

## RECICLAGEM DE NÚTRIENTES EM UMA PLANTAÇÃO DE CACAU SOMBREADA COM ERITRINA

por

MARIA BERNADETH M. SANTANA E PERCY CABALA ROSAND

*Centro de Pesquisas do Cacau, Itabuna, Bahia, Brasil.*

### RESUMO

Numa plantação de cacauzeiros Catongo sombreada com *Erythrina fusca*, em solo *Typic Tropudalf*, foram avaliadas durante dois anos as quantidades de resíduos, que caem no solo, bem como as quantidades de nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio e magnésio contidas nesses resíduos e nas águas de chuva colhidas sob a plantação. Avaliaram-se também as perdas por lixiviação e remoção pelas colheitas. Para o primeiro e segundo ano de observação, registraram-se respectivamente 8.146 e 5.994 kg ha<sup>-1</sup> de resíduos, não se incluindo os casqueiros nem os frutos pecos. As quantidades de N, P, K, Ca e Mg em kg ha<sup>-1</sup>, nesses resíduos para o primeiro período, foram respectivamente 143,0, 13,0, 34,4, 180,7 e 63,2 enquanto para o segundo período foram 81,0, 13,9, 17,4, 142,5 e 42,3. A velocidade de decomposição, avaliada durante 1 ano na mesma plantação, mostrou que entre 6 a 9 meses metade desses resíduos encontra-se decomposta, mantendo praticamente constante o fluxo de nutrientes disponíveis no solo. As águas de chuva contribuem com 22,9, 21,4, 17,9 e 11,7 kg ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> de N, K, Ca e Mg respectivamente. As colheitas têm sido consideradas como a principal via de retirada de nutrientes, não ultrapassando porém as cifras de 22,0, 5,0, 10,1, 1,0 e 3,0 kg de N, P, K, Ca e Mg em 1.000 kg de amêndoas secas, se as cascas forem deixadas na plantação. As perdas por lixiviação, principalmente Ca, Mg e N-NO<sub>3</sub>, embora aparentemente minimizadas pelas características físicas do solo, em 1 ano de observações, se elevaram a 53,6, 37,6 e 63,0 kg ha<sup>-1</sup>, respectivamente.

### NUTRIENT RECYCLING IN A CACAO PLANTATION SHADED BY *ERYTHRINA*

#### SUMMARY

Amounts of nitrogen, phosphorus, potassium, calcium and magnesium contained in residues lying on the ground were evaluated in a plantation of "Catongo" cacao shaded by *Erythrina fusca* in Cepec soil (characteristic Tropudalf). During the first year of monitoring, not including pod husks and withered pods, 8,146 kg/ha<sup>-1</sup> of cacao and erythrina residues (dry matter at 70°C) were incorporated into the foliage, adding 143 kg of N, 14 kg of P, 37 kg of K, 198 kg of Ca and 69 kg of Mg. It was shown that residues from *Erythrina* are generally richer than those of cacao and that in cacao pod husks potassium is the predominant element (4,2% K). It was also shown that over 70% of flower decomposition of *Erythrina* occurs in the first month, while for the remaining structures of both species half the mass has rotted in 6 to 7 months. Since the ratio of dry seeds to pod husks is approximately 1:1, it is calculated that each tonne of dry beans creates a tonne of husks which restore to the soil about 12.0 kg of N, 1.1 kg of P, 39.0 kg of K, 5.3 kg of Ca and 3.5 kg of Mg. This means that husks are an additional nutrient source and should be distributed over the plantation after being treated with fungicides or quick lime to avoid possible spreading of pathogens. Potassium is the predominant element in the rain water falling in the plantation while nitric nitrogen represents a significant loss in leach water.

