

TURRIALBA

REVISTA INTERAMERICANA DE CIENCIAS AGRICOLAS

VOLUMEN 35

TRIMESTRE OCTUBRE-DICIEMBRE 1985

NUMERO 4

CODEN: TURRAB 35(4) 311-436

<i>Efecto de la trifluralina sobre la acumulación de materia seca, fósforo y potasio por la soya (en portugués).</i> C. A. Rosolem, J. R. Machado, M. M. Michan	311
<i>Análisis de crecimiento en soya (en portugués)</i> M. J. Pedro Júnior, H. A. A. Mascarenhas, O. Tisseli Filho, L. R. Angelocci	323
<i>Arboles de guayaba (Psidium guajava L.) en pastizales. II. Consumo de fruta y dispersión de semillas (en español)</i> E. Somarriba	329
<i>Arboles de guayaba (Psidium guajava L.) en pastizales. III. Producción de leña (en español)</i> E. Somarriba, J. Beer	333
<i>Variación estacional del sistema foliar de cinco clones de banano (en español)</i> E. M. Flores, M. Soto, R. Bolaños	339
<i>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 (en español)</i> J. Heuvel dop, L. Alpizar, H. W. Fassbender, G. Enriquez, H. Fölster	347
<i>Efecto de varios métodos para la preparación del terreno sobre la resistencia a la penetración y sobre el rendimiento del maíz (Zea mays L.), yuca (Manihot esculenta Crantz) y camote (Ipomoea batatas L.) en asociación. I. Efecto en el suelo del sistema de cosecha y de preparación de la tierra (en inglés)</i> W. Forsythe, N. Tafur	357
<i>Efecto de varios métodos para la preparación del terreno sobre la resistencia a la penetración y sobre el rendimiento del maíz (Zea mays L.), yuca (Manihot esculenta Crantz) y camote (Ipomoea batatas L.) en asociación. II. Efecto sobre el rendimiento (en inglés)</i> N. Tafur, W. Forsythe	371
<i>Cambios en el patrón de proteínas en semillas en desarrollo de frijol (Phaseolus vulgaris L.) (en inglés)</i> T. S. G. Lee	377
<i>Flujo de nutrimentos a través de aguas naturales en la floresta tipo "Terra Firme" en Amazonia Central (en inglés)</i> W. Franken, P. R. Leopoldo, H. Bergamin	383
<i>Análisis del crecimiento del chayote (Sechium edule Sw.) (en español)</i> E. Valverde, M. V. Sáenz	395
<i>Sistemas agroforestales de café (Coffea arabica) con laurel (Cordia alliodora) y café con poró (Erythrina poeppigiana) en Turrialba, Costa Rica. III. Modelos de la materia orgánica y los elementos nutritivos (en español)</i> H. W. Fassbender, L. Alpizar, J. Heuvel dop, G. Enriquez, H. Fölster	403
<i>Esterilidad de un clon de camote (en inglés)</i> J. S. Jos, K. Vijaya Bai	415
<i>Comunicaciones</i>	421
<i>Respuesta de genotipos de algodón a pretratamientos de hidratación y deshidratación bajo condiciones de envejecimiento natural y acelerado (en inglés)</i> K. V. Janardhan, B. S. Janagoudar, K. Venkata Subbaiah	421
<i>Tablas de volumen para Gmelina arborea Roxb. en Manila de Siquirres, Costa Rica (en español)</i> R. Salazar, H. J. Palmer	425
<i>Una dieta semisintética para adultos de Colaspis ostmarki (Coleoptera: Chrysomelidae) (en inglés)</i> G. V. Manley	433
<i>Reseña de libros</i>	328, 356, 376, 393, 420
<i>Notas y comentarios</i>	322, 382, 414



INSTITUTO INTERAMERICANO DE COOPERACION PARA LA AGRICULTURA

San José, Costa Rica

CR ISSN 0041 - 4360

C.A. ROSOLEM*
J.R. MACHADO**
M.M. MICHAN***

Summary

The effects of trifluralin (ααα - trifluoro-2,6-dinitro-N, N-dipropyl-p-toluidina) upon soybean (Glycine max (L.) Merrill, cv. Paraná) growth and phosphorus and potassium uptake were studied in two soils, a "Terra Roxa Estruturada" (Clay) and a Dark Red Latosol (loamy sand). The experiments were carried out in the greenhouse, where 0, 1, 2, 3 and 4 liters/ha of trifluralin were incorporated 8 cm deep in the pots, and the soybean plants were harvested at 30, 60 and 90 days after seedling emergence, when growth and P and K uptake were evaluated. A significative decrease in grain production was observed when trifluralin was applied at a 3.7 fold dose, but there was not evidence of a direct effect of the herbicide upon nutrient uptake. The higher doses of trifluralin caused a delay in soybean growth and nutrient accumulation.

Introdução

A adubação e a utilização de herbicidas são práticas agrícolas de importância para que se obtenha êxito em uma cultura de soja. De fato é grande a utilização de corretivos e adubos, bem como de herbicidas, nesta cultura, em função de grande área que é cultivada e do nível tecnológico empregado na maioria dos casos.

É comum a aplicação tanto dos fertilizantes como dos herbicidas de incorporação na mesma zona do solo, o que propicia condições potenciais para a existência de uma influência do herbicida na absorção de nutrientes pela planta, conforme foi demonstrado na soja para o caso de fósforo (3). Em tomateiro, se chegou a resultados semelhantes (15).

Além do efeito sobre a absorção de fósforo, em soja tratada com trifluralina, foi demonstrado (2) que tanto a matéria seca das raízes e da copa, assim como as quantidades de nutrientes absorvidos, diminuíram quando era aumentada a dose do herbicida. Os autores relatam também que a soja tratada com o herbicida absorve relativamente mais fósforo do que enxôfre, e atribuíram este fato à possibilidade do herbicida afetar diferentemente os sítios de absorção do sulfato e do fosfato.

No Brasil tem sido conduzidos alguns trabalhos a respeito do assunto, mas não com a cultura da soja, tendo sido estudado o efeito de EPTC e trifluralina na concentração de macronutrientes no feijoeiro (8), mas não foram encontradas diferenças significativas entre os tratamentos empregados, sendo que os resultados obtidos foram confirmados posteriormente (16, 7).

Desta maneira, um importante fator a ser considerado para uma recomendação racional de herbicida, além da eficiência e economicidade do produto, no controle do mato, é o efeito colateral do produto. No presente trabalho foi estudado o efeito da trifluralina sobre a acumulação de matéria seca, absorção de fósforo e potássio pela soja.

1. Recebido para publicação em março 26, 1984

* Prof. Adjunto – Departamento de Agricultura e Silvicultura FCA/UNESP. 18600 – Botucatu-SP-BRASIL
Bolsista do CNPq

** Prof. Assistente – DAS/FCA/UNESP.

*** Prof. Assistente – IBBMA/UNESP.

Material e métodos

Foram conduzidos dois ensaios, em solos classificados como Terra Roxa Estruturada (TE) (5) e Latossolo Vermelho Escuro fase arenosa (LEa) (9), cujas características físicas e químicas encontram-se na Tabela 1

Antes da instalação do ensaio, a terra proveniente dos horizontes A dos solos foi secada ao ar e peneirada.

Os tratamentos constaram das doses 0, 1, 2, 3 e 4 litros de trifluralina (p.c. com 480 g i.a./litro) por hectare. Na instalação dos ensaios, foram colocados 6 litros de terra em cada vaso, sem qualquer tratamento. O herbicida, nas doses correspondentes, e os adubos, nas doses de 100 kg P₂O₅/ha e 45 kg K₂O/ha, foram aplicados em uma porção de terra colocada em um quadrado de madeira com 0,64 m², tendo 8 cm de altura. A seguir foi efetuada a incorporação do herbicida e dos adubos pela agitação dessa porção de terra. O herbicida foi aplicado utilizando-se uma quantidade de água correspondente a 800 litros/ha. A terra de cada quadrado de madeira era suficiente para se colocar 4 litros da mesma em cada um dos 12 vasos utilizados em cada tratamento, o que correspondeu a uma profundidade de incorporação do herbicida e dos adubos, no vaso, de 8 cm

Os adubos utilizados foram o superfosfato simples e o cloreto de potássio. As sementes foram inoculadas com *Rhizobium japonicum* comercial

O ensaio foi instalado com 12 repetições, sendo colhidas 4 repetições em cada uma das 3 amostragens, efetuadas aos 30, 60 e 90 dias da emergência das plantas, correspondente aos estádios de pleno desenvolvimento vegetativo, pleno florescimento e maturação

Foram colocadas a germinar 10 sementes em cada vaso. Logo após a emergência das plântulas (10 dias após a semeadura) foi feito um primeiro desbas-

te, deixando-se 5 plantas por vaso. Aos 11 dias da emergência foi feito o segundo desbaste, deixando-se 3 plantas por vaso.

A umidade da terra dos vasos foi mantida próxima à capacidade de campo através de regas diárias, e os vasos foram transferidos de lugar semanalmente.

Em cada uma das amostragens, as plantas foram retiradas inteiras dos vasos lavando-se as raízes com água até a completa retirada da terra.

A seguir as plantas foram lavadas em água destilada, separadas em partes de acordo com a amostragem, e postas a secar em estufa com circulação forçada de ar a 70° C por 72 horas, sendo posteriormente pesadas

O material foi moído em moinho tipo Willey, equipado com peneira 20. Em seguida foram realizadas análises de P e K, em cada uma das partes das plantas

Resultados e discussão

Acumulação de matéria seca

Pelas Tabelas 2 e 3 pode-se notar que a aplicação do herbicida afetou a produção de matéria seca nas três amostragens no LEa e nas duas primeiras amostragens na TE.

As reduções observadas na produção de matéria seca total foram devidas a reduções das quantidades de matéria seca de raízes, hastes e folhas nos dois solos e ainda de grãos no LEa.

Na TE, a produção de matéria seca foi prejudicada mesmo com as doses menores do herbicida, por ocasião das duas primeiras amostragens, ao passo que no LEa o efeito, apesar de mais drástico, somente foi significativo com a maior dose de trifluralina.

Tabela 1: Resultados das análises químicas e físicas dos solos utilizados.

Solo	pH	M.O.	PO ₄ ³⁻	Ka ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Al ³⁺	H ⁺
		%						
LEa	6.0	0.97	0.06	1.40	0.62	0.20	0.16	2.72
TE	5.6	2.38	0.03	5.25	1.49	0.81	0.24	5.76
		Areia (%)			Limo (%)	Argila (%)		
		grossa	média	fina				
LEa		8	42	38	3		9	
TE		2	6	15	35		42	

Há que se ressaltar que o efeito depressivo do produto sobre a produção de matéria seca desapareceu completamente na época da terceira amostragem na TE, mas no LEa as diferenças permaneceram até o final do experimento. Este resultado pode ser explicado se for levado em consideração o teor de matéria orgânica de cada solo. Assim, a TE, solo com maior teor de matéria orgânica, pode ter havido maior adsorção do herbicida, além de uma inativação mais precoce do produto, em função de uma maior atividade microbiana. Estes resultados encontram apoio na literatura disponível (2, 4, 10, 11, 12).

É interessante ainda observar que, embora, não tenha ocorrido diferença estatisticamente significativa, o herbicida, nas doses intermediárias, parece ter estimulado o crescimento da soja na época da primeira amostragem para o LEa e terceira amostragem na TE, sendo que a mesma tendência foi observada para produção de grãos (Tabelas 2 e 3).

Na literatura encontram-se relatos de efeitos semelhantes, mas não são oferecidas explicações para o fato (6, 10).

Considerando que a dose recomendada para o LEa seria de 1,2 litros/ha e para a TE de 2,4 litros/ha (14), pode-se deduzir que para haver prejuízo em termos de produção de grãos, no LEa a dose seria aproximadamente 3,7 vezes maior do que a recomendada.

Na TE, com doses de até 1,7 vezes a recomendada não houve prejuízo. Talvez o fato de ter sido usada uma dose relativamente maior do herbicida no LEa ajude a explicar porque a produção de grãos foi afetada neste solo e não na TE.

Nas Figuras 1 e 2 podem ser vistas as acumulações de matéria seca, quando foram utilizadas as doses 0, 2 e 4 litros/ha de trifluralina.

Na Figura 1 pode-se notar que, na TE as plantas de soja que receberam 2 e 4 litros/ha do herbicida continuaram a acumular matéria seca até o final do ciclo, com queda de folhas menos acentuada que a observada no tratamento testemunha. Este fato pode ser explicado levando-se em consideração que o sistema radicular das plantas que receberam herbicida somente tiveram um desenvolvimento normal na camada de solo abaixo daquela em que o produto foi misturado, causando um atraso no crescimento das plantas. Desta forma, nos estádios mais tardios a soja estaria, através de um período de crescimento mais prolongado, recuperando-se do estresse sofrido nos estádios iniciais.

No LEa (Figura 2), as doses de até 2 litros/ha não tiveram grande influência na acumulação de matéria seca pelas plantas, mas na dose de 4 litros houve acentuado decréscimo na velocidade e na quantidade de matéria seca acumulada. É interessante notar que

Tabela 2: Produções de matéria seca (g/planta) por parte das plantas de soja cultivadas em presença de diversas doses de herbicida. Terra Roxa Estruturada.

Dose de herbicida litros/ha	PARTE DA PLANTA					
	TOTAL	HASTES	FOLHAS	RAIZES	VAGENS	GRÃOS
1ª amostragem						
0	3,27 a	0,72 a	1,68 a	0,88 a		
1	2,08 ab	0,42 ab	1,02 ab	0,57 a		
2	2,65 ab	0,51 ab	1,25 ab	0,88 a		
3	1,62 b	0,38 ab	0,77 b	0,47 a		
4	1,50 b	0,28 b	0,71 b	0,50 a		
2ª amostragem						
0	25,86 a	7,80 a	11,65 a	6,40 a		
1	22,02 b	7,37 ab	9,97 ab	4,69 ab		
2	18,57 b	6,09 b	9,16 b	3,34 b		
3	19,90 b	6,98 ab	9,33 b	3,60 b		
4	14,40 c	4,33 c	6,83 c	3,25 b		
3ª amostragem						
0	25,70 a	8,26 a	3,04 b	4,00 a	4,49 a	5,92 a
1	30,88 a	7,94 a	3,95 ab	7,37 a	5,01 a	6,60 a
2	32,09 a	8,58 a	5,23 a	4,78 a	5,34 a	8,17 a
3	29,80 a	7,70 a	4,20 ab	5,49 a	5,22 a	7,32 a
4	25,75 a	7,05 a	3,44 ab	4,23 a	4,71 a	6,56 a

Tabela 3: Produções de matéria seca (g por planta) por parte das plantas de soja cultivadas em presença de diversas doses de herbicidas, Latossolo Vermelho Escuro – fase arenosa.

Dose de herbicida litros/ha	PARTE DA PLANTA				
	TOTAL	HASTES	FOLHAS	RAIZES	GRAOS
1a amostragem					
0	2.64 a	0.47 a	0.89 a	1.28 ab	
1	4.31 a	0.66 a	1.19 a	2.46 a	
2	3.31 a	0.54 a	1.09 a	1.69 ab	
3	2.59 a	0.49 a	0.95 a	1.16 ab	
4	0.73 b	0.10 b	0.30 b	0.34 b	
2a amostragem					
0	11.76 a	3.01 a	4.61 a	4.13 a	
1	11.89 a	3.22 a	4.71 a	4.15 a	
2	11.27 a	3.06 a	4.68 a	3.74 ab	
3	10.63 a	2.67 a	4.25 a	3.71 ab	
4	5.66 b	1.15 b	1.90 b	2.61 b	
3a amostragem					
0	15.12 ab	6.31 a	3.93 a	4.88 a	
1	16.38 a	5.78 ab	3.70 a	5.24 a	
2	15.04 ab	7.07 a	2.49 a	5.48 a	
3	13.20 ab	6.19 a	1.87 a	5.14 a	
4	6.93 b	2.66 b	1.73 a	2.54 b	

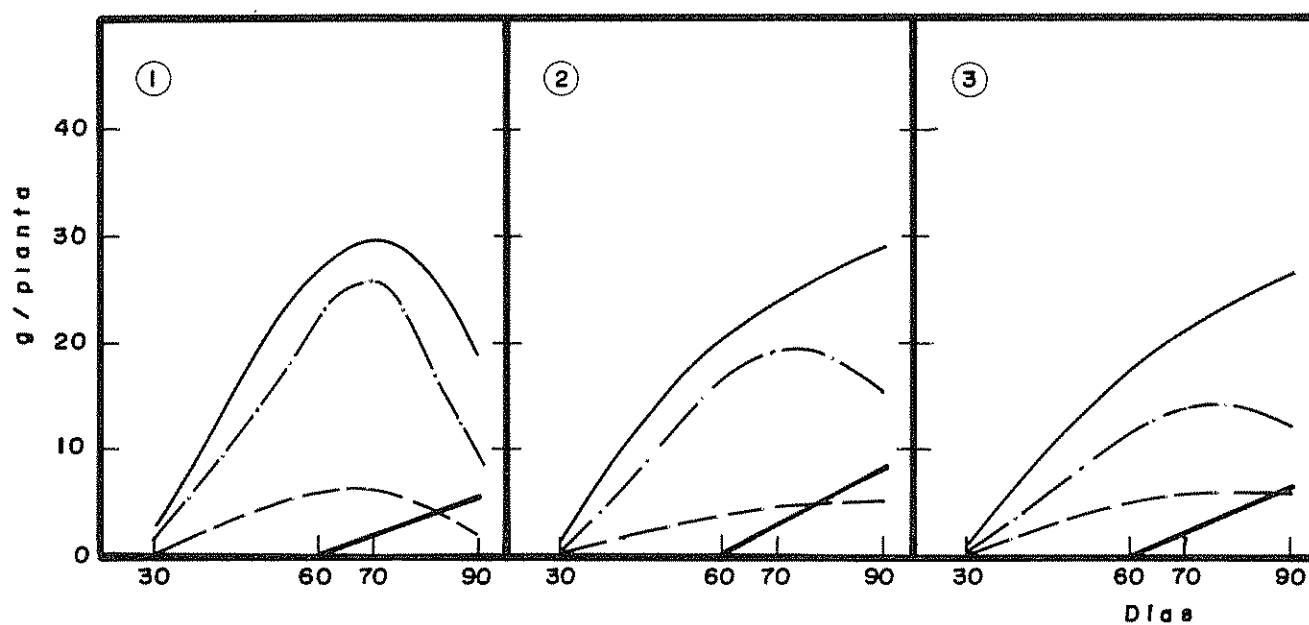


Fig 1 Marcha de acumulação de matéria seca total (—), folhas + hastes + vagens (- -), raízes (· · ·) e grãos (- · -) de soja nas doses 0 (1), 2 litros/ha (2) e 4 litros/ha (3) de trifluralina, na Terra Roxa Estruturada

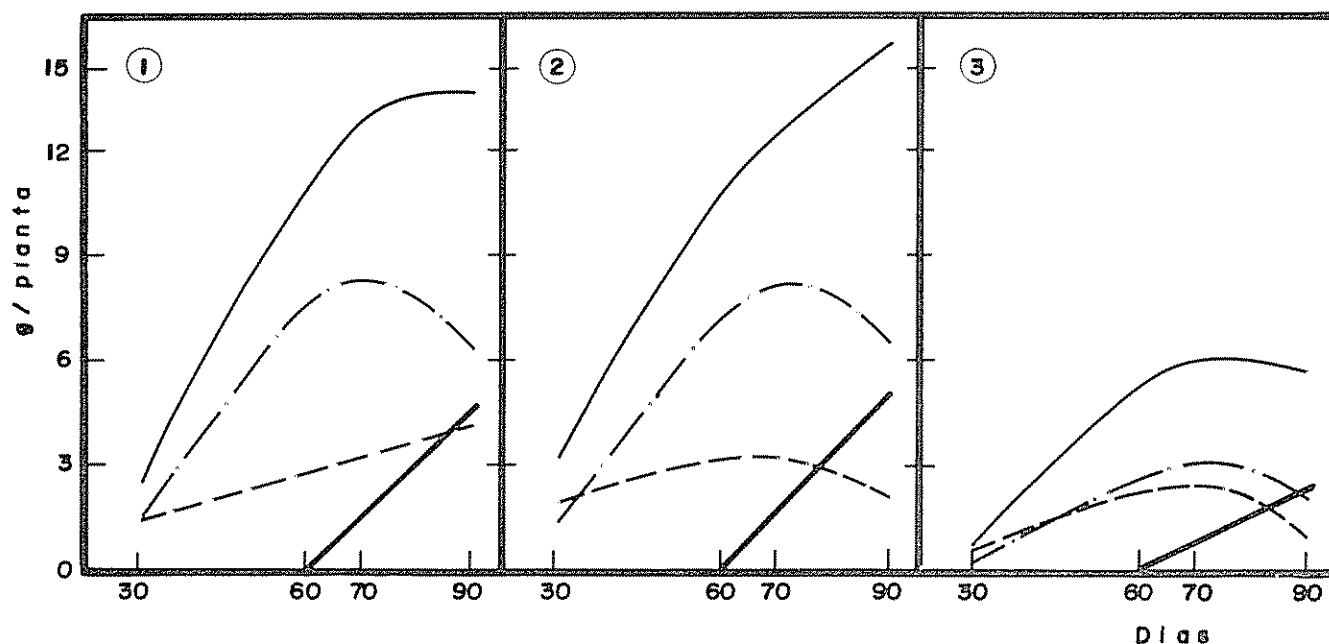


Fig. 2. Marcha de acumulação de matéria seca total (—), folhas + hastes + vagens (---), raízes (-·-·-) e grãos (—) de soja nas doses 0 (1), 2 litros/ha (2) e 4 litros/ha (3) de trifluralina, no Latossolo Vermelho Escuro-lase arenosa

neste caso, a acumulação de matéria seca nas folhas e hastes foram mais afetadas do que a acumulação de matéria seca nas raízes.

Kust e Struckmeyer (11), chegaram a resultados semelhantes, com plantas jovens de soja, e atribuíram o efeito a má formação do xilema, que pode ter reduzido a translocação de água e nutrientes para a parte aérea da planta. No caso da TE, como o efeito do herbicida sobre a planta foi em geral menor do que no LEa, teria havido tempo suficiente para uma recuperação, pelo menos parcial, da planta, ao passo que, no LEa, como os efeitos foram mais pronunciados, permaneceram por mais tempo

Fósforo

Os teores de fósforo determinados nas plantas de soja mostram-se levemente superiores aos encontrados na literatura (1).

O exame das Tabelas 4 e 5 mostra que os teores de fósforo das hastes e folhas foram diminuídos com a aplicação do herbicida, na primeira amostragem, embora o teor do nutriente nas raízes não tenha sido afetado. Estas diferenças desapareceram com o desenvolvimento das plantas

Foi levantada a possibilidade do efeito da trifluralina na absorção de fósforo ser devido à inibição do

crescimento do sistema radicular, e ainda a possibilidade de ocorrer uma competição entre a absorção de fósforo e trifluralina (3). Posteriormente foi relatado que o herbicida afeta de maneira diferente a absorção de fósforo e enxofre pela soja e este efeito foi explicado inferindo-se que a trifluralina afeta diversamente os sítios de absorção de cada nutriente (2).

No presente ensaio, como os teores de fósforo das raízes foram semelhantes, pode-se deduzir que não ocorreu uma inibição do processo de absorção do elemento. Desta maneira as concentrações do nutriente encontradas na parte aérea seriam devidas à má formação do sistema radicular, principalmente na primeira amostragem

Com relação às quantidades de fósforo absorvidas, de maneira geral, houve semelhança com os resultados obtidos para produção de matéria seca.

Nas figuras 3 e 4 encontram-se as marchas de absorção de fósforo nos dois solos estudados, em função das doses de 0, 2 e 4 litros/ha de trifluralina

Pela Figura 3 pode-se verificar que na TE, embora tenham ocorrido algumas diferenças nas quantidades, o padrão de absorção de fósforo, foi semelhante para todas as doses de herbicida

Tabela 4: Absorção de fósforo por planta de soja em função das doses de herbicida utilizadas, Terra Roxa Estruturada.

Dose de herbicida litros/ha	PARTE DA PLANTA			
	RAIZ	HASTES	FOLHAS	GRÃOS
1a amostragem				
0	0.12 a	0.20 ab	0.36 a	—
1	0.15 a	0.19 ab	0.34 a	—
2	0.14 a	0.21 a	0.34 a	—
3	0.12 a	0.17 bc	0.28 b	—
4	0.15 a	0.15 c	0.27 b	—
2a amostragem				
0	0.14 a	0.21 a	0.30 ab	—
1	0.13 a	0.21 a	0.30 ab	—
2	0.15 a	0.19 a	0.27 b	—
3	0.14 a	0.22 a	0.27 b	—
4	0.20 a	0.25 a	0.34 a	—
3a amostragem				
0	0.08 a	0.05 a	0.15 a	1.12 a
1	0.11 a	0.07 a	0.15 a	0.79 a
2	0.11 a	0.06 a	0.14 a	0.77 a
3	0.13 a	0.07 a	0.15 a	0.79 a
4	0.11 a	0.07 a	0.19 a	0.76 a

Tabela 5: Absorção de fósforo por planta de soja em função das doses de herbicida utilizadas, Latossolo Vermelho Escuro – fase arenosa.

Dose de herbicida litros/ha	PARTE DA PLANTA			
	RAIZ	HASTES	FOLHAS	GRÃOS
1a amostragem				
0	0.19 a	0.20 a	0.37 a	—
1	0.18 a	0.20 a	0.37 a	—
2	0.20 a	0.20 a	0.36 a	—
3	0.20 a	0.15 a	0.31 a	—
4	0.15 a	0.07 b	0.31 a	—
2a amostragem				
0	0.17 a	0.16 a	0.25 a	—
1	0.18 a	0.16 a	0.27 a	—
2	0.19 a	0.16 a	0.28 a	—
3	0.19 a	0.18 a	0.23 a	—
4	0.18 a	0.19 a	0.23 a	—
3a amostragem				
0	0.14 a	0.03 b	—	0.50 b
1	0.13 a	0.05 b	—	0.58 b
2	0.13 a	0.03 b	—	0.59 b
3	0.13 a	0.04 b	—	0.60 b
4	0.16 a	0.13 a	—	0.78 a

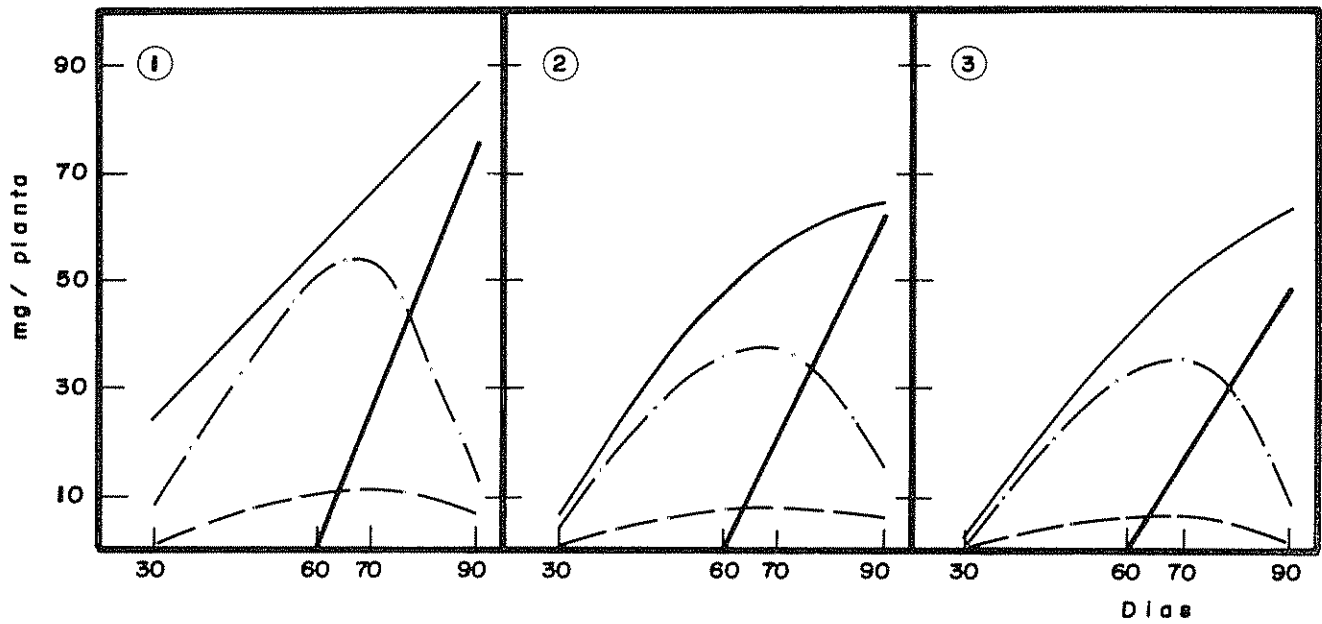


Fig. 3 Marcha de acumulação de fósforo total (—), folhas + hastes + vagens (---), raízes (· · ·) e grãos (- · -) de soja nas doses 0 (1), 2 litros/ha (2) e 4 litros/ha (3) de trifluralina, na Terra Roxa Estruturada.

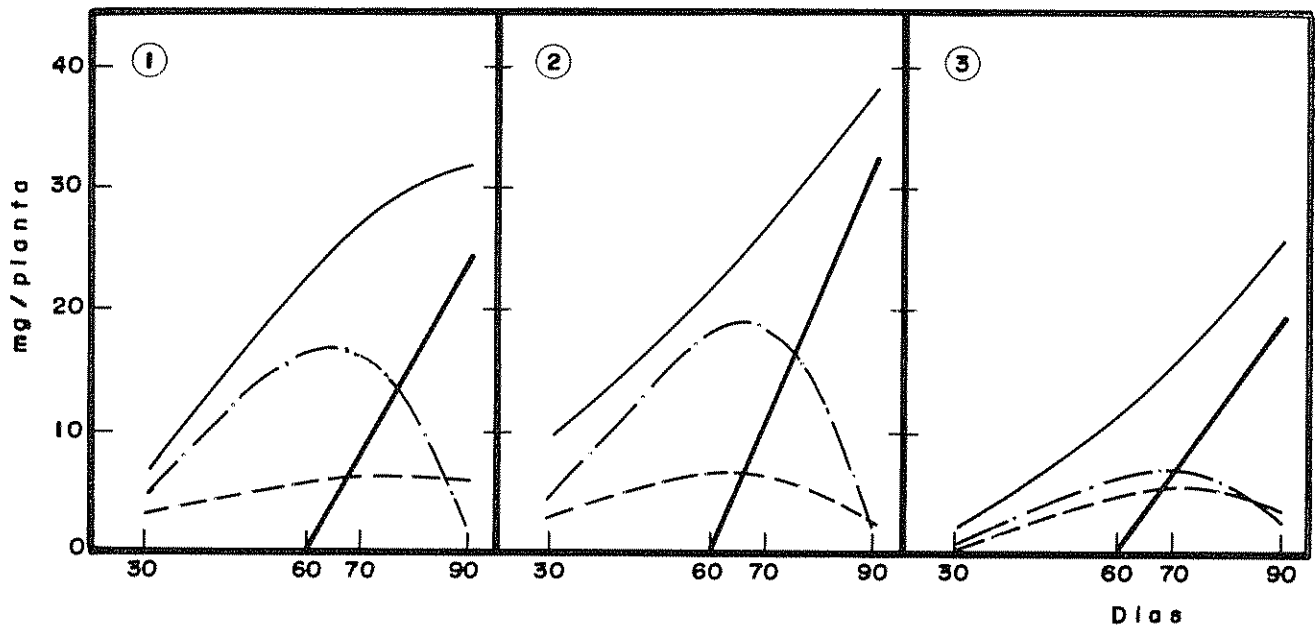


Fig. 4 Marcha de acumulação de fósforo total (—), folhas + hastes + vagens (---), raízes (· · ·) e grãos (- · -) de soja nas doses 0 (1), 2 litros/ha (2) e 4 litros/ha (3) de trifluralina, no Latossolo Vermelho Escuro-fase arenosa

No LEa as plantas que receberam herbicida apresentaram uma velocidade de absorção de fósforo menor que a testemunha nos estádios iniciais do crescimento, ao passo que nos estádios finais a velocidade

de absorção do nutriente foi aumentada em relação à testemunha. Estes resultados não acompanham aqueles obtidos para acumulação de matéria seca (Figura 2).

As curvas obtidas para quantidades de fósforo nas raízes e na parte aérea vegetativa da planta são semelhantes àquelas obtidas para acumulação de matéria seca nestas partes do vegetal. Este fato demonstra que o nutriente absorvido em maior velocidade no final do ciclo foi preferencialmente para os grãos. Desta forma, principalmente na dose maior do herbicida, a maior velocidade de absorção de fósforo estaria compensando, pelo menos em parte, a quantidade no nutriente que deveria estar acumulada na parte aérea vegetativa e seria translocada para os grãos.

A maior absorção do nutriente é possível nesta época uma vez que já existe uma grande parte do sistema radicular fora da camada do solo com herbicida, e portanto em condições de funcionamento normal, uma vez que foi demonstrado (3) que a absorção de fósforo fica seriamente prejudicada quando as raízes se desenvolvem e absorvem o nutriente em uma porção de solo em que existe trifluralina.

As diferenças ocorridas entre os resultados obtidos nos dois solos podem ser explicadas através dos teores de matéria orgânica, maiores na TE, que provavelmente adsorveu mais herbicida, levando a concentração ativa do produto a níveis que não foram suficientemente altos para alterar a absorção de fósforo neste solo.

Potássio

Embora tenha sido observada significância estatística em apenas dois casos, ocorreu uma tendência geral de concentração de potássio nas raízes de soja à medida que se aumentou as doses de herbicida por ocasião da segunda a terceira amostragens (Tabelas 6 e 7).

Com relação ao teor do nutriente nas hastes, pode-se observar pelas referidas tabelas que na época da segunda amostragem na TE e por ocasião da primeira amostragem no LEa o herbicida afetou adversalmente a absorção de potássio. Nas demais amostragens, para os dois solos, ocorreu uma tendência de concentração do nutriente.

Foi notado ainda um efeito depressivo da trifluralina, na dose de 4 litros/ha, nos teores de potássio das folhas de soja cultivada na TRE, por ocasião da terceira amostragem.

Estas alterações, em alguns casos, compensaram os resultados obtidos para acumulação de matéria seca em termos de quantidade do nutriente contido em cada parte da planta. Assim, quando se considera a quantidade de potássio absorvida pela soja na TE, terceira amostragem, houve uma resposta quadrática às

doses de herbicida aplicadas. A máxima absorção de potássio, neste caso, ocorreu quando as plantas foram cultivadas em presença da dose de 1.0 litros/ha de trifluralina. No LEa, embora sem significância em termos estatísticos, foi notada a mesma tendência.

Os teores de potássio nas plantas de soja do presente trabalho foram um pouco menores, de maneira geral, do que as encontrados na literatura (1).

Nas Figuras 5 e 6 encontram-se as marchas de absorção de potássio nos dois solos.

O efeito de aumento na velocidade de absorção nos estádios finais do ciclo da soja foi notado na TE (Figura 5), mas não no LEa (Figura 6).

No LEa a dose de 4 litros/ha afetou significativamente a quantidade do nutriente contida nos grãos, o que não aconteceu na TE. Desta forma, a hipótese dos teores de matéria orgânica dos solos poderia ser novamente lembrada, sendo que no LEa talvez não tenha havido tempo suficiente para a recuperação da absorção de potássio, uma vez que o teor do elemento neste solo era bem mais baixo do que na TE, não sendo suficiente para suprir a demanda pela planta. Deve ser considerado ainda que o fertilizante foi aplicado na mesma porção do solo que o herbicida.

Além do efeito do herbicida na absorção do potássio, parece ter ocorrido um efeito na translocação do nutriente na planta, com acúmulos nas hastes e raízes em alguns casos. Entretanto os teores do elemento encontrados tanto nas hastes como nas folhas, com exceção da terceira amostragem no LEa e da dose 4 litros/ha na terceira amostragem da TE, pode ser considerada normal (13).

Conclusões

- 1) Embora o herbicida tenha causado um atraso no desenvolvimento das plantas nos estádios iniciais de crescimento, depois que o sistema radicular se estabeleceu na camada de solo abaixo da faixa de aplicação de trifluralina foi notada uma recuperação da planta, sendo que foi necessária uma dose de herbicida 3.7 vezes maior do que a recomendada para que houvesse prejuízo em termos de produção de grãos.
- 2) O efeito aparente da trifluralina sobre as quantidades de P e K, absorvidas e sobre a translocação destes nutrientes nas plantas ocorreu principalmente através do efeito do herbicida na morfologia e anatomia do sistema radicular e consequentemente na produção de matéria seca das plantas.

Tabela 6: Absorção de potássio por planta de soja em função das doses de herbicida utilizados, Terra Roxa Estruturada.

Dose de herbicida litros/ha	TOTAL mg	PARTE DA PLANTA							
		RAIZ		HASTES		FOLHAS		GRÃOS	
		%	mg	%	mg	%	mg	%	mg
1a amostragem									
0	60.8 a	0.93 a	8.01 a	2.77 b	20.85 a	1.89 a	32.0 a		
1	43.0 a	1.04 a	5.82 a	3.49 ab		2.23 a	22.3 ab		
2	50.0 a	1.08 a	6.88 a	3.90 a	19.65 a	1.95 a	23.5 ab		
3	36.8 a	1.19 a	6.26 a	3.48 ab	13.13 a	2.26 a	17.5 ab		
4	29.8 a	0.97 a	4.87 a	3.91 a	10.97 a	2.01 a	14.0 b		
2a amostragem									
0	288.3 ab	0.85 b	53.33 a	1.14 b	89.4 b	1.34 a	144.9 a		
1	363.0 a	1.00 b	47.08 a	1.52 a	111.1 a	2.07 a	205.7 a		
2	236.0 b	1.01 ab	33.66 a	1.10 bc	67.1 c	1.49 a	135.6 a		
3	267.0 b	1.27 ab	46.10 a	0.93 bc	65.1 c	1.66 a	156.2 a		
4	205.0 b	1.65 a	53.48 a	0.81 c	35.1 d	1.74 a	117.1 a		
3a amostragem									
0	357.3 c	0.38 a	15.69 a	0.89 a	72.3 a	3.00 a	89.9 a	2.96 a	179.8 a
1	407.0 b	0.51 a	40.62 a	1.00 a	79.6 a	2.75 a	104.3 a	2.82 a	182.5 a
2	455.8 a	0.61 a	29.59 a	1.10 a	93.8 a	2.18 ab	112.2 a	2.72 a	221.9 a
3	399.5 b	0.43 a	24.63 a	1.15 a	88.3 a	2.07 ab	83.0 ab	2.81 a	203.9 a
4	370.8 c	0.59 a	36.68 a	1.38 a	97.8 a	1.61 b	54.6 b	2.77 a	182.0 a

Tabela 7: Absorção de potássio por planta de soja em função das doses de herbicida utilizadas, Latossolo Vermelho Escuro – fase arenosa.

Dose de herbicida litros/ha	TOTAL mg	PARTE DA PLANTA							
		RAIZ		HASTE		FOLHAS		GRÃOS	
		%	mg	%	mg	%	mg	%	mg
1a amostragem									
0	44.9 a	1.60 a	20.8 ab	1.46 ab	6.67 a	1.94 a	17.2 a	–	–
1	68.7 a	1.51 a	36.9 a	1.35 ab	8.58 a	1.98 a	23.2 a	–	–
2	59.4 a	1.79 a	30.3 a	1.52 ab	8.08 a	1.89 a	20.9 a	–	–
3	48.1 a	1.65 a	18.9 ab	1.78 a	8.75 a	2.08 a	20.2 a	–	–
4	9.7 b	1.08 a	3.7 b	0.78 b	0.58 b	1.87 a	5.3 b	–	–
2a amostragem									
0	150 a	1.40 a	55.7 a	0.97 a	28.8 a	1.44 a	65.3 a	–	–
1	134 a	1.12 a	46.1 a	0.87 a	27.8 a	1.27 a	59.8 a	–	–
2	147 a	1.56 a	57.4 a	0.92 a	28.0 a	1.48 a	69.5 a	–	–
3	149 a	1.55 a	57.3 a	1.05 a	27.8 a	1.50 a	64.3 a	–	–
4	79 b	1.74 a	43.8 a	1.12 a	12.8 b	1.17 a	22.5 b	–	–
3a amostragem									
0	106 a	0.12 b	4.42 a	0.34 b	20.8 b	–	–	1.64 a	80.4 a
1	130 a	0.12 b	4.17 a	0.47 b	34.5 a	–	–	1.73 a	90.7 a
2	128 a	0.12 b	2.67 a	0.46 b	32.5 a	–	–	1.70 a	93.1 a
3	126 a	0.16 b	2.75 a	0.48 b	29.1 ab	–	–	1.82 a	93.3 a

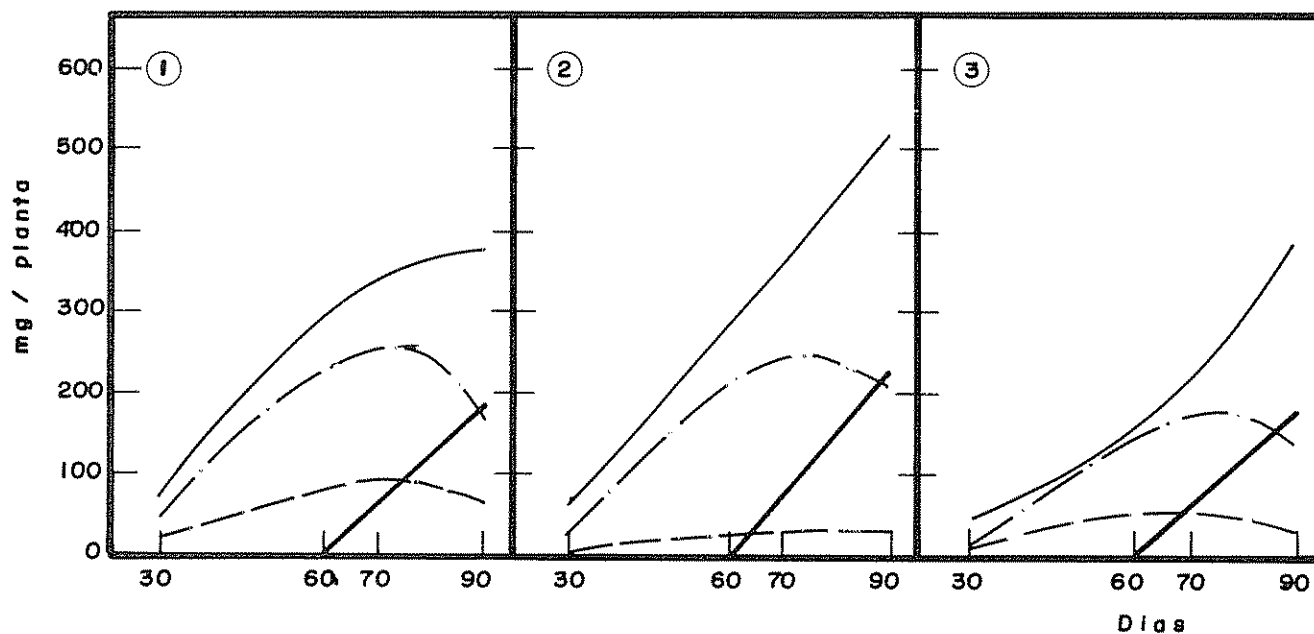


Fig 5 Marcha de acumulação de potássio total (—), folhas + hastes + vagens (---), raiz (....) e grãos (-.-) de soja nas doses 0 (1), 2 litros/ha (2) e 4 litros/ha (3) de trifluralina, na Terra Roxa Estruturada

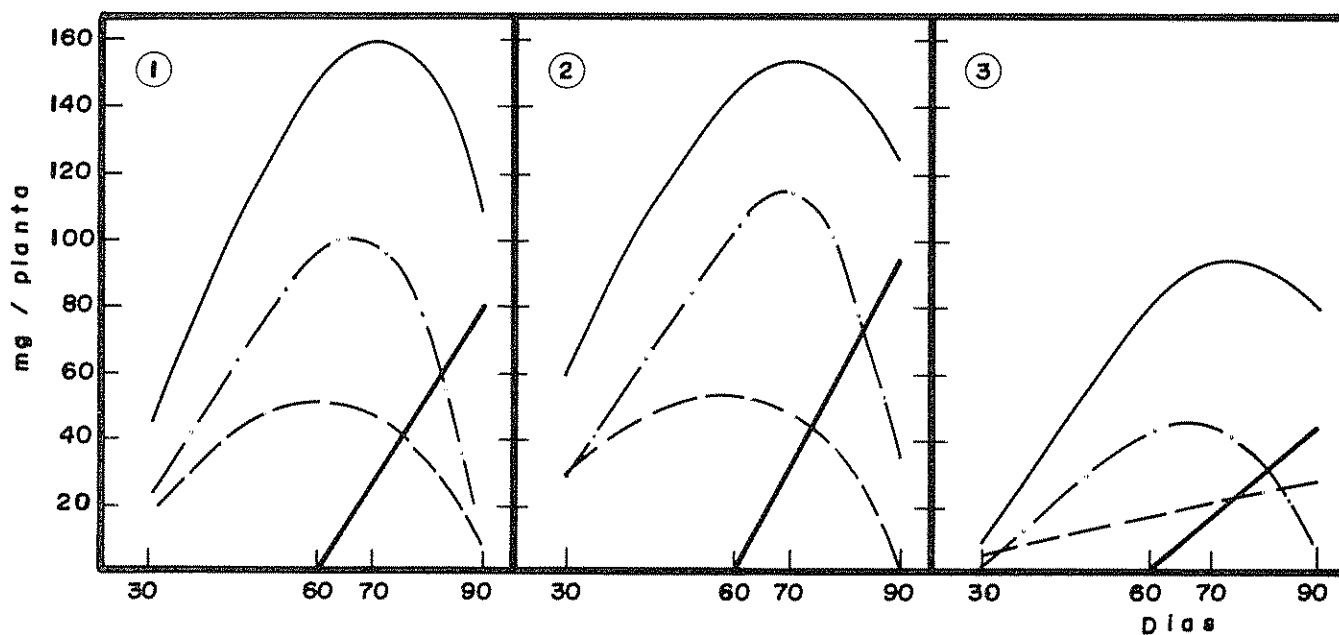


Fig 6 Marcha de acumulação de potássio total (—), folhas + hastes + vagens (---), raízes (....) e grãos (-.-) de soja nas doses 0 (1), 2 litros/ha (2) e 4 litros/ha (3) de trifluralina, no Latossolo Vermelho Escuro-fase arenosa

Resumo

Com o objetivo de estudar o efeito da trifluralina sobre o crescimento e absorção de fósforo e potássio pela soja (*Glycine max* (L.) Merrill, cv. Paraná),

foram conduzidos ensaios em vasos com terra, em dois solos, um Latossolo Vermelho Escurofase arenosa (LEa) e uma Terra Roxa Estruturada (TE). O herbicida foi aplicado nas doses de 0, 1, 2, 3 e 4 litros/ha de trifluralina (p.c), sendo incorporado a uma pro-

fundidade de 8 cm. Nas plantas de soja colhidas aos 30, 60 e 90 dias após a emergência foi avaliada a produção de matéria seca e a absorção de P e K. Os resultados permitiram concluir que a aplicação de uma dose de herbicida 3,7 vezes maior do que a recomendada prejudicou a produção de grãos, embora não tenham sido encontradas evidências de um efeito direto do herbicida sobre a absorção de P e K. As plantas tratadas com herbicida revelaram um atraso em seu desenvolvimento, que se refletiu no padrão de acumulação de fósforo e potássio.

