional ' Sombras y cultivos asociados con cacao', Turrialba, 1991. Memórias. Turrialba, Catie. Costa Rica pp. 176-178.
- DUBÓN, A. y SÁNCHEZ, J. 1993. Algunos cultivos asociados con cacao en un nuevo sistema de producción. *In* Seminario Regional 'Sombras y cultivos asociados con cacao', Turrialba, 1991. Memórias. Turrialba, Catie. pp. 187-189.
- FASSBENDER, H., ALPÍZAR, L., HEUVELDOP J., FÖLSTER, H. and ENRIQUEZ, G. 1988. Modeling agroforestry systems of cacao (*Theobroma cacao*) with laurel (*Cordia alliodora*) and poro (*Erythrina poeppigiana*) in Costa Rica. III Cycles of matter and nutrients. *Agroforestry Systems* 6:49-62.
- HEUVELDOP, J., FASSBENDER H. W., ALPÍZAR L., ENRIQUEZ G. and FÖLSTER, H. 1988. Modeling agroforestry systems of cacao (*Theobroma cacao*) with laurel (*Cordia alliodora*) and poro (*Erythrina poeppigiana*) in Costa Rica. II Cacao and wood production, litter production and decomposition. *Agroforestry Systems* 6:37-48.
- LEHMANN et al 1995. Decomposition and nutrient release from leaves, twigs and roots of three alley-cropped tree legumes in central Togo. *Agroforestry System* 29:21-36.
- LEITE, J de O. and VALLE, R. R. 1990. Nutrient cycling in the cacao ecosystem: rain and throughfall as nutrient sources for the soil and the cacao tree. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 32: 143-154.
- JAIMEZ, R. 1997. Dinámica de nutrientes en agrosistemas de cacao y frutales en el Sur del Lago de Maracaibo. Tesis Mag. Sc. Universidad de Los Andes. Facultad de Ciencias Forestales y Ambientales. Mérida, Venezuela 95p.
- PAREDES, A. 1993. Asociación de cacao con palmáceas. *In* Seminario Regional 'Sombras y cultivos asociados con cacao', Turrialba, 1991. Memórias. Turrialba, Catie. p. 83-90.
- RODRIGUEZ, M. M. 1993. Especies de sombra utilizadas en Nicaragua. *In* Seminario Regional 'Sombras y cultivos asociados con cacao' Turrialba, 1991. Memórias. Catie. Turrialba, Catie. pp. 187-189.
- SANTANA, M. B., CABALA-ROSAND, P. e SERODIO, M.E. 1990. Reciclagem de nutrientes em agrossistemas de cacao. *Agrotropica (Brasil)* 2(2):68-74.
- SORIA, J. J. 1962. El cacao "Porcelana" de Venezuela. *Turrialba (Costa Rica)* 7(4): 7-9.
- SWIFT, M., HEAL O. and ANDERSON, J. M. 1979. Decomposition in terrestrial ecosystems. s. l. Blackwell. 372 p.
- TIAN, G., KANG, B. and BRUSSAARD, E. 1992. Biological effects of plant residues with contrasting chemical composition under humid tropical conditions. Decomposition and nutrient release. *Soil Biology Biochemistry* 24 (10): 1051-1060.
- VITOUSEK, P.M. and SANFORD, JR., R. L. 1986. Nutrient cycling in moist tropical forest. *Annual Review Ecology and Systematic* 17: 137-167.