### RECYCLAGE D'ÉLEMENTS NUTRITIFS DANS UNE CACAOYERE SOUS OMBRAGE D'*ERYTHRINA*

#### RESUME

Les quantités d'azote, de phosphore, de potassium, de calcium et de magnésium contenues dans les résidus laissés sur le sol ont été évaluées dans une plantation de cacaoyers Catongo sous ombrage d'*Erythrina fusca*, dans un sol du Cepec (tropudalf caractéristique). Durant la première année de surveillance, sans compter les coques de cabosses et les coques flétries, 8.146 kg ha<sup>-1</sup> de résidus de cacaoyers et d'*Erythrina* (matières sèches à 70°C) ont été incorporés dans le feuillage, ajoutant 143 kg de N, 14 kg de P, 37 kg de K, 198 kg de Ca et 69 kg de Mg. L'on a constaté que les résidus d'*Erythrina* sont généralement plus riches que ceux du cacaoyer, et que dans le cas du cacaoyer, le potassium de coques de cabosses est l'élément dominant (4,2% de K). L'on a également montré que plus de 70% des matières de la décomposition de fleurs d'*Erythrina* se produisent pendant le premier mois, alors que la moitié de la masse des structures récentes des deux espèces pourrit en 6 à 9 mois. Le rapport de semences sèches aux cabosses étant d'environ 1:1, l'on calcule que chaque tonne de fèves sèches comporte une tonne de coques, qui restitue au sol environ 12,0 kg de N, 1,1 kg de P, 39,0 kg de K, 5,3 kg de Ca et 3,5 kg de Mg. Cela signifie que les péricarpes sont une source additionnelle d'éléments nutritifs et devraient être répartis à travers la plantation après avoir été traités au moyen de fongicides ou de chaux vive pour éviter de répandre ainsi des pathogènes. Le potassium est l'élément dominant dans l'eau de pluie qui tombe sur les plantations, tandis que l'azote nitrique représente une perte significative d'eau par lessivage.

### RECICLAJE DE NUTRIENTES EN UNA PLANTACION DE CACAO SOMBREADA CON ERITRINA

#### RESUMEN

En una plantación de cacao "Catongo", sombreados con *Erythrina fusca* en el suelo Cepec (típico Tropudalf) se han evaluado las cantidades de nitrógeno, fósforo, potasio, calcio y magnesio contenidas en los residuos que caen al suelo. Durante el primer año de observaciones, sin incluir las cáscaras de los frutos y los frutos marchitos o estropeados, se incorporaron al follaje 8.146 kg ha<sup>-1</sup> de residuos de cacao y eritrina (materia

seca a 70°C), enriqueciéndose con 143 kg de N, 14 kg de P, 37 kg de K, 198 kg de Ca y 69 kg de Mg. Se comprobó que los residuos de eritrina son en general, más ricos que los residuos del cacao y que, en las cáscaras de los frutos del cacao, el potasio es el elemento predominante (4,2% de K). Se observó también que la descomposición de las flores de eritrina ocurre en más de un 70% en el primer mes, mientras que las demás estructuras de ambas especies ven la mitad de la masa descompuesta entre los 6 y 9 meses. Siendo la relación semillas secas: cáscaras de aproximadamente 1:1, se calcula que de cada tonelada de almendras secas sale una tonelada de cáscaras que restituyen al suelo cerca de 12,0 kg de N, 1,1 kg de P, 39,0 kg de K, 5,3 kg de Ca y 3,5 kg de Mg. En vista de ello, las cáscaras representan una fuente adicional de nutrientes y deben ser distribuidas en la plantación después de un tratamiento con fungicidas o cal viva para evitar el riesgo de diseminación de patógenos. El potasio es el elemento predominante en el agua de lluvia que cae dentro de la plantación, mientras que el nitrógeno nítrico representa una pérdida significativa en las aguas de lixiviación.

## INTRODUÇÃO

AS pesquisas relacionadas com reciclagem de nutrientes em ecossistemas cultivados começaram a intensificar-se a partir da década de 70, em razão principalmente da necessidade de se encontrar estratégias para minimizar os custos de produção. Mais comumente realizados em florestas, os estudos sobre reciclagem de nutrientes, através do folheto, têm revelado a alta eficiência desse processo natural na manutenção dos ecossistemas (Greenland e Kowal, 1960; Ney, 1961; Edwards e Grubb, 1977; Herrera e Jordan, 1981).

A cultura do cacau constitui, por suas características, um agrossistema adequado para atender a estratégia de conjugar produtividade, conservação do solo e economia de nutrientes. Originária dos trópicos, em áreas da floresta amazônica, o cacau é tradicionalmente cultivado sob sombra, apesar da tendência atual de se eliminar ou reduzir consideravelmente o sombreamento nas plantações. Entretanto, nas condições em que é recomendado o seu cultivo—sob sombra moderada—há uma contribuição muito grande das árvores de sombra no enriquecimento do folheto, especialmente as leguminosas que, pela propriedade de fixarem nitrogênio atmosférico, através dos nódulos radiculares, representam uma fonte desse elemento para o sistema. Boyer (1973) assinala que para uma plantação moderadamente sombreada, em Camarões, a quantidade anual de folheto por hectare foi da ordem de 8.500 kg. Alvim (Comunicação pessoal) calculou em 5.000 a 8.000 kg de resíduos ha<sup>-1</sup> em plantações moderadamente sombreadas do Sul da Bahia. Santana e Cabala (1983) estimaram em 8.146 kg ha<sup>-1</sup> a quantidade de resíduos caídos, no período de 1 ano, em uma plantação sombreada com eritrina (*Erythrina fusca*). Aranguren, Escalante e Herrera (1982), referem-se a quantidades bem superiores em plantações densamente sombreadas da Venezuela. Essas resíduos, além de enriquecerem o solo, formam uma densa camada—litéira—que protege o solo da erosão e lixiviação.