Literatura citada

- BATAGLIA, O.C. e MASCARENHAS, H.A.A. Absorção de nutrientes pela soja. Inst. Agron. Campinas, Campinas. Boletim Técnico No. 41. 1977. 36 p.
- BUCHOLTZ, D.L. & LAVY, T.L. Alachlor and Trifluralin effects on nutrient uptake on Oats and Soybeans. *Agronomy Journal*, 71 (1): 24-27. 1979.
- CATHEY, G.W. and SABBE, W.E. Effects of trifluralin on fertilizer phosphorus uptake patterns by cotton and soybean seedlings. *Agronomy Journal* 64 (2): 254-255. 1972.
- CHEBOTAR, N.I. The influence of herbicides on the interactions between nodule bacteria and soybean plants in a northern zone of the Moldavian SSR. *Byulleten 'Use soyuaonogo, Nanchno-Issledova tel 'skgo Instituta Sel' skokhozyanstvennei Mikrobiologii*. 32:99-100. 1979.
- COMISSÃO DE SOLOS. Levantamento de reconhecimento dos solos do Estado de São Paulo. Ministério da Agricultura, Brasil, Rio de Janeiro, Boletim No. 12. 1960. 634 p.
- COVOLO, L. e PULVER, E.L. Influence of various herbicides on growth and nitrogen fixation. In: Congresso Associação Latino Americana de Malezas, III, 1976. *Trabajos e Resúmenes*, 1976. 5:199-198.
- DEUBER, R. Influência do EPCT na absorção e no teor de macronutrientes na cultura do feijão (*Phaseolus vulgaris* L. var. Carioca). Dissertação. Piracicaba, ESALQ, USP, 1976. 107 p.
- DEUBER, R. e HIROCE, R. Influência de herbicidas na concentração de macronutrientes em plantas de milho e feijão. *Bragantia*, 33: 115-121, Nota 23. 1974.
- ESPINDOLA, C.R., TOSIN, W.A.C. e PACOLA, A.A. Levantamento pedológico da fazenda experimental São Manoel. In: Congresso Brasileiro de Ciência do Solo. Santa Maria. Anais. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, Santa Maria, 1974. p. 650-651.
- GIARDINI, A.R., LOPES, E.S. e DEUBER, R. Influência de herbicidas na nodulação da soja (*Glycine max* L. Merr.). *Planta Daninha*, 2(1): 21-32, 1979.
- KUST, C.A. e STRUCKMEYER, E. Effects of trifluralin on growth, nodulation and anatomy of soybeans. *Weed science* 19:(2): 147-152. 1971.
- PARAMENSKAYA, L.N., SAMOSHKIN, V.I., TOLKACHEV, N.Z. The influence of treflan on the soybean-nodular bacteria symbiosis. *Bulleten 'Use soyuenogo, Nanchno-Issle dova tel's kogo, Instituta Sel 'skokho zyaistvennoi Milkrobiology*. 32:97-98. 1979.
- ROSOLEM, C.A. Nutrição mineral e adubação da soja. Institutos da Potassa (EUA e Suíça), Programa Comum no Brasil, Piracicaba. Bol. Técnico No. 6. 1980, 80 p.
- VON HERTWIG, K. Manual de herbicidas, desfolhantes, dessecantes e fitoreguladores. Ed. Agron. Ceres, São Paulo. 1977. 480 p.
- WILSON, H.P. e STEWART, F.B. Relationship between trifluralin and phosphorus on transplanted tomatoes. *Weed Science*, 31 (2):150-153. 1973.
- ZAGATTO, E.A.G. Utilização da análise por ativação neutrônica não destrutiva para determinação de alguns elementos em folhas de feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.) tratados com herbicidas. Dissertação, Piracicaba, ESALQ-USP, 1974. 79 p.

Notas y comentarios

Publicación periódica que desaparece

La revista semestral inglesa, *Tropical Stored Products Information*, iniciada en 1960, ha anunciado su propio deceso en 1984, como uno de los órganos del Tropical Products Institute, de la Gran Bretaña, el que recientemente ha cambiado su nombre a Tropical Development and Research Institute (TDRI). Los números 49 y 50, aparecidos en 1984, han sido los últimos de esta publicación periódica.

La revista ha sido incorporada ahora a *Tropical Science*, la antigua publicación del TDRI (nació en 1906), que a su vez será ahora publicada por la empresa comercial Blackwell Scientific Publications Ltd, desde el volumen 25 que está programado para 1985. Será incorporada en la medida en que se incluyan en *Tropical Science* artículos sobre almacenamiento de productos agrícolas durables, pero la sección de "Selected Abstracts", una parte permanente del *TSPI*, no se presentará más. Por otra parte, el TDRI continuará con sus informes y publicaciones técnicas no seriadas.

Estos cambios son consecuencia de la política de reducción del gasto público en que ha estado empeñado el gobierno de la Sra. Thatcher. Esta política ha

afectado a varios organismos científicos y técnicos, que producían publicaciones que engrosaban las colecciones de nuestras bibliotecas agrícolas, ya que sus editores las suministraban gratuitamente a instituciones y organismos de países tropicales en desarrollo.

En lo que se refiere a los compendios de la sección "Selected Abstracts", los editores recomiendan consultar, en su lugar, la *Review of Applied Entomology, Series A*, publicada mensualmente por los Commonwealth Agricultural Bureaux (CAB) y la nueva revista trimestral del mismo CAB, *International Biodeterioration*, la que incluirá compendios.

Una reflexión que nos corresponde hacer a los usuarios y documentalistas de literatura científica se puede derivar del origen de esta supresión, tal como lo relata el editor de *TSPI*, J.A. McFarlane. En la revisión del programa de publicaciones de varios organismos oficiales, la encuesta referente a esta revista rindió un porcentaje muy bajo de respuestas. Los lectores que llenaron y devolvieron el cuestionario, en su gran mayoría aprobaron la revista y la consideraron como una importante fuente de información. Sin embargo, aunque se distribuyeron unas 4 000 copias de la revista, la respuesta total llegó a poco más de 200 lectores. La moraleja que se desprende de esto es que, como lectores debemos procurar salvar estas publicaciones oficiales, que muchas bibliotecas de nuestros países reciben gratuitamente. Los documentalistas podrían urgir a los lectores a enviar respuestas favorables, venciendo una natural inercia, que muchos hemos experimentado en casos similares y que busca como pretexto para no escribir, el que la opinión de uno no va a afectar el resultado de una encuesta determinada. Adalberto Gorbitz.

M. J. PEDRO JUNIOR*, H' A A MASCARENHAS**, O TISSELI FILHO**, L.R. ANGELOCCI***

Summary

Dry matter weight and leaf area were measured for three soybean cultivars (early, intermediate and late cycles) in order to make growth analyses.

The time variation of dry weight and leaf area were conveniently described by exponential equations of the second degree.

The maximum estimated dry matter weight were 750, 950 and 1 400 g/m² for the cultivars Paraná, Santa Rosa and UFV-1, whereas the maximum leaf area index were 6.5, 6.8 and 7.3 and the maximum crop growth ratio values were 17, 18 and 23 g/m²/dia for Paraná, Santa Rosa and UFV-1. The harvesting index varied between 0.4 and 0.5 for the three cultivars

Introdução

O conhecimento da influência dos diferentes fatores no tempo e na taxa de acúmulo de matéria seca nas diferentes partes de qualquer cultura é imprescindível para o desenvolvimento de melhores cultivares e aumento de produtividade.

A análise quantitativa do crescimento é normalmente usada para análise da produção primária das culturas. Watson (13) fez uma revisão sobre as técnicas tradicionais de análise de crescimento e Radford (11) analisou as fórmulas, sua derivação e as condições necessárias para sua utilização, além de apresentar metodologia que envolve a descrição matemática da relação entre peso seco e da área foliar com o tempo, para cálculo de valores instantâneos dos parâmetros de crescimento.

Vários estudos tem sido feito sobre a curva de crescimento de soja. Hammond e Kirkham (6) estudaram o crescimento exponencial setorizado (3 segmentos) de quatro cultivares de soja. Buttery (3) descreveu matematicamente o acúmulo de matéria seca e incremento de área foliar sob a influência de diferentes populações de plantas. Koller *et al.* (8) testou vários tipos de função e optou pela polinomial para descrever o crescimento de uma comunidade de soja. Hanway e Weber (7) analisou o acúmulo de matéria seca em oito cultivares para cálculo das taxas de aumento.

O objetivo do trabalho foi estudar, através da análise de crescimento, utilizando-se funções matemáticas, o comportamento de cultivares de soja de ciclo precoce, médio e tardio.

Materiais e métodos

O experimento foi conduzido no Centro Experimental de Campinas, do Instituto Agronômico de Estado de São Paulo. Os cultivares utilizados foram: Paraná (ciclo precoce), Santa Rosa (ciclo médio) e UFV-1 (ciclo tardio). O plantio foi, em 17/11/76, com espaçamento de 0,60 m entre linhas e com o seguinte número de plantas médio por metro linear: 14, 15 e 11, respectivamente, para Paraná, Santa Rosa e UFV-1.

¹ Recebido para publicação em 27 abril, 1984.

* Seção de Climatologia Agrícola – Instituto Agronômico – CP 28-13 100 – Campinas, São Paulo, Brasil (Bolsista CNPq).

** Seção de Leguminosas – Instituto Agronômico – CP 28 – 13 100 Campinas, São Paulo, Brasil (Bolsista do CNPq).

*** Departamento de Física e Meteorologia da Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” da USP 13 400 – Piracicaba São Paulo, Brasil.

A determinação do acúmulo de matéria seca e área foliar foi feita através de amostragens espaçadas de 7 dias, quando era coletada a parte aérea de 4 parcelas de 0.50 m de comprimento por amostragem. A planta foi separada nas seguintes partes: haste, folha, vagem e sementes. Não foi colhido o material que se cava por senescência (folhas). O peso seco foi medido após deixar o material colhido, por mais de 72 horas a 70°C, em estufa, e a área foliar foi determinada com medidor Hayashi-Denko.

Na análise de crescimento das comunidades vegetais utilizou-se a unidade de área de terreno como base para expressar o peso seco e a área foliar.

O método clássico de Watson (13) foi utilizado para determinar os valores médios dos diferentes índices, e envolveram cálculos da variação nas taxas médias do peso seco (P_1 e P_2) e área foliar (ℓ_1 e ℓ_2), observadas em duas datas de amostragem (t_1 e t_2), como se segue:

Taxa de assimilação líquida (TAL)

$$\overline{TAL} = (P_2 - P_1) (L_n \ell_2 - L_n \ell_1) / (t_2 - t_1) (\ell_2 - \ell_1) \quad (1)$$

Taxa de crescimento relativo médio (TCR)

$$\overline{TCR} = L_n P_2 - L_n P_1 / (t_2 - t_1) \quad (2)$$

Taxa de crescimento relativo foliar médio (TCRF)

$$TCRF = (L_n \ell_2 - L_n \ell_1) / (t_2 - t_1) \quad (3)$$

Taxa de crescimento da cultura médio (TCC)

$$\overline{TCC} = (P_2 - P_1) / (t_2 - t_1) \quad (4)$$

Várias funções matemáticas tem sido apresentadas para descrever a variação do incremento do peso seco e da área foliar com o tempo: polinomial de Koller *et al* (8); regressão simples de Hanway e Weber (7); logística de Machado *et al* (9). No presente trabalho optou-se pelas equações exponenciais como utilizadas por Buttery (3):

$$P = \text{Exp} [a + bt - c t^2] \quad (5)$$

$$\ell = \text{Exp} [a_1 + b_1 t + c_1 t^2] \quad (6)$$

onde P é o peso seco por m² de área (g/m²); ℓ é a área foliar (m²/m²); t é o tempo após o plantio (dias) e a, b, c, a₁, b₁, c₁ são constantes.

Utilizando-se as equações (5) e (6) a estimativa de valores instantâneos pode ser obtida por:

$$TAL = (b+2 c t) \text{Exp} [(a-a_1) + (b-b_1) t + (c-c_1) t^2] \quad (7)$$

$$TCR = b + 2 c t \quad (8)$$

$$TCRF = b_1 + 2 c_1 t \quad (9)$$

$$TCC = k (b + 2 c t) \text{Exp} [a + bt + c t^2] \quad (10)$$

$$IAF = k \text{Exp} [a_1 + b_1 t + c_1 t^2] \quad (11)$$

onde k é um fator de conversão de unidades.

Os valores das constantes a, b, c, a₁, b₁, c₁ foram calculados através do ajuste dos dados à forma logarítmica usando-se um programa de regressão pelo método dos quadrados mínimos.

Resultados e discussão

Durante o desenvolvimento da cultura ocorreu período sem chuvas dos 77 aos 96 dias após o plantio (Figura 1). Isto contribuiu para um decréscimo no acúmulo de matéria seca, que foi rapidamente compensado após as primeiras chuvas.

Utilizando-se os dados de peso seco (P) e área foliar (ℓ) foram calculadas equações de regressão do $L_n P$ e do $L_n \ell$ contra o tempo. Os valores dos coeficientes encontram-se no Quadro 1.

Os valores dos coeficientes de determinação (R^2) foram todos superiores a 0.96 tanto para $L_n P$ como $L_n \ell$.

A variação do peso seco é mostrada na Figura 2, através de valores médios e estimados pela equação exponencial (curvas). O peso seco máximo estimado ocorreu aos 95, 110 e 130 dias após o plantio, respec-

Quadro 1. Valores dos coeficientes das equações (5) e (6) de estimativa de peso seco e área foliar para diferentes cultivares de soja.

Cultivar	Peso seco (g/m ²)			Área foliar (m ² /m ²)		
	a	b	c	a ₁	b ₁	c ₁
Paraná	0.527	0.1293	-0.000685	-3.115	0.1289	-0.000835
Santa Rosa	1.132	0.1018	-0.000453	-2.848	0.1127	-0.000658
UFV-1	1.125	0.0922	-0.000352	-2.765	0.1087	-0.000631

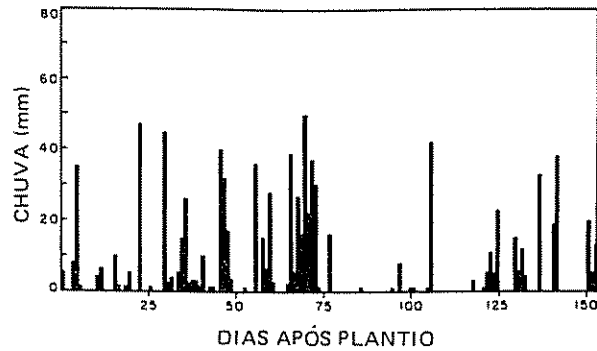


Fig. 1. Valores diários da precipitação pluvial no Centro Experimental de Campinas. Data de plantio da soja 17/11/76.

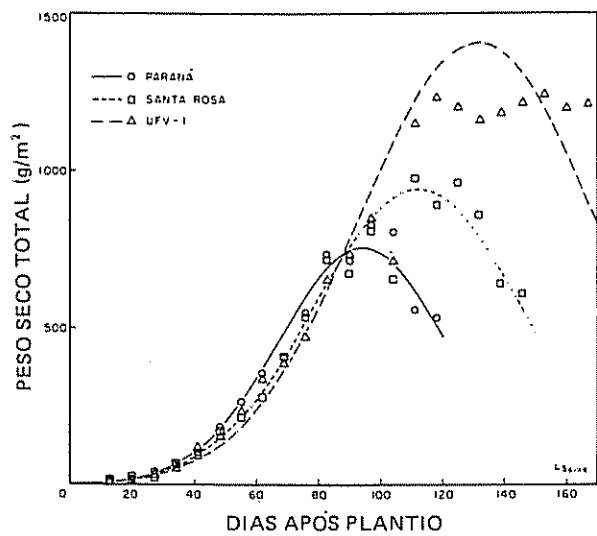


Fig. 2. Acúmulo de matéria seca nos cultivares de soja Paraná, Santa Rosa e UFV-1.

tivamente, para os cultivares de ciclo precoce, médio e longo. A distribuição dos pontos de amostragem é bastante uniforme até os 80 dias, tendo sido encontrada maior variação a partir desta data. Fato este comum, na maioria dos trabalhos de análise de crescimento. Houve uma diferença na produção máxima de matéria seca (g/m^2) estimada entre os cultivares: 750 (Paraná), 950 (Santa Rosa) e 1 400 (UFV-1). Pela Figura 2, nota-se que a estimativa para a UFV-1 foi elevada, em relação aos valores medidos (em torno de $1\ 250\ g/m^2$). Isto deve-se ao fato de que a UFV-1, retém as folhas por mais tempo, tendendo a ter uma assintota após a época de máxima produção de matéria seca. Para o cultivar Santa Rosa, Bataglia *et al.* (1) obtiveram um máximo de acúmulo de matéria ($563,2\ g/m^2$) aos 90 dias após a germinação, ainda Bataglia e Mascarenhas (2), em média de 3 anos, obtiveram aproximadamente $550\ g/m^2$. Para cultivar de ciclo

tardio (Pelicano) Mascarenhas (10) obteve $1\ 600\ g/m^2$ de produção de matéria seca. Apesar do cultivar Pelicano ser de hábito indeterminado a matéria seca total coincidiu com os valores obtidos para UFV-1.

A maior variabilidade dos dados medidos de matéria seca, contribuiu para uma dispersão valores calculados de taxa de crescimento da cultura (Figura 3). A TCC do cultivar Paraná, inicialmente, foi superior à dos cultivares Santa Rosa e UFV-1. Os valores máximos da TCC ($g/m^2/dia$) foram de 17, 18 e 23 respectivamente para Paraná, Santa Rosa e UFV-1. Estes valores são coerentes com os apresentados por Buttery (3) e Buttery (4), que estão em torno de $16\ g/m^2/dia$.

Nas Figuras 4a e 4b estão representados valores médios e estimados da TCR e TCRF. Ocorreu pequena diferença entre as TCRF dos cultivares Santa Rosa e UFV-1. Apenas, notou-se que o cultivar Paraná apresentou uma maior TCRF no início, mostrando que o acúmulo de matéria seca, nas folhas dos cultivares de ciclo precoce, é mais intenso nos primeiros 50 dias após o plantio; o mesmo aconteceu com a TCR (Figura 4a).

Os índices máximos estimados de área foliar foram 6,5; 6, 8 e 7,3, respectivamente, para Paraná, Santa Rosa e UFV-1 (Figura 5a). Estes valores são comparáveis aos máximos para soja (5 a 8), citados por Shibles *et al.* (12). Ocorreu considerável variabilidade entre os valores medidos e estimados (curva) depois dos 80 dias após ao plantio.

A taxa de assimilação líquida (TAL), sendo o resultado do balanço entre a matéria seca produzida pela fotossíntese e aquela perdida através da respiração, torna difícil a identificação de qual processo mais

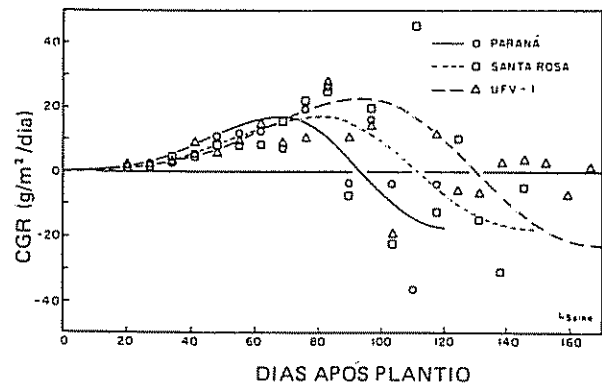


Fig. 3. Variação da taxa de crescimento da cultura (TCC) para os cultivares de soja Paraná, Santa Rosa e UFV-1.

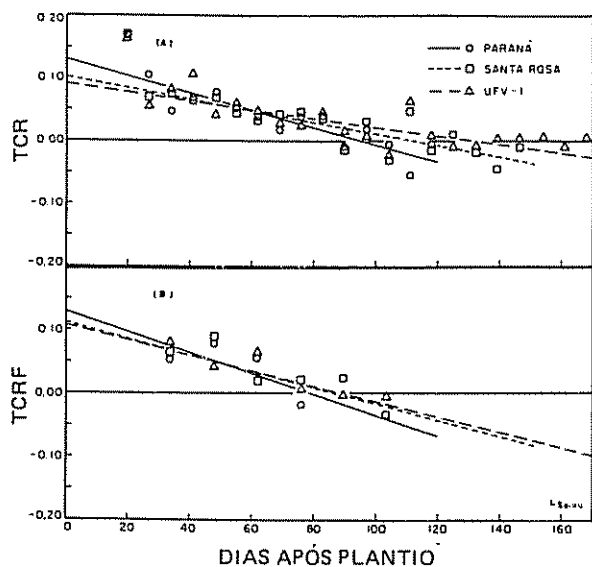


Fig. 4. Variação da taxa de crescimento relativo (TCR) (a) e da taxa de crescimento relativo da folha (TCRF) (b) para os cultivares de soja Paraná, Santa Rosa e UFV-1.

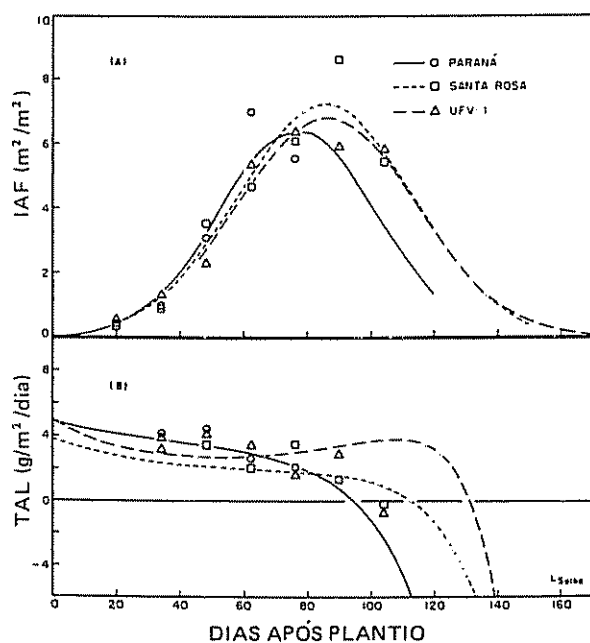


Fig. 5. Índice de área foliar (IAF) (a) e taxa de assimilação líquida (TAL) (b) para os cultivares de soja Paraná, Santa Rosa e UFV-1.

afeta a TAL num determinado instante (9). Os valores estimados da TAL (Figura 5b) foram maiores ($3.5 \text{ g/m}^2/\text{dia}$) para o cultivar Paraná até os 65 dias após o plantio, seguidos dos valores dos cultivares UFV-1 ($3.0 \text{ g/m}^2/\text{dia}$) e Santa Rosa ($2.0 \text{ g/m}^2/\text{dia}$). Para o UFV-1 os valores de TAL mantiveram-se constantes

por volta dos 50 dias após o plantio, para aumentarem até os 110 dias ($3.8 \text{ g/m}^2/\text{dia}$). O cultivar de ciclo curto (Paraná) apresentou uma diminuição constante do valor de TAL, até os 80 dias, após, o decréscimo foi maior, pela perda de matéria seca devido à queda das folhas.

Nas Figuras 6, 7 e 8 são apresentados os valores relativos do peso das folhas da haste, das vagens e das sementes com o peso seco total. Após os 25 dias após o plantio aproximadamente 70 a 80% da matéria seca da parte aérea das plantas se concentrava nas folhas e os restantes 20 a 30% na haste. Após o florescimento, de 70-80 dias (Paraná), 80-90 dias (Santa Rosa) e 90-100 dias (UFV-1) a vagem desenvolveu-se rapidamente e a contribuição da haste passou a ser em torno de 40% para Paraná, 45% para Santa Rosa e UFV-1. Para todos os cultivares o incremento do pe-

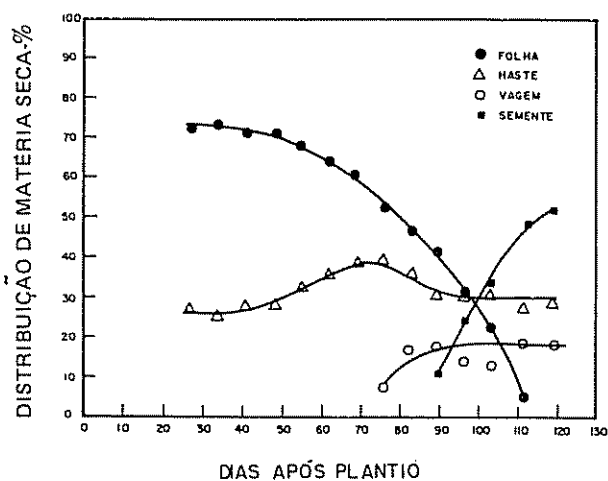


Fig. 6. Distribuição relativa sazonal da matéria seca em soja cv. Paraná.

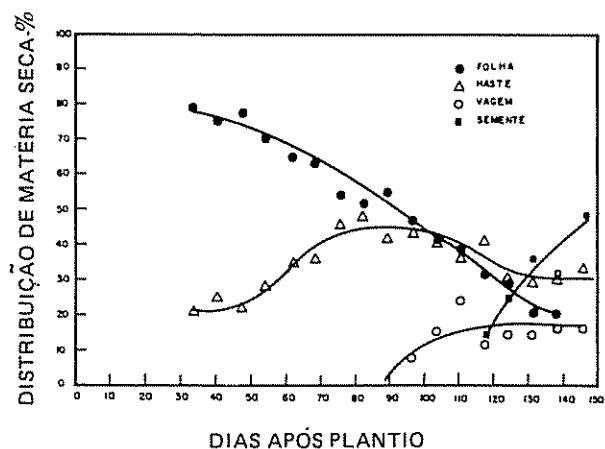


Fig. 7. Distribuição relativa sazonal da matéria seca em soja cv. Santa Rosa.

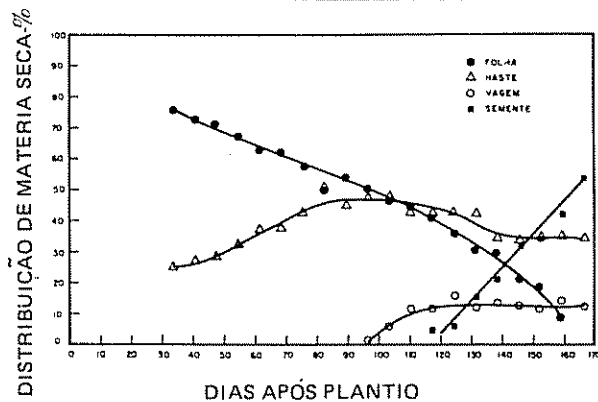


Fig. 8. Distribuição relativa sazonal da matéria seca em soja cv UFV-1.

so seco da semente passou a predominar até o fim do ciclo e a relação peso seco de semente/peso seco total, isto é o índice de colheita, esteve ao redor de 0.40 a 0.50 para os três cultivares. Esses valores são semelhantes os obtidos por Colasante e Costa (5) que obtiveram para Paraná -0.45 e para Santa Rosa 0.43.

Pelos dados expostos pode-se observar que funções matemáticas podem ser utilizadas para descrever o acúmulo de matéria seca e área foliar, facilitando a visualização da tendência da evolução dos índices da análise de crescimento, contornando o problema de dispersão de pontos encontrados pela variabilidade normalmente existente entre as amostragens de peso seco e área foliar.

Resumo

Dados de peso seco e área foliar de três cultivares de soja (ciclos precoce, médio e longo) foram utilizados para se efetuar a análise de crescimento. A variação temporal do logaritmo do peso seco e da área foliar foi convenientemente descrita por equações exponenciais de segundo grau.

A produção máxima de matéria seca estimada foi de 750, 950 e 1 400 g/m² para os cultivares Paraná, Santa Rosa e UFV-1. Enquanto os índices de área foliar máximos foram, respectivamente, de 6.5; 6,8 e 7.3. Os valores máximos da taxa de crescimento da cultura (g/m²/dia) foi de 17, 18 e 23 g/m²/dia, para Paraná, Santa Rosa e UFV-1. O índice de colheita variou ao redor de 0.4 a 0.5 para os três cultivares.

Literatura citada

1. BATAGLIA, O.C., MASCARENHAS, H.A.A., TEXEIRA, J.P.F. e TISSELI FILHO, O. Acúmulo de matéria seca e nutrientes, em soja cultivar Santa Rosa. *Bragantia* 35:237-247. 1976.

2. BATAGLIA, O.C. e MASCARENHAS, H.A.A. Absorção de nutrientes pela soja. Campinas Instituto Agronômico. Boletim Técnico No. 41, 1977. 36 p.
3. BUTTERY, B.R. Analysis of the growth of soybeans as affected by plant population and fertilizer. *Canadian Journal of Plant Science* 49: 675-684. 1969.
4. BUTTERY, B.R. Effects of variation in leaf area index on the growth of maize and soybeans. *Crop* 10:9-13. 1970.
5. COLASANTE, L.O. e COSTA, J.A. Índice de colheita e rendimento biológico, na comparação da eficiência de variedades de soja. *Pesquisa Agropecuária Brasileira* 16(2):225-230. 1981.
6. HAMMOND, L.C. e KIRKHAM, D. Growth curves of soybeans and corn. *Journal of the American Society Agronomy*. 41:23-29. 1949.
7. HANWAY, J.J. e WEBER, C.R. Dry matter accumulation in eight soybean (*Glycine max* (L.) Merrill) varieties. *Agronomy Journal* 63: 227-230. 1971.
8. KOLLER, H.R., NYQUIST, W.E. and CHORUSH, I.S. Growth analysis of the soybean community. *Crop Science* 10:407-412. 1970.
9. MACHADO, E.C., PEREIRA, A.R., FAHL, J.I., ARRUDA, H.V., SILVA, W.J., TEIXEIRA, J. P.F. Análise quantitativa de crescimento de quatro variedades de milho em três densidades. *Pesquisa Agropecuária Brasileira* 17(6): 825-833. 1982.
10. MASCARENHAS, H.A.A. Acúmulo de matéria seca, absorção e distribuição de elementos, durante o ciclo vegetativo da soja. Campinas, Instituto Agronômico. Boletim Técnico No. 6. 1973 48 p.
11. RADFORD, P.J. Growth analysis formulae - their use and abuse. *Crop Science* 7:171-175. 1967.
12. SHIBLES, R., ANDERSON, I.C. ed e GIBSON, A. H. Soybean. In L.T. Evans *Crop Physiology*. pp. 151-189. 1978.
13. WATSON, D.J. The physiological basis of variation in yield. *Advance Agronomy* 4:101-145. 1952.

Reseña de libros

GREAVES, A. (Cop.) *Acacia nilotica*. Reino Unido, Commonwealth Agricultural Bureaux. Annotated Bibliography No. F36. 1984. 137 p. (incluye publicaciones de 1869 a 1982).

GREAVES, A. (Cop.) *Acacia tortilis*. Reino Unido, Commonwealth Agricultural Bureaux. Annotated Bibliography No. F37. 1984 p. (incluye publicaciones de 1925 a 1982).

Estas dos bibliografías sobre especies de *Acacia* (Leguminosae) de importancia para las zonas áridas y semiáridas del mundo es una buena muestra de la labor que lleva a cabo en el campo de la información para las ciencias agrícolas y forestales el "Commonwealth Agricultural Bureaux" (CAB) del gobierno del Reino Unido. La información fue recopilada por el Departamento de Agricultura y Ciencias Forestales del Instituto Forestal de la Comunidad Británica. Este instituto ha preparado hasta la fecha un total de 37 bibliografías de interés para los especialistas en ciencias forestales, con bastante énfasis en aspectos tropicales.

Las dos bibliografías analizadas en este compendio no sólo incluyen la referencia de cada publicación, sino que presentan también un resumen del contenido de cada una de ellas. El material bibliográfico

está organizado de la manera siguiente: Taxonomía, nomenclatura y distribución natural de la especie. Distribución, descripción y ecología. Silvicultura y manejo. Fisiología. Crecimiento y productividad. Enfermedades y plagas. Combate de malezas. Propiedades de la madera. Características químicas. Utilización.

Este centro de información recopila los artículos contenidos en unas 8 000 revistas de diferentes regiones del mundo y prepara con este material unos 150 000 compendios por año, que publica en revistas de información bibliográfica. Además prepara colecciones de compendios sobre temas especializados, con base en la información de su banco de datos, o como en el caso particular de estas dos especies de *Acacia*, fundamentada adicionalmente en referencias obtenidas exprofeso. Entre los temas que se han cubierto en estas bibliografías especializadas, además de diversas especies forestales importantes, se pueden mencionar: utilización industrial de desechos de madera, preservación de la madera, sistemas agroforestales, lluvia ácida, carbón, rompevientos, acuicultura, industria maderera etc.

Considero que la información bibliográfica contenida en estas publicaciones es de importancia para los investigadores en ciencias forestales y que no deben estar ausentes en las bibliotecas o centros de información que ofrecen servicio a estos profesionales. Por otra parte, me parece que algunas de las publicaciones especializadas deberían ser adquiridas por los estudiosos de las ciencias forestales para sus propias bibliotecas.

LUIS A. FOURNIER O.
ESCUELA DE BIOLOGÍA
UNIVERSIDAD DE COSTA RICA

ARBOLES DE GUAYABA (*Psidium guajava* L.) EN PASTIZALES.
II. CONSUMO DE FRUTA Y DISPERSION DE SEMILLAS¹ /

E. SOMARRIBA*

Summary

*Cows eat guava (*Psidium guajava* L.) fruits that fall off the trees growing in many tropical pasture lands. Guava seeds travel un-harmed through the guts of livestock and are readily established in the pasture. In this paper an estimate is made of both the maximum daily fruit consumption by cows and of the number of seeds dispersed. Based on 101 samples of fresh cow dung collected on five consecutive days in the middle of the fruiting season it is estimated that cows disperse 49 500 seeds/cow/day during the period of maximum fruit availability. Based on this figure cows are estimated to eat 11 kg/cow/day of fresh guava fruits.*

Introducción

El ganado consume buena parte de la fruta producida por los árboles de guayaba (*Psidium guajava* L.) presentes en muchas de las áreas de pastos de los trópicos. La dispersión de grandes cantidades de semillas sobre los pastizales, es un subproducto desfavorable de este consumo ya que el establecimiento de un alto número de árboles de guayaba reduce la cantidad de forraje utilizable y aumenta los costos de manejo. En este estudio se hizo una estimación del consumo de frutas y de la cantidad de semillas dispersadas por el ganado.

Las investigaciones se llevaron a cabo en una finca ganadera de la zona alta (1 100 msnm) de La Suiza, Turrialba, Costa Rica. Las condiciones ambientales, el manejo de los pastos y del ganado y el enfoque general de estas investigaciones, han sido descritos en detalle en otro trabajo (8).

Marco conceptual

Los objetivos planteados en este estudio se han logrado a través de un programa de muestreo en el que se determina el contenido de semillas en el estiércol y se estima el consumo de frutas por medio de técnicas de regresión. Dentro de este enfoque la estimación del consumo máximo de frutas y de la dispersión de semillas comprende dos etapas: 1) construcción de un modelo de regresión que permita expresar el peso total de fruta consumida en función del número de semillas y 2) estimación del contenido promedio de semillas por unidad de peso de estiércol producido por animal durante la época de máximo consumo de frutas.

La estimación del contenido promedio de semillas por unidad de peso de estiércol y la correspondencia entre el número de semillas contadas en el estiércol y el contenido en un peso equivalente de frutas requiere de las siguientes hipótesis: 1) Las semillas de guayaba pueden utilizarse como indicadores del consumo de frutas i.e. no son destruidas durante el paso por el tractodigestivo del animal, 2) es posible caracterizar la curva de oferta de frutas y la curva de

¹ Recibido para publicación el 27 de setiembre de 1984. Estos estudios han sido posibles gracias al apoyo económico brindado por la Universidad de las Naciones Unidas (UNU) al CATIE, a través de un proyecto cooperativo iniciado en 1977 para la investigación y la enseñanza de la agroforestería.

El autor agradece los valiosos comentarios técnicos del Ing. John Beer, Dr. Rolain Borel y del Ing. John Palmer. Los agradecimientos al Ing. Mario Gutiérrez por su cuidadosa revisión editorial del documento final, a Paulo Dittel por su dedicada asistencia en los trabajos de campo, a la Sra. Celia P. de Rojas y Sra. Marjorie de Fernández por sus impecables trabajos mecanográficos y al Sr. Guillermo Thiele, propietario de la finca en estudio, por su entusiasta anuencia al desarrollo de estas investigaciones.

* Departamento de Recursos Naturales Renovables. Catie, Turrialba, Costa Rica.

descarga de las semillas a lo largo del período de fructificación, de modo que las muestras se tomen en el período de máximo consumo de frutas y de máxima dispersión de semillas y 3) el ganado consume una cantidad de frutas, que depende únicamente de su capacidad digestiva i.e. podemos hacer suposiciones confiables sobre el consumo y la producción diaria de heces de los animales del sitio de estudio

La producción de frutas durante la cosecha, la tasa de consumo del ganado y la curva de salida de semillas en el tiempo, son factores que inciden en la representatividad de las estimaciones. En este trabajo se asume que la máxima dispersión de semillas ocurre cuando la oferta de frutas alcanza su valor máximo, de modo que la salida de semillas se ha estabilizado en un valor determinado por la tasa de consumo (Figura 1). En las condiciones del sitio de estudio, existe un exceso de oferta de fruta durante el período de máxima fructificación y buena parte de la fruta se descompone sobre el suelo. Esto indica el momento adecuado para tomar las muestras de estiércol. La hipótesis de consumo constante y la no-dependencia de este consumo a la oferta de fruta y de pasto, sólo puede evaluarse bajo condiciones controladas

Materiales y métodos

Se colectaron 101 muestras de estiércol de 29 cm³ durante cinco días consecutivos (10-15 octubre, 1983) en la época de máxima fructificación. Se tomaron dos muestras por boñiga, seleccionando únicamente boñigas recién egestadas para evitar variaciones en el contenido de humedad del estiércol y para evitar que las lluvias lavaran el material fino de las boñigas y se produjeran sobreestimaciones del número de semillas por unidad de peso seco de estiércol. Las muestras se colocaron en discos de Petri y se metieron en un horno a 70°C durante cinco días para facilitar la separación de las fracciones de estiércol y semillas. Una vez separadas, las semillas se contaron individualmente y ambas fracciones se metieron nuevamente al horno hasta obtener peso constante. La densidad de semillas en el estiércol (variable de dispersión) se obtuvo tomando el cociente entre el número de semillas y el peso seco de estiércol para cada muestra. La construcción de un modelo de regresión que exprese el peso de fruta consumida con base en el número de semillas se logró simulando el proceso de acumulación de fruta (pulpa) y semilla, que tiene lugar cuando el ganado engulle las frutas durante el consumo.

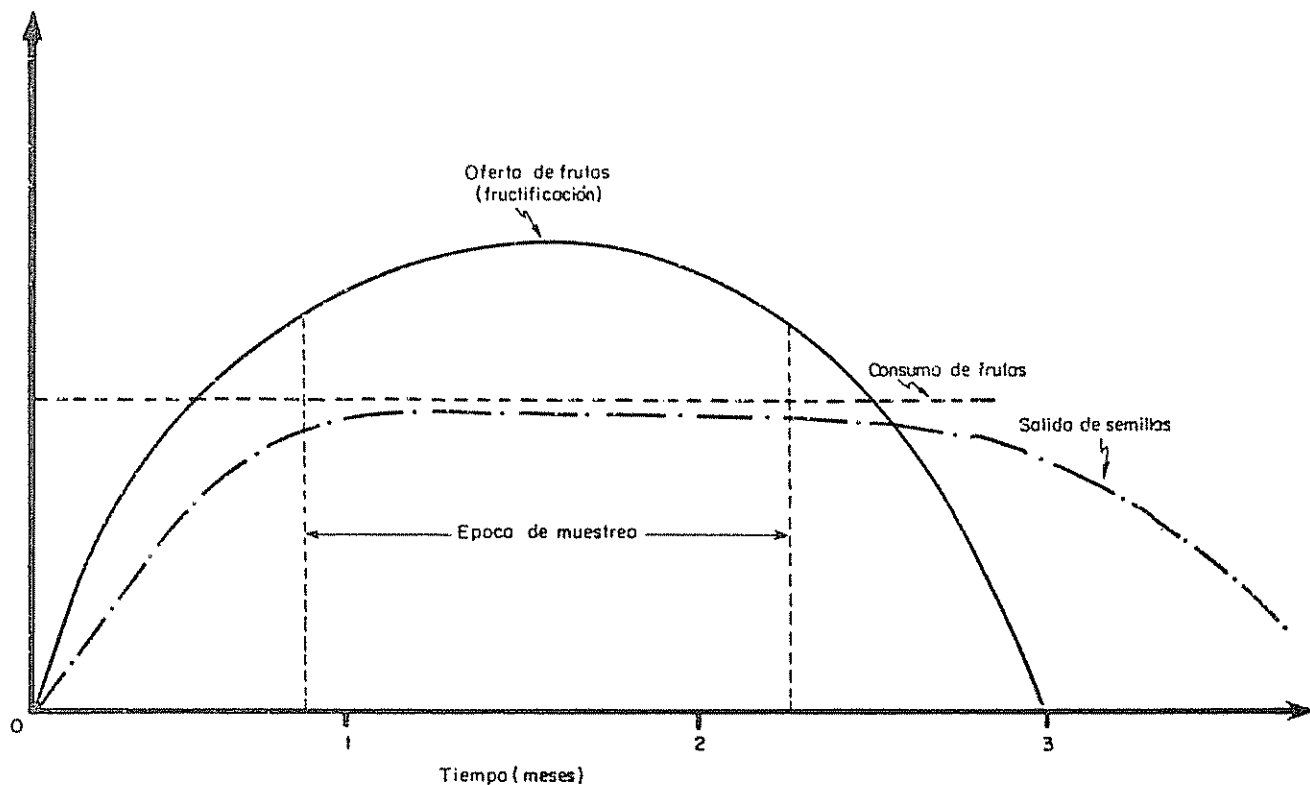


Fig. 1 Relación hipotética entre la oferta de frutas, el consumo por el ganado y la descarga de semillas en las asociaciones pasto-ganado-guayaba (*Psidium guajava*)

Resultados

La acumulación de los pesos y del número de semillas de 347 frutas de guayaba colectadas de 52 árboles en el sitio de estudio, mostró una relación lineal que se puede describir con el modelo $y=0.00022x - 0.13$ ($R^2 = 0.9981$), donde y = peso acumulado de fruta fresca (kg) y x = número acumulado de semillas.

El análisis de las 101 muestras mostró una gran variación en el número de semillas por muestra (coeficiente de variación $CV = 75\%$), no así en el peso seco de estiércol por muestra ($CV = 14\%$). Un histograma de frecuencias y una prueba de χ^2 para evaluar la bondad de ajuste a las condiciones de normalidad, mostró que la variable de dispersión se comporta como una variable de Poisson. Debido a la imposibilidad de establecer intervalos de confianza para el promedio, equivalente a los de una distribución normal, se utilizó el valor de la moda (11 semillas/g estiércol) como la medida de tendencia central más conservadora y sin influencia de valores extremos (7).

Varios estudios del consumo y de la producción fecal de ganado vacuno, desarrollados en la zona de estudio (1, 2, 3, 4) coinciden en que los niveles de consumo de los pastos nativos en la región (p.e. *Axonopus compressus* y *Paspalum conjugatum*) son del orden del 3% del peso vivo de los animales y que con una digestibilidad *in vitro* (DIVMS) del 55% (*P. guajava* DIVMS = 51% en el sitio de estudio) es posible esperar niveles de egestión del 1.5% del peso vivo del animal i.e. unos 4.5 kg de estiércol seco en animales de 300 kg de peso vivo, como los del sitio de estudio. Al combinar la estimación de la producción fecal con la del contenido de semillas en el estiércol seco (11 semillas/g), se estima que la dispersión total de semillas durante la época de máximo consumo de frutas es de 49 500 semillas/animal/día. Introduciendo esta cifra en el modelo calculado anteriormente, se estima que el consumo máximo de frutas frescas es de unos 11 kg/animal/día.

Discusión

El ganado no es el único vector de dispersión de las semillas de guayaba. Sin embargo, tres años de observaciones no rigurosas de la germinación y abundancia de plántulas de guayaba en los pastizales del sitio de estudio, sugieren que la dispersión por aves es muy importante únicamente en el ingreso inicial de los árboles a las áreas de pastos recién incorporadas; una vez establecidos los primeros árboles semilleros, la expansión y persistencia subsecuente de la asociación dependen casi exclusivamente del ganado. Las bases de estas suposiciones radican en la aparente imposibi-

lidad de las plántulas de guayaba para establecerse directamente en el pastizal sin el concurso del estiércol del ganado, el cual actúa como una cama de germinación, permite el desarrollo de las raíces de las plántulas, libera momentáneamente la competencia por luz y debilita el sistema radicular del pasto bajo la boñiga, permitiendo el "anclaje" de las plántulas.

Las estimaciones del consumo de frutas presentadas en este trabajo incluyen dos fuentes independientes de variación: 1) la estimación de la producción fecal y 2) la elevada varianza de la variable de dispersión. Los estudios de consumo-producción fecal hechos en la región de estudio (1, 2, 3, 4) ha demostrado que las estimaciones de producción fecal utilizadas en este trabajo son razonables para las condiciones locales. La elevada variabilidad del número de semillas por unidad de peso seco de estiércol, es una fuente de variación más difícil de controlar, ya que puede depender directamente del patrón de movimiento de las semillas junto con el material alimenticio dentro del tracto digestivo del animal y no de la intensidad ni de la época de muestreo. El error estándar del promedio de la variable de dispersión ($S_x = 1.3$) indica que el tamaño de muestra es adecuado y sugiere que la variabilidad es producida por el patrón de movimiento de las semillas en el tracto digestivo del ganado.

Los datos derivados de este estudio permiten: 1) calcular la densidad de árboles requeridos para, bajo determinados niveles de producción de frutas, satisfacer las necesidades de consumo del ganado u otras necesidades impuestas por los propietarios y 2) cuantificar el posible impacto de la selección de variedades de guayaba con bajos índices de dispersión de semillas, sobre la "presión de invasión" de los pastizales. Las relaciones oferta-consumo de fruta y sus implicaciones sobre la densidad de los árboles, han sido discutidas ampliamente en otro trabajo (8) y aquí nos limitaremos a los aspectos de dispersión de semillas.