Neste trabalho foram avaliadas, durante 2 anos, as quantidades anuais de resíduos e de nutrientes (N, P, K, Ca e Mg) que retornaram ao solo, numa plantação de cacau, pelo processo de reciclagem natural. Calcularam-se também as quantidades de nutrientes nas águas de chuva que atravessaram as copas das árvores, as quantidades lixiviadas à profundidade de 60 cm e as quantidades removidas pelas colheitas.

## MATERIAIS E MÉTODOS

Em 0,25 ha de uma plantação de cacauzeiros Catongo de 17 anos, sobre solo *Typic Tropudalf* em espaçamento 3 m × 3 m sombreados com eritrina (*Erythrina fusca*) em espaçamento de 24 m com uma na intersecção da

diagonal (40 árvores/ha), foram quantificados durante 2 anos (15 de julho de 1981 a 15 de julho de 1983) e analisados quimicamente os resíduos da vegetação, as precipitações pluviais e as cascas dos frutos colhidos, como principais vias naturais de transferência de nutrientes ao sistema. Por outro lado, foram também consideradas as quantidades de nutrientes perdidos por lixiviação e retirados com as colheitas.

### Coleta e análise dos resíduos

Foram distribuídas, na área, 36 caixas de madeira de 0,90 m × 0,90 m, com o fundo em tela plástica. Essas caixas foram colocadas a 0,80 m acima da superfície do solo e a 3, 6 e 9 m de cada uma das árvores de sombra. Quinzenalmente foram computadas as quantidades de matéria seca a 70°C referentes a folhas, ramos, flores e outros resíduos coletados nas caixas. Após a secagem, as diferentes estruturas foram moídas separadamente e analisadas para avaliação dos conteúdos de nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio e magnésio.

Para dosagem do nitrogênio utilizou-se o método micro-Kjhedahl, processando-se a destilação conforme descrito por Bremner (1965). Para os demais nutrientes, procedeu-se a um ataque nitro perclórico (5:1) e posterior dosagem do fósforo por colorimetria, potássio por fotometria de chama, cálcio e magnésio por espectrofotometria de absorção atômica.

Avaliou-se, também, durante um ano, a velocidade de decomposição de cada um desses resíduos, acondicionando-os em bolsas de tela plástica de 2 mm de malha. As bolsas contendo o material, em número de quatro repetições para cada estrutura, foram colocadas sobre o solo. Utilizaram-se resíduos recém caídos, calculando-se para cada repetição um fator de correção para 70°C. Mensalmente, durante 1 ano, quatro bolsas referentes a cada estrutura eram recolhidas para pesagem do material a 70°C e avaliação das perdas de matéria seca em função do tempo.

### Coleta de água de chuva

Sob as copas das árvores de cacau e eritrina, distribuíram-se 8 coletores, em forma de calha (PVC), com 1 m de comprimento e 0,10 m de abertura e, em uma das extremidades, um dreno canalizado para um recipiente plástico. O volume de água coletado em cada calha constituiu uma sub-amostra que, reunida semanalmente, representou uma amostra de água sob o cacau. Nessas amostras dosaram-se os teores de nitrogênio nas formas nítrica e amoniacal e os teores de fósforo, potássio, cálcio e magnésio. Ambas as formas de nitrogênio foram determinadas por colorimetria, pelos processos de Cataldo *et al.* (1975) e Weatherburn (1967), respectivamente para nitrato e amônia. O fósforo foi dosado por colorimetria, o potássio, por fotometria de chama e o cálcio e magnésio, por espectrofotometria de absorção atômica.

### Coleta do lixiviado

Foram retirados quatro monolitos intatos, de 60 cm de diâmetro, até a profundidade de 60 cm. Esses monolitos foram revestidos com fibra de vidro e colocados na superfície do solo, deixando-se um dreno na base para coleta do lixiviado. A água lixiviada era colhida em recipiente plástico, com capacidade para 12 litros, medida semanalmente e encaminhada ao laboratório para dosagem de  $N-NO_3^-$ ,  $N-NH_4^+$ , P, K, Ca e Mg. A região do contato da superfície do solo com o revestimento de fibras foi vedada com parafina, para se evitar escorrimento lateral. Na análise, seguiram-se os mesmos processos citados para análise da água colhida sob o cacau.

Tanto nos recipientes coletores da água de chuva quanto nos coletores de água lixiviada do solo, foram colocadas 10 gotas de tolueno, antes de cada coleta, para reduzir o desenvolvimento de microorganismos.

### RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os dados referentes à quantidade de resíduos retornados ao solo, nos períodos de 15 de julho de 1981 a 15 de julho de 1983, estão representados na Figura 1. A queda de folhas de cacau e de eritrina ocorre durante todo o ano, com picos em determinados períodos. Entre

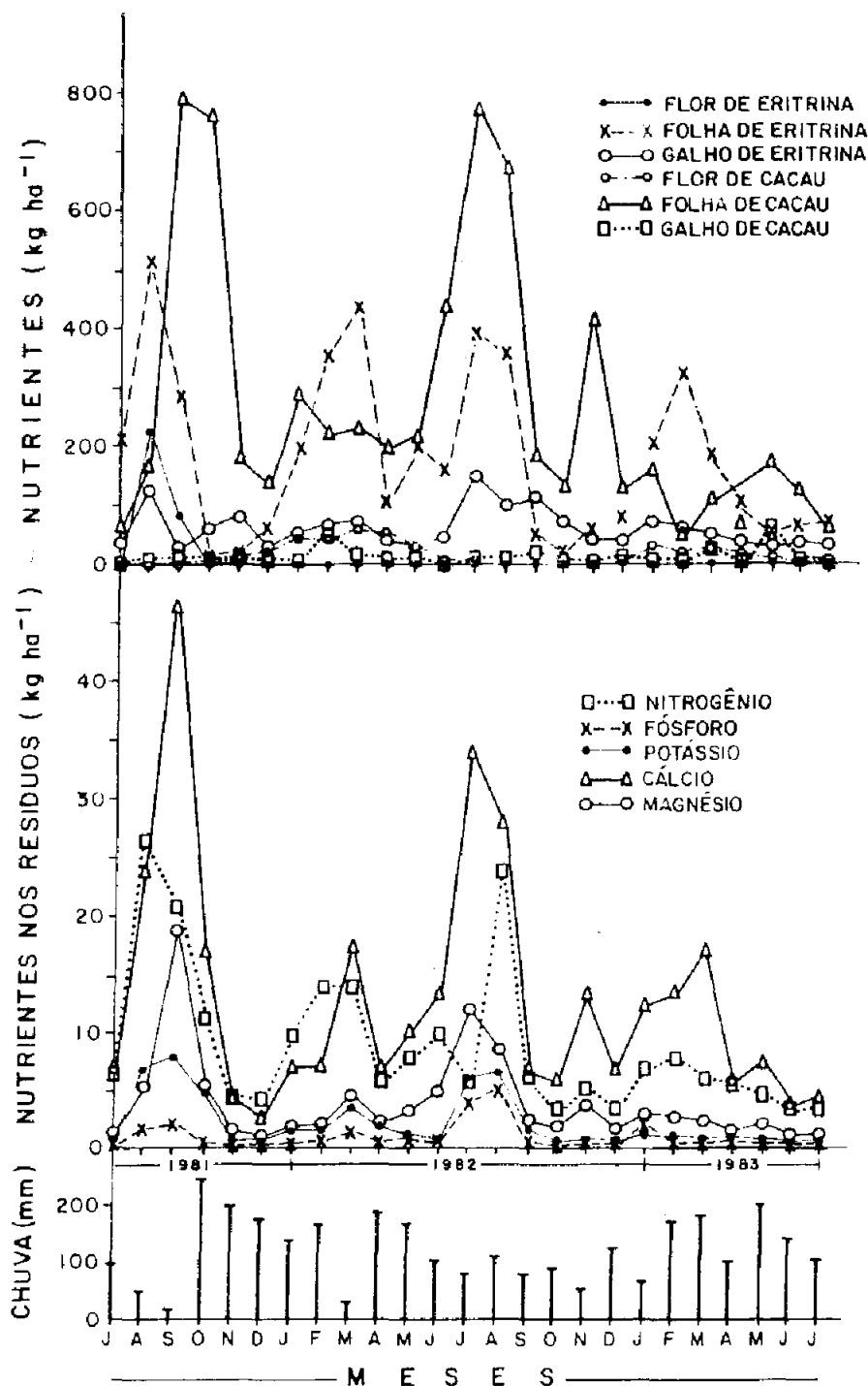


FIG. 1. Quantidade e conteúdo de nutrientes nos resíduos depositados no agrossistema de cacau ensaiado.