En el sitio de estudio, existen árboles de guayaba con índices de dispersión entre 2.9 semillas/g de fruta fresca (8), lo que a las tasas de consumo estimadas en este trabajo, significa un rango entre 26 000 y 117 000 semillas potencialmente dispersadas por animal/día, es decir, una posible reducción del 78% en la "presión de invasión" sobre el pastizal. Esta "presión de invasión" podría reducirse aún más, seleccionando variedades con bajos porcentajes de germinación. Las variedades silvestres actualmente presentes producen semillas con índices de germinación del 81% (9). En cambio, existen variedades comerciales con porcentajes de germinación del 10-50% (5, 6). Un cambio de variedades podría significar un descenso muy grande en la "presión de invasión" ya que los efectos reductores son multiplicativos.

La discusión anterior supone que la "presión de invasión" en los pastizales, depende fundamentalmente del número total de semillas dispersadas y de sus condiciones de germinación, y no de las condiciones de mortalidad y establecimiento de las plántulas germinadas en el estiércol del ganado, ni de las drásticas reducciones en las poblaciones de plántulas producidas por el manejo de los pastos (p.e. control químico de malezas). La ausencia de altas densidades de árboles de guayaba en fincas con control químico de malezas, indica que el manejo de los pastos define la severidad de la "presión de invasión". Sin embargo, la existencia de pastizales abandonados por la excesiva invasión de los árboles de guayaba demuestra que, bajo ciertas condiciones de manejo (p.e. sin control químico de malezas), la cantidad total de semillas dispersadas y sus condiciones de germinación y sobrevivencia, constituyen una medida de la presión real de invasión sobre el pastizal.

Conclusiones

Los niveles de consumo de frutas frescas (11 kg/animal/día) y de dispersión (49 500 semillas/animal/día) medidos en este estudio, aconsejan: 1) manejar las densidades de los árboles para satisfacer esta demanda y 2) seleccionar los árboles con bajos índices de dispersión y con semillas de baja capacidad germinativa, para reducir aún más la "presión de invasión" sobre el pastizal.

La comprobación experimental de los niveles de consumo de frutas y de dispersión de semillas, requieren: 1) un experimento de consumo *ad libitum* de frutas en condiciones de disponibilidad ilimitada de pasto y 2) un estudio de caracterización de la curva de descarga de semillas a lo largo de todo el periodo de fructificación.

Resumen

El ganado vacuno consume las frutas maduras caídas de los árboles de guayaba (*Psidium guajava* L.) presentes en los pastizales. Las semillas de guayaba no son destruidas al pasar por el tracto digestivo del ganado, y germinan y se establecen rápidamente en la pastura. En este trabajo se hace una estimación del consumo diario de frutas por parte del ganado, y del número de semillas dispersadas. Un total de 101 muestras de estiércol fresco, tomadas durante cinco días consecutivos en la parte central del periodo de fructificación, indican que el ganado dispersa unas 49 500 semillas/animal/día. El consumo de fruta fresca se ha estimado en 11 kg/animal/día.

Literatura citada

1. ALPIZAR, J. Consumo de banano verde y crecimiento de bovinos de carne a diferentes presiones de pastoreo. Tesis Mag. Sci., Turrialba, Costa Rica, UCR-CATIE. 1974. 82 p.
2. MARTINEZ, L. Consumo voluntario, digestibilidad y balance metabólico en novillos alimentados con pseudotallo de banano (*Musa acuminata*, cv. 'Cavendish') y suplemento energético. Tesis Mag. Sci., Turrialba, Costa Rica, UCR-CATIE. 1980. 60 p.
3. MEDINA, R. Tasa de digestión y digestibilidad potencial ruminal de materiales fibrosos en funciones de niveles de almidón suplementario. Tesis Mag. Sci., Turrialba, Costa Rica, UCR-CATIE. 1980. 69 p.
4. SANMARTIN, F. Digestibilidad, tasas de digestión y consumo de forraje en función de la suplementación con banano verde. Tesis Mag. Sci., Turrialba, Costa Rica, UCR-CATIE. 1980. 59 p.
5. SINHA, M.M., VERMA, P.J., KORANGA, D.S. Studies on the seed germination of guava (*Psidium guajava* L.). I. Effects of scarification and plant growth regulator treatments. *Progressive Horticulture* 5 (2): 37-40. 1973.
6. SINGH, S. y SONI, S.L. Effect of water and acid soaking periods on seed germination in guava. *Punjab Agriculture Journal* 14 (3/4): 122-124. 1974.
7. SOKAL, R.R. y ROHLF, F.J. *Biometría*. Blume, Barcelona, 1979. 832 p.
8. SOMARRIBA, E. Árboles de guayaba (*Psidium guajava* L.) en pastizales. I. Producción de fruta y potencial de dispersión de semillas. *Turrialba* 35(3):289-296. 1985.
9. SOMARRIBA, E. Posibles efectos del ganado sobre la germinación de semillas de guayaba (*Psidium guajava* L.) en las asociaciones pasto-guayaba. Turrialba, Costa Rica, CATIE. 1982. 13 p. (mimeógrafado).

ARBOLES DE GUAYABA (*Psidium guajava* L.) EN PASTIZALES
III PRODUCCION DE LEÑA¹ /

E. SOMARRIBA*
J. BEER*

Summary

*A case study of *Psidium guajava* fuelwood volume and increments was made in a naturally regenerated stand (264/ha) associated with natural pasture at 1 200 masl in a premontane humid forest zone.*

The average dimensions of the trees were: stem basal diameter at 10 cm from the soil surface 20 cm, fuelwood volume to a minimum diameter of 2.5 cm, 0.12 m³, dry weight of fuelwood, 69 kg. This represents 6.5 m³/ha fuelwood (solid volume) equivalent to a stacked volume of 148 m³/ha which has a value (1984) of \$595/ha. Volume increments were calculated to be 4.3 m³/ha/year.

Standing volumes (V) can best be predicted from the sum of the basal area of the branches at the first fork (ABR) using the relation $\ln(V) = 2.64 + 1.264 \ln(ABR)$ ($R^2 = 0.90$). A simpler but less accurate method of predicting volumes, based on the stem basal diameter, has been used to prepare a volume table. A method of predicting fuelwood volumes from crown diameters, measured from aerial photographs, is also suggested.

Introducción

La producción de leña de buena calidad y amplio mercado es uno de los beneficios más importantes obtenido de los árboles de guayaba (*Psidium guajava* L.) presentes en los pastizales de muchas áreas ganaderas de los trópicos. La leña es utilizada en la finca o comercializada irregularmente

en su estado original o en forma de carbón. La cuantificación de la producción de leña de guayaba en los potreros engloba cuatro aspectos principales: 1) estimar la cantidad de leña disponible por unidad de superficie, bajo las condiciones promedio de densidad y de manejo de los "rodales" de guayaba en los potreros, 2) estimar la tasa de crecimiento volumétrico, 3) cuantificar la capacidad de regeneración vegetativa de los árboles y 4) estudiar la dinámica del ingreso de nuevos árboles a los rodales. En este trabajo se estudiaron los primeros dos aspectos. Los estudios se han hecho en una finca ganadera de la zona alta (1 100 msnm) de La Suiza, Turrialba, Costa Rica. Las condiciones ambientales, el manejo de los pastos y del ganado, se describieron anteriormente (13)

Las relaciones entre las dimensiones de árboles creciendo dentro del bosque y en plantaciones forestales, se han estudiado exitosamente por medio de análisis dimensionales (5, 10, 18), utilizando combinaciones y transformaciones de diámetros y alturas como variables independientes (6). Los estudios dimensionales en árboles o arbustos de formas irregulares, creciendo en espacios abiertos, son escasos. Las complicaciones de medición (debidas a las formas irregulares) se incrementan por las particularidades de manejo

1. Recibido para publicación el 27 de setiembre de 1984

Estos estudios han sido posibles gracias al apoyo económico brindado por la Universidad de las Naciones Unidas (UNU) al CATH, a través de un proyecto cooperativo iniciado en 1977 para la investigación y la enseñanza de la agroforestería.

Los autores agradecen al Dr. Rodolfo Salazar por la revisión técnica del manuscrito, al Ing. Mario Gutiérrez por dedicada asistencia en los trabajos de campo, a la Sra. Marjorie de Hernández por su impecable trabajo mecanográfico y al Sr. Guillermo Thiele, propietario de la finca en estudio, por su entusiasta anuencia al desarrollo de estas investigaciones.

* Departamento Recursos Naturales Renovables, CATH, Turrialba, Costa Rica.

a que son sometidos (p.e. podas, quemas, ramoneo, etc.). En árboles < 2 m altura y sin ramificaciones fuertes, el diámetro basal del tallo principal es la variable más predictiva sobre la biomasa total (15, 16, 18). En árboles podados frecuentemente, donde lo que interesa es la producción de biomasa obtenida de las podas y no la biomasa total del árbol, las mejores variables predictivas están relacionadas con las dimensiones de la copa y de las ramas. En árboles que son regularmente sometidos a podas totales, la edad homogénea de las ramas permite que la biomasa leñosa de la copa se pueda estimar con modelos de regresión que utilizan el diámetro promedio de las ramas y el número de ramas (12) o la suma del área basal de estas ramas (3), como variables independientes. Resta por ver si estos conocimientos son aplicables en árboles de guayaba, con formas irregulares, ramificaciones bajas y que no son podados.

La utilización práctica inmediata de los estudios dimensionales, es la identificación de las variables que deben utilizarse para estimar la tasa de crecimiento de una dimensión del árbol (p.e. peso o volumen) en función de la tasa de cambio de otra (p.e. diámetro, área basal, etc.). En el caso de *P. guajava*, no existen estudios previos de las relaciones dimensionales de los árboles ni de las tasas de crecimiento de la biomasa leñosa.

Materiales y métodos

Producción de leña

Se midieron los diámetros basales (10 cm sobre el suelo) de todos los árboles de guayaba, presentes en un lote de 0.64 ha, con una densidad de 264 árboles/ha (14). Los diámetros se agruparon en clases diamétricas de 4 cm y se escogió al azar un 30% de los individuos de cada clase hasta obtener un total de 53 árboles para cosecha. Antes de cortarlos, se tomaron mediciones de la altura total, el promedio de dos mediciones perpendiculares del diámetro de la copa, la altura del tronco hasta la primera ramificación y el diámetro basal de todas las ramas en la primera ramificación. Esta última variable serviría para calcular la suma del área basal de todas las ramas en la primera ramificación. La primera ramificación se definió como aquella donde el diámetro de al menos una de las ramas es > 30% del diámetro del tronco a 10 cm sobre el suelo. Se consideraron únicamente las bifurcaciones a < 2 m de altura. Árboles con un tronco bien definido de > 2 m, se midieron únicamente en su diámetro a 10 cm del suelo.

Los 53 árboles seleccionados se cortaron a ras del suelo. Cada árbol se desramó hasta un diámetro mínimo de 2.5 cm y se cortó en trozos de 0.70 m de lon-

gitud, que se pesaron en el campo y se introdujeron en un sistema de barriles (205 litros) con agua para medir su volumen por xilometría. El xilómetro, se instaló en el centro del lote de muestreo. El contenido promedio de humedad de la madera se calculó con base a cinco muestras de diferentes diámetros (3 hasta 42 cm) tomadas de cada árbol. Las muestras se llevaron al laboratorio en bolsas plásticas, se pesaron en verde, se metieron en un horno con ventilación forzada durante 120 horas a 70°C y se pesaron nuevamente.

Las relaciones entre las variables dendrométricas y el volumen o el peso seco de cada árbol, se analizaron por medio de correlaciones lineales y regresiones. Se evaluaron cuatro modelos de regresión univariados (uno lineal simple y tres logarítmicos), y se seleccionó el de mejor ajuste en base a la inspección simultánea de: 1) el más alto coeficiente de determinación, 2) el mayor valor de F, 3) las pruebas de "t" para los coeficientes de regresión, 4) el índice de Furnival más bajo (7), 5) el ajuste gráfico de los datos y 6) la distribución de los residuos de regresión.

Crecimiento volumétrico

En 1979 se estableció una primer parcela permanente con 60 árboles de guayaba (2). Durante 1979-1981 se hicieron mediciones anuales del DAP del tallo o de la rama principal del árbol, pero se descontinuaron a raíz de un estudio volumétrico que indicó que la suma del área basal de las ramas en la primera ramificación (ABR), es la variable con mayor poder predictivo sobre el volumen del árbol (14). En 1982 se midió esta variable. En 1983, se amplió la parcela original para incluir un nuevo lote de 59 árboles. En 1983 y 1984, se hicieron mediciones del ABR. Debido a la mortalidad natural y a la extracción de leña, el número total utilizado en los estudios de crecimiento fue de 80 árboles.

Se calculó el volumen total (V) de cada árbol en cada fecha de medición, utilizando un modelo de regresión (ver resultados) que expresa el volumen total en función del ABR. El incremento periódico medio anual en volumen por árbol (ICAVOL), se estimó como el promedio anual de la diferencia entre los volúmenes estimados en las dos fechas de medición más distanciadas. Los árboles se agruparon en clases diamétricas de 4 cm y se promediaron los valores de ICAVOL por árbol. Estos promedios, conjuntamente con la distribución de frecuencias de árboles/clase, permitieron calcular el crecimiento anual en volumen por hectárea.

El incremento periódico medio anual en área basal de ramas (ICABR), por árbol y por clase diamétri-

ca, se calculó de igual forma que ICAVOL. Los promedios por clase sirvieron para calcular los incrementos diamétricos (ICDIAM) esperados en el tronco principal del árbol. Los valores de ICDIAM se calcularon matemáticamente, derivando implícitamente la función $L_n(D) = 0.129 + 0.5167 \ln(ABR)$, donde D = diámetro basal del tronco y ABR = suma del área basal de ramas en la primera ramificación (Somarriba, E. datos no publicados $R^2 = 0.92$). Derivando se obtiene $dD/dt(1/D) = 0.5176(1/ABR) dABR/dt$, donde dD/dt es el incremento diamétrico anual que deseamos conocer; $1/D$ y $1/ABR$ son los recíprocos del diámetro medio de clase y del área basal de ramas del árbol de diámetro medio, respectivamente (i.e. son valores constantes para cada clase), y $dABR/dt$ es el incremento corriente medio anual en área basal de ramas medido en el campo para cada clase diamétrica. Igualando $1/D = K_i$, $1/ABR = K_j$ y $dABR/dt = Z$, sustituyendo y despejando valores en la ecuación, se obtiene $dD/dt = (0.5167 \times K_i \times Z)/K_j$. Con el propósito de identificar el diámetro en el que las tasas anuales de cambio en volumen total y en área basal de ramas son máximas, se hicieron análisis de regresión entre ICABR e ICAVOL y el diámetro medio de clase.

Resultados

Distribución de tamaños y relaciones entre el volumen y las variables dendrométricas.

Un 96% de los árboles midió entre 10-33 cm de diámetro a 10 cm sobre el suelo, con una clase modal entre 18-21 cm y un diámetro promedio de 20 cm. El volumen promedio de leña por árbol fue de 0.12 m^3 , con un peso seco de 69 kg. La distribución de diámetros es aproximadamente normal ($P < 0.05$), con una ligera asimetría hacia la derecha. El área basal del área del rodal (10 cm sobre el suelo) fue $9.6 \text{ m}^2/\text{ha}$.

Existe una relación lineal positiva bien definida ($r = 0.94$) entre ABR y el volumen (V) de los árboles (Figura 1). El diámetro del tronco a 10 cm sobre el suelo (D) y el área basal correspondiente, mostraron también un comportamiento lineal muy parecido con el volumen ($r = 0.82$ y 0.84 , respectivamente). En el Cuadro 1 se presentan los modelos de mejor ajuste para describir las relaciones $ABR-V$ y $D-V$. Además, se han incluido: 1) un modelo entre ABR y el peso seco del árbol para facilitar la conversión a unidades de peso y 2) un modelo que utiliza el diámetro de copa como variable independiente, para facilitar inventarios de leña en rodales de guayaba con base a fotos aéreas a escalas de 1:2 500 o 1:5 000. Una tabla de volumen y de pesos, obtenida utilizando el diámetro basal del tronco como variable independiente, se presenta en el Cuadro 2.

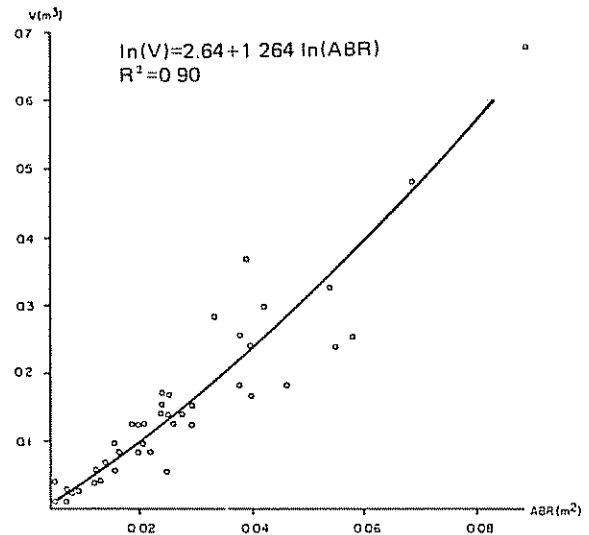


Fig. 1. Diagrama de dispersión y línea de regresión entre volumen total (ramas ≥ 2.5 cm diámetro) y la suma del área basal de todas las ramas en la primera ramificación (ABR) de árboles de guayaba (*Psidium guajava* L.) en potreros, La Suiza, Turrialba, Costa Rica.

Cuadro 1. Modelos de regresión y parámetros estadísticos entre algunas variables dendrométricas y el volumen (m^3) o el peso/ m^3 seco (kg) de árboles de guayaba (*Psidium guajava* L.) en potreros, La Suiza, Turrialba, Costa Rica. 1982.

MODELO	R2
$\ln(V) = -9.5 + 2.461 \ln(D)$	0.78
$\ln(V) = -4.58 + 0.339(DC)$	0.65
$\ln(V) = 2.64 + 1.264 \ln(ABR)$	0.90
$\ln(P) = 9.02 + 1.271 \ln(ABR)$	0.90
$P = -3.19 + 605.58(V)$	0.99

D	= Diámetro del tronco principal a 10 cm sobre el suelo (cm).
H	= altura total del árbol (m)
DC	= diámetro de copa (m)
ABR	= suma del área basal de todas las ramas en la primera ramificación (m^2)
V	= volumen total del árbol hasta ramas > 2.5 cm diámetro (m^3).
P	= peso seco total del árbol hasta ramas > 2.5 cm diámetro (kg).

Crecimiento volumétrico

El incremento periódico medio anual en volumen (ICAVOL) en el sitio de estudio fue de $4.3 \text{ m}^3/\text{ha}/\text{año}$. El ICAVOL y el ICABR aumentaron hacia las clases diamétricas más grandes (Cuadro 3). El incremento corriente medio anual en diámetro (ICDIAM), también aumentó hacia las clases grandes, pero con algunos ascensos y descensos leves entre los 24 y 40

Cuadro 2. Tabla de volumen total (m³) y de peso seco total (kg) de árboles de guayaba (*Psidium guajava* L.) en potreros, La Suiza, Turrialba, Costa Rica, 1982.

D	V	P	D	V	P	D	V	P
5	0.004	—	20	0.119	69	35	0.472	283
6	0.006	—	21	0.134	78	36	0.506	303
7	0.009	—	22	0.151	88	37	0.541	325
8	0.012	—	23	0.168	99	38	0.578	347
9	0.017	7	24	0.187	110	39	0.616	370
10	0.022	10	25	0.206	121	40	0.656	394
11	0.027	13	26	0.227	134	41	0.697	419
12	0.034	17	27	0.249	148	42	0.740	445
13	0.041	22	28	0.273	162	43	0.784	471
14	0.050	27	29	0.297	177	44	0.829	499
15	0.059	32	30	0.323	193	45	0.877	528
16	0.069	39	31	0.350	209	46	0.925	557
17	0.080	45	32	0.379	226	47	0.976	588
18	0.092	53	33	0.409	244	48	1.027	619
19	0.105	60	34	0.440	263	49	1.081	651

$$\ln(V) = -9.5 + 2.461 \ln(D); P = 3.19 + 605.58(V)$$

V y P sólo incluyen ramas > 2.5 cm diámetro.

cm. Los valores de ICDIAM aumentaron desde 0.21 cm/año en árboles de 4-8 cm, hasta 1.76 cm/año en árboles de 36-40 cm de diámetro basal (Cuadro 3).

Discusión

El elevado poder predictivo de la suma del área basal de las ramas en la primera ramificación, sobre la biomasa leñosa total de árboles de guayaba, abre

grandes posibilidades para el estudio de otras especies arbóreas de formas irregulares presentes en pastizales y que no son podadas (p.e. *Crescentia alata*, *Byrsonima crassifolia*, *Parmentiera edulis*, etc.). Es posible que estos resultados sean también extensivos para cultivos perennes que si son podados (p.e. *Theobroma cacao*, *Citrus* spp., *Bixa orellana*, etc.). Nuestros resultados y los obtenidos por otros autores (3), sugieren que existen buenas perspectivas para utilizar estos modelos con árboles en pastizales, podados regularmente (12).

Cuadro 3. Incremento periódico medio anual en área basal de ramas (ICABR), en volumen total (ICAVOL) y en diámetro a 10 cm sobre el suelo (ICDIAM) de árboles de guayaba (*Psidium guajava* L.), en potreros, La Suiza, Turrialba, Costa Rica.

Diámetro (cm)	ICABR (cm ² /año)	ICAVOL (m ³ /año)	ICDIAM (cm/año)
0 - < 4	0.30*	0.00010*	0.08*
4 - < 8	2.00*	0.00090*	0.21*
8 - < 12	5.09	0.00287	0.40
12 - < 16	12.74	0.00695	0.57
16 - < 20	20.16	0.01251	0.73
20 - < 24	30.57	0.02096	0.92
24 - < 28	33.51	0.02563	0.87
28 - < 32	43.25	0.03564	0.98
32 - < 36	48.92	0.04312	0.99
36 - < 40	95.76	0.08676	1.76
40 - < 44	96.01	0.09452	1.62
44 - < 48	109.00*	0.10970*	1.88*
48 - < 52	127.00*	0.13350*	2.05*

* estimados por regresión

En fincas ganaderas, la presencia de rodales densos de guayaba que producen 65 m³ de leña/ha, representa una reserva de capital considerable. En la región de estudio, el valor de la leña de guayaba puesta en el mercado es de \$4/m³ estereo (1984). Para *P. guajava* se ha estimado una relación volumen estereo/volumen real de 0.44 (14), de modo que los rodales de guayaba representan unos 148 m³ esteréos/ha y un equivalente a \$595/ha.

Es probable que debido a su agresividad para colonizar pastizales y a su gran capacidad de regeneración vegetativa, *P. guajava* ha sido considerada como una especie de rápido crecimiento (8, 9). Sin embargo, la revisión de más de 500 artículos publicados sobre esta especie demostró que no se ha prestado ninguna atención a la evaluación de su productividad leñosa. Por esta razón, no se puede juzgar si el crecimiento medido en este trabajo es bajo o alto para esta especie en las condiciones del sitio de estudio.

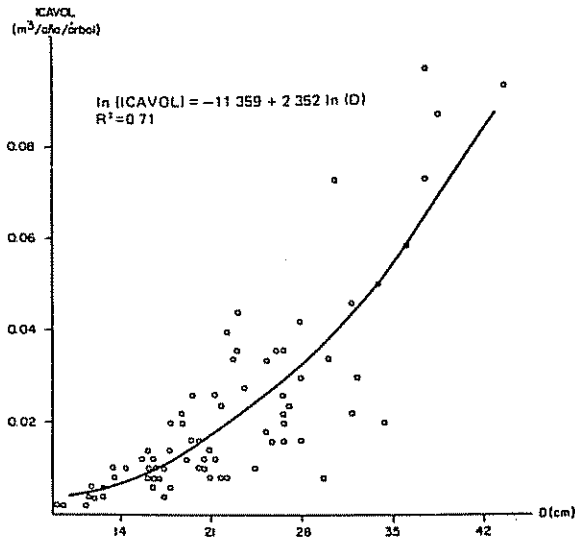


Fig. 2. Incremento corriente medio anual en volumen de leña (ICAVOL) en función del diámetro basal (D) de árboles de guayaba (*Psidium guajava* L.) en potreros, La Suiza, Turrialba, Costa Rica.

El incremento de 4,3 m³/ha/año medido en este trabajo, es comparable a los 2-15 m³/ha/año medidos en rodales naturales de *Diphysa robinoides* (4) y de *Gliricidia sepium* (11) y en árboles de *Guazuma ulmifolia* creciendo en potreros (4, 12). Plantaciones de especies de rápido crecimiento producen leña a razón de 10-40 m³/ha/año (4), pero estos resultados no son directamente comparables con los de este estudio debido a las grandes diferencias en las densidades (2 500-10 000 árboles/ha en plantaciones de leña) y al poco cuidado que se dispensa a los árboles de guayaba en los pastizales (aplicación de herbicidas, daños con machete, pisoteo del ganado, etc.).

La leña de guayaba tiene un poder calórico de 18 556 kJ/kg (1), lo que la clasifica como una especie muy recomendada como fuente energética. Un estudio del consumo de leña en Costa Rica (17), mostró que la guayaba es una de las especies preferidas para leña. A nivel nacional, esto puede significar facilidades de mercado. El único posible impedimento para la explotación regular de la leña en los potreros es la dificultad para extraerla en terrenos con pendientes pronunciadas. Sin embargo, la conversión a carbón solventaría parcialmente este problema.

Conclusiones

La suma del área basal de todas las ramas al nivel de la primera ramificación es la variable con el mejor predictivo sobre el volumen total (excluyendo ramas

2.5 cm) de los árboles de *Psidium guajava*. Esta es la variable que debe ser utilizada para mediciones exactas del crecimiento volumétrico. En las estimaciones de volumen en pie, para comercialización, basta utilizar el diámetro del tronco a 10 cm del suelo como variable para predicción.

La cantidad de leña de guayaba en pie (65 m³/ha) disponible en rodales con densidades de árboles/ha en los potreros, constituye una importante reserva económica. El crecimiento volumétrico de 4.3 m³/ha, medido en este trabajo, confirma esta apreciación.

Resumen

En este trabajo se presenta un estudio de caso sobre la cantidad de leña disponible y del crecimiento leñoso de árboles de guayaba (*Psidium guajava*) en un rodal de regeneración natural (264 árboles/ha) en pastizales naturales, a una elevación de 1 200 m.s.n.m. (zona de vida de bosque premontano húmedo). Las dimensiones promedio de los árboles fueron: diámetro del tronco a 10 cm sobre el suelo = 20 cm; volumen de leña hasta ramas con un diámetro mínimo de 2.5 cm = 0.12 m³ árbol; peso seco de leña por árbol = 69 kg. Esto representa 65 m³/ha de leña sólida, equivalente a 148 m³ estereos/ha, el cual tiene un valor (1984) de \$595/ha. Se estima que el incremento en volumen es de 4.3 m³/ha/año.

Los volúmenes en pie (V) de árboles individuales pueden estimarse en base a la suma del área basal de todas las ramas a la altura de la primer ramificación (ABR) usando el modelo $\ln(V) = 2.64 + 1.264 \ln(ABR)$ $R^2 = 0.90$. Se ha preparado una tabla de volumen usando un método más simple, pero menos exacto, basado en el diámetro basal del tronco. También se presenta una ecuación para predecir V, basada en el diámetro de copas, que podría utilizarse con fotografías aéreas.

Literatura citada

1. AGUILAR, L. Calorific values of Philippine woods. *Philippine J. Forestry* 2:217-223. 1949.
2. BEER, J. *et al.* A case study of traditional agroforestry practices in a wet tropical zone: The "La Suiza" Project. In: Chavarría, ed. *Seminario Internacional, sobre Las ciencias forestales y su contribución al desarrollo de la América Tropical*. San José, Costa Rica, CONICIT-INTERCIENCIA - SCITEC: 1981. pp. 191-210.

3. BELIARD, C.A. Producción de biomasa de *Gliricidia sepium* (Jacq.) Steud, en cercas vivas bajo tres frecuencias de podas (tres, seis y nueve meses). Tesis Mag. Sci., Turrialba, Costa Rica, UCR-CATIE. 1984. 97 p.
4. CENTRO AGRONÓMICO TROPICAL DE INVESTIGACION Y ENSEÑANZA (CATIE) Informe técnico anual, proyecto leña y fuentes alternas de energía, DGF-CATIE-ROCAP 1984. 181 p.
5. CROW, T.R. Common regressions to estimate tree biomass in tropical stands. *Forest Science* 24: 110-114. 1978.
6. DAWKINS, H.C. Estimating total volume of some caribbean trees. *Caribbean Forestry* 22:62-63. 1961.
7. FURNIVAL, G.M. An index for comparing equations used in volume tables. *Forest Science* 7(4): 337-341. 1961.
8. LITTLE, Jr., E.L. Common fuelwood crops: a handbook for their identification. Mc Clain, Parsons, West Virginia. 1982. pp. 247-249.
9. NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES. Firewood crops: shrub and tree species for energy production. Washington, D.C., NAS. v.2. 1983. pp. 24-25.
10. OGAWA, H. *et al* Comparative ecological studies on three main types of forest vegetation in Thailand. II. Plant biomass. *Nature and Life in Southeast Asia* 4:49-80. 1965.
11. OTAROLA, A. y UGALDE, L.A. Productividad y tablas de biomasa de *Gliricidia sepium* (Jacq.) Steud, en bosques naturales de Nicaragua. Turrialba, Costa Rica., CATIE, 1983. 39 p. (mimeografiado).
12. SALAZAR, R. y ROSE, D. Rendimiento de leña de árboles individuales de *Guazuma ulmifolia* Lam en potreros en Hojancha, Guanacaste, Costa Rica. Turrialba, Costa Rica, CATIE. 1983. 12 p. (mimeografiado).
13. SOMARRIBA, E. Árboles de guayaba (*Psidium guajava* L.) en pastizales. I. Producción de fruta y potencial de dispersión de semillas. *Turrialba* 35(3):289-296. 1985.
14. SOMARRIBA, E. Guayaba (*Psidium guajava* L.) asociado con pastos: Métodos de análisis volumétrico y potencial de producción de leña. CATIE, Turrialba, Costa Rica. 1982. 33 p. (mimeografiado).
15. STANEK, W. and STATE, D. Equations predicting primary productivity (biomass) of trees, shrubs and lesser vegetation, based on current literature. Victoria, B.C. Canadian Forestry Service, Pacific Forest Research Centre. 1978. 59 p.
16. TELFER, E.S. Weight-diameter relationships for 22 woody plant species. *Canadian Journal of Botany* 47:1851-1855. 1969.
17. TORRES, A.S., SEVILLA, E.L. y RODRIGUEZ, H.H. Análisis de las especies usadas y preferidas para leña en diferentes regiones de Costa Rica. Turrialba, Costa Rica, CATIE, 1981. 27 p. (mimeografiado).
18. WHITTAKER, H. and WOODWELL, G.M. Dimension and production relations of trees and shrubs in the Brookhaven Forest, New York. *Journal Ecology* 56(1):1-25. 1968.

VARIACION ESTACIONAL DEL SISTEMA FOLIAR DE CINCO CLONES DE BANANO¹ /

E. M. FLORES*
M. SOTO**
R. BOLAÑOS***

Summary

Seasonal variation of the foliar system and structure of five clones suggest that the leaf area and the foliar volume were drastically reduced during the dry season. To evaluate the foliar structure it was used the fourth leaf. The number of stomata per mm² is higher on the abaxial side: adaxially and abaxially, the number of stomate is also reduced during the dry season. The hydric deficit seems to be the most important factor in foliar reduction and variation.

Introducción

El banano es un cultivo de origen tropical, cuyo crecimiento óptimo requiere temperaturas de 25 a 27°C (12), suficiente humedad, y de preferencia, suelos livianos. Lassoudiere (9) informó que el crecimiento de esta planta y en especial el de la lámina foliar, es afectado por los cambios estacionales y las condiciones hídricas. Otros investigadores establecieron la relación entre el desarrollo foliar y la temperatura (2, 4, 5, 6, 10, 15, 16, 17) y encontraron que la temperatura óptima diaria para la aparición de las hojas oscilaba entre 28 y 30 °C. Turner y Lahav (17) indicaron que el máximo de área foliar se producen entre los 26 y 33 °C; sin embargo, conforme aumenta la temperatura disminuye el contenido de materia seca en cormo y raíces. Aunque la variación en el desarrollo del sistema foliar se ha relacionado con los cambios estacionales, la temperatura y las condi-

ciones hídricas, no se encontró ningún estudio sobre la posible variación estructural de la hoja durante la época seca y lluviosa. La descripción de la hoja ha sido siempre de carácter muy general (1, 13, 14); no obstante, es significativo que mucha densidad estomática, indicada por diversos autores, muestra variación (3, 13).

El propósito de la presente investigación fue determinar la posible variación estacional en área y volumen foliar del clon Gros Michel y los clones del complejo Cavendish, así como establecer el tamaño de los estomas y la densidad estomática por mm³ en la haz y el envés.

Métodos

Se estudió las hojas de los siguientes clones triploides derivados de *Musa acuminata*: Gros Michel, Dwarf Cavendish, Giant Cavendish (Grande Naine o Garn Enano), Robusta (Valery) y Lacatán. Las observaciones y experimentos se realizaron en el Jardín Botánico y en las plantaciones de banano de la Compañía Agrícola y Ganadera Cariari, situada en Cariari, Guápiles, Provincia de Limón, Costa Rica y el análisis microscópico en el Laboratorio de Anatomía Vegetal de la Escuela de Biología y la Unidad de Microscopía Electrónica, Universidad de Costa Rica. El estudio abarcó tanto la época seca como la época lluviosa en los años 1982 y 1983. El Cuadro 1 contiene los datos de la precipitación y temperatura promedio mensuales durante los años en que se realizó el estudio. Puede apreciarse que llueve durante todo el año, aunque existe una época más seca y otra más lluviosa.

1 Recibido para publicación el 5 de octubre de 1984. Este trabajo fue financiado por la Compañía Agrícola y Ganadera Cariari y por la Vicerrectoría de Investigación, Universidad de Costa Rica. Agradecemos a los Srs. Marcio Hernández y Emilio Fournier la colaboración prestada en el trabajo de campo.

* Escuela de Biología, Universidad de Costa Rica, San José, Costa Rica.

** Escuela de Fitotecnia, Universidad de Costa Rica, San José, Costa Rica.

*** Unidad de Microscopía Electrónica, Universidad de Costa Rica, San José, Costa Rica.

Cuadro 1. Precipitación promedio mensual (mm) durante los años 1982 y 1983.

MES	1982		1983	
	Temperatura promedio (°C)	Precipitación promedio (mm)	Temperatura promedio (°C)	Precipitación promedio (mm)
Enero	25.2	89.7	25.0	265.6
Febrero	25.4	127.1	25.7	133.0
Marzo	25.2	89.6	26.5	151.4
Abril	25.7	93.2	26.7	52.2
Mayo	27.0	321.7	26.8	566.9
Junio	26.5	339.1	27.6	476.4
Julio	26.6	1 119.8	27.0	420.8
Agosto	26.1	739.4	27.0	350.0
Setiembre	26.3	120.2	26.5	144.5
Octubre	25.7	322.0	25.4	325.9
Noviembre	25.2	88.1	26.2	82.9
Diciembre	24.6	122.0	25.1	106.5

Cuadro 2. Medidas de las variables morfológicas evaluadas en las hojas de cinco clones de banano.

Variable	CLONES				
	Dwarf Cavendish	Giant Cavendish	Robusta (Valery)	Lacatán	Gros Michel
No. hoja E. L1 ¹	12	15	12	10	11
No. hoja E. S. ²	9	11	11	8	9
Area foliar m ² L. L1	14.40	28.94	28.91	27.82	27.89
Area foliar m ² E. S.	6.66	15.73	17.62	14.47	24.90
% reduc. foliar E. S.	54	46	40	48	11
Grosor hoja (mm) E. L1	0.56	0.87	0.67	0.54	0.54
Grosor hoja (mm) E. S.	0.28	0.27	0.26	0.39	0.28
% reduc. foliar E. S.	50	69	61	28	49
Volumen foliar (m ³) E. L1	0.080	0.252	0.194	0.152	0.153
Volumen foliar (m ³) E. S.	0.020	0.041	0.045	0.056	0.069
% reduc. volumen E. S.	75	84	72	64	55
No. estomas/mm ² abax ³ E. L1	162	108	114	148	135
No. estomas/mm ² adax ⁴ E. L1	54	81	20	40	14
No. estomas/mm ² abax. E. S.	152	103	104	139	126
No. estomas/mm ² adax. E. S.	47	64	17	32	9
Long. Ostiolo (um) Adx E. L1	32	34	35	32	40
Long. ostiolo (um) Abx E. L1	25	22	30	19	30
Long. ostiolo (um) Adx E. S.	32	34	34	32	40
Long. ostiolo (um) abx E. S.	25	22	29	19	30

1. E. L1 estación lluviosa 3. Abaxial
2. E. S. estación seca 4. Adaxial

Estos datos climáticos fueron tomados en la Estación Agrometeorológica "La Mola", situada a 6 km de la Finca Agrícola Ganadera Cariari, S.A. Las plantas empleadas fueron sembradas a doble surco, con una distancia de 2,17 m entre plantas, un metro entre hileras y 3,70 m entre hileras dobles. Todas las plantas recibieron el mismo tratamiento nutricional y de control de plagas. El tipo de suelo pertenece al subgrupo typic eutrandedpt de la Serie Old Vega. Los datos fueron tomados y las muestras colectadas cerca del momento de la floración al finalizar la época lluviosa en setiembre y octubre de 1982 y al final de la época seca en mayo y junio de 1983. El área foliar se calculó

mediante la relación: $\text{Area} = 0.86 L \times A$, donde L es la longitud y A es el ancho de la hoja (12) y el volumen, multiplicando el área foliar por el grosor de la hoja. Las muestras para calcular el tamaño de los estomas y la densidad estomática fueron tomadas a 1/3 de la longitud de la lámina a partir de la base. Se utilizó siempre la cuarta hoja.

Para microscopía de luz se fijó el material en FAA (8), se deshidrató en una serie ascendente de alcohol butílico terciario y se infiltró en parafina. Los bloques fueron seccionados a 10 μm y las secciones teñidas siguiendo la técnica de Sharman (11). Se hi-

cieron secciones paradermales y transversales. De cada espécimen se seleccionaron 10 láminas fijas con secciones paradermales y en cada una de ellas se midió la longitud de 30 estomas escogidos al azar y se contó el número de estomas en 10 campos diferentes. El área se calculó con ayuda de un micrómetro. El ancho de la hoja se midió en las secciones transversales.

Para el examen con el microscopio electrónico de barrido, se fijó el material en FAA durante 48 horas a 23 °C y se deshidrató mediante series de alcohol etílico. Los especímenes se trataron con ultrasonido durante 2 o 3 segundos para eliminar las impurezas de la lámina foliar y se llevó el material hasta el punto de secado crítico con CO₂. Los cortes se montaron en soportes de aluminio empleando cinta adhesiva y pin-

tura conductora de plata. Se colocó el material en un cobertor iónico EIKO IB-3, donde se cubrió con una película de oro. Se observó las secciones en un microscopio de rastreo Hitachi HHS-2R. Las fotografías se tomaron con película Verichrome Pan Kodak VP 120. También en este caso se contó el número de estomas en 10 campos diferentes de cada muestra. Se calculó el área muestreada mediante fotografías. El tamaño de los estomas se calculó en las fotografías.

Resultados

El Cuadro 2 resume los valores cuantitativos de los parámetros morfológicos considerados en los cinco clones de banano estudiados.

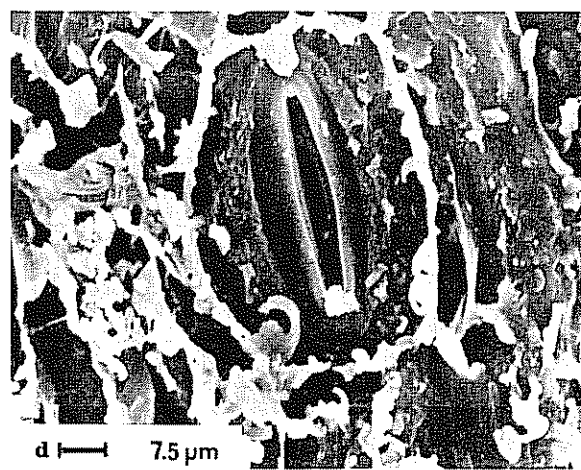
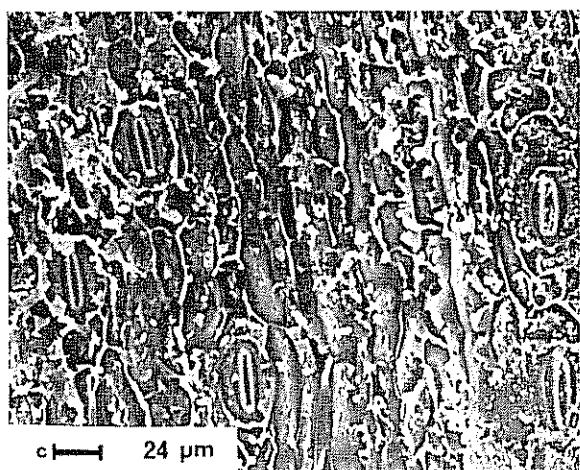
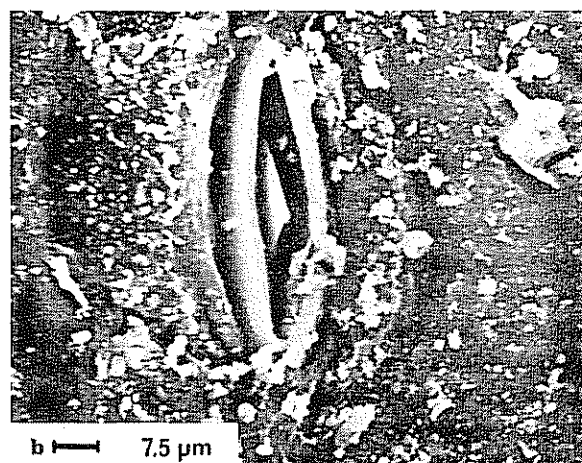
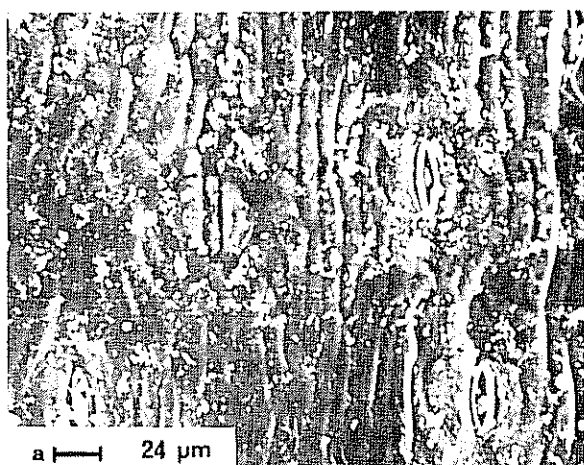


Fig. 1.
a y b Vista microscópica de los estomas del clon Gros Michel en la superficie adaxial
c y d Vista microscópica de los estomas del clon Gros Michel en la superficie abaxial

Las observaciones realizadas en el campo revelan que el número de hojas disminuye en todos los clones durante la época seca. El área foliar de los clones es similar en la época lluviosa excepto en el clon Dwarf Cavendish que registró un valor inferior. La cuantificación del área foliar durante la época seca reveló un descenso en todos los clones. Dwarf Cavendish (54%), Lacatán (48%) y Giant Cavendish (46%) registraron las mayores reducciones de área foliar. El clon Robusta mostró una disminución de 40% y el Gros Michel una muy leve de 11%. El grosor de la hoja osciló desde 0.54 mm en Lacatán y Gros Michel hasta 0.87 mm en el Giant Cavendish durante la época lluviosa. En época seca estos valores se redujeron; Giant Cavendish y Robusta sufrieron los mayores descensos (69 y 61% respectivamente); Dwarf Cavendish en 50%, Gros Michel en 49% y Lacatán en 28%. Las hojas más carno-

sas son las que exhiben una reducción mayor. El volumen foliar, como es obvio, es mayor en época lluviosa e inferior en época seca.

Las hojas son anfiestomáticas (Figuras 1 a 5) y no se observó diferencias estructurales notables en los diferentes clones. Algunas aparentes diferencias en las figuras responden a menor o mayor grado de apertura del ostiolo. La cera epicuticular es mayor en el envés. El número de estomas por mm^2 es distinto en cada uno de los clones y las superficies adaxial y abaxial se caracterizan por tener una densidad estomática diferentes (ver Cuadro 2). La superficie adaxial tiene un número de estomas mucho menor que la superficie abaxial, excepto en el clon Giant Cavendish que muestra una densidad estomática adaxial excepcionalmente elevada. Durante la época seca, el número de

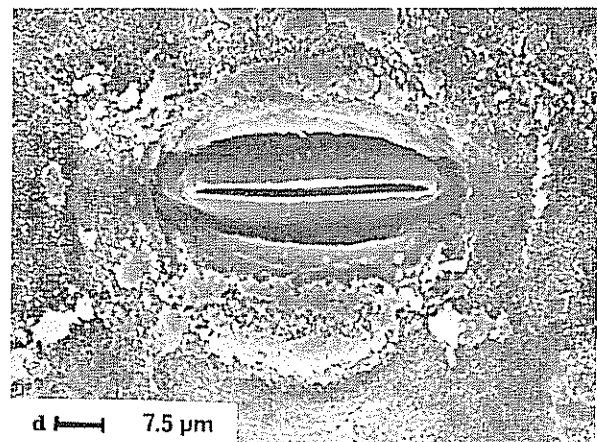
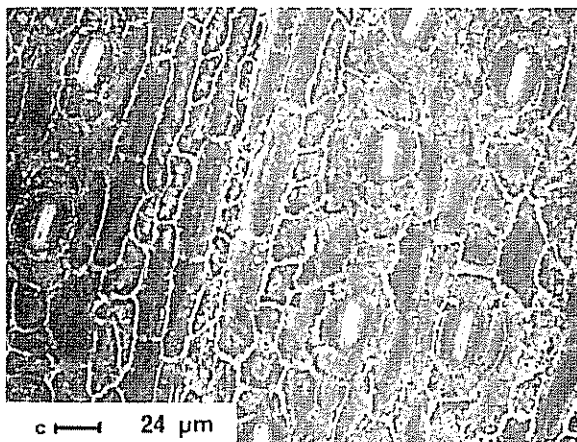
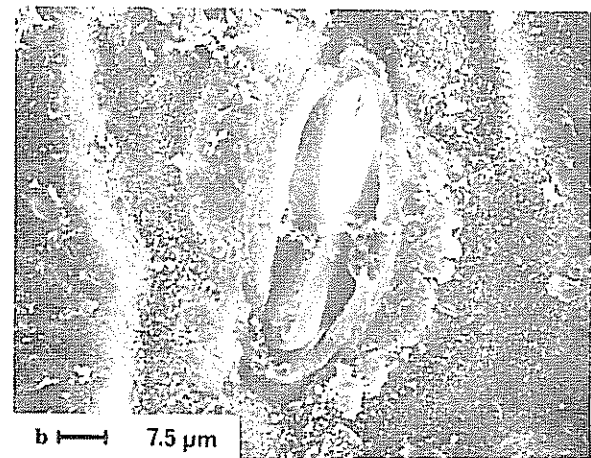
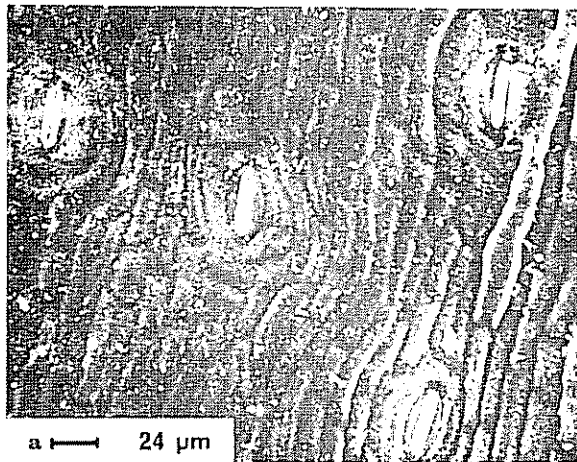


Fig. 2
a y b Vista microscópica de los estomas del clon Dwarf Cavendish en la superficie adaxial.
c y d Vista microscópica de los estomas del clon Dwarf Cavendish en la superficie abaxial.