1981 a 1982, os meses de setembro, outubro e junho marcaram o máximo para queda de folhas de cacauzeiros, enquanto as folhas de eritrina tiveram maior abscisão nos períodos de julho a setembro e de janeiro a março. Entre 1982 e 1983, a quantidade total de folheto foi menor que a do ano anterior e houve uma ligeira variação, sendo que os picos de queda de folhas de cacauzeiros ocorreram nos meses de julho, agosto e novembro, e os de folhas de eritrina nos meses de julho e agosto, e de janeiro a março. Dezembro a maio e agosto a setembro constituíram respectivamente os períodos de maior floração do cacauzeiro e da eritrina. Esses fenômenos fenológicos estão de certo modo ligados a condições climáticas específicas e, em geral, as épocas de maior queda de folhas coincidem com finais de períodos secos. A floração ocorre logo após os novos lançamentos (brotação) e estes ocorrem quase que em sincronia com a queda de folhas. Boyer (1973), Alvim (1977) e Aranguren, Escalante e Herrera (1982) também apresentaram dados que mostram associação entre estiagem e queda de folhas.

Na eritrina, a época de floração é bem definida, tendo início em julho ou agosto e estendendo-se até setembro. Alvim e Alvim (1978) concluíram que nessa época a floração e a queda de folhas são fenômenos determinados por estímulos fotoperiódicos (dias curtos) e/ou

termoperiódicos (temperatura relativamente baixas).

A queda de pedaços de caule, ramos, ou outras partes de estruturas perenes da planta, por não constituírem eventos fenológicos, não têm épocas definidas, sendo geralmente influenciados pela intensidade de ventos. Não foram incluídos frutos pecos nem as cascas dos frutos colhidos, que em conjunto constituem também uma fonte representativa de elementos.

As folhas constituem a fração mais relevante, representando mais de 80% da massa total da liteira. O casqueiro é outro componente importante, principalmente pelo teor de potássio e nitrogênio que é de 4,0 a 4,2 e 1,0 a 1,2% respectivamente, e para cada 1.000 kg de amêndoas secas há uma proporção de aproximadamente 1.000 kg de cascas secas dos frutos. Os riscos de constituírem meios para o desenvolvimento de fungos patogênicos podem ser contornados, se as cascas forem dispostas em pilhas cobertas com plástico ou folhas de bananeira, pois, segundo Rivoire (1981), os esporos de *Phytophthora* spp. não resistem a temperaturas superiores a 32°C e, nessas condições, a temperatura ultrapassa este nível. Outra medida de precaução contra fungos patogênicos é a aplicação de compostos à base de cobre sobre os casqueiros.

A velocidade de decomposição desses resíduos é

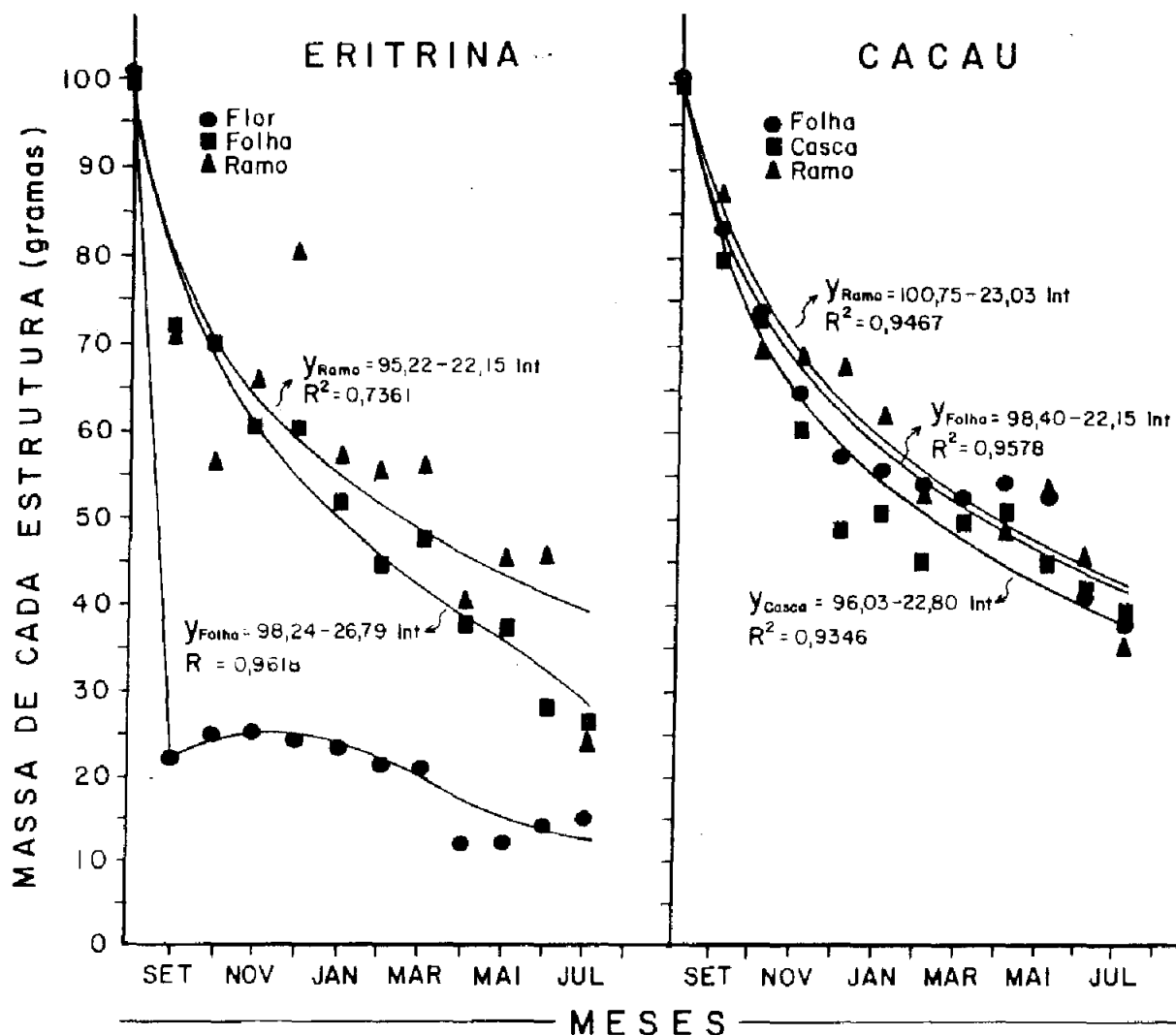


FIG. 2. Velocidade de decomposição dos resíduos de cacau e eritrina.

variável a depender da estrutura, da espécie e das condições ambientais. Os resíduos de eritrina se decompõem mais rápido que os do cacauzeiro, porém entre 6 e 9 meses a maioria dos componentes do folheto encontra-se com apenas metade de sua massa inicial e incorpora-se rapidamente à massa húmica do solo (Figura 2). Em condições naturais, em que os resíduos permanecem mais diretamente em contato com os decompositores e em interação com os demais componentes da liteira, a decomposição deve ser bem mais rápida que a observada no presente experimento. O processo de decomposição é favorecido por temperatura e umidade elevadas, condições que prevalecem nas zonas produtoras de cacau.

Os conteúdos de N, P, K, Ca e Mg que se reintegram mensalmente à camada orgânica, através dos resíduos da plantação estão representados na Figura 1. Esses conteúdos dependem da quantidade e da qualidade do material. No período compreendido entre julho de 1981 e julho 1982, registrou-se um total de 8.146 kg ha<sup>-1</sup> de resíduos que responderam pelo retorno de 143,0 kg de N, 13,0 kg de P, 34,4 kg de K, 180,7 kg de Ca e 63,2 kg de Mg. No período seguinte (julho de 1982 a julho de 1983), caíram 5.994 kg ha<sup>-1</sup> de resíduos contendo 81,0 kg de N, 13,9 kg de P, 17,4 kg de K, 142,5 kg de Ca e 42,3 kg de Mg. As diferenças das quantidades de nutrientes entre os dois períodos são devidas principalmente à diferença na quantidade de resíduos, de 2 toneladas a mais no primeiro período. Mesmo assim, o conteúdo de P foi ligeiramente superior no segundo período, provavelmente devido a presença de alguns resíduos mais ricos neste elemento, uma vez que neste período foram analisados também os resíduos não identificados e que incluem insetos mortos, excrementos de lagartos, etc. Esses valores representam quantidades potenciais relativamente elevadas de nutrientes que serão liberados à medida em que se processa a decomposição dos resíduos.