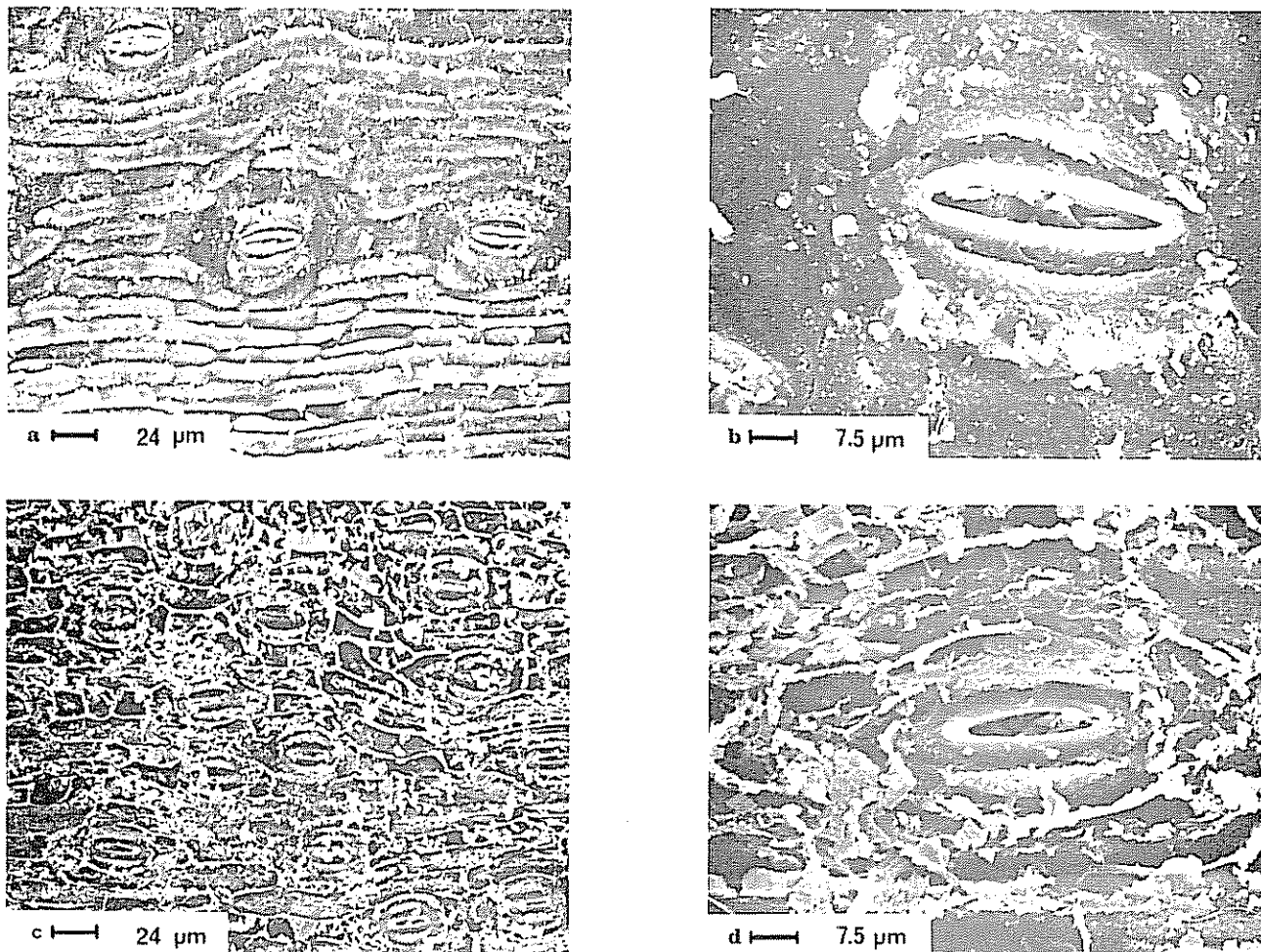


Fig 3
 a y b Vista microscópica de los estomas del clon Lacatán en la superficie adaxial
 c y d Vista microscópica de los estomas del clon Lacatán en la superficie abaxial

estomas por área decrece en ambas superficies. La longitud del ostiolo varía en cada clon: los estomas de la superficie adaxial tienen un ostiolo mayor que aquellos localizados en la superficie abaxial. El tamaño del ostiolo es bastante estable, registrándose una leve disminución del mismo sólo en el clon Robusta. La deposición de cera epicuticular sobre los estomas de Giant Cavendish dificultó el conteo con el microscopio de barrido electrónico.

Discusión

Los resultados obtenidos revelaron que el crecimiento del sistema foliar es influenciado por las condiciones climáticas de la estación seca. El leve descenso de la temperatura no explica la reducción y variación estructural de las hojas que se encontró; el nivel de la temperatura siempre osciló entre el rango de

temperaturas óptimas para el desarrollo de la planta y su follaje (12, 17). Por el contrario, la precipitación disminuyó en forma drástica y las plantas sufrieron los efectos de la limitación de agua.

Gros Michel fue el clon que mejor resistió el déficit hídrico: el área foliar se redujo en sólo 11%. Lamentablemente el cultivo de este clon se abandonó en la década de los 60, debido a su susceptibilidad a la enfermedad de Panamá. En el grupo Cavendish, el Lacatán exhibió caracteres interesantes: el área foliar disminuyó en 40% pero el grosor de la hoja se redujo sólo en 28%, lo que dio como resultado un descenso del volumen foliar inferior al de los otros clones. El Giant Cavendish resultó muy sensible a la variación de las condiciones hídricas mostrando, durante la época seca, una marcada reducción en el número de las hojas y en el volumen foliar.

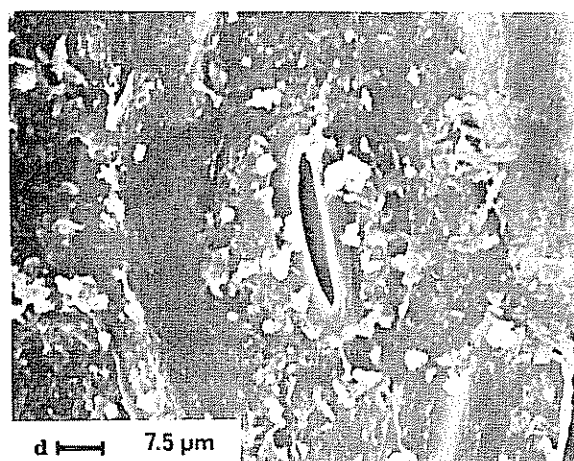
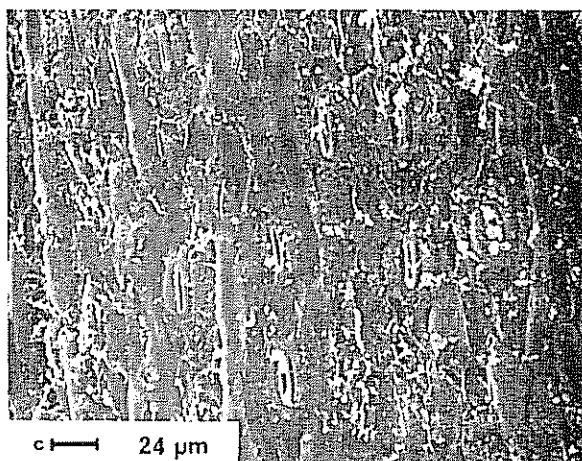
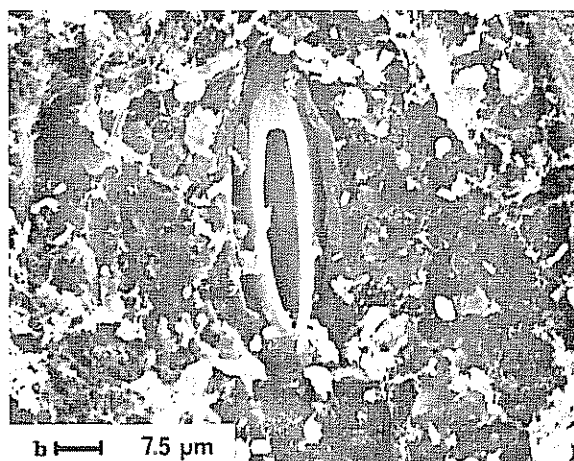
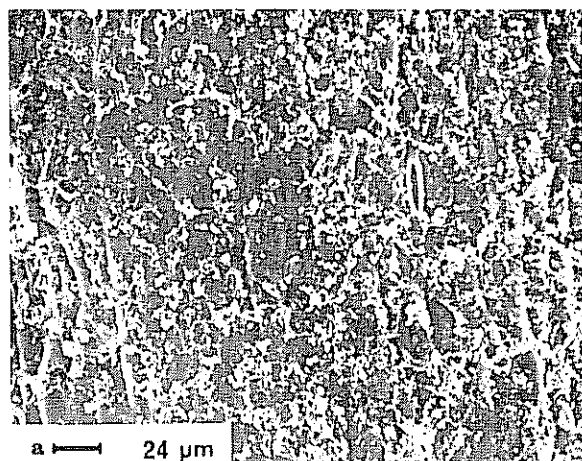


Fig 4

a y b Vista microscópica de los estomas del clon Giant Cavendish en la superficie adaxial

c y d Vista microscópica de los estomas del clon Giant Cavendish en la superficie abaxial

El número de estomas por área fue diferente en cada clon y disminuyó durante la época seca; sin embargo, el tamaño del ostiolo es bastante estable. La alta densidad estomática del Giant Cavendish en la haz da como resultado que el número total de estomas sea bastante mayor que en los otros clones y podría explicar, en parte, el hecho de que resulte más susceptible a la Sigatoka. Conociendo la preferencia de la Sigatoka amarilla (*Mycosphaerella muscicola*) por el extremo distal del semilimbo que se abre primero y de la Sigatoka negra (*Mycosphaerella fijensis* var. *difformis*) por la zona cercana a la vena media y a la vaina pulvinolar, sería recomendable hacer un muestreo de la densidad estomática del margen o borde foliar hacia la vena media y del extremo distal al proximal de la lámina. Es sabido que los hongos causantes de esas enfermedades penetran vía los estomas (7).

Aunque la producción del clon Giant Cavendish es excelente en las condiciones adecuadas, su marcada sensibilidad a los cambios hídricos y a la Sigatoka, le convierten en una planta que requiere numerosos cuidados y sugiere la conveniencia de establecer un buen programa de fitomejoramiento del cultivo.

Resumen

En este trabajo se estudió la variación estacional del área y volumen foliar de cinco clones de banano. En el análisis estructural siempre se empleó la cuarta hoja. También se estudió la variación en densidad estomática y longitud del ostiolo. Durante la estación

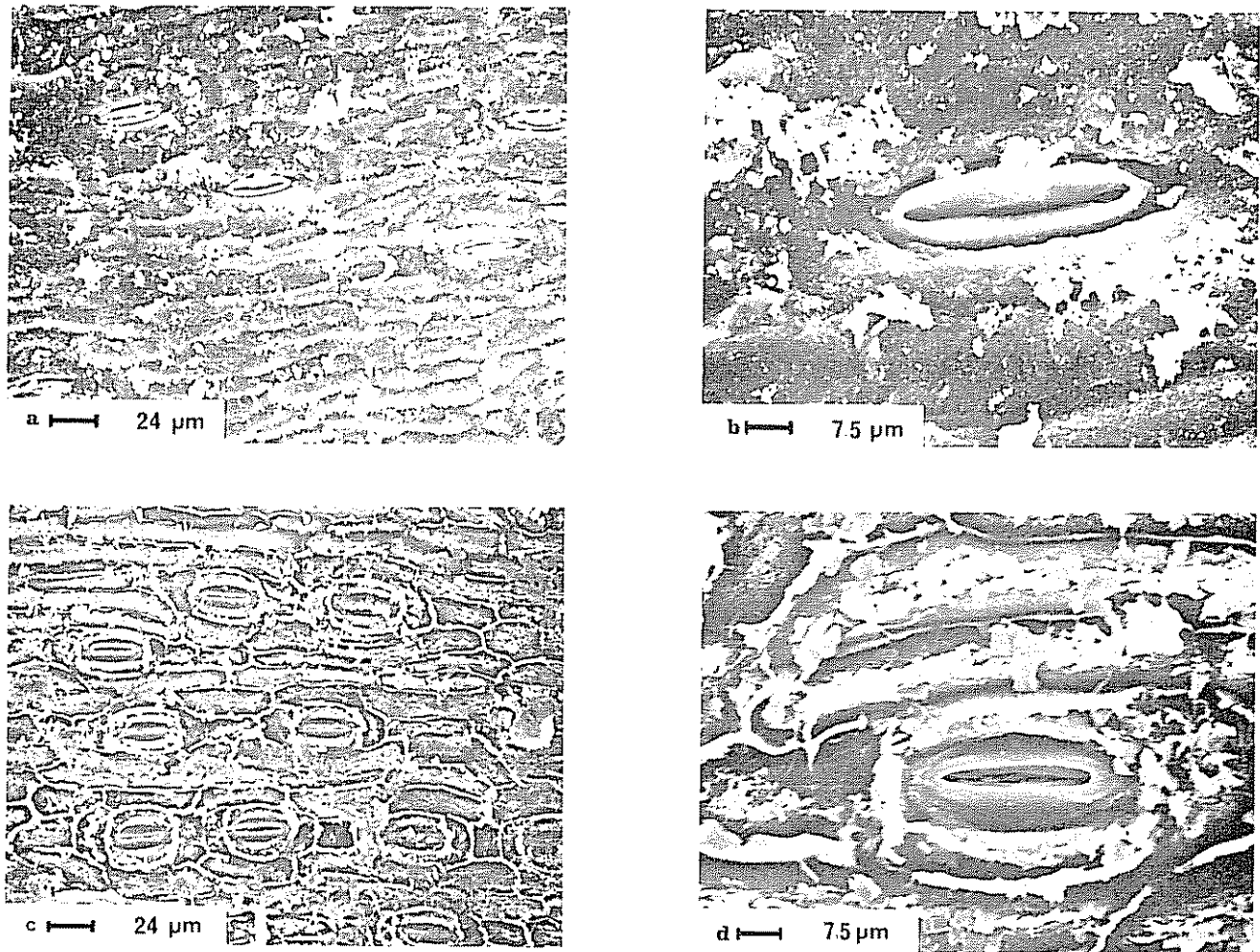


Fig 5

a y b Vista microscópica de los estomas del clon Robusta en la superficie adaxial

c y d Vista microscópica de los estomas del clon Robusta en la superficie abaxial

seca disminuyó el área y volumen foliar en todos los clones. También se redujo la densidad estomática; no obstante, la longitud del ostiolo se mantuvo estable. El déficit hídrico parece ser el factor determinante en los cambios registrados.

Literatura citada

1. AUBERT, B. Particularités anatomiques liés au comportement hydrique des bananiers. *Fruits* 28: 589-604. 1973.
2. BARKER, W. G. Growth and development of the banana plant. Gross leaf emergence. *Annals of Botany* 33: 523-535. 1969.
3. BORGES, O. L. Tamaño y densidad de estomas en clones cultivados y especies silvestres de *Musa*. *Agronomía Tropical* 21: 139-143. 1971.
4. GANTRY, J. Etude du développement du système foliaire du bananier en fonction de la température. *Fruits* 28: 499-515. 1973.
5. GREEN, G. C. y KUHNE, F. A. Growth of the banana plant in relation to winter air temperature fluctuations. *Agroplanta* 1: 157-162. 1969.
6. GREEN, G. C. y KUHNE, F. A. The response of banana foliar growth to widely fluctuating air temperatures. *Agroplanta* 2: 105-107. 1970.
7. GONZALEZ, L. C. Introducción a la Fitopatología. San José IICA. 1976. 148 p.

8. JOHANSEN, D. A. Plant microtechnique. New York, McGraw-Hill Book Co. 1940. 523 p.
9. LASSOUDIÈRE, A. Quelques aspects de la croissance et du développement du bananier "Poyo" en Côte d'Ivoire. 3^{ème} Partie. Le faux - tronc et le système foliaire. Fruits 33: 373-412. 1978.
10. OPPENHEIMER, CH. The influence of climatic factors on banana growing in Israel. Publications National University, Institute of Agriculture Rehovot Ser. No. 350-B. 1960.
11. SHARMAN, B. C. Tannic acid and iron alum with sufranin and orange G in studies of the shoot apex. Stain Technology 18: 105-111. 1943.
12. SIMMONDS, N. W. Bananas London, Longmans 1966. 539 p.
13. SKUTCH, A. F. Anatomy of leaf of banana, *Musa sapientum* L. var. hort. "Gross Michel". Botanical Gazette 84: 337-91. 1927.
14. TOMLINSON, P. B. Anatomy of the monocotyledons III. Commelinales - Zingiberales. Oxford, Charendon Press. 1969.
15. TURNER, D. W. Daily variation in banana leaf growth. Australian Journal of Experimental Agricultural and Animal Husbandry 10:231-234. 1970.
16. TURNER, D. W. Effects of climate on rate of banana leaf production. Tropical Agricultural (Trinidad) 48: 283-287. 1971.
17. TURNER, D. W. y E. LAHAV. The growth of banana plants in relation to temperature. Australian Journal of Plant Physiology 10:45-53. 1983.

SISTEMAS AGROFORESTALES DE CAFE (*Coffea arabica*) CON LAUREL (*Cordia alliodora*)
Y CAFE CON PORO (*Erythrina poeppigiana*) EN TURRIALBA, COSTA RICA.

II PRODUCCION AGRICOLA, MADERABLE Y DE RESIDUOS VEGETALES¹ /

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

Summary

The harvest of coffee (*Coffea arabica*) in association with laurel (*Cordia alliodora*) or poró (*Erythrina poeppigiana*) was measured annually between 1979 and 1984 in the "Experimento Central" of CATIE, Turrialba. The accumulated values for 5 years were 9 436 and 12 897 kg/ha (dry weight) respectively. The laurel trees also regularly measured and at age 7 had attained an average height of 14.7 m with an average diameter (d.b.h.) of 30.3 cm, giving a total stem wood volume of 90 m³/ha. Both coffee and wood production rates are high.

Natural litterfall were studied between November 1981 and October 1984. Annual totals were (kg/ha/a) Coffee with *Cordia* 7 420; Coffee with *Erythrina* 8 847.

The residues resulting from the pruning of the poró are very high, reaching together with natural litterfall in the system coffee with *Erythrina* a total production of 20 t/ha/a. The rate of decomposition of organic residues was exponentially correlated with time. The residues from the coffee-poró system decompose more rapidly than of coffee-*Cordia*.

Introducción

En los sistemas de producción agroforestales se propone aumentar y optimizar las cosechas, disminuyendo sus variaciones en el tiempo manejando los insumos de producción y seleccionando las especies y en cierto grado manejando los factores abióticos (1, 11, 12, 17).

En estos sistemas es necesario conocer no sólo las reservas orgánicas y minerales involucradas en las diferentes especies consideradas (1, 2, 9) sino también la exportación del sistema por medio de las cosechas.

La producción y descomposición de los residuos vegetales es el eslabón que une los factores bióticos y abióticos del sistema por medio de la descomposición de los residuos; en los procesos de humificación y mineralización se producen sustancias húmicas y elementos nutritivos que son incorporados al suelo, en donde quedan disponibles para su reutilización (7). La sucesión es el cambio de la estructura y de las funciones que sufre el ecosistema con el paso del tiempo y que lo conduce a una maximización de los recursos disponibles.

Con base en los resultados obtenidos en el Experimento Central del CATIE en Turrialba se ha informado de los valores de la biomasa y las reservas de elementos nutritivos acumulados en los sistemas agrofo-

¹ Recibido para publicación el 12 de febrero de 1985.
* Coordinador del Proyecto Agroforestal CATIE/CTZ, Turrialba, Costa Rica.

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

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

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

restales café con laurel y café con poró (1). En este artículo se presentarán detalles sobre la producción de café y de madera del laurel, así como de la producción de residuos vegetales y su descomposición

Materiales y métodos

Cosechas del café

El café se cosechó desde noviembre de 1979 hasta junio de 1982. Se determinó el peso de los frutos maduros por planta y el peso fresco total de los frutos por planta, diferenciando el borde y la parcela efectiva. Posteriormente a junio de 1982 solamente se anotó el peso fresco total de los frutos por parcela.

Para calcular los datos de la cosecha se sumó por parcela y por año la producción en frutos completos de 112 cafetos que representan la parcela efectiva. Para cada repetición se obtuvo la producción en kg por árbol por año la que se multiplicó por 5 000 que es la densidad de plantas por ha, para obtener los kg/ha/a de café, en peso fresco.

Del 8 de setiembre de 1981 al 24 de junio de 1982 de cada cosecha se extrajo por parcela una muestra de unos 200 g de frutos, se secaron en una estufa con aire forzado a 70°C. Una vez obtenido el peso seco, las muestras de un mismo tratamiento se mezclaron mensualmente y se pasaron por un molino Willey con malla No 40. Con el valor de la humedad de las muestras se pudo entonces calcular la producción de materia seca.

Producción de madera de laurel

El diámetro a la altura del pecho (DAP) y las alturas (h) de todos los árboles de laurel en las parcelas con café se midieron en octubre 1978, febrero 1979, octubre 1979, mayo 1980 (19), febrero y noviembre 1982, junio y noviembre 1983 y diciembre 1984. En función de ello se calculó el incremento anual maderable de los tallos tanto en diámetro como en altura.

En julio 1981 se realizaron raleos y la madera extraída se consideró también como parte de la producción maderable. El raleo de tres árboles por parcela es equivalente a 93 árboles por hectárea.

Determinación de la producción natural de residuos vegetales

La hojarasca natural se recolectó en trampas colocadas en las parcelas No. 36 (café + laurel) y No. 37 (café + poro). Por parcela se colocaron 6 trampas con marco de madera (de 1 m de lado y 10 cm de alto) y con fondo de malla fina de fibra de vidrio a una altu-

ra de 10 cm del suelo. Las recolecciones se iniciaron en noviembre de 1981 y concluyeron en octubre de 1984. Tres de las trampas se ubicaron a lo largo de una hilera de árboles de laurel y las 3 restantes a lo largo de 2 hileras de cafetos. Las muestras se recolectaron cada 7 días y en forma individual, para las 12 trampas, separándolas en los diferentes componentes de hojas, ramas, frutos (café) hojas y peciolo (poró) y anotando los pesos frescos de cada uno de los compartimientos. Las flores de café y laurel se incluyen en el compartimiento de las hojas. Las muestras se secaron en una estufa a 70°C y se pasaron por un Molino Willey con malla No. 40 para determinar los contenidos totales de N, P, K, Ca y Mg.

Para el N total se utilizó el método Microkjeldahl (16). Para P, K, Ca y Mg se realizó una digestión nitroperclórica; el fósforo se determinó colorimétricamente, el potasio, calcio y magnesio se determinaron por espectrometría de absorción atómica (6).

Determinación de la descomposición de los residuos

La descomposición de los restos vegetales se estudió con muestras de 200 gramos de hojas frescas en cajas de madera (50 x 10 cm, tamiz plástico de 1 mm de malla) las cuales fueron expuestas durante 1, 2, 4, 6, 8, 10 y 12 meses en el suelo de la parcela. La mezcla de 200 g de hojas tenía la proporción de los residuos vegetales producidos en el primer año de estudios: Café 78 g/laurel, 122 g; café 144 g/poró 56 g.

Después del secado (105°C, 24 horas) se determinó el peso seco para calcular la tasa de descomposición.

Resultados y discusión

Producción de café

Los datos de cosecha de café por parcela se presentan en el Cuadro 1. Se nota que la producción de café bajo la sombra del laurel no sólo es inferior a la de café bajo poró, sino que incluso disminuye año tras año y no es sino hasta el cuarto año de cosecha que sufre un incremento inesperado, que incluso supera mucho a la producción promedio de ese año y de todos los años anteriores bajo poró. Es muy probable que el aumento súbito en la producción del sistema con laurel se haya debido a una respuesta del cafeto al raleo de laurel que se realizó en junio de 1981, de 278 árboles por ha a 185 árboles por ha. En el quinto año de cosecha las cosechas de ambos tratamientos disminuyeron notablemente en comparación con los años anteriores. Ello se debió sin duda al manejo del

Cuadro 1. Producción de café en los sistemas agroforestales café con laurel y café con poró.

Tratamiento	Café + Laurel		CV
	\bar{x}	s	
COSECHA FRESCA (kg/ha) 13 nov. 79 al 7 oct 1980	4 431	1 754	40
7 oct. 1980 al 8 set. 1981	3 816	242	6
22 set. 1981 al 21 jun 1982	2 389	307	13
22 set. 1982 al 14 feb 1983	16 736	3 386	20
30 ago. 1983 al 23 ene 1984	3 067	1 439	47
1979-1984 Total		30 439	
HUMEDAD (%)		69.0	
COSECHA SECA (kg/ha) 1979-1984		9 436	
Tratamiento	Café + Poró		CV
	\bar{x}	s	
COSECHA FRESCA (kg/ha) 13 nov. 79 al 7 oct. 80	5 103	696	14
7 oct. 80 al 8 set. 81	11 873	2 564	22
22 set. 81 al 21 jun. 82	9 776	2 508	26
22 set. 82 al 14 feb 83	11 338	1 207	11
30 ago. 83 al 23 ene. 84	3 628	875	24
1979-1984 Total		41 719	
HUMEDAD (%)		69.1	
COSECHA SECA (kg/ha) 1979-1984		12 891	

experimento, las cosechas del café se realizaron cada tres semanas, resultando una gran pérdida de granos maduros, como se verá en el acápite sobre producción de residuos vegetales

Aunque los datos de rendimiento del presente experimento no se prestan para hacer comparaciones definitivas, debido a que las plantas de café todavía se consideran jóvenes, si se comparan algunas producciones de café, se notará que en principio la combinación café con leguminosa siempre presenta las mayores producciones, mientras que las combinaciones café con laurel presentan diferencias marcadas en su

rendimiento para los años en estudio. No se descarta la posibilidad de lograr buenas producciones, vale la pena aclarar que la forma de manejo que reciben tanto el cultivo como la sombra juega un papel esencial para lograr buenas cosechas. Se espera obtener conclusiones más definitivas conforme los cultivos vayan entrando en su fase culminante de producción con el paso de los años.

A pesar de que es difícil dar una explicación integral y detallada de cómo los árboles de sombra afectan positiva o negativamente el rendimiento del cafeto debido a lo complejo de las interacciones existentes para cada sistema, se puede al menos resaltar los siguientes aspectos de la sombra (aunque no son los únicos) (5, 15, 22, 24)

- La sombra permanente del laurel en comparación con la sombra regulada del poró puede disminuir la cantidad de luz disponible que llega al cafeto, siendo afectada por un lado la producción de materia seca del cafeto, sobre todo en la biomasa foliar, y por otro lado el proceso de floración, número de nudos y diferenciación de yemas por nudo lo que, como consecuencia, redundaría en una menor producción del grano.
- La sombra del laurel recircula una cantidad menor de nutrimentos que la sombra del poró, afectándose así elementos tan importantes como el N y K.
- La sombra del laurel, en comparación con la del poró, puede haber ocasionado una utilización ineficiente de las dosis aplicadas de fertilizante, por parte del cafeto.
- Por último, no se descarta la posibilidad de una mayor competencia radical en el sistema con laurel que en el sistema asociado con poró.

Los coeficientes de variabilidad de las cosechas por parcelas, calculadas para cada uno de los años (Cuadro 1), son muy notables, oscilando entre el 6 y 40%, a pesar de que se trata de una plantación nueva y bajo control experimental.

Las cosechas obtenidas en los dos últimos años son bastante elevadas al compararlas con otros valores de la literatura de Costa Rica (5, 8, 9, 18) y El Salvador (22). Estas comparaciones son sin embargo, muy relativas ya que se trata de diferentes cultivares, bajo diferentes sombras con diferentes edades y densidades de siembra y en sitios diferentes.

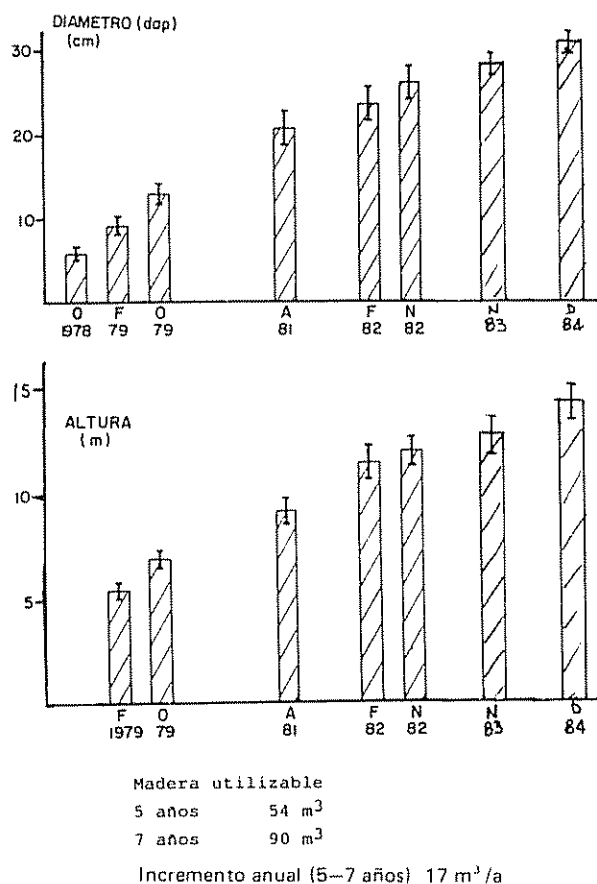


Fig. 1. Incremento del diámetro y la altura de los árboles de laurel.

Producción maderable del laurel

El raleo del laurel realizado en julio de 1981 fue de 10.1 m³/ha de madera (equivalente a 4 450 kg materia seca por hectárea).

En la Figura 1 se presenta la continuación de las mediciones de altura y de diámetro (DAP) de los árboles de laurel, iniciados por Remijn y Wilderink (19). En noviembre de 1982 los árboles de laurel asociados con café alcanzaron un promedio un DAP de 25.9 cm y una altura promedio de 11.9 m. Los valores correspondientes para diciembre de 1984 fueron 30.3 cm y 14.7 m respectivamente. Los incrementos anuales del diámetro disminuyen lógicamente de año en año en este bosque joven, sin embargo, alcanzaron los diámetros 3.4 y 1.4 cm/a en 1982 y 1984 respectivamente. Para las alturas los valores respectivos son de 0.7 y 0.6 m/a. Los valores de madera en pie (1982: 54.1 m³/ha, 1984: 90 m³/ha) son altos en comparación con otros encontrados en la literatura (3, 4, 14, 20). Esto puede deberse al buen manejo experimental de los árboles, así como al posible aprovechamiento de los fertilizantes aplicados a los cultivos.

Producción de residuos vegetales naturales

En el Cuadro 2 se presentan los valores anuales de la producción de residuos de los sistemas en estudio; los valores mensuales correspondientes al sistema café con poró se pueden observar en las Figuras 2 y 3.

El sistema café con laurel presenta una producción promedio anual de 7 420 kg materia seca por hectárea de la cual las hojas de café contribuyen con un 28.4% y las del laurel con un 48.6%. Esto es explicable por la caducifolia total del laurel en la época seca del año. Las cantidades anuales registradas han aumentado gradualmente (1er año 3 124, 2do año 3 675 y 3er año 4 010 kg/ha) en función del crecimiento gradual de las copas de los árboles.

Como se ve en la Figura 2 la producción de residuos naturales del poró es afectada notablemente por el manejo de las podas. En los primeros meses después de la poda se forman las ramas y hojas nuevas que lue-

Cuadro 2. Producción de residuos naturales en los sistemas agroforestales estudiados (kg/ha/a):

	CAFE			LAUREL	
	Hojas	Ramas	Frutos	Hojas	Ramas
1 año	1 980	45	416	3 124	138
2 año	1 981	321	471	3 675	1 130
3 año	2 364	641	683	4 010	1 282
Promedio	2 108	336	523	3 603	850
	CAFE			PORO	
	Hojas	Ramas	Frutos	Hojas	Ramas
1 año	4 382	320	953	1 731	212
2 año	3 903	587	1 354	4 116	903
3 año	2 311	347	1 003	3 578	842
Promedio	3 532	418	1 103	3 142	652

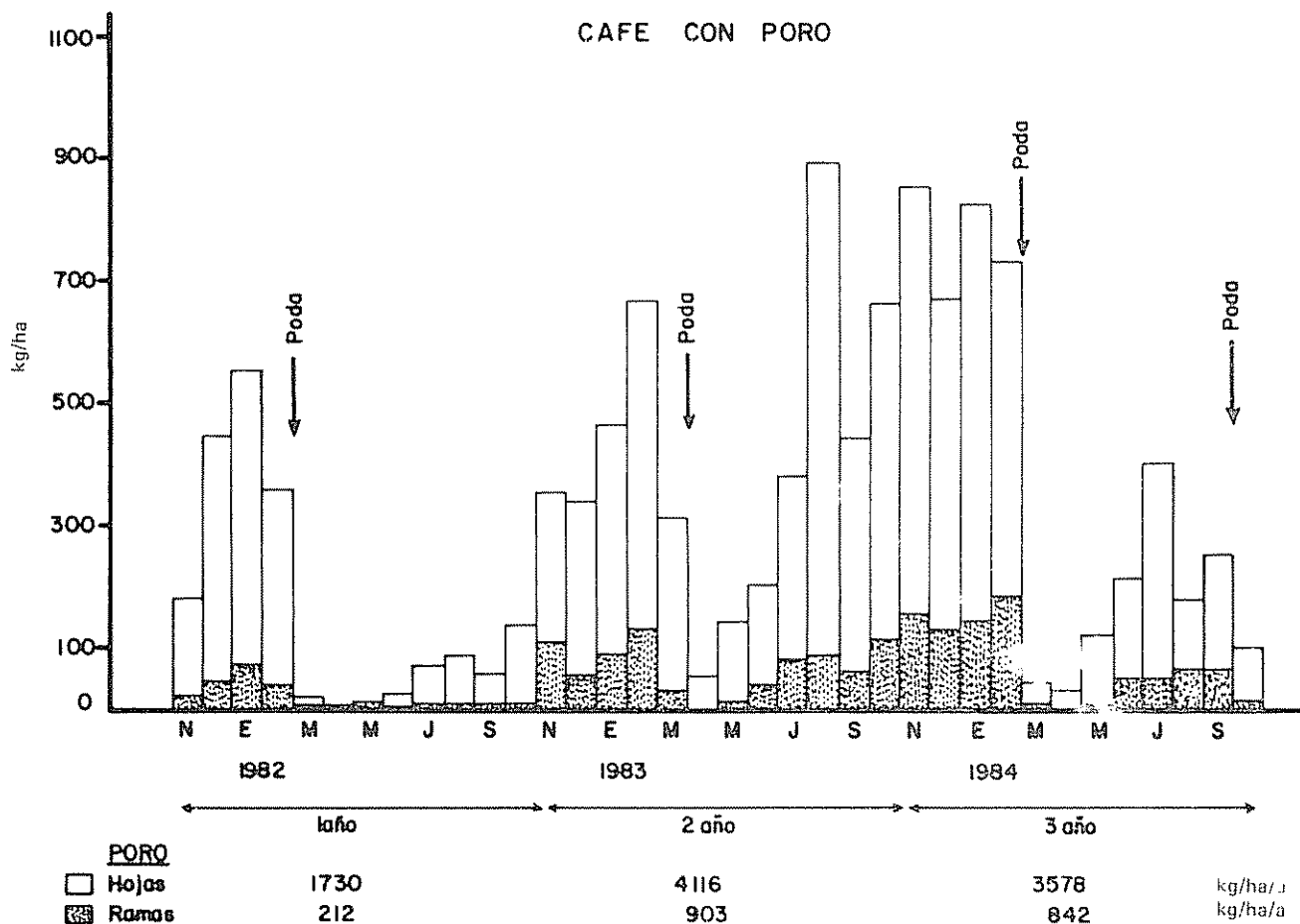


Fig 2. Producción de residuos vegetales naturales del poró, en combinación con café

go pasan a la producción hojarasca. Los valores son sin embargo altos, correspondiendo a un total de 1 942, 4 319 y 4 420 kg de materia seca por hectárea en los tres años sucesivos de estudio. Estos valores no son congruentes y son difíciles de interpretar ya que las épocas entre podas no han sido fijas. Sólo una medición a largo plazo puede dar valores comparables y representativos.

La producción de residuos de los arbustos de café fue más homogénea en el transcurso de los 3 años de estudio, especialmente en las hojas. Los valores anuales correspondientes a asociaciones con laurel fueron 1 980, 1 981 y 2 364 kg/ha. En la Figura 3 y en el Cuadro 2 se observa una participación elevada de los frutos del café en los residuos, especialmente en los meses de maduración de octubre a enero.

Los valores de producción de hojarasca encontrados en este estudio son más bajos que los encontrados por Glover y Beer (10) y por Russo (21) para las condiciones de Turrialba, en cafetales de mayores

edades asociados con *Erythrina poeppigiana* y *Cordia alliodora*. En asociaciones de café con *Inga* sp. también se han obtenido valores más altos de producción de residuos en México (2, 13, 23).

En cuanto al patrón fenológico, si bien la caída principal de las hojas del café es en los meses de febrero a junio, se nota que en el sistema con poró ésta es más regular durante casi todo el año. Por su parte, las hojas del laurel caen principalmente en la época de menor precipitación, entre febrero y abril, debido a su carácter caducifolio, con picos secundarios en la estación lluviosa, durante los meses de setiembre, octubre y diciembre.

Es muy probable que la intensidad de la caída de las hojas haya sido afectada por la distribución de las lluvias, como se ilustra en el Cuadro 3.

Durante los meses más secos, de enero a abril, se produjo un déficit hídrico que obligó a los árboles de laurel y arbustos de café a una mayor caída de hojas

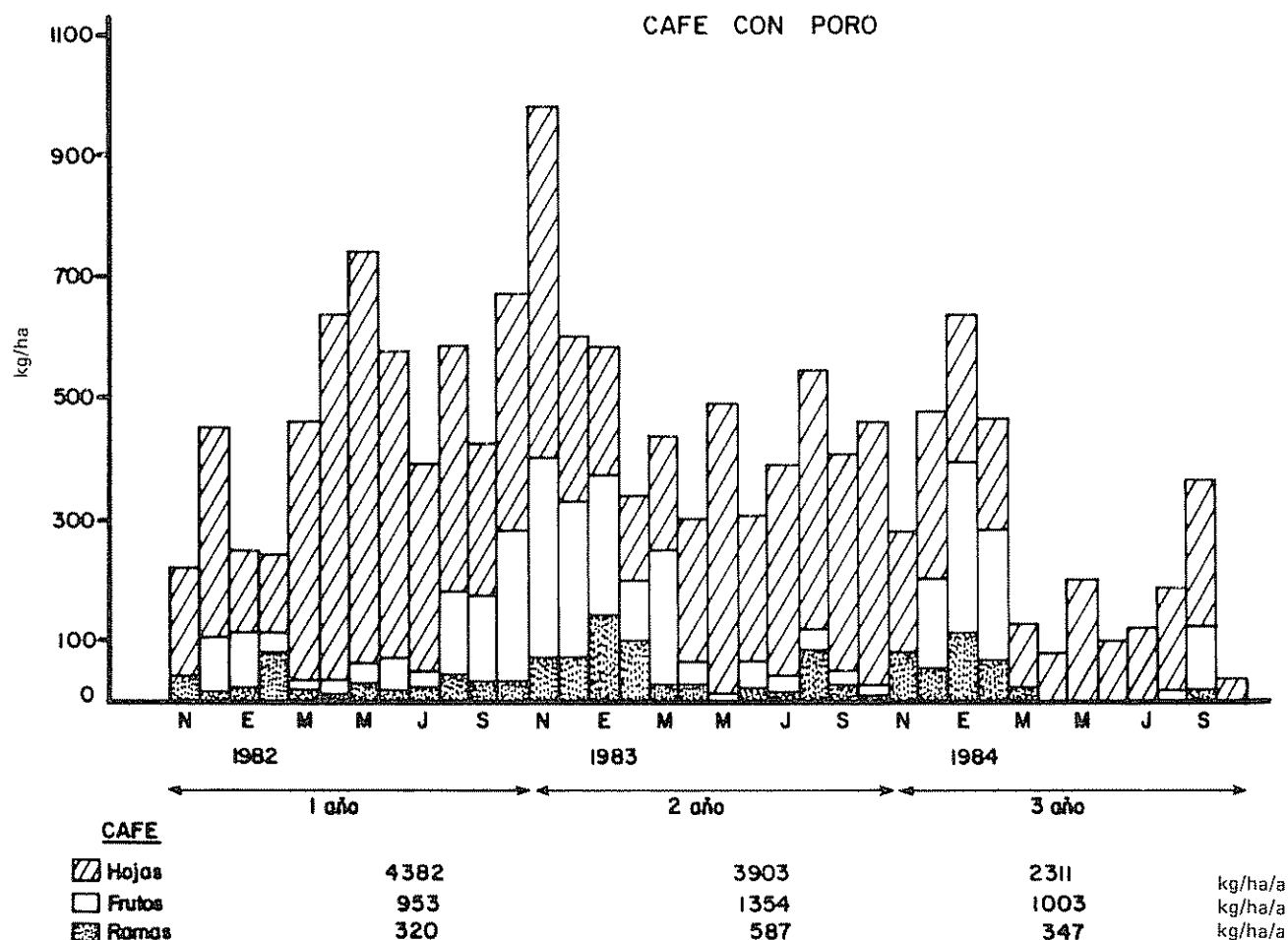


Fig. 3. Producción de residuos vegetales del café.

Sería deseable conocer la dinámica de las raíces gruesas y finas en relación con su longevidad, puede ser que las raíces finas se están renovando anualmente.

Los resultados del análisis químico de los residuos vegetales se observan en el Cuadro 4. Los valores obtenidos son comparables a los encontrados en muestras de los diferentes órganos vivos, obtenidos para hacer la determinación de biomasa (1). Las cantidades de elementos nutritivos aportados en un año (1981/82) al suelo con los residuos del sistema café con poró son más altos que para el sistema café con laurel, especialmente para el nitrógeno.

Producción de residuos vegetales de la poda del poró

La producción de residuos de las podas realizadas en los sistemas agroforestales con poró y otras leguminosas, tienen la función de regular la floración y la maduración de los frutos, e implica un aumento en la

deposición de residuos vegetales, mediante modificaciones de los vástagos vegetativo y reproductivo de las plantas.

Como se observa en la Figura 2 en el experimento descrito se han realizado podas en febrero y julio de 1982, febrero de 1983 y febrero y setiembre de 1984. La cuantificación de las ramas y tallos producidos en las podas de 1982 se utilizó para la determinación de la biomasa del poró (1). Los valores encontrados fueron (t/ha): Hojas 4.7 ± 0.5 ; Ramas 7.7 ± 0.9 .

Al hacer la comparación en el Cuadro 5, se observa que los valores de las podas son más altos que la producción natural de residuos. Así se llegó en el sistema café con poró a una producción total de 20.0 t/ha/a, conteniendo 461 kg N/ha/a. Con estos valores se cuadruplica la deposición natural del sistema café con laurel. Glover y Beer (10) encontraron en La Suiza igualmente valores muy altos, bajo café y poró 17.9 t/ha/a bajo café con laurel y poró 16.1 t/ha/a.

Cuadro 3. Distribución de la lluvia (mm) en el área de estudio entre 1944 y 1984.

Meses	N	D	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O
\bar{x} de 37 años de lluvia 1944-81	150	288	165	248	85	288	76	86	113	183	110	109
Epoca de estudio (1981-82)	621	166	58	43	68	53	207	304	531	320	222	417
(1982-83)	169	85	130	34	218	9	350	226	204	227	314	439
(1983-84)	133	111	251	172	43	13	252	259	319	306	240	255

Cuadro 4. Contenido de elementos nutritivos en los residuos vegetales (%) y transferencia de elementos nutritivos (kg/ha/a) en el primer año de estudios (1981/82).

TRATAMIENTO	CAFE + LAUREL					CAFE + PORO				
	Café hojas	Café ramas	Café frutos	Laurel hojas	Laurel ramas	Café hojas	Café ramas	Café frutos	Poró hojas	Poró pecíolos
N	1.97	1.23	1.50	2.16	0.84	2.27	1.50	1.65	3.94	1.89
P	0.13	0.11	0.15	0.13	0.11	0.12	0.12	0.15	0.19	0.14
K	1.17	0.47	1.63	0.74	0.87	1.04	0.68	1.45	0.65	1.23
Ca	1.42	0.96	0.62	2.47	1.34	1.67	1.02	0.56	2.08	1.42
Mg	0.53	0.30	0.17	0.81	0.58	0.51	0.27	0.14	0.42	0.74

TRATAMIENTO	CAFE + LAUREL					CAFE + PORO				
	N	P	K	Ca	Mg	N	P	K	Ca	Mg
Café hojas	39.0	2.5	23.1	28.1	10.4	99.4	5.2	45.5	73.1	22.3
Café ramas	0.5	0.1	0.2	0.4	0.1	4.8	0.3	2.1	3.2	0.8
Café frutos	6.2	0.6	6.7	2.5	0.7	15.7	1.4	13.8	5.3	1.3
Laurel hojas	67.4	4.0	23.1	77.1	25.3	50.8	3.2	11.2	36.0	7.2
Laurel ramas	1.1	0.1	1.2	1.8	0.8	4.0	0.3	2.6	4.0	1.5
SUMA TOTAL	114.2	7.3	54.3	109.9	37.3	174.7	10.4	75.2	121.6	33.1

Descomposición de los residuos

Los resultados obtenidos se presentan en forma gráfica en la Figura 4. Aquí interesan la curva de descomposición y la tasa de descomposición.