As folhas, representando mais de 80% da liteira, constituem a fonte mais importante de nutrientes retornados ao solo. Há de se considerar também a reciclagem interna em que uma fração de nitrogênio, potássio e fósforo migra das folhas, antes da senescência, para as folhas em formação, frutos, etc. A decomposição das folhas é um processo lento ao curso dos primeiros meses, mas ao final do sexto mês restam menos de 50% da massa inicial das folhas de eritrina e cerca de 60% das folhas de cacau (Figura 2). Segundo Boyer (1973), ao final de 1 ano cerca de 75% da massa foliar que integra a liteira encontra-se decomposta.

Não foram incluídos frutos pecos, nem as cascas dos frutos colhidos que, em conjunto, constituem também uma fonte importante de nutrientes.

As chuvas constituem uma fonte adicional de nutrientes, tanto pela sua composição natural (Madgwick e Ovington, 1959; Boyer, 1973; Likens *et al.*, 1977; Aranguren, Escalante e Herrera, 1982), como pela sua ação física através da lixiviação das folhas e troncos das árvores. As quantidades de nitrogênio, potássio, cálcio e magnésio incorporadas ao solo, pelas águas de chuva colhidas sob a plantação, foram respectivamente de 22,9, 21,4, 17,9 e 11,7 kg ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>, durante os dois anos de observação. As quantidades de fósforo foram pequenas, não ultrapassando, 2,8 kg ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>. As quantidades mencionadas por Boyer (1973), para uma plantação moderadamente sombreada em Camarões (África), são bastante superiores às registradas neste trabalho. A quantidade e intensidade das chuvas, a existência de

indústrias próximas ao local, a presença de poeiras e outras impurezas na atmosfera são fatores que influem nas quantidades de nutrientes incorporados ao agrossistema pelas chuvas. A própria intensidade luminosa, elevando a temperatura, favorece a dissolução dos sais quando a chuva cai sobre as folhas, segundo Stenlid citado por Boyer (1973).

Neste trabalho ainda não foi feito o levantamento da quantidade de nutrientes na fitomassa de 1 ha de cacau. Segundo Thong e Ng (1980), uma plantação de 7 a 8 anos, na Malásia, produzindo 1.000 kg de cacau seco, apresentou as seguintes quantidades de nutrientes: 469,0 kg de N, 52,8 kg de P, 684,1 kg de K, 378,3 kg de Ca e 127,7 kg de Mg; desses totais, apenas 6% estariam destinados à produção, enquanto o restante seria destinado ao crescimento e manutenção da parte estrutural da planta. Aranguren, Escalante e Herrera (1982) assinalam que em 1 ha de cacauzeiros adultos (aproximadamente 950 plantas), cerca de 302,5 kg de N encontram-se na fitomassa e, deste total, apenas 6,58% estariam envolvidos na produção de frutos.

A remoção pelas colheitas tem sido considerada como a principal via de retirada de nutrientes de plantação. Tomando-se por base os resultados da análise de frutos, para uma produção de 1.000 kg de amêndoas secas, há uma remoção de apenas 22,0 kg de N, 5,0 kg de P, 10,1 kg de K, 1,0 kg de Ca e 3,0 kg de Mg se as cascas forem deixadas na plantação. Esses dados são bastante coerentes com os apresentados para outras regiões produtoras de cacau (Humphries, 1940; Dierendonck, 1959; Urquhart, 1963; Kanapathy 1976; Thong e Ng, 1980). Estas quantidades não são significativas em relação aos ingressos de nutrientes, mesmo se forem consideradas as perdas por lixiviação, principalmente de Ca, Mg e N-NO<sub>3</sub>, que em 1 ano de observações corresponderam a 53,6, 37,6 e 63,0 kg ha<sup>-1</sup> respectivamente. As perdas de fósforo, potássio e nitrogênio amoniacal foram desprezíveis e da ordem de 0,54, 2,2 e 4,8 kg ha<sup>-1</sup> respectivamente. O potássio é um elemento que se perde facilmente por lixiviação, mas em solos como o da área em estudo, essas perdas são minimizadas pela predominância de argila do tipo smectita (2:1). As perdas de fósforo são geralmente baixas, ocorrendo o mesmo com o nitrogênio amoniacal, especialmente em solos com esse tipo de argila.

Os resultados do presente experimento permitem concluir que:

1. Em plantações de cacau bem formadas sobre solos Tropudalf, sombreadas por *Erythrina* spp., as quantidades de nitrogênio e outros elementos nos resíduos que caem no solo são bastante representativas, sendo superiores às quantidades removidas por 1.500 a 1.800 kg ha<sup>-1</sup> de cacau seco;

2. Entre 6 e 9 meses esses resíduos se decompõem na metade, constituindo um fluxo quase que constante de nutrientes disponíveis no agrossistema;

3. As perdas de nutrientes por lixiviação são limitadas pelas propriedades físicas e químicas do solo;

4. A estratégia de fertilização para esse tipo de agrossistema deve visar à adição de elementos apenas em doses de manutenção.

#### AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao técnico de laboratório José Nelson Rebouças Machado, ao técnico agrícola Antonio Alves de Souza e ao operário Celso José Teixeira pela colaboração na condução do experimento.

## BIBLIOGRAFIA

- ALVIM, P. DE T. AND KOZLOWSKY, T. T., eds (1977). Ecophysiology of tropical crops 1a. ed. New York. Academic Press. pp. 279-313.
- AND ALVIM, R. (1978). Relation of climate to growth periodicity in tropical trees. *Proc. 4th Cabot Symp.* Petersham, Massachusetts, 1976, 445-64.
- ARANGUREN, J., ESCALANTE, G. AND HERRERA, R. (1982). Nitrogen cycle of tropical perennial crops under shade trees. II. Cacao. *Plant Soil*, 67, 259-69.
- BOYER, J. (1973). Cycles de la matière organique et des éléments minéraux dans une cacaoyère camerounaise. *Café Cacao Thé*, 17, 3-24.
- BREMNER, J. M. (1965). Methods of soil analysis, II. 1.179-1. 237. Madison, Wisconsin: American Society of Agronomy. pp. 1179-237.
- CATALDO, D. A., HAROON, M., SCHRADER, L. E. AND YOUNGS, L. (1975). Rapid colorimetric determination of nitrate in plant tissue by nitration of salicylic acid. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.*, 6, 71-80.
- DIERENDONCK, F. J. E. VAN (1959). The manuring of coffee, cocoa, tea and tobacco. Geneve, Suisse: Centre d'Etude de l'Azote.
- EDWARDS, P. J. AND GRUBB, P. J. (1977). Studies of mineral cycling in a Mountane rain forest in New Guinea. I. The distribution of organic matter in the vegetation and litter. *J. Ecol.*, 65, 943-69.
- GREENLAND, D. J. AND KOWAL, J. M. L. (1960). Nutrient content of a moist tropical forest of Ghana. *Plant Soil*, 12, 154-74.
- HERRERA, R. AND JORDAN, C. F. (1981). Nitrogen cycle in a tropical Amazonian rain forest: the caatinga of low mineral nutrient status. *Ecol. Bull.* (Snceden), 33, 493-505.
- HUMPHRIES, E. C. (1940). Growth rate and mineral intake by the pod. *A report on Cacao Research, 1939* (Trinidad, ICTA), 43-6.
- KANAPATHY, K. (1976). Guide to fertilizer use in Peninsula Malaysia. Kuala Lumpur: Ministry of Agriculture and Rural Development of Malaysia.
- LIKENS, G. E., BORMANN, F. H., PIERCE, S. R., EATON, S. J. AND JOHNSON, N. M. (1977). Biogeochemistry of a Forested Ecosystem. New York: Springer-Verlag.
- MADWICK, H. A. I. AND OVINGTON, J. D. (1959). The chemical composition of precipitation in adjacent forest and open plots. *Forestry*, 32, 14-22.
- NYE, P. H. (1961). Organic matter and nutrient cycles under moist tropical forest. *Plant Soil*, 12, 333-45.
- RIVOIRE, P. (1981). Essai de recyclage de la matière organique dans une cacaoyère. *Proc. 8th Int. Cocoa Res. Conf., Cartagena*, 1981, 145-50.
- SANTANA, M. B. M. E CABALA-ROSAND, F. P. (1983). Requerimentos de nitrogênio em um agrossistema de cacau. *R. Theobroma* (Brasil).
- THONG, K. AND NG, W. L. (1980). Growth and nutrients composition of monoerop cocoa plants on Island Malaysian soils. *Proc. Conf. Cocoa Coconuts*, Kuala Lumpur, 1978, 262-86.
- URQUHART, D. H. (1963). Cacao 2a. ed. Turrialba, Costa Rica: IICA.
- WEATHERBURN, M. W. (1967). Phenol-hypochlorite reaction for determination of ammonia. *Anal. Chem.*, 39, 971-4.