La curva de descomposición es exponencial, existiendo una correlación estadísticamente significativa entre el peso restante de la muestra y el tiempo de descomposición. Los coeficientes de correlación son de 0.85 y 0.55 para el café con laurel y café con poró respectivamente. El tipo de la curva indica que la descomposición de los residuos en su fase inicial es más acelerado y que la materia restante es más resistente al ataque de los microorganismos del suelo. La descomposición de los restos del café con poró es más acelerada que la del café con laurel.

De acuerdo a la curva de descomposición después de un año quedan 15 a 25 por ciento de las muestras inalteradas. En el campo experimental no se observó

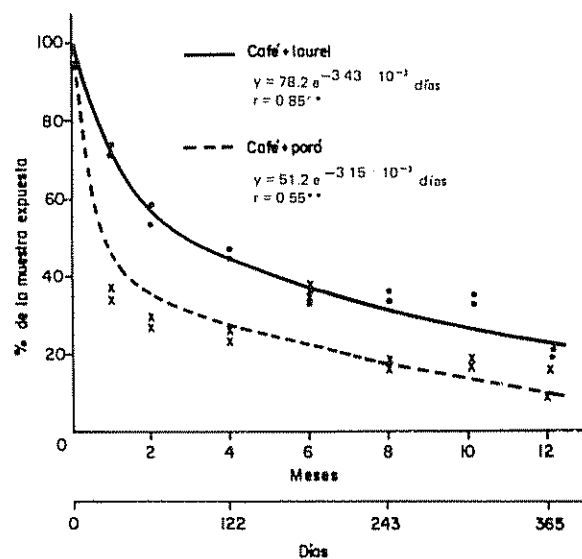


Fig. 4. Descomposición de los residuos de café con poró y de café con laurel.

Cuadro 5. Producción de biomasa y de nutrimentos en residuos vegetales naturales y de podas en los sistemas café con laurel y café con poró.

Expt. Central	Materia seca	N	P	K	Ca	Mg
Café + Poró	t/ha/a		kg/ha/a			
R. naturales	7.6	175	11	75	122	33
R. Podas	12.4	286	24	184	121	43
TOTAL	20.0	461	35	259	243	76
Café + Laurel						
TOTAL	5.7	114	8	55	110	37
La Suiza (Glover y Beer, 10)						
Café + Poró	17.8	377	31	276	246	49
Café + Poró + Laurel	16.1	338	33	169	330	70

sin embargo una acumulación progresiva de mantillo. Esto indica que entre la deposición y descomposición existe un equilibrio. Así la tasa anual de descomposición de residuos y liberación de elementos nutritivos deben ser comparables. El uso de un tamiz de 1 mm de malla en las cajas de exposición no permitió seguramente una intervención de la macrofauna en el proceso de descomposición.

Estudios comparativos casi no existen. Aranguren *et al* (2) obtuvieron para un cafetal a 1 300 m NN en Venezuela, con sombra de *Erythrina* sp. e *Inga* sp y otras leguminosas, una descomposición de un 50% en 2 meses.

Resumen

En el Experimento Central del CATIE, Turrialba, se determinó la cosecha del café (*Coffea arabica*) en asociación con el laurel (*Cordia alliodora*) y poró (*Erythrina poeppigiana*) entre 1979 y 1984. Los valores totales acumulados en los cinco años fueron 9 436 y 12 897 kg materia seca por hectárea en las combinaciones respectivas.

Los árboles de laurel se midieron periódicamente, a los 7 años de edad alcanzaron una altura promedio de 14.7 m y un diámetro (DAP) promedio de 30.3 cm. La madera de los fustes alcanzó así un volumen de 90 m³/ha. Tanto las cosechas de café como la producción maderable fueron altas.

La producción de residuos vegetales naturales se estudió entre noviembre de 1981 y octubre de 1984. Los valores anuales fueron (kg/ha/a): Café con laurel 7 420; Café con poró 8 847.

Los residuos de la poda del poró fueron muy altos, así en el primer año de estudio (1981/82) resultó

una producción de residuos totales en el sistema de café con poró de 20 t/ha/a. La descomposición de los residuos vegetales es exponencial en función del tiempo. Los residuos del café con poró se descomponen más rápidamente que los del café con laurel.

Literatura citada

- 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.
- ARANGUREN, J., ESCALANTE, G. y HERREIRA, R. Nitrogen cycle of tropical perennial crops under shade trees. I. Coffee. Plant and Soil 67: 247-258. 1982.
- 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.
- BUDOWSKI, G. An attempt to quantify some current agroforestry practices in Costa Rica. In Huxley, P. Plant research and agroforestry. ICRAF, Nairobi, Kenya. 1983. pp. 43-62.
- CARVAJAL, J.F. Cafeto, cultivo y fertilización. Instituto Internacional de la Potasa. Berna, Suiza. 1984. 254 p.
- DIAZ-ROMEY, R. y HUNTER, A. Metodología de muestreo de suelos, análisis químico de suelos y tejido vegetal e investigación de invernadero. CATIE, Turrialba, Costa Rica. 1978. 62 p.

7. FASSBENDER, H. W. Química de suelos con énfasis en suelos de América Latina. IICA. Programa de Libros y Textos. San José, Costa Rica. 1975. 398 p.
8. GONZALEZ, L. E. Efecto de la asociación de laurel (*Cordia alliodora* (Ruiz y Pav.) Oken) sobre la producción de café (*Coffea arabica* L.) con y sin sombra de poró (*Erythrina poeppigiana* (Wolpers) O. F. Cook). Tesis M. Sc., Turrialba, Costa Rica, UCR-CATIE, 1981. 110 p.
9. 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 No. 17. 1981. 26 p.
10. GLOVER, N. y BEER, J. Spatial and temporal fluctuation of litterfall in the agroforestry associations *Coffea arabica* - *Erythrina poeppigiana* and *C. arabica* - *E. poeppigiana* *Cordia alliodora*. Turrialba, Costa Rica, CATIE 1984. 43 p.
11. HEUVELDOP, J. and LAGEMANN, J. (eds.) Agroforestry Proceedings of a seminar held in CATIE, Turrialba, Costa Rica, 1981. 102 p.
12. HUXLEY, P.A. (ed) Plant research and agroforestry. ICRAF. Nairobi, 1983. 617 p.
13. 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.
14. JOHNSON, P. and MORALES, R. A review of *cordia alliodora* (Ruiz and Pav.) Oken. Turrialba 22(2): 210-220. 1972.
15. MONTOYA, L. A., SYLVAIN, P. G. y UMAÑA, R. Effect of light intensity and nitrogen fertilization upon growth differentiation balance in *Coffea arabica* L. Coffee 3: 97-104. 1961.
16. MULLER, L. Un aparato microkjeldahl simple para análisis rutinarios rápidos de materiales vegetales. Turrialba (Costa Rica) 11 (1): 17-25. 1965.
17. NAIR, P. K. R. Agroforestry species, Crop Sheet manual. ICRAF, Nairobi. 1980. 335 p.
18. PEREZ, L. y GUTIERREZ, G. Respuesta de algunos cultivares y variedades de *C. arabica* a diferentes densidades de siembra. In Congreso Agronómico Nacional. VI Resúmenes. San José, Costa Rica. 1976. pp. 22-27.
19. ROMIJN, M. y WILDERINK, E. Evaluación preliminar de los sistemas agroforestales del ensayo central "La Montaña". CATIE, Programa de Recursos Naturales Renovables, Programa de Plantas Perennes. Turrialba, Costa Rica. 1981. 43 p.
20. ROSERO, P. y GEWALD, N. Crecimiento del laurel (*Cordia alliodora*) en cafetales, cacaoales y potreros en la zona Atlántica de Costa Rica. In Actas Taller sistemas agroforestales en América Latina, Turrialba, marzo. 1979.
21. 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 M. Sc. Turrialba, Costa Rica, CATIE. 1983. 106 p.
22. SUAREZ DE CASTRO, F. *et al.* Efecto del sombrero en los primeros años de vida de un cafetal. Café 3 (1): 81-102. 1961.
23. SUARES DE CASTRO F. y RODRIGUEZ, C.A. Equilibrio de materia orgánica en plantaciones de café. In Investigaciones sobre la erosión y la conservación de los suelos en Colombia. Federación Nacional de Cafetaleros de Colombia. 1962. pp. 331-372.
24. SYLVAIN, P.G. Effect of shade upon growth and differentiation of coffee seedlings as expressed by physical measurements and chemical composition. IICA, Turrialba, Costa Rica. 1952. (mimeogr.).

Reseña de libros

INTERNATIONAL POTASH INSTITUTE, NUTRIENT BALANCES AND THE NEED FOR FERTILIZERS IN SEMI-ARIDE AND ARID REGIONS -- 17° Coloquio del Instituto Internacional del Potasio. Rabat y Marrakech Marruecos, 394 p. (1983).

Esta reunión, la décimo séptima en una larga serie, se basó en cuatro sesiones de trabajo que incluyeron 19 presentaciones individuales de alto nivel y muy bien documentadas. Hay un informe del Coordinador, a final de cada una de las sesiones, a cargo de un científico de muy alto nivel, como lo son el Dr. Cook del Reino Unido, el Prof. Bering de Alemania Federal, el Prof. Jelenic de Yugoslavia y el Prof. Garcia de la Universidad Politécnica de Madrid.

En la primera sesión se estudió los potenciales de producción en regiones áridas y semi-áridas y el efecto de diferentes componentes del sistema como el potasio y la eficiencia con que las plantas usan el agua. Los resultados indican que se podrá aumentar considerablemente la producción en estas regiones especialmente con plantas más adaptadas a estas condiciones y un manejo que permita usar más eficientemente los recursos, especialmente los insumos agua y nutrientes.

La segunda sesión versó sobre la dinámica de nutrientes en regiones áridas y semiáridas. Se resal-

tó el problema de que los resultados del análisis de suelos no siempre reflejan fielmente los niveles disponibles de los nutrimentos. Se sugiere diferentes enfoques novedosos como la determinación del P en dos fracciones, como P lábil y P de reserva. Se discute la problemática de un análisis confiable de N en estas condiciones y se concluye que esta información no existe todavía. Para estimar problemas de oligoelementos se recomienda el uso del análisis foliar, por ser más acertado en estas condiciones. Se hace de nuevo énfasis en la necesidad de plantas bien adaptadas a estas condiciones.

La tercera sesión se dedicó a sistemas de "temporal" es decir aquellas donde la agricultura dependa de la lluvia disponible. Se han analizado las dificultades para medir el balance de nutrimentos bajo estas condiciones. Se ha presentado también información sobre el efecto de la distribución de la lluvia sobre los rendimientos y la influencia de prácticas agronómicas para un óptimo aprovechamiento de la escasa lluvia disponible.

La cuarta sesión se dedicó a sistemas de agricultura bajo riego. En esta sesión se presentó amplia información sobre los efectos del agua de riego a corto y largo plazo sobre la fertilidad y productividad de suelos. Se analiza aquí los aspectos de la calidad y disponibilidad del agua en los sistemas de riego sobre la producción, en adición a las interacciones agua fertilizante.

Todos los trabajos llevan buenas bibliografías y el volumen representa sin duda una valiosa adición a la bibliografía del manejo de suelos áridos y semi-áridos.

ELEMER BORNEMISZA
UNIVERSIDAD DE COSTA RICA

THE EFFECT OF VARIOUS METHODS OF LAND PREPARATION ON SOIL RESISTANCE TO PENETRATION AND YIELDS OF CORN (*Zea mays* L.), CASSAVA (*Manihot esculenta* CRANTZ) AND SWEET POTATO (*Ipomoea batatas* L.) IN ASSOCIATION. I. EFFECT OF CROPPING SYSTEMS AND LAND PREPARATION ON THE SOIL¹ /

W. FORSYTHE, N. TAFUR*

Resumen

La resistencia del suelo a la penetración se midió cuando un suelo Typic Dystrypept fue arado durante la estación seca (abril 1975) y la estación húmeda (junio), utilizando un tractor de oruga Caterpillar D4 de 60 kW (75 caballos) para subsolar y un tractor de llantas Massey Ferguson 175S de 50 kW (67 caballos). Además se hicieron mediciones cuando el suelo fue preparado desyerbando y limpiando sin usar maquinaria. Cada tipo de preparación de terreno tuvo subtratamientos tales como suelo descubierto, suelo con cobertura vegetal muerta de caña de azúcar, suelo sembrado con maíz y un suelo sembrado con yuca y camote en asociación. El experimento se llevó a cabo en CATIE, Turrialba, Costa Rica, con un promedio anual de lluvia de 2682mm y una temperatura promedio anual de 23.3°C.

El maíz se sembró en mayo y junio y se cosechó en octubre y la yuca asociada con camote se sembró al mismo tiempo y se cosechó 10 meses después en marzo y abril, 1976.

La resistencia del suelo se redujo en forma significativa hasta 0.1 m de profundidad arando y hasta 0.3 m subsolando. El suelo preparado durante la estación seca experimentaba una humedad significativamente inferior a aquella del suelo preparado durante la estación húmeda y la humedad superior se atribuyó al fangoso (puddling). Estas diferencias eran notables hasta 14 semanas después de preparar el suelo seco y 6 semanas después de preparar el suelo húmedo. Después de estos lapsos límites de tiempo, los efectos eran residuales. Durante el desarrollo de los cultivos, la resistencia de suelo se aumentó debido a 1. El secamiento del suelo durante la estación seca que provocó un aumento hasta 5 veces. 2. El tráfico humano que ocurrió en el maíz, y yuca con camote, hasta 0.2 m de profundidad. 3. El tiempo de sedimentación, tal como fue observado en las parcelas sin tráfico humano durante la estación húmeda.

Introduction

Corn, casava and sweet potato are crops commonly used by small farmers of tropical Latin America and the Caribbean. Cassava and sweet potato in association has been considered a promising combination (12). Land preparation for these crops

follow various local traditions, and in many cases small farmers do not have the resources to mechanically prepare the land or carry out irrigation. The relationship between land preparation and crop yields depends on the initial values and subsequent changes in the physical, chemical and biological conditions of the soil. It is therefore convenient to include in a soil diagnosis such properties which can decide on ploughing needs. This paper reports on studies on the effect of different methods of land preparation on the physical properties of a soil.

Materials and methods

The experiment was carried out in the experimental fields of CATIE in Turrialba, Costa Rica (9°

¹ Received for publication in March 20, 1985

* The junior author is Agricultural Research Specialist, IICA Office in Trinidad and Tobago, P.O. Box 1318, Port-of-Spain, Trinidad and Tobago and previously Soil Physicist at CATIE, Turrialba, Costa Rica. The senior author was formerly a graduate student at CATIE, now Agronomist in the Programa Delta, FUSAGRI, Estación Experimental de Guara, Tucupita, T.F.D.A., Venezuela

53° N and 83° 39' W) at an elevation of 602 m. The area has a mean monthly temperature of 23.3°C (maximum 27.1°C and minimum 17°C), a mean annual rainfall of 2682 mm and an annual mean of 251 rainy days. There are 4.5 hours of daily average sunshine hours, and the average daily relative humidity is 88%. The average atmospheric water balance which is approximately 50% reliable, (rainfall - A pan evaporation) shows 11 months of moisture excess which varies between 9 and 269 mm with a monthly average of 137 mm (6). On the average there is 1 month of deficit of 44 mm, this being generally in March. The 75% reliable atmospheric water balance (75% reliable rainfall* - A pan evaporation) shows 9 months of moisture excess which varies between 21 and 130 mm with a monthly average of 86 mm. At the level of 75% reliable rain, there are deficits in February, March and April, which average 67 mm. The probability of a deficit in February is 37.8%, March 74.8%, and April 46.3%.

With a design of hierarchical classification with 4 replications, 6 methods of land preparation were evaluated. Each preparation method had a block of 8 x 130 m containing 4 sub-treatments with a plot size of 7 x 8 m, replicated 4 times, as follows:

Treatment 1 (S₁):

Preparation with a 60 kW (75 h.p.) D-4 Caterpillar track tractor at 0.1 m depth during the dry season.

Treatment 2 (S₂):

Preparation with the track tractor at 0.1 m during the wet season.

Treatment 3 (S₃):

Preparation with a 50 kW (67 h.p.) Massey Ferguson tire tractor at 0.1 m during the dry season.

Treatment 4 (S₄):

Preparation with the tire tractor at 0.1 m during the wet season.

Treatment 5 (S₅):

Preparation with the track tractor with a subsoiler at 0.25 m during the dry season.

Treatment 6 (S₆):

No mechanical preparation. Hand weeded and cleaned.

Sub-treatments:

Sub-treatment 1 (CS₁):

Bare soil

Sub-treatment 2 (CS₂):

Soil covered with mulch (sugarcane trash).

Sub-treatment 3 (CS₃):

Soil planted with corn.

Sub-treatment 4 (CS₄):

Soil planted with cassava in association with sweet potato.

Land preparation included 1 ploughing and 3 harrowings with either a D-4 Caterpillar track tractor or special application or a Massey Ferguson 175s tire tractor. The subsoiling was done with a subsoiler (Rome 113944R crowder) and ploughing and harrowing were done with discs. Land preparation in the dry season occurred during 10-15 April, 1975 when the gravimetric soil moisture between 0-0.2 m was 29.1% ± 1.6, and in the wet season occurred during 10-11 June, 1975, with a soil moisture of 39.5% ± 1.5.

The soil is Institute clay loam (normal phase) which is classified as a Typic Dystrypept with average field capacity values (33 k Pa suction or 0.33 bars suction) for the 0-0.1 m layer of 37.8% (gravimetric) for disturbed soil and 41.3% for undisturbed soil; a 15 bar (x 10² k Pa) suction value of 28.3% for disturbed and 29.1% for undisturbed soil; a lower plastic limit of 36.4% and a sticky point of 47.8%. In the 0-0.2 m layer the soil has 29% sand, 43% silt and 29% clay (US classification) and in the 0-0.1 m layer available water is 11.5% (volumetric), bulk density 1.09 mg/m³ (g/cc) and total porosity 57.2%. In the 0-0.15 m layer the soil (5 months after planting) had an average pH (H₂O) of 4.9, pH(KCl) of 4.1, total nitrogen 0.33%, organic matter 5.7%; base exchange capacity 296 m mol (+)/kg, (29.6 me/100g), base saturation 24% and Al saturation 4%.

Sub-treatment CS₁ was maintained free of weeds with Gramoxone, with prescribed paths within the plot (7 x 8 m) for human traffic. CS₂ was covered with trash from sugarcane (*Saccharum officinarum*) in sufficient amount so that no soil could be seen from above, and had prescribed paths within the plot for human traffic in order to control weeds. Sub-treatment CS₃ was planted between 8-15 June, 1975 with the Tuxpeño 1 variety of corn (*Zea mays* L.) after sprinkling the soil with 2.5% Aldrin and treating the seed with 2.5% Aldrin and 50% Orthocide. Planting was manual using a metal pointed digging stick (espeque) to make holes in the ground and placing 4 seeds in each hole. Planting spacing was 1 m between

* Rainfall with a 75% probability of being surpassed

rows and 0.5 m between plants giving a planting density of 80 000/ha (without thinning). Fertilizer was applied in bands on planting and 35 days afterwards. Total fertilizer application was 125, 120, 40 and 20 kg/ha of N, P₂O₅, K₂O and Mg O respectively. There were three weedings and two applications of Furadan granules around each corn plant to control *Anomala cincta*.

Subtreatment CS₄ was planted simultaneously with the Japonesa variety of cassava (*Manihot esculanta* Crantz) and the C-15 Salvador B-4906 variety of sweet potato (*Ipomoea batatas* L.) during the same period as CS₃. The cassava was planted, using a shovel to place inclined cuttings 20-30 cm long in the ground at a spacing of 1.0 m x 1.0 m giving a population of 10 000/ha. Two rows of sweet potato slips were planted between the rows of cassava with a shovel, to give a spacing of 0.5 m x 0.4 m and a population of 50 000/ha. There was one weeding and fertilizer application was similar to that of CS₃. Applications of 80% Sevin were made three times to control *Diabrotica* sp and *Megastes grandalis*.

Soil resistance to a 5 mm diameter circular stainless steel piston pushed 5 mm into the soil was measured by a John Chatillon push - pull guage Cat. No 719-40 MRPF, which measured the maximum

thrust applied for penetration. Moisture of the corresponding soil was measured (7). Measurements were made 0.1 m from the planting rows in two areas within a subtreatment at depths of 0, 0.1, 0.2 and 0.3 m. Sampling was done during 4 periods: P-1, 15th July-10th August, 1975; P-2, 10 September-10 October, 1975; P-3, 2-18 December, 1975; P-4, 9-25 March, 1976. The bulk density of each subtreatment in the 0-0.1 m layer was measured 6 months after planting by the constant volume cylinder method (7) after two days of rain. Soil moisture retention curves of undisturbed samples stored at field moisture, were taken from 6 subtreatments with human traffic and 6 without traffic, at 0, 0.1 m, 0.1 - 0.2 m and 0.2 - 0.3 m (7).

Chemical analyses were done approximately 5 months after planting. Two samples from 0 - 0.15 m and 0.15 m to 0.3 m were taken from each plot and combined. All plots of S₅ and S₆ and 4 plots of S₁, S₂, S₃ and S₄ were sampled. Samples were mixed and conserved at field moisture before analysing for moisture, pH (water), pH (1M KCl), organic matter (Walkley-Black), total N, available phosphorous (Olsen-Hunter), extractable sulphur, exchangeable bases, cation exchange capacity, exchangeable aluminium, exchangeable Cu, Zn, Mn and Fe (13).

Table 1. Climate and operations during the experimental period.

Year	Month	Av. Temp. °C	Reliable Rainfall mm*	Rainfall mm	Rainfall Probability % **	Operations	Atmospheric Water balance mm ***	Gravimetric soil moisture %, 0-0.2 m for C ₄
1975	Jan	19.8	118	131	29.7		54	
	Feb	19.9	54	20	9.4		-75	
	Mar	21.4	38	28	18.3		-108	
	Apr	21.1	54	33	15.8	1	-85	29
	May	22.2	166	112	9.9		-8	
	June	21.4	236	227	21.6	2,3	140	39
	July	20.9	203	327	67.5	4	238	43
	Aug	21.1	186	330	80.7		244	
	Sept	23.5	204	418	94.7	5,6,7	313	47
	Oct	21.5	200	326	79.5		234	
	Nov	21.4	195	420	80.2	8	336	
	Dec	19.4	183	570	77.4	9,10	496	47
1976	Jan	19.2	118	259	76.1		180	
	Feb	19.3	54	105	38.5		11	
	Mar	20.4	38	13	8.3	11	-121	29
	Apr	20.5	54	134	48.9	12	3	

* Rainfall with a 75% probability of being exceeded. (1944-1974), ** Probability of occurrence between 0 mm and the observed rainfall (1944-1974); *** Rainfall - Type A pan Evaporation (P.E.T). Operations: 1. dry season land preparation; 2. wet season land preparation (10-11 June); 3. planting C₃ and C₄ 8-15 June; 4. P-1 resistance sampling (15 July - 10 August); 5. P-2 resistance sampling (10 Sept - 7 Oct); 6. bending corn stalks (19 Sept - 10 Oct); 7. reaping corn (30 Sept - 30 Oct); 8. sampling for chemical analysis (15 Nov); 9. sampling for bulk density (15 Dec); 10. P-3 resistance sampling (2-18 Dec); 11. P-4 resistance sampling (9-25 March); 12. reaping of cassava and sweet potato (8 April).

Results and discussion

Table 1 shows the climate and operations during the experimental period. During the periods of negative atmospheric water balance the soil was dry (29%) whereas during periods of positive atmospheric water balance the soil was at or above field capacity (39-47%).

Effect of the cropping systems (subtreatments) on the soil

Figures 1 to 4 show the relationship between percent of gravimetric soil moisture and penetration resistance for different subtreatments. Soil drying has caused up to a 5 fold increase in soil penetration resistance. Subtreatments CS₃ and CS₄ which involve human traffic cause the resistance to rise more

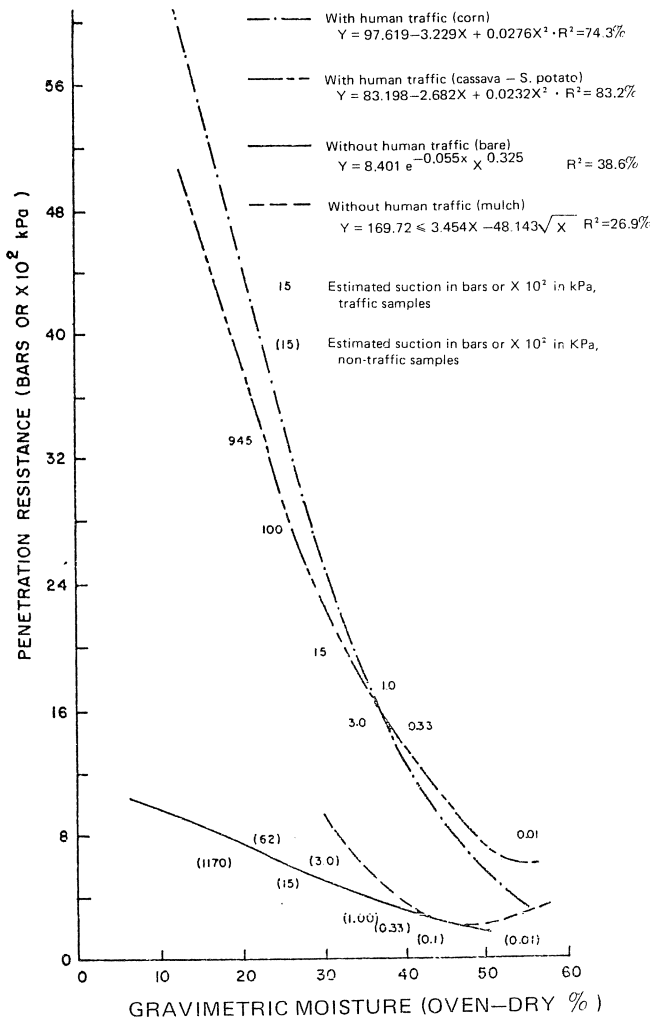


Fig. 1. Changes of penetration resistance with gravimetric moisture for cropping system subtreatments at 0 m depth (192 observations) R > 16% significant at 1% level.

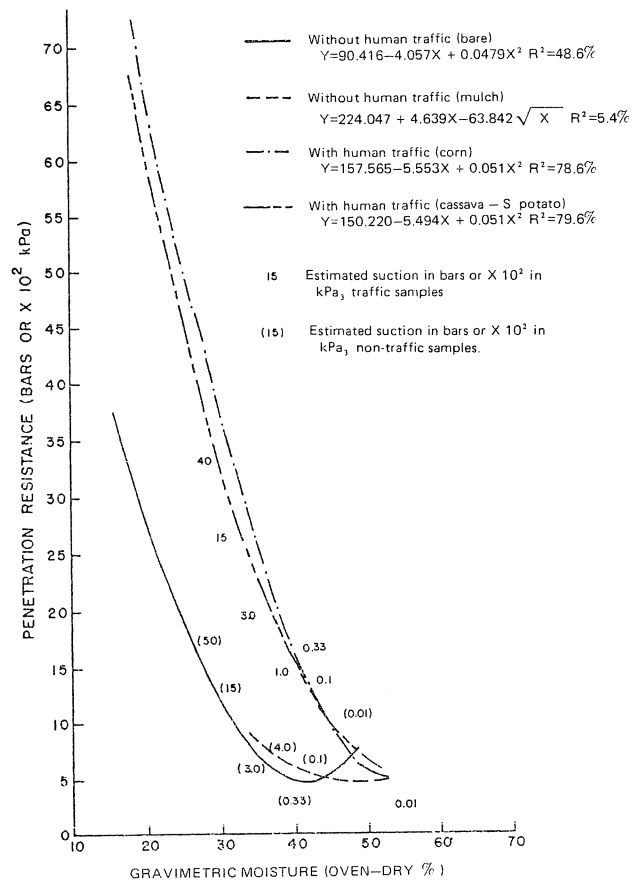


Fig. 2. Changes of penetration resistance with gravimetric moisture for cropping system subtreatments at 0.1 m depth.

steeply on drying at 0 m depth and the effect diminishes with depth until where no difference is noted at 0.3 m. Based on experience with the penetrometer used in the experiment, resistance readings (at field capacity) are rated as follows: 0 to 600 k Pa, excellent; 700 to 1 200 k Pa acceptable; 1 300-2 500 k Pa not acceptable, and greater than 2 500 k Pa root growth inhibited. Resistances at 40% gravimetric moisture (approximately field capacity) for subtreatments CS₁ and CS₂ have acceptable values at 0 and 0.1 m depth. The higher moisture regime of CS₂ shows the moisture conservation due to the mulch.

Figures 5 to 8 show the progress of the penetration resistance during the growing season. The compacting effect of the human traffic in subtreatments CS₃ and CS₄ are observed for 0 to 0.2 m depths. The soil resistance increase during P-1 to P-4 is due to a combination of compaction as seen in the higher resistance values of CS₃ and CS₄, hardening with time as seen by the increase of resistance in CS₁ and CS₂ between and P-1 and P-2, and drying as seen

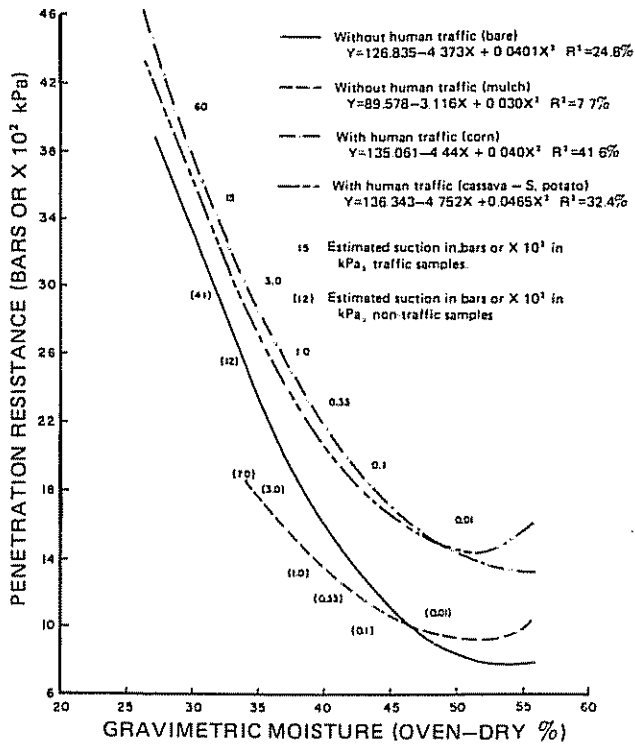


Fig. 3. Changes of penetration resistance with gravimetric moisture for cropping system subtreatments at 0.2 m depth.

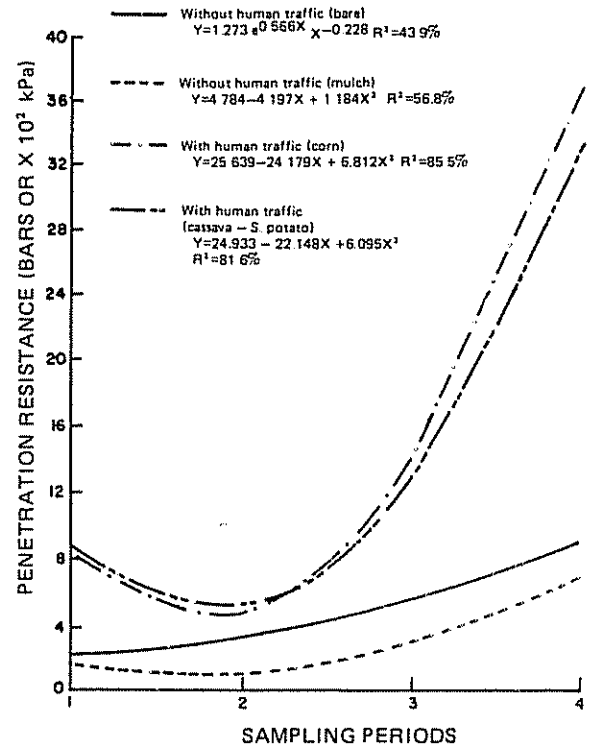


Fig. 5. Changes of penetration resistance with the sampling periods for cropping system subtreatments at 0 m depth (192 observations).

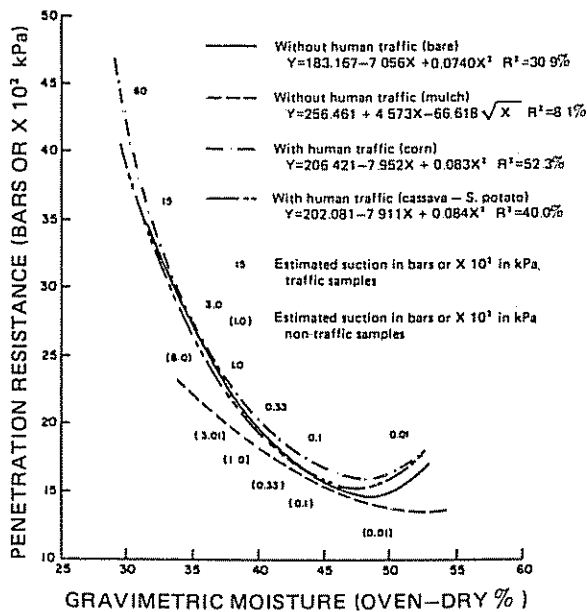


Fig. 4. Changes of penetration resistance with gravimetric moisture for cropping system subtreatments at 0.3 m depth.

by the increase of resistance in all subtreatments from P-2 to P-4. Figures 9 to 11 show an increase of resistance adjusted to the 40% moisture value to eliminate the moisture effect and demonstrate the contribution of hardening or settling with time on the resistance, as well as the effect of the compaction of the human traffic of cropping systems CS₃ and CS₄. In CS₃ the corn was on the average trampled just over twice and in CS₄ over 6 times (2x for the cassava operations and 4x for the sweet potato operations). The similarity of the curves for CS₃ and CS₄ in Figures 1 to 11 suggest that trampling 6 times has a similar effect to trampling twice.

Figures 12-15 show the moisture changes during P-1 to P-4 for different depths. Drying occurs in a period of negative atmospheric water balance and contributes to the increase in soil resistance. The moisture conserving effect of the mulch is seen in the curves for CS₂. The average bulk density between 0-0.1 m for CS₁ (1.06 Mg/m³) was significantly lower (5% level) than for trampled soils, CS₃ (1.10) and CS₄ (1.12). CS₂ (1.08) was not significantly different from the other subtreatments. Penetration resistance

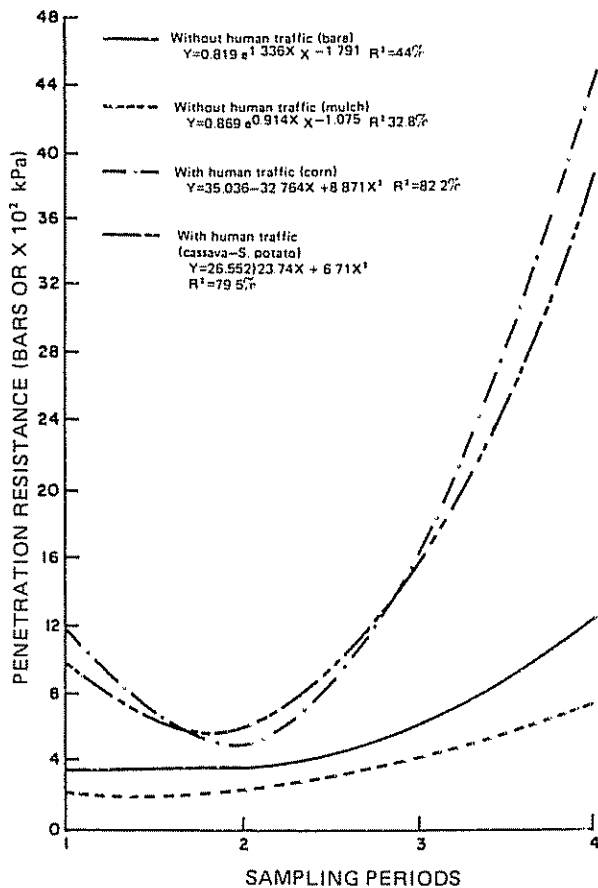


Fig. 6. Changes of penetration resistance with the sampling periods for cropping system subtreatments at 0.1 m depth.

was much more sensitive to compaction effects than bulk density. Percent air space in CS₁ (16%) was significantly greater than for CS₂ (9.4%), CS₃ (10.8%) and CS₄ (8.1%) due to the lower water content of CS₁, probably due to a lower infiltration of rainfall on the bare surface (5, 10).

Effect of land preparation methods on the soil

Tables 2 to 5 show average values of penetration resistance adjusted to 40% moisture by covariance analysis, for different periods and soil preparation methods for a given cropping system. The adjusted values allow a comparison by eliminating the soil moisture effect, and considering a resistance value equivalent to field capacity. The values of subtreatments CS₁ and CS₂ are lower than those of CS₃ and CS₄ and this reflects the compaction effect of the latter treatments, as was previously shown in Figures 9 to 12. CS₂ S₆ serves as a control to compare the other treatments, since it represents the undisturbed soil without surface compaction and the

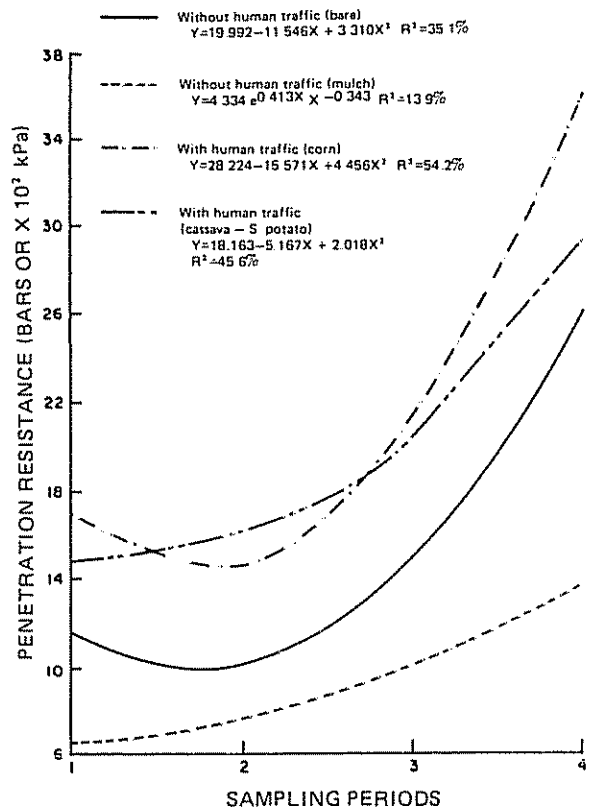


Fig. 7. Changes of penetration resistance with the sampling periods for cropping system subtreatments at 0.2 m depth.

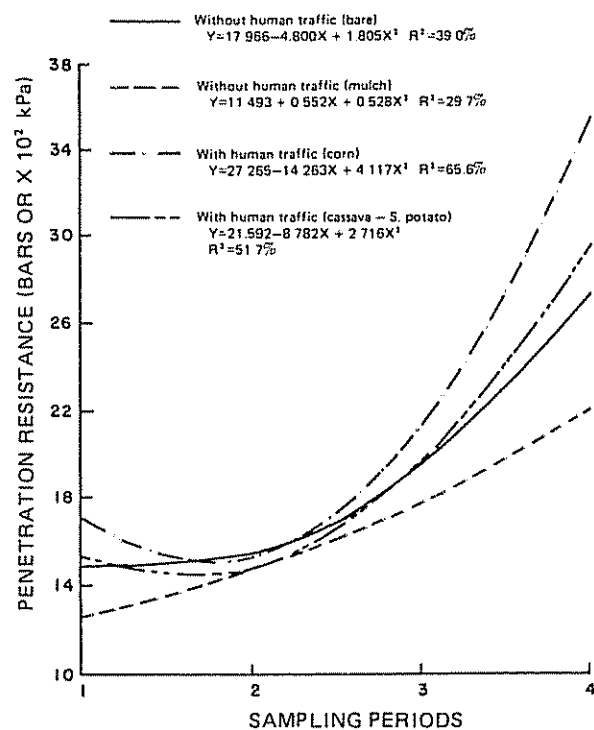


Fig. 8. Changes of penetration resistance with the sampling periods for cropping system subtreatments at 0.3 m depth.

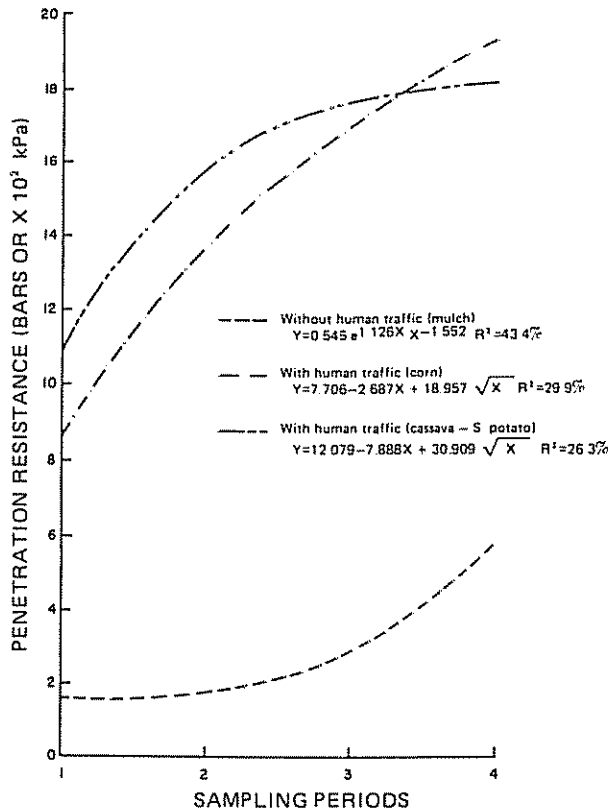


Fig. 9. Changes of penetration resistance (adjusted to 40% gravimetric moisture) with the sampling periods for cropping system subtreatments of 0 m depth.

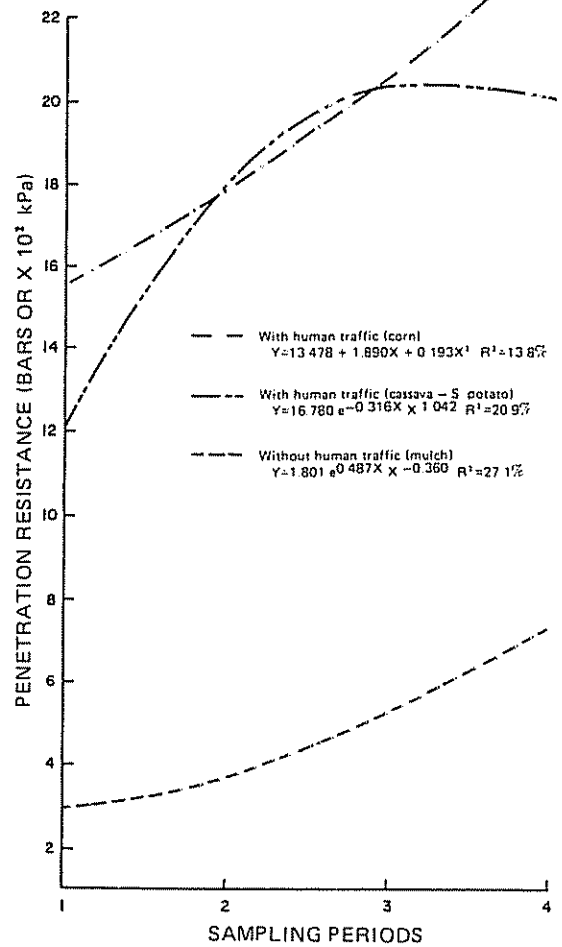


Fig. 10. Changes of penetration resistance (adjusted to 40% gravimetric moisture) with the sampling periods for cropping system subtreatments at 0.1 m depth.

lowest moisture change during the experimental period. This treatment shows an increase of soil resistance with depth and probably reflects the residual effect of a previous history of tillage.

For $CS_1 - CS_4$ in general, the effect of tillage is noted where for depths of 0 and 0.1 m resistances for treatments $S_1 - S_4$ are significantly lower than for S_6 but are significantly equivalent at 0.2 and 0.3 m depth. The subsoiling treatment for dry soil S_5 shows in all subtreatments significantly lower resistance values than S_6 for depths up to 0.3 m indicating a deeper and more through effect of subsoiling.

Comparing the various tillage methods $S_2 - S_5$ for the subtreatments $CS_1 - CS_4$, soil prepared when dry in treatments S_1, S_3 and S_5 have significantly lower water contents than soils prepared when wet in treatments S_2 and S_4 as well as the no tillage treatment S_6 . The higher water contents of S_2 and S_4 may be attributed to a combination of the puddling effect (2, 4, 8) and poorer drainage (3, 9) and the higher water content of S_6 maybe attributed to its greater

compaction in the natural state (8) as is supported by a higher 0.33 bars ($\times 10^2$ kPa) suction moisture value determined for the undisturbed naturally compacted soil.

With the exception of S_3 , all the treatments of soil prepared when dry, which gave lower moisture contents also have significantly lower penetration resistances (S_1 and S_5). The resistance in S_3 was no different from S_2 and S_4 , presumably due to the greater compaction effect of the tire tractor on the dry soil. The higher resistance of S_2 and S_4 are attributed to puddling, and these values were often similar to those of S_6 .

The differences mentioned in the preceding paragraphs are most pronounced in period P-1. However the pattern is residual and not consistent during

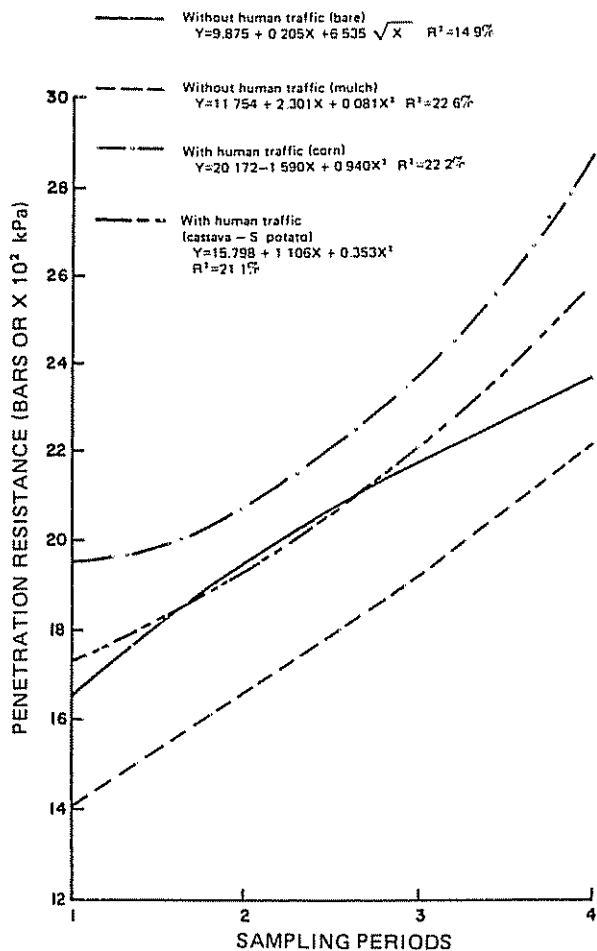


Fig. 11. Changes of penetration resistance (adjusted to 40% gravimetric moisture) with the sampling periods for cropping system subtreatments at 0.3 m depth

P-2 to P-4. The differences were therefore discernable up until 14 weeks after preparation of the dry soil and 6 weeks after preparation of the wet soil.

The average percent air space between 0-0.1 m for S₅ (16.3%) was greater than for the other treatments S₁ (12.4%), S₂ (9.6%), S₃ (12.5%), S₄ (8.5%), and S₆ (8.2%). The value for S₅ was significantly greater (5% level) than for S₂, S₄ and S₆. The higher values of air space for S₁, S₃ and S₅ can be attributed to the lower moisture contents.

The interaction of % moisture and penetration resistance with the yields of corn, sweet potato and cassava will be discussed in a following paper.

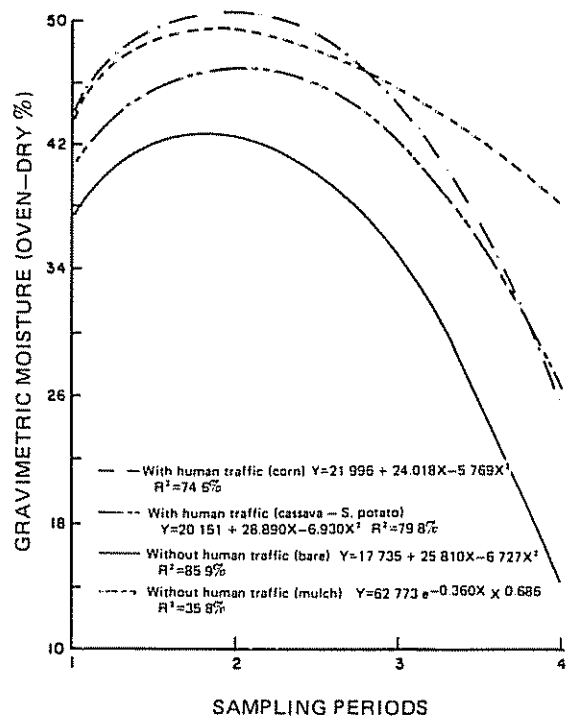


Fig. 12. Changes in gravimetric moisture with the sampling periods for cropping system subtreatments at 0 m depth.

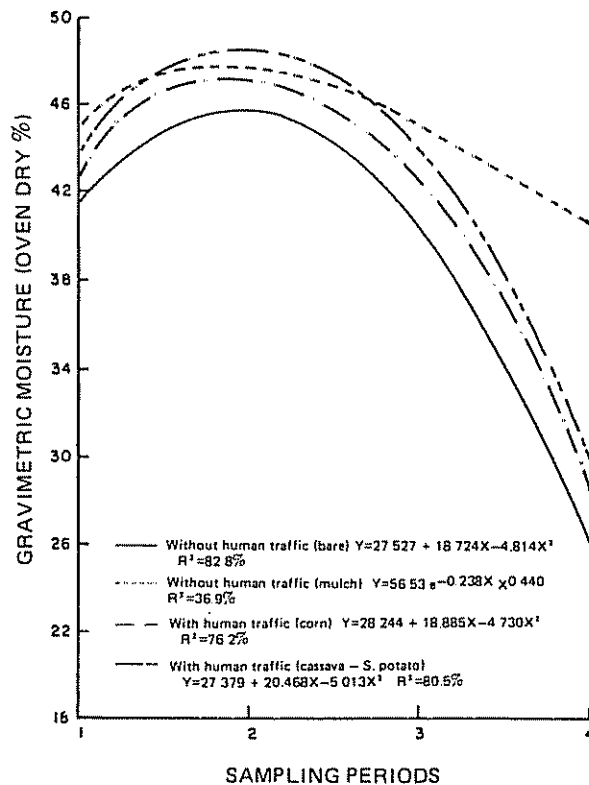


Fig. 13. Changes in gravimetric moisture with the sampling periods for cropping system subtreatments at 0.1 m depth.

Table 2. Average values of penetration resistance in k Pa (value shown x 10³) or bars (value alone) adjusted to 40% gravimetric moisture, for 6 land preparation methods during 4 sampling periods (P), followed by the associated average gravimetric moisture %, for subtreatment Cs.

	Bare soil (C _s) at 0 m depth											
	P - 1 (15/Jul-10/Aug/75)			P - 2 (10/Sept-7/Oct/75)			P - 3 (2-18/Dec/75)			P - 4 (9-25/Mar/76)		
♦ S ₁	0.7c	35.7cd	3.0b	41.2a	3.2b	40.5a	2.0b	13.7b				
S ₂	2.4b	43.9a	3.6b	40.5a	3.2b	38.4c	1.3c	15.0a				
S ₃	1.3b	36.6c	2.8b	40.2a	3.5b	37.3cd	1.9bc	9.3f				
S ₄	2.4b	42.2b	3.7b	41.2a	2.7b	36.0e	0.0d	12.4c				
S ₅	0.7c	35.3d	4.1b	38.8d	3.9b	36.4cd	0.0d	12.0cd				
S ₆	6.5a	34.3e	7.2a	31.7e	13.1a	40.2a	17.4a	10.6e				
\bar{x}	2.3(bars)	38.0(%)	4.1	38.9	4.9	38.1	4.1	12.2				
	0.1 m depth											
S ₁	0.8d	38.3e	6.1b	44.3bcd	6.5b	42.7b	8.6b	28.7a				
S ₂	6.0bc	45.6a	6.9b	44.4bc	4.3b	42.9b	3.2d	23.6c				
S ₃	3.9c	41.5c	6.6b	43.7cd	5.5b	40.0e	4.2cd	23.0c				
S ₄	7.9b	46.3a	8.5b	45.5ab	6.8b	42.1b	6.5bc	27.3a				
S ₅	2.7d	39.8d	3.2c	39.8e	3.6b	39.2c	0.0e	24.3b				
S ₆	11.9a	40.6cd	15.9a	46.0a	19.0a	45.9a	32.6a	22.0c				
\bar{x}	5.5	42.0	7.9	43.9	7.6	42.1	9.2	24.8				
	0.2 m depth											
S ₁	3.6c	40.0d	15.4bd	44.4ab	10.8d	43.4b	25.9b	36.1ab				
S ₂	17.8b	46.4a	12.0d	44.7a	15.1cd	44.8b	20.3c	35.3abc				
S ₃	15.9b	41.0c	17.7ab	41.8c	24.6ab	40.1d	21.7bc	32.5e				
S ₄	22.9b	42.9b	18.1ab	42.8bc	16.4c	41.5d	23.9bc	35.0bc				
S ₅	5.4c	40.8d	10.6c	44.2abc	7.8c	41.3d	0.6c	33.0e				
S ₆	17.4b	42.4bc	21.3a	43.0bc	27.7a	47.3a	34.8a	36.8a				
\bar{x}	13.8	42.2	15.8	43.5	17.1	43.1	21.2	34.8				
	0.3 m depth											
S ₁	16.1b	38.7c	25.1a	44.0ab	26.0a	41.8c	28.6a	36.8bc				
S ₂	22.2a	45.2a	23.6a	45.1a	20.7b	44.2a	27.4ac	37.0b				
S ₃	13.1c	41.7b	17.4bc	42.1c	19.1b	40.0c	21.0d	34.4c				
S ₄	18.3ab	42.3b	19.4b	42.5b	17.2b	40.1c	24.4cd	35.3c				
S ₅	12.1c	40.6b	16.3c	41.6c	14.6c	41.0c	13.2e	34.8e				
S ₆	16.2b	42.2b	21.0ab	43.9ab	25.8a	45.6a	30.9a	39.6a				
\bar{x}	16.4	41.8	20.5	43.2	20.6	42.1	24.5	36.3				

Values compared within columns with the same letter are not significantly different at the 5% level (Duncan). Preparation methods: S₁ dry soil track tractor, S₂ wet soil track tractor, S₃ dry soil tire tractor, S₄ wet soil tire tractor, S₅ dry soil subsoils track tractor, S₆ weeding no tillage.

Table 3. Average values of penetration resistance in $k Pa$ (value shown $\times 10^2$) or bars (value alone) adjusted to 40% gravimetric moisture, for 6 land preparation methods during 4 sampling periods (P); followed by the associated average gravimetric moisture %, for sub-treatment CS_7 .

	Sugar cane trash mulch (CS_7) at 0 m depth											
	P - 1 (15/Jul-10/Aug/75)			P - 2 (10/Sept-7/Oct/75)			P - 3 (2-18/Dec/75)			P - 4 (9-25/Mar/76)		
S_1	1.2 b	39.1 e	1.4 c	45.0 d	1.8 b	44.5 c	6.2 b	37.8 bc				
S_2	1.6 b	45.8 c	1.8 b	46.3 d	1.6 b	47.5 b	7.0 b	39.3 b				
S_3	1.2 b	42.6 d	2.1 b	50.1 b	2.2 b	45.4 b	5.6 c	36.2 c				
S_4	2.0 b	49.8 a	2.6 b	50.6 b	1.9 b	45.1 b	6.0 b	37.4 bc				
S_5	1.0 b	40.0 d	1.4 e	42.6 e	1.8 b	42.7	6.1 b	34.1 d				
S_6	4.4 a	48.5 a	7.5 a	54.7 a	6.8 a	58.2 a	11.4 a	44.9 a				
\bar{X}	1.9	44.3	2.8	48.2	2.7	47.2	7.0	38.3				
	0.1 m depth											
S_1	1.7 c	40.9 e	2.3 d	46.7 c	3.0 c	45.1 c	7.6 b	39.0 b				
S_2	2.0 c	45.1 b	2.8 d	46.9 bc	3.1 c	48.7 a	7.1 b	40.3 b				
S_3	3.3 b	44.6 b	3.4 b	48.7 ab	3.4 b	44.0 c	7.4 b	40.0 b				
S_4	3.6 b	49.9 a	4.9 bc	48.5 abc	4.7 b	44.8 c	8.3 b	39.8 b				
S_5	1.8 c	42.6 c	3.5 c	43.3 c	3.7 b	42.2 b	7.6 b	36.2 c				
S_6	9.3 a	45.8 b	13.1 a	49.3 a	13.1 a	49.8 a	16.1 a	45.1 a				
\bar{X}	3.6	44.8	5.3	47.2	5.2	45.8	9.0	40.1				
	0.2 m depth											
S_1	4.8 b	42.2 c	9.2 b	46.8 a	9.5 c	45.6 b	17.3 bc	38.8 cd				
S_2	7.2 b	47.0 a	8.8 b	46.4 a	9.9 c	46.1 b	14.0 c	40.8 b				
S_3	14.7 a	44.5 b	20.3 a	45.8 ab	15.9 b	44.6 b	15.9 c	39.6 bc				
S_4	16.4 a	45.2 b	19.9 a	44.4 b	21.0 a	42.0 c	22.5 a	37.2 d				
S_5	5.2 b	40.9 c	6.2 b	42.6 c	7.3 c	42.3 c	6.3 d	36.9 c				
S_6	16.1 a	45.2 b	18.7 a	45.7 ab	18.4 ab	48.1 a	19.8 ab	45.8 a				
\bar{X}	10.7	44.2	13.9	45.3	13.7	44.8	16.0	39.8				
	0.3 m depth											
S_1	13.2 b	41.3 b	21.9 a	46.3 a	22.5 a	45.1 c	28.8 a	41.3 b				
S_2	18.2 a	44.8 a	16.1 b	41.4 b	13.9 c	48.7 a	23.7 b	39.5 bc				
S_3	15.8 ab	43.6 a	18.2 ab	45.9 a	18.0 b	44.0 c	20.4 b	40.6 bc				
S_4	15.5 ab	43.8 a	21.0 a	41.9 b	20.3 ab	44.8 c	23.1 b	38.3 e				
S_5	7.1 c	42.7 a	11.6 c	41.6 b	11.7 c	42.2 b	17.9 c	37.1 d				
S_6	13.0 b	44.0 a	20.1 a	47.1 a	20.8 ab	49.8 a	22.6 b	44.2 a				
\bar{X}	13.8	43.4	18.2	44.0	17.9	45.8	22.7	40.2				

Values compared within columns with the same letter are not significantly different at the 5% (Duncan). Preparation methods: S_1 , dry soil track tractor, S_2 , wet soil track tractor, S_3 , dry soil tire tractor, S_4 , wet soil tire tractor, S_5 , dry soil subsoiled track tractor, S_6 , weeding no tillage.

Table 4. Average values of penetration resistance in k Pa (value shown x 10²) or bars (value alone) adjusted to 40% gravimetric moisture, for 6 land preparation methods during 4 sampling periods (P); followed by the associated average gravimetric moisture %, for subtreatment CS₃.

	Corn (CS ₃) at 0 m depth						
	P - 1 (15/Jul-10/Aug/75)	P - 2 (10/Sept-7/Oct/75)	P - 3 (2-18/Dec/75)	P - 4 (9-25/Mar/76)			
S ₁	2.6c	15.0ab	45.6ab	17.0bc	44.3cd	14.6c	27.4a
S ₂	15.6a	13.4b	43.8bc	20.1ab	48.7a	27.1a	28.2a
S ₃	7.8b	13.6b	45.0bc	14.6c	43.6d	11.7c	20.6b
S ₄	10.9b	18.6a	47.9a	17.9abc	47.2a	28.8a	28.6a
S ₅	3.8c	6.3c	39.9d	9.9d	39.4b	14	22.5b
S ₆	9.9b	16.9ab	42.4c	20.8a	46.8ac	20.6b	21.6b
\bar{x}	8.4	14.0	44.1	16.7	45.0	19.6	24.8
0.1 m depth							
S ₁	5.6b	18.2b	41.4c	18.3b	44.2b	21.5c	28.7ac
S ₂	20.4a	19.2ab	45.2b	21.8b	46.5a	32.1a	28.9a
S ₃	19.3a	19.1ab	45.9ab	18.8b	44.2b	14.9d	23.8b
S ₄	18.5a	22.4ab	47.1a	20.5b	45.7ab	35.1a	30.1a
S ₅	5.8b	9.8c	40.9c	10.9c	40.8c	14.2d	24.7b
S ₆	22.5a	22.8a	42.2c	31.5a	48.4a	27.3b	27.2c
\bar{x}	15.3	18.6	43.8	20.3	45.0	24.2	27.2
0.2 m depth							
S ₁	17.2c	25.2a	45.6a	24.1b	43.4b	18.6d	32.9b
S ₂	26.6a	23.9a	43.0b	24.4ab	42.4b	30.6c	31.7bc
S ₃	21.1bc	25.5a	43.0b	29.0a	42.3b	32.7bc	30.7c
S ₄	21.2bc	23.7a	45.5a	19.4c	43.3b	35.9b	32.4b
S ₅	10.5d	12.8b	42.7b	14.0d	42.6b	9.9c	29.1d
S ₆	25.3ab	24.1a	42.7b	28.8ab	48.2a	41.3a	35.1a
\bar{x}	20.3	22.6	43.7	23.3	43.7	28.2	32.0
0.3 m depth							
S ₁	15.7c	26.8a	45.0b	25.6a	44.6b	28.6b	35.5ab
S ₂	26.4a	25.6ab	45.5a	20.0c	42.3c	31.6ab	32.3d
S ₃	15.7c	22.8bc	42.2b	21.4c	41.3c	30.8ab	33.0cd
S ₄	21.9b	20.7c	41.8b	21.3c	42.1c	32.2ab	34.4bc
S ₅	13.6c	16.0d	42.5b	16.4b	42.1c	19.1c	31.1c
S ₆	20.7b	44.5a	41.7b	29.1a	48.1a	33.9a	37.1a
\bar{x}	19.0	22.4	43.1	22.3	43.4	29.4	33.9

Values compared within columns with the same letter are not significantly different at the 5% level (Duncan). Preparation methods: S₁, dry soil track tractor, S₂, wet soil track tractor, S₃, dry soil tire tractor, S₄, wet soil tire tractor, S₅, dry soil subsided track tractor, S₆, weeding no tillage.

Table 5. Average values of penetration resistance in k Pa (value shown $\times 10^2$) or bars (value alone) adjusted to 40% gravimetric moisture, for 6 land preparation methods during 4 sampling periods (P); followed by the associated average gravimetric moisture %, for sub-treatment CS₄.

	Cassava and sweet potato in association (CS ₄) 0 m depth											
	P - 1 (15/Jul-10/Aug/75)			P - 2 (10/Sept-7/Oct/75)			P - 3 (2-18/Dec/75)			P - 4 (9-25/Mar/76)		
S ₁	7.6b	40.1b	15.8b	48.1a	17.0b	46.8c	19.1b	30.2a				
S ₂	13.0a	46.1a	16.2b	45.9a	17.1b	49.4b	18.8b	25.3b				
S ₃	11.3a	43.8a	15.3b	47.8a	16.5b	44.5c	11.7c	20.7d				
S ₄	13.0a	45.8a	18.4ab	48.5a	15.9b	46.5c	24.4a	22.6c				
S ₅	6.4b	39.1b	11.5c	43.5b	14.1b	45.2c	18.3b	23.6c				
S ₆	13.5a	44.2a	20.4a	48.2a	22.9a	53.4a	18.1b	20.1d				
\bar{x}	10.8	43.2	16.3	47.0	17.2	47.6	18.4	23.8				
	0.1 m depth											
S ₁	7.9c	40.2c	20.3b	48.2a	19.9b	45.2b	20.5c	30.1a				
S ₂	12.7b	45.0a	16.2c	44.3b	18.3b	44.8b	27.5b	29.1a				
S ₃	16.9a	43.2b	20.5b	47.3a	17.2b	44.2b	13.7d	26.9b				
S ₄	16.8a	46.5a	20.8b	46.8a	19.3b	45.3b	32.2a	28.4a				
S ₅	8.6c	41.0c	13.6c	43.8b	15.7c	43.9b	16.5d	27.2b				
S ₆	18.9a	45.0a	26.1a	47.1a	33.2a	50.6a	23.4c	28.7a				
\bar{x}	13.6	43.5	19.6	46.3	20.6	45.7	22.3	28.4				
	0.2 m depth											
S ₁	15.5c	39.7d	18.0b	46.6a	26.3a	44.0b	24.6b	37.3b				
S ₂	16.8c	44.1b	21.7ab	40.8e	20.6b	42.4b	22.1c	35.8bc				
S ₃	21.5a	41.9c	24.4a	45.5a	27.0a	40.8c	27.6ab	32.5d				
S ₄	18.1ac	44.8ab	24.9a	43.2cd	20.6b	42.9b	29.5a	34.1c				
S ₅	10.9b	41.4c	13.6c	41.9d	14.2c	43.0b	22.5c	33.8a				
S ₆	22.1a	46.1a	25.5a	44.9ac	27.8a	48.1a	28.2ab	39.2a				
\bar{x}	17.5	43.0	21.3	43.8	22.8	43.6	25.8	35.4				
	0.3 m depth											
S ₁	12.5b	38.8f	22.3a	45.7ab	23.6bc	43.4b	25.4ab	36.1bc				
S ₂	18.9a	42.5b	20.5a	41.4e	16.4d	41.0c	23.5c	36.9b				
S ₃	20.4a	42.2bc	21.6a	46.3a	26.0ab	41.0c	26.5ab	33.6d				
S ₄	18.6a	42.4b	21.4a	43.6cd	21.1c	43.4b	28.2ab	35.1c				
S ₅	13.6b	40.6c	14.4b	42.4d	13.4d	41.6c	24.4b	34.1d				
S ₆	17.7a	44.5a	21.7a	44.3bc	27.8a	47.6a	29.1b	39.9a				
\bar{x}	17.0	41.8	20.3	44.0	21.4	43.0	26.2	35.9				

Values compared within columns with the same letter are not significantly different at the 5% level (Duncan). Preparation methods: S₁, dry soil track tractor; S₂, wet soil track tractor; S₃, dry soil tire tractor; S₄, wet soil tire tractor; S₅, dry soil subsoiled track tractor; S₆, weeding no tillage.

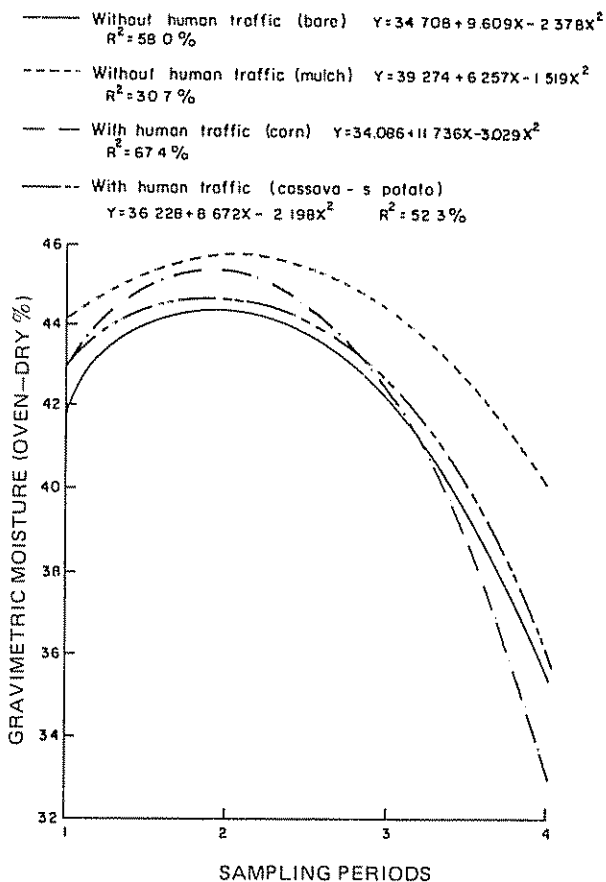


Fig. 14. Changes in gravimetric moisture with the sampling periods for cropping system subtreatments at 0.2 m depth.

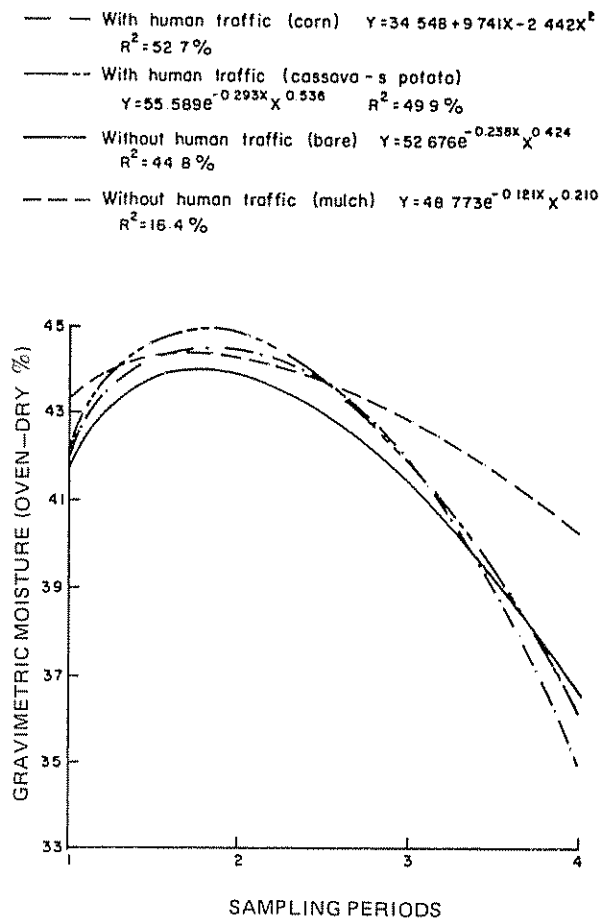


Fig. 15. Changes in gravimetric moisture with the sampling periods for cropping system subtreatments at 0.3 m depth.

Summary

Soil resistance to penetration was determined when a Typic Dystropept was ploughed during the dry season (April 1975) and the wet season (June) using a 60 k W (75 h.p.) D4 Caterpillar trac tractor to plough and subsoil and a 50 k W (67 h.p.) 175s Massey Ferguson tire tractor to plough. Determinations were also made when the soil was prepared by weeding and cleaning without the use of machinery. Each type of land preparation had subtreatments such as a bare plot, a plot covered with sugarcane trash mulch, a plot planted with corn and a plot planted with cassava and sweet potato in association. The experiment was carried out at CATIE, Turrialba, Costa Rica with a mean annual rainfall of 2682 mm and a mean annual temperature of 23.3°C.

The corn was planted in May and June and reaped in October, whereas the cassava in association with sweet potato was planted at the same

time and reaped 10 months after i.e. March and April, 1976.

Soil resistance was significantly lowered by land preparation up to 0.1 m depth and by subsoiling up to 0.3 m depth. Soil prepared during the dry season had a significantly lower moisture content than soil prepared in the wet season, whose higher moisture content was attributed to puddling. These differences were discernable up until 14 weeks after preparing the dry soil and 6 weeks after preparing the wet soil. Effects were residual after these time limits. During the growing season soil resistance increased due to 1. Drying during the dry season which caused up to a 5 fold increase. The drying effect was increased by compaction due to human traffic 2. Human traffic which occurred under corn, and cassava with sweet potato, up to 0.2 m depths. 3. Settling time, as observed on the plots with no human traffic during the wet season.

Literature cited

1. AMEZQUITA, E. Estudios hidrológicos y edafológicos para conservación de aguas y suelos en Turrialba, Costa Rica. Tesis. Mag. Sc. IICA-CTEI, Turrialba, Costa Rica, 1974, 214 p.
2. BODMAN, G. B. and RUBIN, J. Soil puddling. Soil Science Society of America Proceedings 13:27-36. 1948.
3. COOKE, G. W. and WILLIAMS, R. J. B. Problems with cultivation and soil structure at Mundhan Harpenden, England. Rothamsted Experimental Station Report 1971. Part 2 pp 122-143. 1972.
4. CRONEY, D. and COLEMAN, J. D. Soil structure in relation to soil suction (pF). Journal of Soil Science 5:75-84, 1954.
5. DULEY, F. L. Surface factors affecting the rate of intake of water by soils. Soil Science of America Proceedings 4:60-64. 1939.
6. FORSYTHE, W. M. Soil water relations in soils derived from volcanic ash of Central America. In Soil Management in Tropical America pp 155-169. Proc Seminar. CIAT, Colombia. Feb. 10-14, 1974. Soil Science Dept. North Carolina State 1975. 565 p.
7. FORSYTHE, W. M. Física de suelos. Manual de laboratorio. San José, Costa Rica, IICA. 1980. 212 p.
8. JAMISON, V. C. Changes in air-water relationships due to structural improvement of soils. Soil Science 76:143-151, 1953.
9. KADDAH, M. T. Subsoil, chiseling and slip plowing effects on soil properties of wheat grown on a stratified sandy soil. Agronomy Journal 68:36-39. 1976.
10. MUSGRAVE, G. W. and HOLTAN, H. N. Infiltration. In Chow, V. T. ed. 1-24 PP-21 Handbook of applied hydrology. New York. McGraw-Hill 1964.
11. NOIA ROCHA, J. A. Erosión de suelos de pendientes cultivados con maíz y frijol con diferentes grados de cobertura viva dentro de una plantación forestal. Tesis. Mag. Sc. U. Costa Rica-CATIE, Turrialba, Costa Rica. 1977. 182 p.
12. SORIA, J. *et al.* Investigación sobre sistemas de producción agrícola para el pequeño agricultor del trópico. Turrialba 25:283-293. 1975.
13. TAFUR, N. Efecto de varios sistemas de producción agrícola sobre la resistencia mecánica de los suelos. Tesis. Mag. Sc. U. Costa Rica CATIE, Turrialba, Costa Rica. 1976. 316 p.

THE EFFECT OF VARIOUS METHODS OF LAND PREPARATION ON SOIL RESISTANCE TO PENETRATION AND YIELD OF CORN (*Zea mays* L.), CASSAVA (*Manihot esculenta* Crantz) AND SWEET POTATO (*Ipomoea batatas* L.) IN ASSOCIATION. II. EFFECT ON YIELD¹ /

N. TAFUR*
W. FORSYTHE*

Resumen

La respuesta de maíz, camote y yuca a las varias formas de preparación de suelo fue característica para cada cultivo. En general el rendimiento de maíz respondió negativamente a la humedad del suelo durante el desarrollo del cultivo cuando había un balance hídrico atmosférico positivo grande (lluvia- evaporación de tanque A) y como consecuencia una humedad alta del suelo. La respuesta ocurrió durante los primeros dos meses de crecimiento. El suelo preparado durante la estación seca tuvo una humedad inferior y por lo tanto rendimientos más altos de maíz. Bajo estas condiciones climáticas, la resistencia del suelo no varió lo suficiente para influir significativamente sobre los rendimientos de maíz. El camote respondió durante los primeros dos meses de crecimiento a una discontinuidad de la resistencia en el suelo y no a la resistencia en sí, la cual no varió lo suficiente para afectar los rendimientos. Durante este período hubo una respuesta negativa significativa del rendimiento al cambio máximo positivo de resistencia por 0.1m, el índice de discontinuidad en la capa de 0-0.2m. Durante la época de secamiento antes de la cosecha, hubo una correlación positiva significativa entre la resistencia en la superficie y el rendimiento y esto se atribuye a la reducción en la salida del tubérculo hacia la superficie donde se experimenta insolación y ataques de plagas. La yuca no respondió significativamente a los tratamientos de preparación de suelo y hubo alguna interacción negativa significativa entre los rendimientos de yuca y camote, la cual se considera como producto de la competencia ya que era una siembra en asociación.

Introduction

A previous paper (5) has reported on the effect of various methods of land preparation and cropping systems on a Typic Dystropept of clay loam texture in Turrialba, Costa Rica. The cropping systems were corn (*Zea mays* L.), and cassava (*Manihot esculenta* Crantz) with sweet potato (*Ipomoea*

batatas L.) in association. This paper reports of the effect of various methods of land preparation and cropping systems on the yield components and their relationship with the induced soil physical properties.

Materials and methods

With a design of hierarchal classification with 4 replications, 6 methods of land preparation were evaluated, S₁, S₂, S₃, S₄, and S₆ as explained in a previous paper (5) along with 4 sub-treatments of cropping systems CS₁, CS₂, CS₃ and CS₄. Climate, planting procedures and methods of soil physical and chemical analyses have been explained (5).

Corn (CS₃) was planted between 8-15 June, 1975, at a density of 80 000/ha, bending of corn stalks was done between 19 September, 1975 and

1 Received for publication in March 20, 1985.

* The junior author is Agricultural Research Specialist, IICA Office in Trinidad and Tobago, P.O. Box 1318, Port-of-Spain, Trinidad and Tobago and previously Soil Physicist at CATIE, Turrialba, Costa Rica. The senior author was formerly a graduate student at CATIE, now Agronomist in the Programa Delta, FUSAGRI, Estación Experimental de Guara, Tucupita, T.F.D.A., Venezuela.

10th October, 1975, and reaping between 30 September, 1975 and 30 October, 1975. For each method of soil preparation, corn yields were evaluated. The methods of preparation were as follows, S₁: Preparation with a 60 kW (75hp) D4 Caterpillar track tractor at 0.1 m depth, during the dry season; S₂: Preparation with the track tractor at 0.1 m during the wet season; S₃: Preparation with a 50 kW (67 hp) Massey Ferguson tire tractor at 0.1 m during the dry season; S₄: Preparation with the tire tractor at 0.1 m during the wet season; S₅: Preparation with the tract tractor with subsoiler at 0.25 m during the dry season; S₆: No mechanical preparation. Hand weeded and cleaned. Corn yields were evaluated for number of plants/ha, number of ears/plant, grain yield (14% moisture)/plant, and grain yield/ha. Cassava and sweet potato (CS₄) were planted simultaneously between 8-15 June, 1975, at densities of 10 000/ha and 50 000/ha respectively, and reaped on the 8 April, 1976. For each land preparation method the fresh masses of the storage roots of cassava and the sweet potato tuber were determined.

Results and discussion

Table 1 shows the yield components for corn, cassava and sweet potato. In the case of corn S₁, S₃,

Table 1. Averages of yield components for corn, cassava and sweet potato for 6 land preparation methods (S)*

Land Prepa- ration	Corn			
	Plants/ha (Thousands)	Ears/ Plant	g Grain/ Plant	kg Grain** /ha
S ₁	60 0 ab***	0.82 ab	54.5 a	3 260 a
S ₂	62.3 a	0.78 b	27.1 b	1 694 b
S ₃	54.3 b	0.87 a	56.2 a	2 999 a
S ₄	63.1 a	0.76 b	32.6 b	2 056 b
S ₅	58.2 ab	0.80 b	51.7 a	3 021 a
S ₆	43.3 c	0.71 c	64.8 a	2 805 a
	Cassava, fresh mass kg/ha		Sweet potato, fresh mass kg/ha	
S ₁	8 824 a		1 530 b	
S ₂	8 910 a		6 874 a	
S ₃	9 083 a		2 597 b	
S ₄	7 441 a		7 865 a	
S ₅	7 277 a		6 680 a	
S ₆	8 992 a		10 195 a	

* Preparation methods: S₁ dry soil track tractor, S₂ wet soil track tractor, S₃ dry soil tire tractor, S₄ wet soil tire tractor, S₅ dry soil subsoiled track tractor, S₆ weeding no tillage.

** 14% Moisture

*** Values compared within columns with the same letter are not significantly different at the 5% level (Duncan).

S₅ and S₆ show significantly greater yields than the other preparation treatments. This response pattern tends to coincide with the gravimetric moisture of these treatments (5, Table 4). The present Table 4 shows high and significant negative correlation coefficients with moisture for grain yield/plant and grain yield/ha during P-1. The general correlation between grain yield/ha for the plots with gravimetric moisture for all depths and sampling periods is -0.08* and represents a dilution of the high correlation obtained in P-1 in Table 4. The general correlations of the adjusted resistance with plants/ha, ears/plant and grain yield/ha are -0.14**, -0.15** and -0.19** respectively. In Table 4 the adjusted resistance has a high negative correlation with grain yield/ha at 0 m depth for P-1.

* Significant at 5% level.

** Significant at 1% level.

Table 2. Average values of penetration resistance in k Pa (value shown x 10²) or bars (value alone) for 6 land preparation methods during 2 sampling periods (P), for subtreatment CS₃

Land Prepa- ration	Corn (CS ₃) at 0 m depth			
	P - 1 (15/Jul 10/Aug/75)	Max + Change per 0.1 m for 0-0.2 m	P - 2 (10/Sept 7/Oct/75)	Max + Change per 0.1 m for 0-0.2 m
S ₁	4.7	12.8	10.2	6.0
S ₂	9.7	8.2	10.0	7.8
S ₃	6.0	8.3	9.2	9.9
S ₄	7.3	4.4	12.2	3.5
S ₅	6.1	3.0	6.5	2.0
S ₆	11.8	7.0	14.6	5.1
	0.1 m depth			
S ₁		5.6		16.2
S ₂		11.6		12.9
S ₃		14.3		12.2
S ₄		11.7		14.6
S ₅		7.8		8.4
S ₆		18.8		19.8
	0.2 m depth			
S ₁		18.4		19.5
S ₂		19.8		20.7
S ₃		18.7		22.1
S ₄		14.9		18.1
S ₅		10.8		9.8
S ₆		19.5		21.1

* Preparation methods: S₁ dry soil track tractor, S₂ wet soil track tractor, S₃ dry soil tire tractor, S₄ wet soil tire tractor, S₅ dry soil subsoiled track tractor, S₆ weeding no tillage.

The general correlation of resistance with plants/ha is -0.09^* . In Table 4 plants/ha negatively correlates (-0.74 significant at 10% level) with resistance at 0.1 m depth during P-1 and this would correspond to the low population density (43 300/ha of S_6 in Table 1 and the higher resistance found 0.1 m and below (Table 2) in that treatment. Adams *et al.* found a similar effect (1). In Table 4 ears/plant negatively correlate highly with resistance at 0 m depth in P-1. The low population density of corn for S_6 was compensated for by the highest yield/plant which resulted in a good yield/ha.

Table 4 suggests that soil conditions during P-1 were more critical for corn yield components than during P-2. The percentage of soil air space between 0-0.1 m, determined by sampling on the 15 December, 1975 after two days of rain, did not significantly correlate with any yield component of corn. The major effect on corn yields in this experiment appears to be soil moisture rather than resistance. The high positive atmospheric water balance which varied between 140 and 313 mm per month during the

growing season P-1 and P-2 (5) contributed to the high soil moisture and consequently a relatively small variation in resistance of 4.7-14.6 bars ($\times 10^2$ k Pa) at 0 m, 5.6 - 19.8 bars ($\times 10^2$ k Pa) at 0.1 m, and 9.8 - 22.1 bars ($\times 10^2$ k Pa) at 0.2 m. This weather condition would make soil moisture an important factor to a crop that is sensitive to excess moisture (6). The effect could be intermittent reduced soil air space during rainfall. General surface drainage was good and the minimum water table depth during the rainy season was 0.9 m.

Table 1 shows that S_1 and S_3 gave significantly lower yields of sweet potato than the other treatments. It appears that treatments that left the soil profile with the least discontinuity in resistance between 0-0.2 m during P-1 gave the highest yields. An index of discontinuity is the maximum positive resistance change per 0.1 m between 0-0.2 m, as seen in Table 3. Table 5 indicates a high negative correlation of yield with the maximum positive resistance change, and a high correlation of yield with moisture at 0.2 m, all during P-1. A similar discontinuity effect

Table 3. Average values of penetration resistance in k Pa (value shown $\times 10^2$) or bars (value alone) for 6 land preparation methods during sampling periods (P), for subtreatment CS_4 .

Land Preparation	Cassava and sweet potato in association (CS_4) 0 m depth							
	P - 1 (15/Jul-10/Aug/75)		P - 2 (10/Sept-7/Oct/75)		P - 3 (2-18/Dec/75)		P - 4 (9-25/Mar/76)	
	Max + Change*		Max + Change		Max + Change		Max + Change	
S_1	7.6	8.0	10.7	2.9	12.4	13.3	29.3	8.9
S_2	8.8	5.6	12.1	9.1	11.3	4.9	36.0	11.6
S_3	8.5	6.3	10.3	5.9	13.2	13.3	36.2	3.1
S_4	9.0	3.3	13.1	7.3	11.5	3.8	45.8	8.0
S_5	7.2	2.3	8.9	2.1	10.4	1.2	38.0	3.3
S_6	10.5	3.6	15.2	4.6	16.0	9.9	43.7	0.7
0.1 m depth								
S_1	7.7		13.5		9.6		38.2	
S_2	7.8		11.8		13.5		47.5	
S_3	13.4		14.2		12.9		39.3	
S_4	10.9		14.7		14.2		53.8	
S_5	7.3		9.6		11.6		41.3	
S_6	13.9		19.8		25.9		44.4	
0.2 m depth								
S_1	15.8		13.1		22.9		27.7	
S_2	13.3		20.9		18.4		27.2	
S_3	19.7		20.1		26.2		37.9	
S_4	14.2		22.0		18.0		37.3	
S_5	9.6		11.8		11.5		30.8	
S_6	17.5		21.6		22.5		29.1	

* Maximum + change per 0.1 m for 0-0.2 m.

** Preparation methods: S_1 dry soil track tractor, S_2 wet soil track tractor, S_3 dry soil tire tractor, S_4 wet soil tire tractor, S_5 dry soil subsoiled track tractor, S_6 weeding no tillage.

Table 4. Correlation coefficients for corn of averages of yield components with averages of Gravimetric Moisture percentage (M), Soil Resistance (R), Soil Resistance adjusted to 40% moisture (AR), and Maximum Positive Resistance Change per 0.1 m (MC).

	Plants/ha					
	0 m	P - 1 0.1 m	0.2 m	0 m	P - 2 0.1 m	0.2 m
M	0.52	0.24	-0.05	0.41	0.34	0.53
R	-0.56	-0.74	-0.31	-0.50	-0.54	-0.26
AR	0.06	-0.37	-0.24	-0.13	-0.25	-0.10
MC		0.27			-0.08	
	Ears/plant					
	0 m	0.1 m	0.2 m	0 m	0.1 m	0.2 m
M	-0.41	-0.38	-0.39	0.13	-0.40	0.03
R	-0.81*	-0.46	-0.05	-0.71	-0.57	0.01
AR	-0.41	-0.38	-0.39	-0.38	-0.40	0.03
MC		0.32			0.51	
	g grain/plant					
	0 m	0.1 m	0.2 m	0 m	0.1 m	0.2 m
M	-0.87*	-0.71	-0.54	-0.39	-0.61	-0.26
R	-0.03	0.26	0.06	0.13	0.32	0.02
AR	-0.63	-0.18	-0.26	-0.11	-0.09	-0.04
MC		0.19			0.01	
	kg grain/ha					
	0 m	0.1 m	0.2 m	0 m	0.1 m	0.2 m
M	-0.90*	-0.89*	-0.87*	-0.30	-0.66	0.01
R	-0.49	-0.21	-0.17	-0.24	0.02	-0.20
AR	-0.91*	-0.58	-0.61	-0.31	-0.38	-0.18
MC		0.28			-0.05	

* Significant at 5% level.

** Significant at 1% level

Table 5. Correlation coefficients of averages of yield with averages of Gravimetric Moisture percentage (M), Soil Resistance (R), Soil Resistance adjusted to 40% moisture (AR), and Maximum Positive Change per 0.1 m (MC), for sweet potato.

Parameters	kg fresh mass/ha					
	0 m	P - 1 0.1 m	0.2 m	0 m	P - 2 0.1 m	0.2 m
M	0.43	0.67	0.88	-0.09	-0.38	-0.55
R	0.66	0.26	-0.27	0.23	0.40	0.16
AR	0.54	0.50	0.15	0.47	0.23	0.43
MC		-0.80*			0.25	
Parameters	kg fresh mass/ha					
	0 m	P - 3 0.1 m	0.2 m	0 m	P - 4 0.1 m	0.2 m
M	0.67	0.61	0.59	-0.58	-0.07	0.34
R	0.26	0.76	-0.41	0.84*	0.66	-0.10
AR	0.46	0.57	-0.24	0.45	0.54	0.21
MC		-0.58			-0.27	

* Significant at 5% level

** Significant at 1% level.

on the yield of beans (*Phaseolus vulgaris* L.) was observed by Forsythe and Huertas (4) for soil resistances between 0-10 bars ($\times 10^2$ k Pa). Soil compacted to a uniform value of resistance with depth gave greater yields than soils compacted only in the sub-soil. For a wider resistance range of 2-22 bars ($\times 10^2$ k Pa), compaction in the upper layer only had a slight depressing effect on yield. Others have observed a similar type of root behaviour in the field (3, 8).

In the present case of sweet potato, resistance within the range of 7.6 - 19.7 bars ($\times 10^2$ k Pa), did not have a significant effect upon yields, but the discontinuity (maximum positive resistance change) did have a significant effect. It appears that roots of crops with similar behaviour have the ability during initial growth to adapt to certain a value of resistance within a given range, and will continue similar growth as long as the initial value is not exceeded. The percentage of soil air space between 0-0.1 m, did not significantly correlate with sweet potato yields.

Table 5 shows a significant positive correlation of the yield of sweet potato with resistance during P-4. Since P-4 occurs when the soil is drying, the question of the interpretation of resistance for dry soil arises. Studies indicate that soil moisture above the Permanent Wilting Percentage (PWP) does not inhibit the roots' elongation rate capacity (7, 8). As the soil dries out and approaches the PWP, root elongation rate is reduced by the increased soil resistance induced by drying. Once the soil is drier than the PWP all root elongation ceases. Barley (2) has suggested that at the PWP where soil water suction is 15 bars ($\times 10^2$ k Pa) osmoregulation has reached its limit and the root, having lost turgor, can no longer overcome the mechanical resistance of the soil.

Since soil moisture was generally above PWP, one may conclude that root elongation was affected only by increasing resistance and it ceased above values greater than 25-30 bars ($\times 10^2$ k Pa), which is considered limiting. A high correlation of yield with resistance during P-4 may be attributed to soil environmental effects rather than direct soil-plant interaction. A high resistance at 0 m may have afforded the sweet potato protection against attacks by pests, or reduced the possibility of the tuber being pushed above ground where it would be susceptible to insolation and pest attack such as by *Rhizomatus subcatalus*. Both these effects can reduce yields.

Table 1 shows that the soil preparation treatments had no significant effect on cassava yields. Possibly the tendency towards horizontal growth by the underground reserves makes them less susceptible to soil resistance effects. There was significant general negative correlation (-0.39^{**}) of the yields of cas-

sava with sweet potato, suggesting an interaction between the crops that were grown in association.

Summary

Response of corn, sweet potato and cassava to soil preparation was characteristic of each crop. Corn yields responded negatively in general to soil moisture during a growing period with a high positive atmospheric water balance and consequently high soil moisture. The response occurred during the first 2 months of growth. The soil prepared in the dry season had a lower soil moisture and thus higher corn yields. Under these weather conditions soil resistance did not vary enough to influence corn yields significantly. Sweet potato responded during the first two months of growth to a resistance discontinuity in the soil rather than to resistance per se, which did not vary enough to significantly affect yields. During this period there was a significant negative response of yield to the maximum positive resistance change per 0.1 m, the index of discontinuity in the 0-0.2 m layer. During the drying stage before reaping there was significant positive correlation between resistance at the surface and yields, and this is attributed to the reduction of the emergence of the tuber and its consequent exposure to insolation and pest attack. Cassava did not respond significantly to soil preparation treatments, and there was some significant negative interaction between cassava and sweet potato yields, probably due to competition since there were grown in association.

Literature cited

1. ADAMS, E. P., BLAKE, G. P., MARTIN, W. P. and BOELTER, D. H. Influences of soil compaction on crop growth and development. In 7th International Congress of Soil Science. Madison, Wisconsin. American Society of Agronomy 1960 VI pp. 607-615.
2. BARLEY, K. P. Deformation of the soil by the growth of plants. In 9th International Congress of Soil Science. Melbourne, Australia. V I, 1968, pp. 759-768.
3. COOPER, A. W. Effects of tillage on soil compaction. In Compaction of agricultural soils, pp. 315-364. Saint Joseph, Mich, American Society of Agricultural Engineers, Monograph. 1971. 471 p.
4. FORSYTHE, W. M. and HUERTAS, A. Effect of soil penetration resistance on the growth and yield of beans (*Phaseolus vulgaris* L.) 27-B variety. Turrialba 29:293-298. 1979.

5. FORSYTHE, W.M. and TAFUR, M. The effect of various methods of land preparation on soil resistance to penetration and yields of corn (*Zea mays* L) and cassava (*Manihot esculenta* Crantz) and sweet potato (*Ipomoea batatas* L) in association I. Effect of cropping system and land preparation on the soil. Turrialba 35(4):357-370. 1985.
6. LAL, R. and TAYLOR, G.S. Drainage and nutrient effects in a field lysimeter study. I. Corn Yield and soil conditions. Soil Science Society of America Proceedings 33:937-941. 1969.
7. TAYLOR, H. M. and RATLIFF, L. Root elongation rates of cotton and peanuts as a function of soil strength and soil water content. Soil Science 108:113-119. 1969.
8. TROUSE, A.C. Soil conditions as they affect plant establishment, root development and yield. In *Compaction of Agricultural Soils*. pp. 241-253. Saint Joseph Mich. American Society of Agricultural Engineers Monograph 1971. 471 p.

Reseña de libros

KING, A.B.S., and SAUNDERS, J.L. The invertebrate pests of annual food crops in Central America. Overseas Development Administration. 1984. 166 p.

This book is simply the best thing to happen to entomology in the isthmus since the *Biologia Centrali Americana*. The 166 pages of concise, carefully researched text is made doubly useful by the inclusion of over 410 well-reproduced, remarkably detailed, full color, close-up photographs of the pests in their natural environment. The inclusion of damage symptoms and natural substrates makes all the difference and the authors should be congratulated for not simply photographing pinned, deformed and discolored specimens.

Chapter 1, which introduces the book, includes a two-page description of Integrated Pest Management which is error-free but so succinct that it might best have been left out.

Chapter 2, entitled Key to the More Common Pests of Annual Food Crops, is a beauty. Here, keys are provided for insect pests of 29 different Central American crops. Some keys are comprehensive (eg. maize) while others are preliminary and will need to be enlarged (eg. egg-plant and other horticultural crops of lesser economic importance). In keeping with the practical orientation of the entire book, the keys are divided into sections which deal with each organ (roots, leaves, stems, etc.) and/or phenological stage (seed, seedling, flowering stage, etc.). Characters used will doubtlessly make entomological systematists cringe, but are very workable and relevant for field-oriented entomologists. Each tentative identification, generally to the generic level, is followed by a number referring the reader

to a page in Chapter 3, where a comprehensive, telegraphic description of the pest is provided. Specifically, information is provided on name (English and Spanish), distribution, hosts, life history, description, damage symptoms, pest status, as well as cultural, chemical and biological control. Finally, references are provided. In addition to the 8 insect orders included, the authors provide some information on mites and slugs.

The final chapter is concerned with pesticides and chemical control. While very useful for the moment, there is no doubt that the utility of the preceding chapters will far outlive this one. The categorization of the chemicals by pests group they can effectively control is a useful concept and in the absence of more specific recommendations by national agencies will be helpful over the short term.

Two very easily used and almost entirely error-free indices allow the reader to easily locate discussions of pests and natural enemies. The bibliography contains 192 references.

The text is nicely set, readable, succinct and remarkably free of errors considering that this is a first edition.

Hopefully, the Spanish-language version will be as well done as the English. This book will be useful to anyone with an interest in neotropical entomology. Now, who is going to do a follow-up book on pests of Central American perennial crops?

KEITH L. ANDREWS
DEPARTAMENTO DE AGRONOMIA
ESCUELA AGRICOLA PANAMERICANA
TEGUCIGALPA, HONDURAS

NOTA: La versión en español de este libro es distribuida en los países latinoamericanos por el IICA, a través de sus oficinas nacionales

PROTEIN PATTERN CHANGES IN THE DEVELOPING SEEDS OF BEANS (*Phaseolus vulgaris* L.)¹

T.S.G. LEE*

Resumen

La formación de proteínas de reserva durante el desarrollo de las semillas fue estudiado mediante electroforesis en geles. El contenido proteínico de las semillas en desarrollo aumenta gradualmente presentando un período rápido de depósito que comienza alrededor de 18 días después de la floración.

A los 30 días una proteína semejante a vicilina predomina y continuará así a través del período de maduración. La proteína tipo legumina parece sintetizarse en un estado posterior del desarrollo de la semilla, puesto que no fue encontrada en el día 30, pero sí en el 50, 60 y en semillas totalmente maduras.

Introduction

In legume seeds the cotyledons form the bulk of the seed and synthesize most of the protein. In the developing cotyledon there are two phases of growth, an initial one of intensive cell division followed by a longer period of growth by cell expansion. During expansion growth, 95% of the protein is synthesized (2, 14). Early investigations on the course of seed development concentrated mainly on the gross changes in nitrogen, starch-sugar, and metabolic aspects such as respiratory activity (12). The accumulation of storage protein in developing pea seeds had been followed by Danielsson (4) and the origin and transfer of nitrogen and carbon compound to developing pods and seed had been examined (16).

The storage proteins of legume seeds are generally of two types, vicilin-like and legumin-like (5, 10). Danielsson (4) found that vicilin was synthesized prior to legumin in ripening pea seeds; this pattern has been confirmed in *Vicia faba* (19). Millerd *et al.* (14) found that synthesis of storage protein began

early in seed development. Hall *et al.* (8) reported that in *Phaseolus vulgaris* the synthesis of storage protein was initiated when the seed attained 10 mm length. Hill and Breidenbach (9) studying soybean storage proteins described that the 2.2S sedimenting proteins predominated at very early stages of development and decreased proportionately throughout maturation. The 7.5S and 11.8S components appeared to be synthesized later in maturity and in larger amounts than the 2.2S proteins. Electrophoretic studies revealed temporal differences in the accumulation of the three components of the 7.5S fractions. The 11.8S sedimenting fraction appeared throughout seed development as a homogeneous protein which accumulated in the seed with a time course similar to that of the total 7.5S protein fraction.

The patterns of protein accumulation in developing seeds of various legume species have received considerable attention. It is frequently difficult to integrate much of the published data, mainly because of the great variation in growing conditions. This paper describes the changes in protein pattern observed after electrophoretic separation of extracts from seeds during development.

Materials and methods

Plant material

Seeds of *Phaseolus vulgaris* L. cv. Goiano precoce were germinated as described before (11). After 7

¹ Received for publication in April 18, 1985.

* Researcher at CENA, Piracicaba-SP, presently working as Chief Researcher of the Physiology Section of IAA/PLANNAL-SUCAR, Caixa Postal 153 - 13 600 - Araras-SP - Brasil.

days of germination, the seedlings were transferred to plastic pots containing a complete Hoagland's nutrient solution and cultured with continuous aeration. Seeds were harvested according to their physiological age (days after flowering). The seeds were freeze-dried and stored in a vacuum dessicator until used. Only uniform material was collected and no account was taken of the position of the pod on the plant. The growth chamber was controlled with a day temperature of 30°C and a night temperature of 22°C. A combination of 4 000 ft-c of fluorescent and incandescent light was provided for 16 hours each day with the remaining hours in the dark.

Protein samples

The freeze-dried samples were carefully ground in a chilled mortar with Tris-NaCl buffer [0.2 N NaCl in 0.05 M tris (hydroxymethyl aminomethane)], pH 8.0. The homogenates were centrifuged at 23 000 x G for 30 min at 0°C and the resulting supernatants were then dialyzed overnight against excess Tris-NaCl buffer in a cold room. Protein content was determined by Lowry's method (13) and the volume of each sample necessary to give approximately 300 µg of protein for electrophoresis was calculated.

Disc electrophoresis

Polyacrylamide gel columns (7%) were prepared as described by Davis (6). Electrophoresis using about 0.3 mg protein sample was usually carried out for 50 min in a tris-glycine buffer with a current of 5 mA per gel column. Detection of the separated protein components was achieved by staining the gels for 2 hours with 0.5% aniline blue black in 7% acetic acid and destained by diffusion with several changes of 7% acetic acid.

Sample length and weight

Sample length and fresh weight were taken immediately after the samples were collected. Dry weight was measured after the sample was dried in a 70°C oven for 3 days. Five pods were collected each time for the length and weight determination.

Results

Weight and length changes of developing pods and seeds

The changes in weight and length of developing seeds are shown in Figure 1-A. During the first 2 weeks, the seed grows very slowly except in length, which starts to increase constantly after flowering.

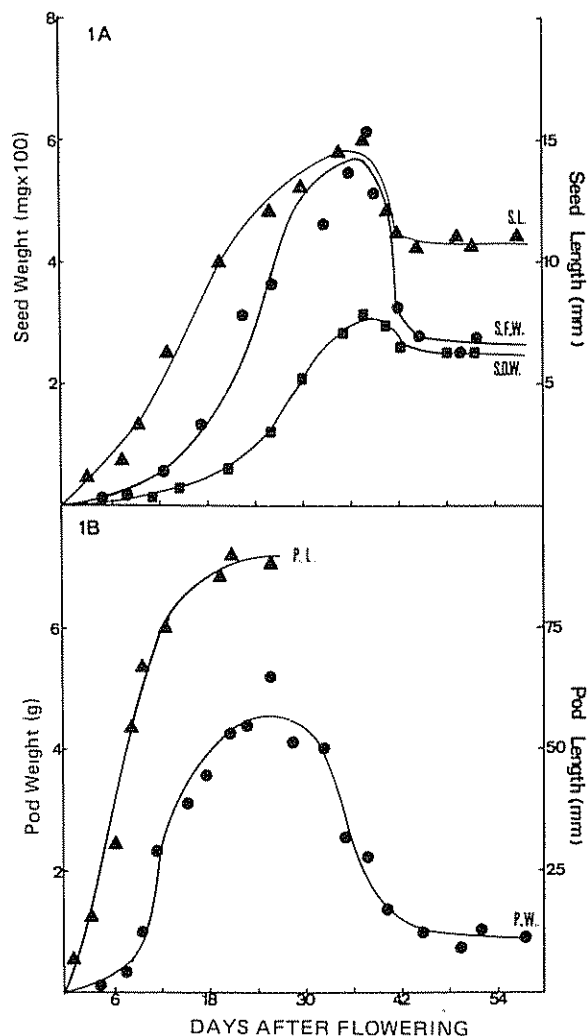


Fig. 1. A: Weight and length changes during seed development of *Phaseolus vulgaris* L. cv. Goiano precoce. (S.L.: Seed length; S.F.W.: Seed fresh weight; S.D.W.: Seed dry weight).

B: Weight and length changes of pod during *Phaseolus vulgaris* L. cv. Goiano precoce seed maturation. (P.L.: Pod length; P.W.: Pod weight).

The seed length reaches a maximum at about 35 days and then declines until day 42. The seed fresh weight starts to increase greatly 2 weeks after flowering. Thirty-seven days after flowering they achieved their maximum value. The fresh weight decreased sharply until day 45 and was there after constant.

The dry weight of the seed increased in a similar way as the fresh weight. It also reached its maximum value at about day 37. While the rate of fresh weight declined rapidly, the dry weight of the seed decreased only slightly and reached a constant value. The seeds were fully mature by day 60 when many of them

were loose in the pod and the remaining showed some degree of abscission.

The changes in weight and length of developing pod are shown in Figure 1-B. The pods attained their maximum weight of pod was obtained about 24 days after flowering. Marked shrinkage of the pod tissues became apparent between day 30 and 35. By day 45, the pods were completely dried and a constant pod weight was obtained since then.

The percentage of dry matter and water content are shown in Figure 2-A. While the percentage of dry matter was initially low it increased with increasing fresh weight. The most rapid dry matter percentage increase seems to occur between day 35 and day 40. After this period, dry matter was constant at about 90% of the total fresh weight, until full maturation.

Protein content changes

The increase in the Tris-NaCl extractable proteins of the developing seed was determined by biochemical analysis (Figure 2B). The changes closely parallel that in dry weight, except that protein synthesis is maintained until the seed is completely mature. Initially, the protein content of seeds increased gradually, with a rapid period of deposition starting at about 18 days after flowering until near day 37. From this day, on, until full maturation, the protein content still increased but at a relatively slow rate. Throughout development, protein forms an increasing part of the total dry weight of the cotyledon.

Protein pattern changes

The proteins of flower, pod and developing seed were each separated by disc gel electrophoresis. The results are shown in Figure 3. Four diffused and fast moving bands were found in the extract of flowers which contain very small pods (gel 1). The 3-day-old and 5-day-old pods (with very small seed inside) also contained rapidly migrating bands but several intermedial bands were also present (gels 2,3). The 9-day-old seeds contained mainly high to medium mobility bands but a relatively low mobility band ($R_m = 0.28$) was also present (gel 4). This band predominated over all other bands during the seed development from day 13 to day 23 (gels 5, 6, 7). At this stage several other low mobility bands and 3 medium mobility bands were also observed. At day 30, the concentration of $R_m 0.28$ band sharply decreased, and one of the medium mobility protein ($R_m = 0.52$), the vicilin-like protein (7), became dominant (gel 8). This protein predominated thereafter throughout maturation. At day 50 other low mobility proteins (e.g. legumin-like protein, $R_m = 0.10$) were observed and at day 60, all the protein bands detected in the dry mature seed were observed (gels 9, 10).

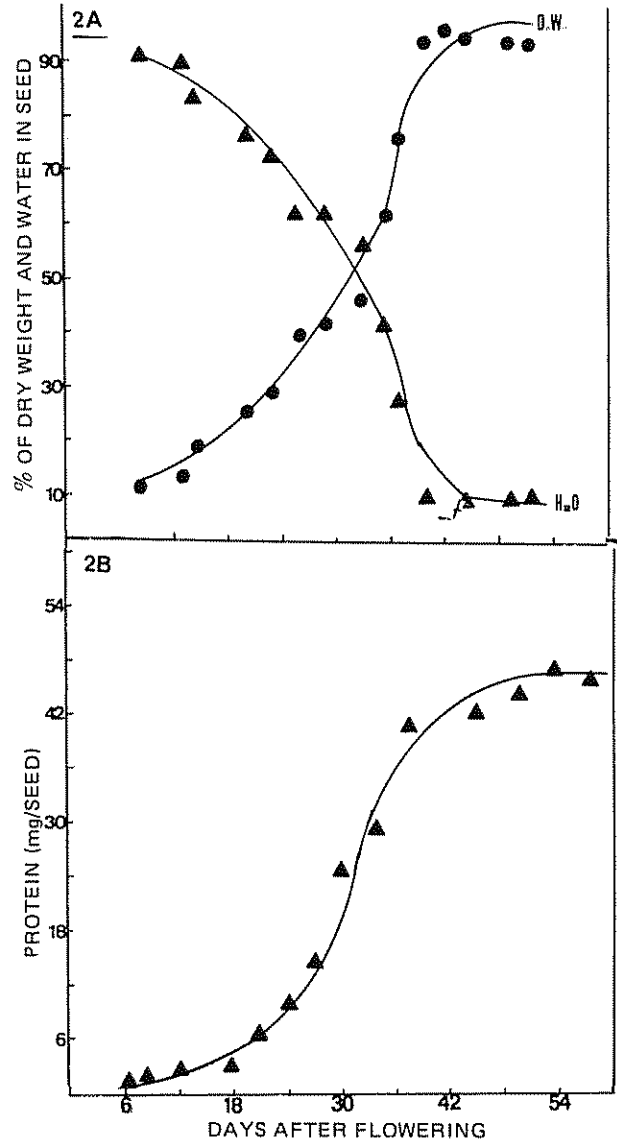


Fig. 2 A: Percentage of dry weight (D.W.) and water in developing seed of *Phaseolus vulgaris* L. cv. Goiano precoce.

B: Changes of Tris-NaCl extractable protein during seed development of *Phaseolus vulgaris* L. cv. Goiano precoce.

Discussion

The developing seed of legumes has been generally recognized as an important tool for studies on the quantitative and qualitative regulation of protein synthesis (1, 14). However, before this possibility can be fully utilized the temporal pattern of protein accumulation during seed development should be established. The general pattern of fresh weight, dry weight and protein accumulation changes of the

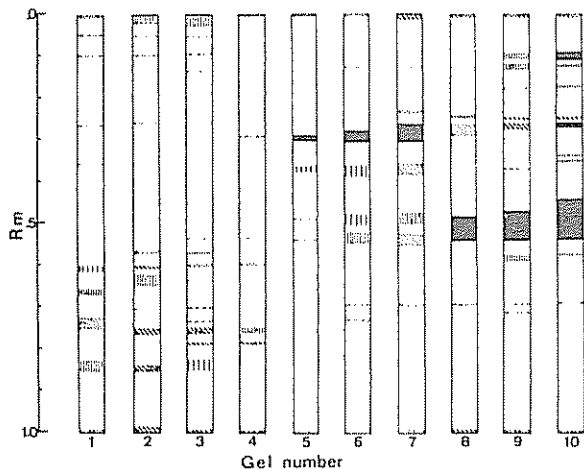


Fig. 3 Disc gel electrophoretic patterns of Tris-NaCl extractable proteins in developing seed of *Phaseolus vulgaris* L. cv. Goiano precoce. Gel 1: Flower extract; Gel 2: 3-day-old pod; Gel 3: 5-day-old pod; Gel 4: 9-day-old developing seed; Gel 5: 13-day-old developing seed; Gel 6: 18-day-old developing seed; Gel 7: 23-day-old developing seed; Gel 8: 30-day-old developing seed; Gel 9: 50-day-old developing seed; Gel 10: 60-day-old mature seed

maturing seeds were studied in order to correlate them with the electrophoretic patterns of the proteins of the developing seeds. The weight increase of the cotyledons follows the usual sigmoid curve, with the rapid phase beginning approximately just after the liquid endosperm is exhausted, and decreasing when cell expansion is completed. Pod weight increased rapidly between about 7 and 18 days after flowering suggesting that much of the substrate available for fruit formation is conducted into the pod.

The pattern of accumulation of protein was similar to those found by other investigators (9, 7, 18). The amount of protein present increased rapidly during the phase of rapid increase in dry weight. The composition of the storage fraction of legumes changes during the course of accumulation of protein during seed development and these changes suggest that the rate of synthesis of individual proteins differ and may even vary during ripening. Several investigators have employed electrophoresis of total seed protein or globulin to follow the changes which occur in individual proteins (8, 9). The results presented demonstrate that changes do occur and they give some indication of the electrophoretic components involved. However, different globulins may have similar electrophoretic mobilities and the possible presence of both monomeric and dimeric forms of a protein (3, 17) prevents further interpretation of the data.

Also, the high concentration of vicilin-like protein (10), which accumulates during the last stage, rapidly masks other proteins, readily detectable after electrophoresis on acrylamide gels. Results obtained by the use of the ultracentrifuge alone have similar interpretation problems (9). In order to follow the changing protein pattern during seed development, proteins must be monitored by one of their unique characteristics, for example, immunological determinants, as reported by Millerd and Spencer (15).

Summary

The formation of storage protein during seed development was followed by gel electrophoresis. The protein content of developing seed increased gradually with a rapid period of deposition starting at about 18 days after flowering. At day 30, the vicilin-like protein became predominant and continued so thereafter throughout maturation. Legumin-like protein appeared to be synthesized at a later stage of seed development since it was not observed in the day 30 seed but was revealed at day 50, day 60 and full-maturation seeds.

Literature cited

1. BEEVERS, L. and POULSON, R. Protein synthesis in cotyledons of *Pisum sativum* L. I: Changes in cell-free amino acid incorporation capacity during seed development and maturation. *Plant Physiology* 49:476-481, 1972.
2. BRIARTY, L. C., COULT, D.A. and BOULTER, D. Protein bodies of developing seeds of *Vicia faba*. *Journal of Experimental Botany* 20:358-372, 1969.
3. CATSIMPOOLAS, N., CAMPBELL, T. and MEYER, E.W. Immunochemical study of changes in reserve proteins of germinating soybean seeds. *Plant Physiology* 43:799-805, 1968.
4. DANIELSSON, C.E. A contribution to the study of synthesis of the reserve proteins in ripening pea seeds. *Acta Chemistry of Scandinavian* 6:149-159, 1952.
5. DANIELSSON, C.E. An electrophoretic investigation of vicilin and legumin from seeds of peas. *Acta Chemistry of Scandinavian* 4:762-771, 1950.

6. DAVIS, B.J. Disc electrophoresis. II: Method and application to human serum proteins. *Annals of New York Academic Science* 121:404-427, 1964.
7. FLINN, A.M. and PATE, J.S. Biochemical and physiological changes during maturation of fruit of the field pea (*Pisum arvense* L.). *Annals of Botany* 32:479-495, 1968.
8. HALL, T.C., McLEESTER, R.C. and BLISS, F.A. Electrophoretic analysis of protein changes during the development of the French bean fruit. *Phytochemistry* 11: 647-649, 1971
9. HILL, J.E. and BREIDENBACH, R.W. Proteins of soybean seeds. II: Accumulation of the major protein components during seed development and maturation. *Plant Physiology* 53:747-751 1974.
10. LEE, T.S.G. and CROCOMO, O.J. The structure of storage proteins in *Phaseolus vulgaris* beans. *Arquivos de Biologia e Tecnologia* 22:23-35, 1979.
11. LEE, T.S.G. and CROCOMO, O.J. Protein pattern changes in the germinating bean seed. *Turrialba* 30(1): 87-91, 1980.
12. LOEWENBERG, J.R. The development of bean seeds (*Phaseolus vulgaris* L.). *Plant Physiology* 30:244-250, 1955.
13. LOWRY, O.H. *et al.* Protein measurement with the Folin-phenol reagent. *Journal of Biological Chemistry* 193:265-275, 1951.
14. MILLERD, A., SIMON, M. and STERN, H. Legumin synthesis in developing cotyledons of *Vicia faba* L. *Plant Physiology* 48:419-425, 1971.
15. MILLERD, A. and SPENCER, D. Changes in RNA-synthesizing activity and template activity in nuclei from cotyledons of developing pea seeds. *Australian Journal of Plant Physiology* 1:331-341, 1974
16. PATE, J.S. and FLINN, A.M. Carbon and nitrogen transfer from vegetative organs to ripening seeds of field pea (*Pisum arvense* L.). *Journal of Experimental Botany* 24:1090-1099, 1973.
17. ROMERO, J. *et al.* Heritable variation in a polypeptide subunit of the major storage protein of the bean, *Phaseolus vulgaris* L. *Plant Physiology* 56: 776-779, 1975.
18. SMITH, D.L. Nucleic acid, protein and starch synthesis in developing cotyledons of *Pisum arvense* L. *Annals of Botany* 37: 795-804, 1973.
19. WRIGHT, D.J. and BOULTER, D. The characterization of vicilin during seed development in *Vicia faba* L. *Planta* 105-60-65, 1972.

TURRIALBA

COMUNICA A SUS AUTORES:

Que a partir de 1986 el IICA ha firmado un Convenio con el Instituto para la Información Científica (Institute for Scientific Information -ISI- del University City Science Center, Philadelphia, PA 19104, USA) para la reproducción de los artículos de la Revista TURRIALBA en The Genuine Article Royalty Program, destinado a los lectores de Automatic Subject Citation Alert -ASCA-, Current Content / Agriculture y Biology and Environmental Sciences -CC/AB/ES-.

Este Convenio permitirá realizar reproducciones por reprografía de los artículos de TURRIALBA que sean solicitados al Instituto para la Información Científica, con el propósito de ampliar su divulgación, uso y conocimiento.

La Revista TURRIALBA recibirá un 20% por regalías, de las cuales será reconocido al autor del artículo reproducido, un 10% de regalías.

La publicación de este aviso se considera como única noticia oficial para los autores de TURRIALBA. La Revista sobreentiende la aceptación de los términos por parte de los autores.

El autor que no desee que su artículo sea incluido en The Genuine Article Royalty Program, convenido entre el IICA y el ISI, deberá manifestarlo así por escrito al Editor de TURRIALBA.

TURRIALBA

NOTIFIES ITS AUTHORS:

IICA has assigned an agreement with the Institute for Scientific Information (ISI) of the University City Science Center, Philadelphia, PA 19104, USA, that goes into effect in 1986, reproducing articles from the TURRIALBA journal in the Genuine Article Royalty Program, for readers of the Automatic Subject Citation Alert (ASCA), Current Content / Agriculture and Biology / Environmental Sciences (CC/AB/ES).

Through this agreement, we will be able to reproduce TURRIALBA articles when the Institute receives requests, for use in scientific research, in order to increase readership and users help spread information.

TURRIALBA will receive royalties of twenty percent, of which ten percent will be paid to the author of the article selected for reproduction.

The publication of this notice will be considered the only official communication to authors of TURRIALBA. The editors will assume that the terms are accepted by the authors.

Any author preferring that his or her article not be included in the Genuine Article Royalty Program under the IICA and ISI agreement should so state a written note addressed to the editor of TURRIALBA.

NUTRIENT FLOW THROUGH NATURAL WATERS IN "TERRA FIRME" FOREST IN CENTRAL AMAZON¹

W. FRANKEN*
P.R. LEOPOLDO**
H. BERGAMIN*

Resumo

Através de experimento conduzido na Reserva Ducke, foram estimados os teores dos íons Cl^- , NH_4^+ , PO_4^{3-} , Na^+ e K^+ contidos na água de chuva, água de precipitação interna (água de lavagem da floresta) e água escoada pelo igarapé Barro-Branco, o qual drena uma bacia hidrográfica de 1.3 km² caracterizada por cobertura florestal do tipo terra-firme. Os teores de Ca^{2+} , Mg^{2+} e SO_4^{2-} foram observados somente na água da precipitação interna. Os conteúdos desses íons na água de chuva, em kg/ha/ano, foram da ordem de 13.6 de Cl^- , 6.6 de NH_4^+ , 0.1 de PO_4^{3-} , 8.4 de Na^+ e 2.4 de K^+ . Essas quantidades representaram, respectivamente, 45%, 89%, 37%, 76% e 11% dos totais que chegaram ao piso florestal pela água da precipitação interna, ou seja, pela água de lavagem das folhas, ramos e galhos da floresta. Os aportes de Ca^{2+} , Mg^{2+} e SO_4^{2-} ao piso florestal, através da precipitação interna e em kg/ha/ano, foram da ordem de 1.0, 7.8 e 37.0, respectivamente. As perdas de íons observadas na água drenada, mostraram-se muito pequenas quando comparadas aos totais que chegaram ao solo pela água da precipitação interna.

Introduction

It is well known that Amazon soils are generally characterized by poor fertility, acidity and low cation exchange capacity. However, the exuberance of the forest is due to especial mechanisms of nutrient availability and storage, essential to its maintenance, besides the basic heat and humidity conditions.

Herrera *et al.* (8) noted that nutrient inputs especially from litter, rain water, throughfall (water falling through the canopy, and internal precipitation) and products resulting from the metabolism of certain microorganisms, are sufficient to meet the forest requirements. According to these authors the plant physiology, adapted to the oligotrophic conditions, contributes to the selection of trees with low nutrient requirement, especially for phosphorus, with tolerance to high available aluminium concentration, which represents an important mechanism for nutrient conservation.

In Central Amazon about (kg/ha/yr) 2.2 P, 12.7 K, 5.0 Na, 18.4 Ca, 12.6 Mg and 105.6 N are recycled through litter (9). They point out that these amounts are relatively poor as compared with other tropical forests.

An important portion of nutrients become available to trees by throughfall which transfers significant amounts of mineral to the soil (1, 2, 9, 20, 21, 23, 24, 27). These authors mention, in general, the importance of throughfall to forest nutrition and

1. Received for publication on May, 1985.

The authors thank Dr. Maria de Nazaré Goes Ribeiro for her collaboration when the work was being done; as well as Dr. Eneas Salati, Director of Centro de Energia Nuclear na Agricultura (CENA), and the Analytical Chemistry Section of CENA for performing part of the chemical analyses.

* INPA – Instituto Nacional de Pesquisas da Amazonia, Manaus – AM.

** Faculdade de Ciências Agrônômicas – UNESP, Botucatu – SP.

that the inevitable losses, which are small in relation to total nutrients recycled, are replaced by minerals from rain water.

As observed by Schubart (25), uncontrolled deforestation represents a complete break-down of mineral recycling mechanisms, since the lack of plant cover will result, among other things, in an increase in leaching and erosion with consequently decreased fertility. According to the author, this can be proven by the inevitable decrease in yield of agricultural product crops occurring in certain deforested areas of the Amazon, the decrease being due to lack of nutrients, associated with other factors

The objective of the present work is to estimate the flow of certain nutrients in a hydrographic basin with forest cover of the "Terra Firme" type which is characteristic of about 80% of the Amazon Region. Such studies are useful and important as the basic data obtained are necessary to the development of practices for non-predatory exploitation of the existing natural resources, suitable to the local ecology

Material and methods

The hydrographic basin used in the present study is located at Reserva Ducke, near km 26 of the Manaus-Itacoatiara highway. has an area of about 1.3 km². Brinkmann and Santos (2) give detailed description of soil and type of plant cover. Data regarding hydrological characteristics are found in Leopoldo *et al.* (12) and Franken *et al.* (6).

Samples of rain water, throughfall and run-off water through the Barro-Branco stream were collected from October 1976 to September 1977, at one week intervals. A 200 cm² surface pluviograph was used in the quantification of rain while three plastic pluviometers, 100 cm² surface each, installed at about 20 m from the forest, were used to obtain rain water samples for qualitative analysis. For quantification and qualification of throughfall, i.e. the amount of rain water which reaches the forest soil by passing directly through cover openings and/or through dripping from stem, branches and leaves, 20 plastic pluviometers with 100 cm² surface each were installed in the forest.

The stream outflow was determined by using a rectangular weir with 0.98 m gate located at the basin outlet and a limnograph to register the hydraulic flow at the weir. Drainage water samples were collected at the same place for the respective chemical analysis.

As mentioned above, the water samples were chemically analysed for Cl⁻, NH₄⁺, PO₄³⁻, Na⁺ and K⁺

ions, while SO₄²⁻, Ca²⁺ and Mg²⁺ ions were only determined in throughfall. These analyses were made using a flame spectrophotometer, an atomic absorption spectrophotometer and an ion analyser with specific electrodes. The data obtained were converted into kg/ha/yr as a function of quantification of the water involved in each process.

Results

Table 1 shows the results of ion flux (kg/ha) in a one-year period, besides the percent for each phase of the process. Throughfall values (PI) refer to the addition of ions transported by rain water to those from forest washing and represent the totals which reached the forest soil. Columns P/PI show the percent of ions transported by rain water in relation to throughfall and Q/PI refer to percent from the Basin in relation to totals reaching the forest soil.

Table 1. Values (kg/ha) observed for ion flux in a one-year period and the respective proportions.

Ions	Rain (P)	Throughfall (PI)	Outflow flow (Q)	%	
				P/PI	Q/PI
Cl ⁻	13.60	29.90	3.94	45.5	13.2
NH ₄ ⁺	6.60	7.40	0.39	89.0	5.2
PO ₄ ³⁻	0.10	0.27	7x10 ⁻³	37.0	2.6
Na ⁺	8.40	11.10	0.75	75.7	6.7
K ⁺	2.40	22.10	0.29	10.9	1.3
Ca ²⁺	-	1.00	-		
Mg ²⁺	-	7.80	-		
SO ₄ ²⁻	-	37.0	-		

During the respective period, total precipitation was of the order of 2 075 mm, throughfall reached 1 847 mm and outflow about 400 mm. Results from such observations are shown in Figure 1, grouped into one month periods.

Figure 2 shows Cl⁻ flux variation in rain water, throughfall or forest washing and in the Barro-Branco stream outflow, noted during the respective observation periods, while same observations for NH₄⁺, PO₄³⁻, Na⁺ and K⁺ are shown in Figure 3 to 6. Figure 7 shows SO₄²⁻, Ca²⁺ and Mg²⁺ flux variations noted only in throughfall.

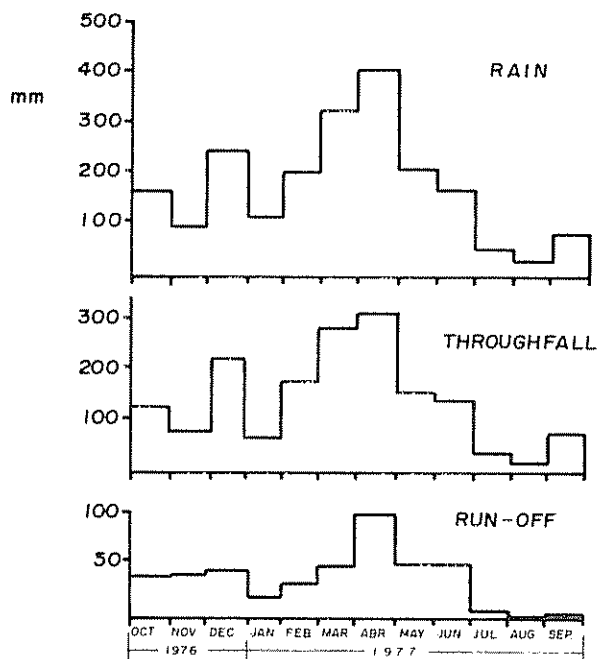


Fig 1 Rain, throughfall and run-off of the Barro-Branco stream, in millimeters, observed during the respective periods

Discussion and conclusions

Chlorine — It can be seen from Table 1 that in one year about 29.9 kg chlorine/ha reached the forest soil by throughfall or washing water, as many investigators would prefer to call it. Of this quantity, 13.6 kg representing 45.5% of the total were introduced by rain water, the remaining 16.3 kg being carried by water which removed the soluble chlorine released by leaf, stem and branch surface and, to a certain extent, by the dissolution of products from macro and microorganism. Table 1 also shows that of the total input to the forest soil only 13.2%, i.e. less than 4 kg/ha/yr were lost in solution through water flow.

Since the Amazon forest is in dynamic equilibrium it can be assumed that all external inputs are approximately equal to the losses occurring in the ecosystem, in such a way that the equilibrium is maintained. Therefore, about 9.7 kg chlorine/ha/yr should be lost in other forms, possibly as a complex element in organic matter in decomposition and in suspension in drainage water, or even, as cited by Malavolta (15), adsorbed in soil inorganic minerals, in suspension through "specific adsorption" i.e. by the formation of positive areas for adsorption of negative ions created through the acceptance of protons by aluminium and iron. Following the same principle,

chlorine adsorption to colloid organic matter suspended in drainage water would also be feasible. Comparatively, chlorine content in rain and drainage waters was the highest of all ions analysed, followed by sodium.

It was noted that the maximum values of precipitation, throughfall and run-off over the period occurred during the month of April (Figure 1). However, it can be seen in Figure 2 that the Cl^- peak in all three phases occurred in December, i.e. at the beginning of the season considered rainy (December-May). At this peak, of the total Cl^- reaching the forest soil, 60% came exclusively from rain water, and 40% were leached from the forest canopy by throughfall. Figure 2 also shows the minimum values which occurred during August, and it can be noted also that although there was a well characterized seasonal cycle, the greatest amounts of chlorine in the waters under consideration occurred during the humid

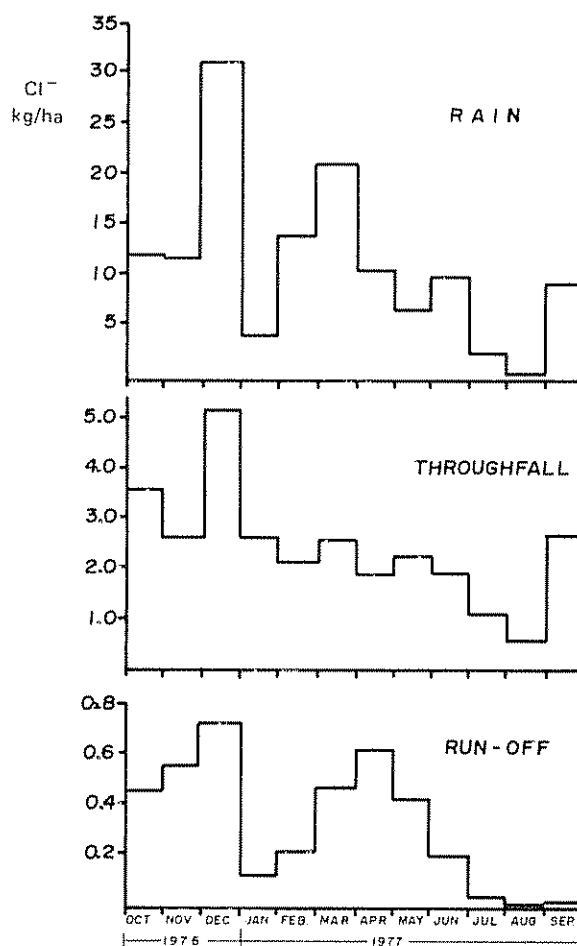


Fig 2. Cl^- flux in rain waters, throughfall and run-off of the Barro-Branco stream, as a function of the respective observation period.

period or the rainy season (December-May). It is interesting to note that chlorine contribution from rain water and washing water, in this period represented respectively 52% and 48% of the total chlorine transported to the forest soil. However, for the dry period chlorine contribution from rain water and washing water represented respectively 33% and 67% of the total chlorine transported to the forest soil. This observation leads us to understand and assume that before leaf-fall of the older leaves, which occurs mainly in the dry season, they release chlorine, similarly to what happens with calcium according to Brinkmann and Santos (2).

Ammonium — In accordance with data in Table 1, about 5.8 kg nitrogen/ha/yr from ammonia reached the forest soil by throughfall. Of this amount 5.1 kg were due to rain water and the balance, the small amount of 0.7 kg, leached from the forest canopy.

Based on analysis of rain water from different areas of the Amazon region, Salati (22) calculated that approximately 6 kg N/ha/yr are introduced through precipitation. He also noted that, in certain cases, the largest part of this amount comes from ammonia as compared to nitrate, which might suggest a recycling of the volatilized nitrogen. These values, however, represent a very small fraction — about 6% — in relation to the recycling of nitrogen compounds by litter which, according to Klinge and Rodrigues (9), in "Terra Firme" forest is of the order of 106 kg/ha/yr. Similarly, Santos and Ribeiro (23) found that, in the water of the Campina Amazonica ecosystem, the organic nitrogen is in higher concentration than in the other fractions analysed, followed by ammonia-nitrogen.

Figure 3 shows that from March to July especially, NH_4^+ input through precipitation was higher than the total in the washing water. It was estimated for this period, that only 52% NH_4^+ from rain reached the forest soil. This observation reinforces the hypothesis of rapid nitrogen volatilization or else of high foliar absorption or through microflora and other populations normally existing on leaf, stem and branch surfaces which at this time of the year, due to temperature and humidity conditions, would be in full development.

Run-off losses totalled 0.3 kg N/ha/yr, as shown in Table 1 and represent approximately 5.2% of the total that reached the forest soil. Evidently other forms of loss occurred in a way that losses and gains tend to be equal. Malavolta (17) noted that NH_4^+ can be lost through particulates, leaching, and above all volatilized, since in aqueous and acid medium through nitrification followed by denitrification, NH_4^+ tends to become N_2O or even N , in which forms it returns to the atmosphere.

Phosphate — Figure 4 shows that PO_4^{3-} fluxes can be considered negligible in the phases analysed as compared with the amount of phosphorus in litter, which according to Klinge and Rodrigues (9) totals about 2.2 kg/ha/yr. Converting the PO_4^{3-} data in Table 1 into net P values, only 85×10^8 kg/ha reached the forest soil in one year, through natural waters, which fraction corresponds to less than 4% of the phosphorus returned to soil through litter. Of this amount, 32×10^3 kg/ha originated from rain water, therefore, the balance, i.e. 53×10^3 kg/ha came from leaching of the leaves, stems and branches, or even from macro- and microorganisms living on them.

Although phosphorus has been analysed only in its soluble form, it is believed that the low values for throughfall result from the adaptation of the Amazon plant species to the low availability of this element as already reported by Herrera *et al.* (8). Even the

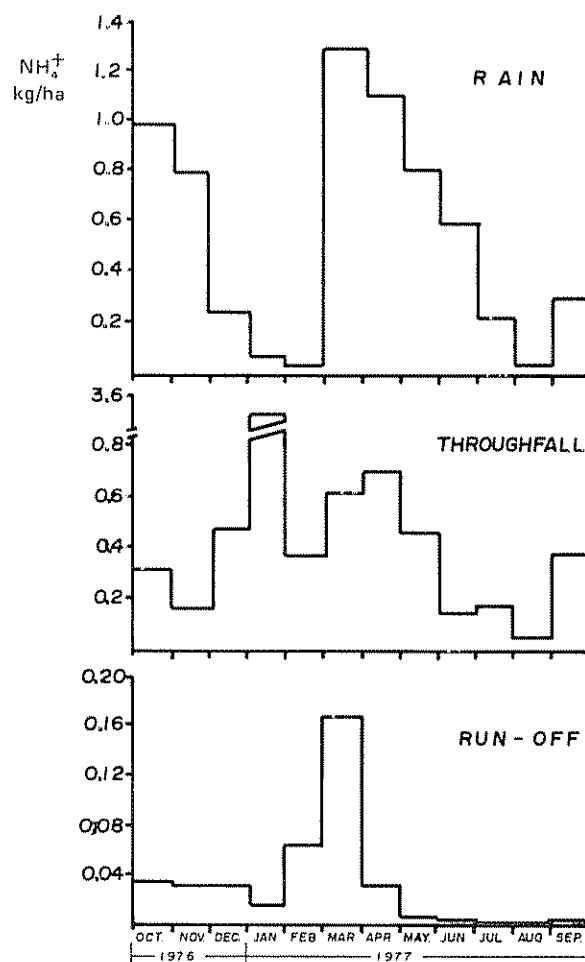


Fig. 3. NH_4^+ flux in rain waters, throughfall and run-off of the stream, as a function of the respective observation period.

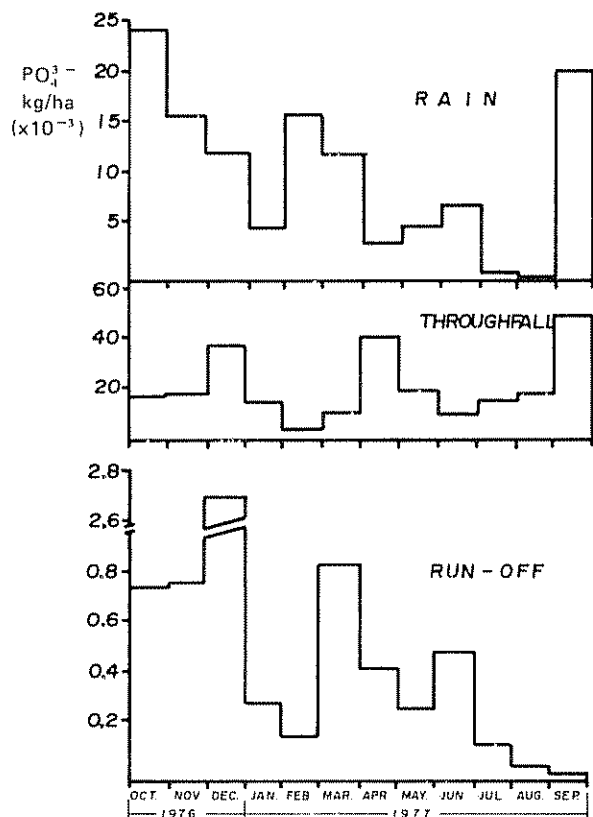


Fig. 4 PO_4^{3-} flux in rain waters, throughfall and run-off of the stream, as a function of the respective observation period.

phosphorus amount in litter can be considered poor as compared with other regions or species. For conifers, Will (28) concluded that throughfall contains the same amount of phosphorus as that observed for the litter of such populations, which in part means larger demands of the species in relation to this nutrient.

Thus, besides the physiological plant adaptation to the phosphorus availability, it can also be concluded that the Amazon ecosystem has developed an efficient conservation system of this nutrient.

Sodium – Brownell and Wood (3) cited by Malavolta (15) observed that sodium effect on plants varied from essential in only one species, *Atriplex versicaria* Heward, to toxic for many others.

According to citation by Malavolta (15) many plants accumulate sodium, while others tend to eliminate it from aerial parts and accumulate in the roots. Letey *et al.* (13) showed that the quantity of sodium translocated to the aerial parts of certain

plants is increased by the low oxygen supply to the roots, which leads us to believe that the elimination process is metabolic.

Lehr (11) also cited by Malavolta (15) developed a scheme for the Na/K ratio in higher plants, in which there are 4 categories:

- plants that show a great response to sodium at high levels of potassium, and in these cases they can substitute part of the potassium for sodium;
- plants that show a small response to sodium under good K supply conditions, there being in these cases substitution of K for Na but in a lesser scale than in the previous case;
- species that show moderate to great response to K deficiency; and
- plants which show little or no response, with or without K deficiency conditions.

As to absorption, Harding *et al.* (7) and Ehlig and Bernstein (4) showed that sodium can be absorbed through the leaves and that this absorption is relatively quick, so that toxicity symptoms appear within a few weeks in plants sensitive to Na^+ .

Table 1 shows that about 8.4 kg Na^+ /ha/yr reached the region through precipitation, which amount is higher than the sodium content in litter proper. To this amount, about 2.7 kg Na^+ /ha/yr from tree top washing were added, so that a total of 11.1 kg Na^+ /ha/yr reached the forest soil.

Table 1 also shows that soluble sodium loss was of order of 6.7% of the total that reached the forest soil through water. This is, evidently, a paradoxical result, since it should be supposed that the greatest sodium losses occur through leaching, if we consider that this element is more weakly adsorbed by soil colloids than K, Mg and Ca most probably colloidal organic matter. However, considering that losses tend to equal external gains; that Ca and Mg losses are minimal (1,2) as well as losses of K, probably the excess sodium was exported as particulates, i.e. adsorbed to the inorganic and organic matter suspended in run-off water, or else similar to the other ions observed, through decomposing organic matter.

It can also be noted in Figure 5 that the sodium content in rain water was influenced by the season, the largest amounts having been introduced from December to April, while those noted for the May-September interval can be considered negligible. Making a mass-balance for each period it is noted that in

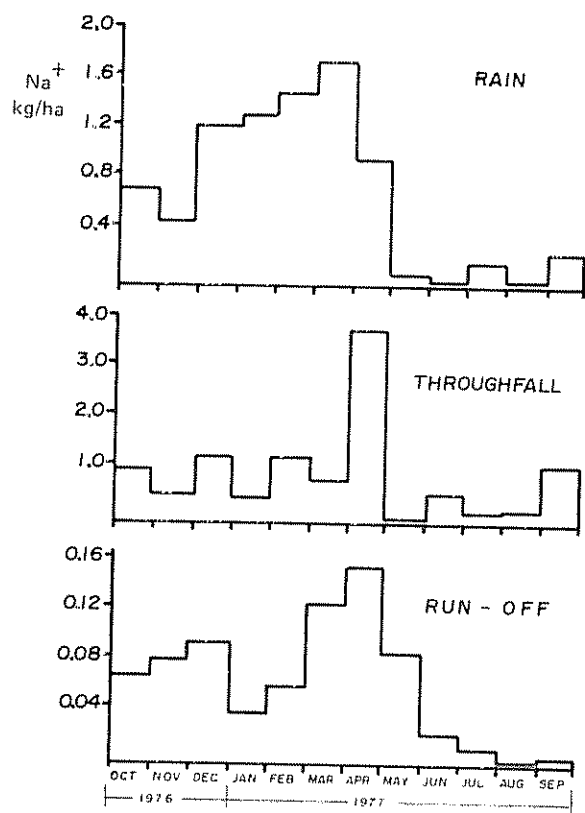


Fig. 5 Na^+ flux in rain waters, throughfall and run-off of the stream, as a function of the respective observation period.

the November-March interval, only a portion of 63% of total sodium introduced by rain water reached the forest soil. Part of it (37%) was retained by tree tops, the washing water thus becoming poor in relation to its original content. Therefore, as far as mass is concerned, from November to March about $6.2 \text{ Na}^+/\text{ha}/\text{yr}$ entered the ecosystem through rain water, of which 3.9 kg were transported to the soil by throughfall, approximately $2.3 \text{ kg Na}^+/\text{ha}$ having been retained on the leaf surfaces, or even by other organs and/or by microflora. The portion retained is most likely to have been absorbed by plants through the leaves, according to research by Harding *et al.* (7) and Ehlig and Bernstein (4).

In this period losses amounted to about $0.4 \text{ kg Na}^+/\text{ha}$, therefore, hypothetically there should be available in the soil $3.5 \text{ kg Na}^+/\text{ha}$. For the following period, April-October, the situation was relatively reserved: the soil received about $7.2 \text{ kg Na}^+/\text{ha}$ through natural waters, of which 31% or 2.2 kg originated from rain and the balance, about $4.9 \text{ kg}/\text{ha}$ were taken from the forest canopy by washing water; losses of Na^+ were of the order of $0.3 \text{ kg}/\text{ha}$, which should give a net availability in the soil of $6.8 \text{ kg Na}^+/\text{ha}$.

For the first period it can be noted that between the amount of sodium absorbed by the vegetation and that supposed to be available in the soil we had a total of approximately $5.8 \text{ kg Na}^+/\text{ha}/\text{yr}$. On the other hand, it can be noted that in the following period there was an elimination of sodium through water of $4.9 \text{ kg}/\text{ha}$ which represented a difference of only $0.9 \text{ kg}/\text{ha}$ between the two periods; this leads to the supposition that, besides foliar absorption there was also an intensive absorption by roots to maintain the sodium equilibrium in the plant.

The following considerations are made in an attempt to explain such behavior, in which during a certain period sodium was absorbed by the plant, followed by another period when it was eliminated:

—It is noted that the sum of potassium content in washing water (Table 1) and litter is higher than Ca and Mg, therefore there is an adequate supply of potassium to the plants. Thus the vegetation studied can be included in the first category, or even the second, established by Lehr (11) where plants show a certain affinity to sodium in spite of good potassium supply conditions, there being in these cases substitution of K for Na in order to maintain the ratio Na/K within adequate limits for the plants.

—Of the total sodium eliminated by the vegetation ($4.9 \text{ kg}/\text{ha}$) during the period April-October, it was noted that the greatest portion 57%, was in April and May. It is assumed that this procedure is possibly due to excess water in the soil, especially in March, April and/or even May (Figure 1) thus causing low oxygen supply to the roots, which according to Letey *et al.* (13) results in translocation of sodium to the aerial parts, which is later eliminated by metabolic process. Subsequent elimination, on a much lesser scale, probably occurred to eliminate the excess sodium absorbed in the previous period.

Finally, all of the above remarks are only conjectures on a little studies subject.

Potassium — Results in Table 1 show that potassium was the cation most leached from tree tops and was the main cation in washing water. This was probably due to the fact that the largest proportion of potassium in the plant is in soluble form, contrary to Ca^{2+} and Mg^{2+} , and consequently is more easily removed by water.

Nye (19) working in a tropical forest in Costa Rica came to similar conclusions, observing that the potassium reincorporated in the washing water represented, under those conditions, about three times the amount in litter. In conifer populations in New

Zealand, Will (28) observed a lesser proportion i.e. twice as much; while in the present work and based on results by Klinge and Rodrigues (9) this proportion was less still, of the order of 1.7.

Table 1 also shows that external inputs of potassium represented 10.9% of the total reincorporated into soil by washing water, which amount is relatively inferior to the other ions studied. Considering, however, the potassium contained in litter, 12.7 kg/ha/yr according to Klinge and Rodrigues (9) it can be noted that the external contribution will be reduced to 6.9% of the total potassium involved in the ecosystem.

Thus, like the observations made by Brinkmann and Santos (1, 2) for calcium and magnesium, and phosphorus in the present work, potassium can also be included as a closed cycle element since the gains are relatively low as compared to the total K involved in the cycle. The potassium incoming flux followed a certain seasonal variation as can be seen in Figure 6, with minimum quantities being introduced in the months July-September, followed by a period when these quantities tended to increase until April.

Contrary to what was observed for sodium, Figure 6 shows that potassium content in washing water, for the whole period, was always higher than that of rain water. These contributions were minimal in July and August, while from January to June the quantities introduced showed little relative variation, with a mean value of about 1.3 kg K⁺ ha/yr. The greatest contribution, however, occurred in the period September-December, i.e. middle to end of the dry season and the beginning of the rainy season, when washing water transported to the forest soil a total of 11.0 kg K⁺/ha, corresponding to 49.8% of the total per annum.

It is known that potassium is an element easily redistributed in the plant, and according to Malavolta (15) when the leaf matures part of the potassium adsorbed to the proteins is released. Therefore, the greatest concentrations of K⁺ in washing water, during the period September-December could be explained assuming that before and during falling of older leaves there would be an increase in the potassium, susceptible to leaching by water action.

On the other hand, it is also known that potassium absorption depends directly on its availability, being also affected by aeration and soil moisture. Lawton (10) cited by Malavolta (15) working with maize, found that the K content in the plant decreases with the decrease in soil moisture. Similarly, when aeration is lessened the element's rate of absorption also decreases. Furthermore, Loué (14)

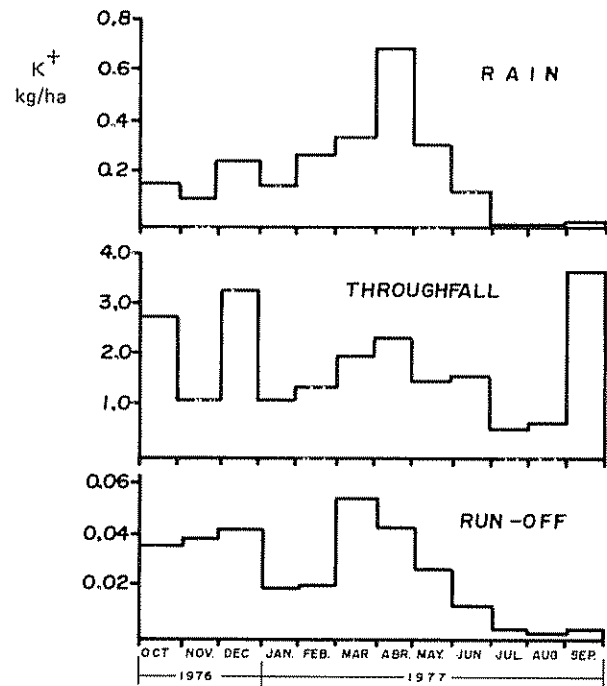


Fig. 6. K⁺ flux in rain waters, throughfall and run-off of the stream, as a function of the respective observation period.

mentions that potassium absorption indirectly depends, as a general rule, on Ca²⁺ and Mg²⁺ concentration in soil solution, according to the ratio (K)/(Ca+Mg)^{1/2}. Low ratios would generally indicate a smaller K absorption by the plant, while for high ratios there would be higher amounts of K in the leaves and a decrease in Ca and Mg.

Studying this ratio in the present work for washing water which introduced into the soil the majority of the referred to elements, a mean value of 106 was found the period September-December and a mean of 71 for January-June. For the months of July and August this ratio was of the order of 54 and 57, respectively.

Therefore, it can be concluded that the results obtained for potassium are in accord with the general observations: from January-June (part of the rainy season, beginning of the dry season) K⁺ flux in washing water was smaller since during this period there is supposedly a high content of moisture in the soil with consequent low aeration, besides the observed low ratio (K)/(Ca+Mg)^{1/2}; the peak observed in April was probably due to the occurrence of high amounts of precipitation, increasing therefore the leaching capacity by water, not only of K but of other elements as well; for July/August besides the smaller ratio observed (K)/(Ca+Mg)^{1/2} the total water involved was very

little in comparison with other periods; and from September to December the conditions were reserved, resulting in greater K availability, susceptible to leaching process.

Sulphur — Table 1 shows that the amount of SO_4^{2-} in washing water, about 37 kg/ha/yr (12.3 kg S) was higher than the other ions analyses. Although not determined in rain water, it is assumed that the external contribution was relatively large, as has been concluded for chlorine and ammonium. Thus, of the amount of 37.0 kg/ha/yr a large portion must have been introduced by rain water, and recalling that of the total sulphur in the plant the greatest part is in organic form, leaching is not so likely compared to certain other elements. These indications, together with the characteristic that SO_4^{2-} can be lost by volatilization through microbial activity which reduces the SO_4^{2-} to S^{2-} , suggests that recycling of the volatilized SO_4^{2-} should occur, as described by Salati (22) for NH_4^+ .

On the other hand, as seen in Figure 7, the largest part of the SO_4^{2-} in washing water occurred during the period September-December, i.e. middle and end for the dry season and the beginning of the rainy season. The amount of SO_4^{2-} in washing water in these four months was of the order of 20.8 kg/ha, representing 56.2% of the total per year. Thus, the largest concentration found for the period September-December seem to be correlated with release of SO_4^{2-} by older leaves before falling, as noted for potassium. Besides this possibility, and as previously mentioned, the highest K^+ concentrations in washing water occurred during the identical period as for SO_4^{2-} which would imply, according to Simon-Sylvester (26) a greater speed of sulphate absorption. Such coincidence permits the establishment of another hypothesis, in which it is noted that when there is an ample supply of SO_4^{2-} its absorption can be quicker than its own reduction and assimilation of organic compounds, resulting in a considerable fraction of the absorbed sulphur remaining as SO_4^{2-} which is easily leached (Epstein, (5) cited by Malavolta (16)).

The month in which the maximum value of SO_4^{2-} in washing water, 6.8 kg/ha, occurred was April (Figure 7). This must have been due to concentration of this element in rain water together with the characteristic rainy events in that month. These characteristics, high intensity and high precipitation, evidently confer on the water a high leaching capacity.

Calcium — In accordance with the results in Table 1, about 1.0 kg calcium/ha/yr was reincorporated into the forest soil through washing water. This value represents only a small portion, 5%, of the total cal-

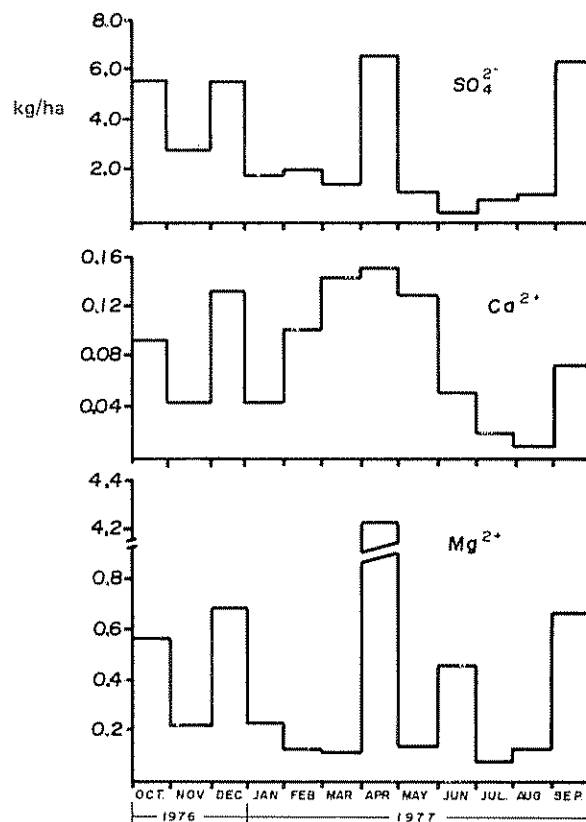


Fig. 7 SO_4^{2-} , Ca^{2+} and Mg^{2+} in throughfall, as a function of the observation period.

cium returned via litter, which reached 18.4/ha/yr (9). Such a proportion indicates that calcium is an immobile element, especially in older leaves (2). This shows that calcium content in washing water and litter was smaller than K and Mg in view of the fact the high concentration of these two elements in the medium decreases Ca absorption (15).

Figure 7 shows that the greatest amount in washing water occurred during the period December-May, coinciding with the period of greatest precipitation. According to data obtained, 0.71 kg Ca^+ /ha, corresponding to 71% of the total year, were transported during this period.

Brinkmann and Santos (2) working in Central Amazon found traces of soluble calcium in rain, soil and drainage waters, which lead them to consider it as a circulating element in a closed system. Similar remarks were made by Santos *et al.* (24). Yet, according to Brinkmann and Santos (2), the largest concentration of calcium in washing water was found in the dry season, a period in which the element is released from the older leaves due to their de-

composition before falling. Besides this main source of soluble calcium, these authors mention two others: the solubilization process in leaves and microflora, and sporadic leaching of residues and excretion of non-photosynthetic macro- and microorganisms on leaf surface.

The results presented in Figure 7, however, are not entirely in accord with those cited by the above authors, if we consider that in the present case the largest amount of the element in internal precipitation occurred during the rainy season, i.e., when the forest is in vegetative development. Evidently, larger concentrations can be found at leaf fall (2) during the dry season, since a smaller dissolution of leached calcium should occur at such time because of the lesser amounts of washing water involved in the process. From the results presented it appears that the processes which originate calcium in washing water, are more efficient in the rainy season when there are greater amounts of calcium leached from the forest canopy.

Magnesium — The forest soil received during one year about 7.8 kg soluble magnesium through washing water (Table 1). As shown in Figure 7, 4.2 kg/ha, corresponding to 53.8% of the total, during the month of April alone, probably as a consequence of high and intense precipitation which occurred in that month.

Magnesium is a mineral that translocates easily in plant tissue as already observed by (1). According to these investigators, leaching of released magnesium by oxidizing and solubility processes in leaves, stems and branches or even epiphytes, constitutes a very important source of the element, besides the already cited calcium sources. The possible solubility of magnesium present in leaf surface and stems by strong acids, such as nitric and organic acids, has been suggested by Santos *et al.* (24). It can be seen in Figure 3 that the greatest NH_4^+ availability introduced by rain water was in March-April, and this can be correlated with the magnesium peak in April.

Except for the transference which occurred in April, it can be noted in Figure 7 that a representative portion of magnesium was leached during the period September-December, i.e. the middle and end of the dry season and beginning of the rainy season, identical to what was observed for certain other ions. The high throughfall concentration, strongly reduced for rain water and run-off, shows that magnesium, as stated by Brinkmann and Santos (1) can be considered an element of internal recycling.

Comparing the three cations, K^+ , Mg^{2+} and Ca^{2+} the order of preference was given by the sequence

$\text{K}^+ > \text{Mg}^{2+} > \text{Ca}^{2+}$ since the high relative availability of potassium and magnesium induces a smaller rate of calcium absorption, and in turn potassium causes a decrease in magnesium (15).

It can be noted that the water running down the trunk has not been analysed, which would complete the nutrient balance in the ecosystem in question. However, according to Franken *et al.* (6) it is known that the portion of trunk-water is very small as compared to the total water reaching the soil by throughfall. Similar remarks are found in McColl (18).

The nutrient flux in the waters of tropical forests is very complex and little studied, suggesting that research should continue with the objective of defining practices and policies for a non-depredatory exploitation of this immense and important ecosystem.

Summary

In an experiment conducted at Reserva Ducke, Cl^- , NH_4^+ , PO_4^{3-} , Na^+ and K^+ ions were estimated in rain water, throughfall and run-off water of the Barro Branco Igarapé which drains a 1.3 km² watershed characterized by "Terra Firme" forest cover. Ca^{2+} , Mg^{2+} and SO_4^{2-} were found only in throughfall. Ion contents in rain water were (kg/ha/yr) 13.6 Cl^- , 6.6 NH_4^+ , 0.1 PO_4^{3-} , 8.4 Na^+ and 2.4 K^+ . This represented 45%, 89%, 37%, 76% and 11% respectively of the totals reaching forest soil by throughfall. Ca^{2+} , Mg^{2+} and SO_4^{2-} reaching the forest soil by throughfall (kg/ha/yr) were 1.0, 7.8 and 37.0 respectively. Run-off ion loss was relatively small as compared with total ion content reaching the soil forest by throughfall.

Literature cited

1. BRINKMANN, W.L.F. and SANTOS, A. dos. Natural waters in Amazonia. V. Soluble magnesium properties. Turrialba 21(4):455-465. 1971.
2. BRINKMANN, W.L.F. and SANTOS, A. dos. Natural waters in Amazonia. VI. Soluble calcium properties. Acta Amazonica 3(2):33-40. 1973.
3. BROWNELL, P.F. and WOOD, J.D. Sodium as an essential micronutrient element of *Atriplex versicaria* Heward. Nature 179:635-636. 1957.
4. EHLIG, C.F. and BERSTEIN, L. Foliar absorption of sodium and chlorine as a factor in sprinkler irrigation. Proceedings of American Society for Horticultural Science 74: 661-670. 1959.

5. EPSTEIN, E. Nutrição mineral das plantas: princípios e perspectivas. Trad. E. Malavolta. Edt. da Universidade de São Paulo e Livros Técnicos e Científicos. 1975.
6. FRANKEN, W., LEOPOLDO, P.R., MATSUI, E. and RIBEIRO, M.N.G. Estudo da interceptação da água de chuva em cobertura florestal Amazônica do tipo Terra Firme. *Acta Amazonica* 12(2): 327-331. 1982.
7. HARDING, R.B., MILLER, M.P. and FIREMAN, M. Absorption of salts by citrus during sprinkling with water suitable for surface irrigation. *Proceedings of American Society for Horticultural Science* 71:248-256. 1958.
8. HERRERA, R., JORDAN, C.F., KLINGE, H. and MEDINA, E. Amazon ecosystems. Their structure and functioning with particular emphasis on nutrients. *Interciencia* 3(4): 223-232. 1978.
9. KLINGE, H. and RODRIGUES, W.A. Litter production in an area of Amazonian Terra Firme forest. Part II. Mineral nutrient content of the litter. *Amazoniana* 1(4):303-310. 1968.
10. LAWTON, K. The influence of soil aeration on the growth and absorption of nutrients by corn plants. *Soil Science Society American Proceedings* 19:263-269. 1945.
11. LEHR, J.J. Sodium as a plant nutrient. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 4(10): 460-471. 1953.
12. LEOPOLDO, P.R., FRANKEN, P.R. and SALATI, E. Balanço hídrico de pequena bacia hidrográfica em floresta Amazônica de Terra Firme. *Acta Amazonica* 12(2): 333-337. 1982.
13. LETEY, J., LUNT, R.O., STOLZY, L.H. and SZUSCKIEWICZ, I.E. Plant growth, water use, and nutritional response to rhizosphere differentials of oxygen concentration. *Soil Science Society American Proceedings* 25: 183-186. 1961.
14. LOUE, A. A contribution to the study of the inorganic nutrition of maize, with special attention to potassium. *Fertilite* 20 (Nov./Dec). 1963.
15. MALAVOLTA, E. Manual de química agrícola: nutrição de plantas e fertilidade do solo. São Paulo Editora Agronômica Ceres, 1976. 528 p.
16. MALAVOLTA, G. Potássio, Magnésio e Enxofre nos solos e culturas brasileiras. Instituto de Potassa e Fosfato and International Potash Institute, Boletim Técnico No 4, 2nd ed. 1960. 91 p.
17. MALAVOLTA, E. Manual de química agrícola: adubos e educação. 3 ed. São Paulo, Editora Agronômica Ceres, 1981. 596 p.
18. McCOLL, G.J. Properties of some natural waters in a tropical wet forest of Costa Rica. *BioScience* 20(20): 1096-1100. 1970.
19. NYE, P.H. Organic matter and nutrient cycles under moist tropical forest. *Plant Soil* 13:333-346. 1961.
20. REGENWASSERANALYSEN AUS Zentralamazonie, ausgeführt in Manaus, Amazonas, Brasilien, von Dr. Harald Ungmaceh. *Amazoniana* 3(2): 186-198. 1972.
21. RIBEIRO, J.S.B., BRINGEL, S.R.B. and SANTOS, A. dos. Hidroquímica na Amazonia Central. II. Flutuações no fluxo de saída de nitrogênio e fósforo em dois ecossistemas na Amazônia. *Acta Amazonica* 8(3): 409-416. 1978.
22. SALATI, E. O clima atual depende da floresta. In CNPq, Amazônia, Desenvolvimento, Integração e Ecologia. Ed. Brasiliense 1983. pp 15-44.
23. SANTOS, A. dos and RIBEIRO, M.N.G. Nitrogênio na água do solo do ecossistema Campina Amazônica. *Acta Amazonica* 5(2): 173-182. 1975.
24. SANTOS, A. dos. RIBEIRO, M.N.G., RIBEIRO, J.S.B. and BRINGEL, S.R.B. Hidroquímica da Amazônia Central. III. Química da água de lavagem da floresta no ecossistema Campina Amazônica (stemflow). *Acta Amazonica* 11 (2): 335-346. 1981.
25. SCHUBART, H.O.R. Ecologia e utilização das florestas. In CNPq, Amazônia: Desenvolvimento, Integração e Ecologia, Ed. Brasiliense 1983. p. 101.
26. SIMON-SYLVESTER, G. Les composés du soufre du sol et leur révolution: rapports avec la microflore et utilisation par les plants. *Annales Agronomiques* 3:311-332. 1960.

27. STARK, N. and HOLLEY, C. Final report on studies of nutrient cycling on white and black water areas in Amazonia. *Acta Amazonica* 5(1):51-76. 1975
28. WILL, C.M. Nutrient return in litter and rainfall under some exotic conifer stands in New Zealand. *N.Z.J. Agriculture Research* 2:719-734. 1959.

Reseña de libros

STANHILL, G. (ed.) *Energy and Agriculture*. Springer-Verlag, 1984. 192 p. (Advanced Series in Agricultural Sciences 14).

A partir de 1973 el mundo llegó a tener un mejor conocimiento del valor de los recursos energéticos, a raíz del vertiginoso aumento en los precios del petróleo decretado por la Organización de Países Exportadores de Petróleo. Esta situación de verdadera crisis, que puso en jaque aún a los países más ricos, tuvo como un resultado positivo el desarrollo de un marcado interés por el estudio del flujo de la energía en diversos sistemas, tanto agrícolas, industriales como también naturales, así como la búsqueda de formas de un mejor aprovechamiento de la energía y de nuevas fuentes de este recurso.

Precisamente, el material que se presenta en esta obra procede de los trabajos sometidos a la consideración de una conferencia internacional celebrada en Kiryata Anavim, Israel, en marzo de 1983, dedicada al análisis del tema de la energía. En esta conferencia, organizada por el Consejo Nacional para la Investigación y el Desarrollo de Israel, un distinguido grupo de científicos presentó un enfoque multidisciplinario del problema energético en los agroecosistemas. El contenido de los 9 capítulos, que a continuación se transcriben, incluye aspectos no sólo agronómicos sino también biológicos y económicos.

Capítulo 1. Introducción: el papel de la energía en la agricultura.

Parte I. Principios y procesos

Capítulo 2. Impacto económico de los precios de la energía en la agricultura.

Capítulo 3. Análisis energético del papel del ambiente en la agricultura.

Capítulo 4. El papel de la ingeniería genética en la modificación del flujo de energía en la agricultura.

Parte II. Fuentes de energía para la agricultura.

Capítulo 5. Energía en diferentes sistemas agrícolas: fuentes renovables y no renovables de energía.

Capítulo 6. Mano de obra en agricultura: desde fuentes de energía a centros de consumo.

Capítulo 7. Uso de la energía en el sector productivo de alimentos de la Comunidad Económica Europea.

Capítulo 8. Energía en la agricultura australiana: consumo, producción y políticas de acción.

Capítulo 9. Uso de la energía y su manejo en la agricultura de los Estados Unidos de Norteamérica.

Aunque todos los capítulos de este libro están muy bien presentados en cuanto a contenido, forma y

sustento bibliográfico, se nota un sesgo hacia el análisis de los problemas en los países de mayor desarrollo científico y tecnológico, en especial en el estudio de casos. Hubiese sido interesante que se incluyera por lo menos un país del tercer mundo, en donde se haya logrado progresos en el estudio de los problemas energéticos, como es el caso de Brasil. Los capítulos 3, 4 y 5 son los que tienen un carácter más general y por lo tanto podrían ser de mayor interés para los estudiosos del problema en cualquier parte del mundo. El capítulo 4 es bastante innovador en cuanto al enfoque del problema, ya que muestra cómo la ingeniería genética, y en general la biotecnología, pueden ser de importancia en la modificación de los diversos elementos que intervienen en el flujo de energía en los agroecosistemas.

Por el interés y la vigencia del tema y por el buen contenido de la obra considero que ésta debe ser lectura obligada de todos aquellos que se interesan por los problemas energéticos en especial los investigadores en el campo de los agroecosistemas.

LUIS A. FOURNIER O.
ESCUELA DE BIOLOGIA
UNIVERSIDAD DE COSTA RICA

E. VALVERDE*
M.V. SAENZ*

Summary

*A growth analysis on chayote (*Sechium edule* Sw.) was performed during six months of the growing season. The study was conducted in field condition at the Ujarras Valley, Cartago, Costa Rica.*

The results showed that during this time lapsus the plant growth is very fast. A low net assimilation rate was found and presumable caused by unapropied planting densities.

A suitable amount of foliage to sustain a high growth index was a priority to this specie, as it is shown in the values obtained for the leaf weight ratio during the first three months of the growing period, in which, the foliage weighed more than 50% of the total plant weight

Flowering set and consequent fruit development caused a drastic reduction to the plant growth rate.

Even though this study covered very few flower and fruit settings, an inversion in fruit production between 20 and 45% of the total assimilation was estimated.

Introducción

Debido a la escasa información que existe sobre el cultivo del chayote y a los altos rendimientos que actualmente se desea obtener de éste, como producto no tradicional de exportación, se consideró como prioridad el determinar las características potenciales de su crecimiento

Un estimado fiel del incremento o decrecimiento de la eficiencia fotosintética durante el ciclo de vida de la planta se hace a través del análisis del crecimiento (5). La productividad primaria de un cultivo o Índice de Asimilación Neta (IAN), que se expresa en gramos de materia seca producida por unidad de superficie foliar y tiempo, depende fundamentalmente de dos factores: el índice de área foliar del cultivo (IAF) y el índice del crecimiento absoluto (ICA) (1, 2).

La acumulación de materia seca en las plantas depende mayormente del balance entre los procesos fotosintéticos y la respiración. Los fenómenos que afectan este balance se traducen, en última instancia, en una variación de la eficiencia de acumulación de materia seca por la planta (2,3).

El objetivo del presente trabajo fue el determinar un patrón general de crecimiento que permitiera comprender mejor el ciclo de vida de la planta de chayote

Materiales y métodos

Este trabajo se realizó en la zona de Ujarrás, cantón de Paraíso, provincia de Cartago. El período estudiado abarcó desde mayo hasta noviembre de 1983, es decir, desde la siembra hasta el inicio de la producción comercial. Se trabajó con semilla de material seleccionado para la exportación por sus características de fruto, conocido en la zona como tipo "quelite".

El lote experimental fue sembrado en lomillos anchos de 0.5 m de altura, con una distancia entre plantas de 5 m y entre hileras de 5 m. Se sembraron tres semillas por golpe para luego, al realizar los mues-

1 Recibido para publicación el 7 mayo de 1985.
La investigación fue financiada por el Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Tecnológicas (CONICIT), Costa Rica

* Centro de Investigaciones Agronómicas, Universidad de Costa Rica

treos, dejar dos plantas. La fertilización se realizó con 250 g de la fórmula 10-30-10 a la siembra, 250 g de urea a los 22 días y 500 g de urea cada mes en cada golpe de siembra; esto constituye, en promedio, la fertilización empleada por los agricultores de la zona. Las demás prácticas de cultivo estuvieron a cargo del agricultor.

Se realizaron muestreos quincenales desde el momento de la siembra; se muestreó al azar 5 plantas completas hasta los 60 días, 3 plantas completas de los 60 hasta los 150 días y 20% del follaje de la planta en cada una de tres plantas hasta los 195 días. En este trabajo sólo se contempló el crecimiento de la parte aérea pues es prácticamente imposible obtener raíces completas de chayote después de los 45 días, lo mismo que extraer plantas completas después de los seis meses de edad. Cada muestra fue separada en sus componentes, a saber: hojas, zarcillos, tallos, peciolo, flores y frutos, que fueron secados en una estufa a 60°C; se determinó el peso seco de cada sección y el peso seco total. En el área foliar se determinó mediante la extracción de una submuestra con un sacabocados de diámetro conocido y comparar su peso con el peso total de las hojas.

Con los datos de peso y área foliar por planta se calculó un promedio por muestreo y con estos se procedió a calcular los siguientes componentes del crecimiento:

- Morfológicos: a) Razón del Peso Foliar (RPF); b) Razón del Área Foliar (RAF); c) Área Foliar Específica (AFE); d) Índice de Área Foliar (IAF).
- Fisiológicos: a) Índice de Crecimiento Absoluto (ICA); b) Índice de Crecimiento Relativo (ICR); c) Índice de Crecimiento Relativo Foliar (ICRF); d) Índice de Asimilación Neta (IAN); e) Índice de Asimilación Económica (IAE); f) Parámetro Alfa (ICR/ICRF).

Resultados

Características generales del crecimiento

Es importante anotar que el crecimiento exuberante que esta planta muestra en condiciones de campo difícilmente podría ser estudiado en un ambiente controlado con las facilidades actuales. Las condiciones de temperatura, humedad y precipitación fueron muy regulares y no fueron limitantes para el crecimiento.

El crecimiento de esta planta mostró dos periodos de reducción en el peso total; estos periodos coin-

cidieron con el inicio de la primera floración (90-120 días) y de la fructificación activa (135-150 días) (Figura 1)

Se observó que el incremento del peso fue relativamente lento durante los primeros 45 días, durante los cuales la planta desarrolló sus sistemas radical y foliar (Figura 2) que permitieron el crecimiento posterior, luego de esta fase inicial se observó un incremento en el acúmulo de materia seca que culminó cuando la planta alcanzó la red de alambre (180-200 cm de altura) (Figura 3). El incremento del peso seco se detuvo temporalmente lo cual correspondió a la primera floración; es importante señalar que las primeras flores en formarse son masculinas (Figura 4). Luego del inicio de la floración ocurrió un incremento acelerado en la tasa de acumulación de materia seca que terminó con el inicio del crecimiento de los frutos provenientes de la primera floración (135 días) (Figura 4), posteriormente la tasa de acumulación de materia seca se incrementó hasta el final del período estudiado, cuando la plantación ha cubierto gran parte del área de siembra (Figura 5).

Índices de crecimiento

En el Cuadro 1 se muestran los valores de peso para cada sección así como el área foliar promedio

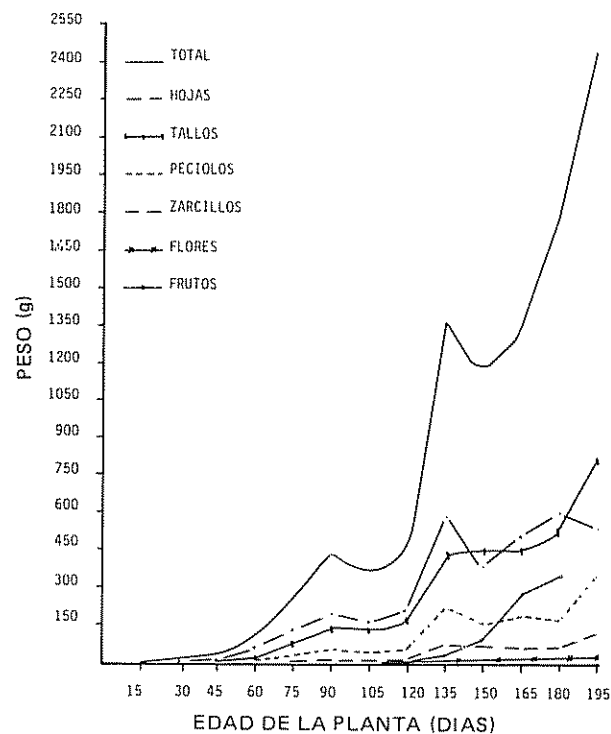


Fig. 1. Variación del peso total y el peso de las principales secciones de la planta con la edad.



Fig. 2 Crecimiento alcanzado por las plantas de chayote 15 días después de la germinación.



Fig. 4 Nudo de tallo del chayote con zarcillo, inflorescencia masculina y frutos en desarrollo temprano.



Fig. 3 Crecimiento alcanzado por las plantas de chayote 90 días después de la germinación.



Fig. 5 Plantación del chayote al cabo de 195 días de la germinación.

obtenida para cada muestreo. En los Cuadros 2 y 3 se muestran los valores obtenidos para los índices calculados en este estudio durante un período de 195 días.

—Índice de crecimiento absoluto (ICA): expresado como el peso en gramos ganado por una planta de ca-

da tres en el golpe de siembra en un período de 24 horas. Durante la fase inicial del crecimiento, en los primeros 45 días, este índice fue relativamente bajo, se incrementó hasta llegar a la floración, entre 75 y 105 días, donde experimentó una reducción importante y se alcanzaron valores negativos, que representan la pérdida de peso de la planta por la caída de fo-

Cuadro 1 Valores promedio de los pesos por sección obtenidos para el análisis del crecimiento del chayote a diferentes períodos de su crecimiento.

Período (días)	PSTOT	PS H	PS	PS P	Ps Z	Ps FI	PS Fr
0 - 15	3.73	1.95	1.07	0.71			
16 - 30	19.19	11.59	3.72	2.33	0.90		
31 - 45	35.50	20.33	6.85	5.09	1.00		
46 - 60	113.41	64.24	25.24	16.06	4.43		
61 - 75	258.00	134.27	75.64	36.71	11.36		
76 - 90	427.85	200.95	143.15	59.78	20.18	3.24	
91 - 105	371.42	171.25	133.04	48.55	15.38	2.50	0.70
106 - 120	389	222.64	172.36	60.08	18.63	3.61	11.69
121 - 135	1 370.20	590.0	438.5	228.00	84.50	10.97	29.23
136 - 150	1 187.65	385.24	453.71	158.57	74.28	4.84	33.19
151 - 165	1 355.20	507.22	451.64	192.86	69.02	16.68	92.72
166 - 180	1 724.33	605.92	538.77	172.65	71.94	24.80	280.54
181 - 195	2 441.70	540	823.50	361.50	123.80	21.20	339.20

PSTot = Peso seco total (g)
 PSH = Peso seco hojas (g)
 PST = Peso seco tallos (g)
 PSP = Peso seco peciolas
 PSZ = Peso seco zarcillos
 PSFI = Peso seco flores
 PSFr = Peso seco frutos

Cuadro 2 Valores de los índices morfométricos obtenidos para el análisis de crecimiento del chayote a diferentes períodos de su crecimiento.

Períodos (días)	AF	RPF	RAF	AFE	IAF
0 - 15	5.82	0.523	156.25	298.61	0.824
16 - 30	30.60	0.603	157.98	261.75	4.329
31 - 45	43.05	0.572	121.28	211.81	3.427
46 - 60	151.17	0.556	133.10	240.03	7.695
61 - 75	333.46	0.520	129.17	248.34	6.640
76 - 90	491.06	0.465	119.40	257.41	6.255
91 - 105	441.84	0.461	118.48	257.83	4.650
106 - 120	578.06	0.458	118.89	259.64	3.270
121 - 135	1 476.16	0.419	107.60	258.72	4.695
136 - 150	925.34	0.325	76.60	238.09	1.890
151 - 165	1 232.91	0.370	89.64	243.55	2.320
166 - 180	1 732.88	0.351	100.61	286.79	2.450
181 - 195	1 583.50	0.220	64.69	295.51	1.650

AF = Área foliar (dm²)
 RPF = Razón peso foliar (g hojas/g total)
 RAF = Razón área foliar (cm² hojas/g total)
 AFE = Área foliar específica (cm² hojas/g hojas)
 IAF = Índice de área foliar (cm² hojas/cm² suelo)

llaje. Posteriormente a este período del inicio de la floración, se incrementó la ganancia de peso diaria hasta los 150 días cuando la fructificación activa se inició y se presentó nueva caída de material senescente, luego de este período de reducción al ICA se incrementó hasta el final del estudio.

El incremento del ICA, subsiguiente a cada período de reducción, se debió a la necesidad de la planta por reponer el área foliar perdida y satisfacer la necesidad de productos de fotosíntesis asociada al crecimiento activo tanto vegetativo como reproductivo

—Índice de crecimiento relativo (ICR): expresado como el aumento porcentual del peso seco mostrado por la planta de chayote. En general esta planta presentó un ICR sin tendencia definida, pero se observaron valores altos al inicio del crecimiento, entre los 0 y 60 días (Figura 6); si bien, durante este período la cantidad de materia seca acumulada fue baja, el incremento porcentual fue alto pues el crecimiento activo fue necesario para establecer los sistemas radical y foliar. Como se observa en la Figura 6 se presentaron decrecimientos durante las épocas posteriores a la floración (105 días) y a la fructificación (150 días) cuando ocurrió pérdida importante de follaje

Cuadro 3 Valores de los índices fisiológicos obtenidos para el análisis de crecimiento del chayote a diferentes períodos de su crecimiento.

Período (días)	ICA	ICR	ICRF	IAN	IAE	ALFA
0 - 15	0.26	0.09	0.43	2.76	0	0.20
16 - 30	1.03	0.10	0.11	0.69	0	1.00
31 - 45	1.09	0.04	0.02	0.30	0	1.80
46 - 60	5.19	0.08	0.08	0.60	0	0.93
61 - 75	9.64	0.55	0.05	0.42	0	1.04
76 - 90	11.32	0.34	0.03	0.26	0	1.38
91 - 105	-3.762	-0.01	-0.01	-0.08	0.01	1.34
106 - 120	7.84	0.02	0.02	0.16	1.44	1.02
121 - 135	58.75	0.07	0.07	0.61	1.22	1.10
136 - 150	-12.17	-0.01	-0.03	-0.10	0.22	0.31
151 - 165	11.17	0.01	0.02	0.10	3.70	0.46
166 - 180	24.61	0.02	0.02	0.17	8.34	0.71
181 - 195	47.83	0.02	0.01	-0.29	-2.35	3.84

ICA = Índice de crecimiento absoluto (g/día)

ICR = Índice de crecimiento relativo (g/g/día)

ICRF = Índice de crecimiento relativo foliar (cm²/cm²/día)IAN = Índice de asimilación neta (g/cm²/día x 10⁻³)IAE = Índice de asimilación económica (g fruto/cm²/día) X 10⁻⁵

Alfa = (ICR/ICRF)

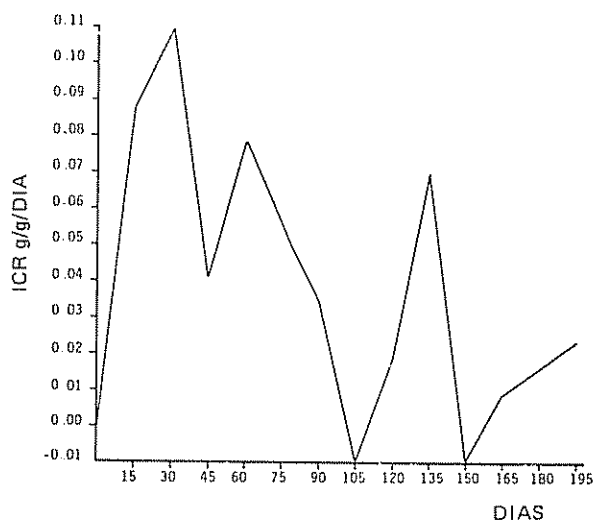


Fig. 6 Variación del índice de crecimiento relativo (ICR) con la edad de la planta de chayote

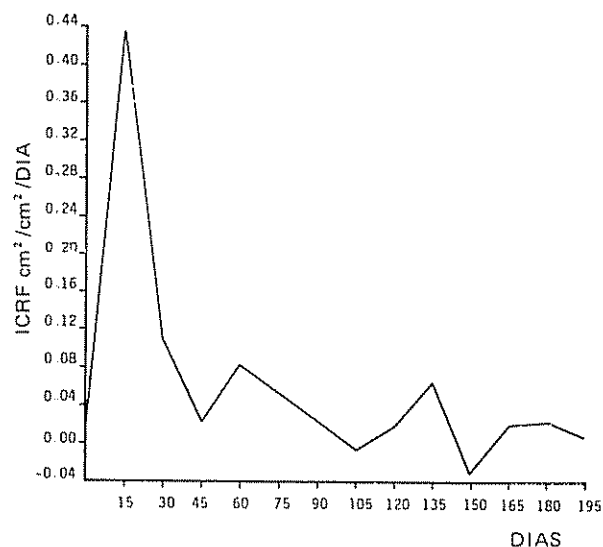


Fig. 7 Variación del índice de crecimiento relativo foliar con la edad de la planta de chayote.

—Índice de crecimiento relativo foliar (ICRF): expresado como el incremento porcentual del área foliar mostrado por la planta de chayote. Al inicio del período de crecimiento, mucha de la energía acumulada en la semilla se empleó para el desarrollo de un sistema foliar que permitiera a la planta autoabastecerse (Figura 2), esto se reflejó en el alto valor del ICRF obtenido durante los primeros 30 días, tal y como se observa en la Figura 7; durante el tiempo restante del crecimiento, los valores del ICRF son bajos. Se experimentó decrecimiento del área foliar en los períodos de la primera floración (90-120 días) y la primera fructificación (135-150 días) al ocurrir la caída de ho-

jas viejas. Los incrementos subsiguientes en el ICRF se debieron probablemente a la necesidad de la planta por reponer el área foliar perdida.

—Índice de asimilación neta (IAN): expresado como la ganancia de peso debida al área foliar. En términos generales el IAN fue mayor durante los primeros 30 días de crecimiento, cuando el área foliar existente no provocó autosombreo; conforme crece la planta se produce un aumento en la RAF lo cual aumentó el autosombreo y redujo la eficiencia del sistema foliar para fotosintetizar.

La eficiencia fotosintética, expresada como el IAN, se redujo durante los periodos mencionados de floración y fructificación, tal como se observa en la Figura 8, por cuanto se inicia la senescencia de las hojas adultas y no hay reposición inmediata con follaje nuevo (Figura 7). Cuando la planta inició el crecimiento sobre la red de alambre (Figura 3) ocurrieron incrementos en el IAN (105-135 días).

El hecho de sembrar tres plantas por golpe de siembra aumentó la competencia por luz y posiblemente contribuyó a la obtención de valores bajos del IAN.

—Índice de asimilación económica (IAE): expresado como la cantidad de materia seca acumulada en el fruto de chayote diariamente por el área foliar existente. Es difícil estimar la eficiencia económica de esta planta por cuanto sólo se lograron evaluar las primeras producciones, que usualmente son pequeñas, no obstante, los resultados obtenidos (Cuadro 3) mostraron que esta planta invirtió entre un 20 y un 40% de la asimilación total (IAN) en la producción de estos primeros frutos y es posible que cuando se alcance el volumen de cosecha comercial la inversión de energía y productos de fotosíntesis en la producción de frutos sea mayor.

—Parámetro alfa (ICR/ICFR): da idea de cuánto de la asimilación total de la planta de chayote se empleó en la producción de follaje y cuánto en las restantes funciones del crecimiento. Los valores de alfa se mantuvieron muy cercanos al valor 1 durante los primeros 135 días de crecimiento, lo cual significa que casi la totalidad de la asimilación se empleó en la pro-

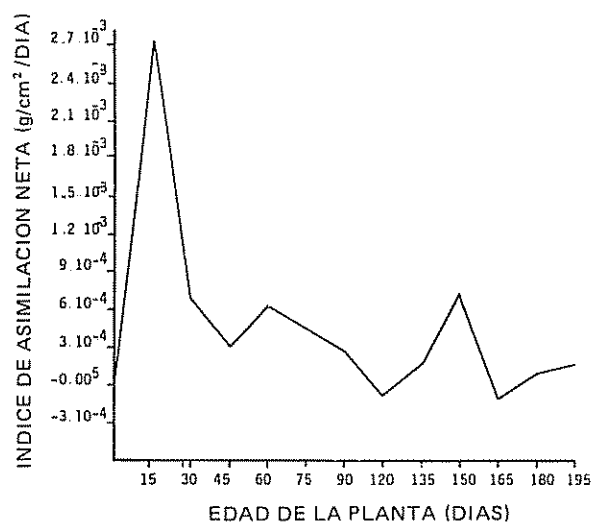


Fig 8 Variación del índice de asimilación neta (IAN) con la edad de la planta de chayote.

ducción de follaje (Figura 9), cuando se inició la fructificación (135 días el parámetro alfa decreció, lo cual significa que los productos de asimilación se emplearon preferentemente en la producción de frutos, luego de este periodo el parámetro alfa aumentó considerablemente (Figura 9) lo que quiere decir que parte de la energía disponible se empleó en el crecimiento de frutos pero otra parte se empleó en el desarrollo de estructuras de apoyo como tallos y peciolo además de hojas.

—Razón peso foliar (RPF): expresa la relación porcentual del peso de las hojas con respecto al peso total de la planta de chayote. Al inicio del ciclo de vida (hasta los 30 días) la RPF mostró valores altos y una tendencia creciente. Se hace necesario el desarrollo de un vigoroso sistema foliar capaz de proveer los productos de fotosíntesis necesarios para mantener la tasa general de crecimiento, la cual es más acelerada en el periodo posterior a los primeros 30 días. Fue por eso que el follaje se desarrolló con ventajas sobre el resto de la planta. Luego de los 30 días, como se muestra en la Figura 10, se inició el descenso del valor del RPF por cuanto la colonización del medio por la planta exige desarrollar estructuras que aumenten su competitividad por luz, aire y espacio físico, se forman entonces tallos y peciolo más largos para facilitar la captación de luz y zarcillos para mantener, si es posible, el sistema foliar sobre soportes que aseguren una mejor intercepción de la luz. El crecimiento de las raíces es también una prioridad de crecimiento para colonizar el medio bajo la superficie del suelo, todo este crecimiento se produjo en detrimento del desarrollo foliar.

Al inicio del crecimiento de frutos (135 días) las hojas representaron un porcentaje aún menor del pe-

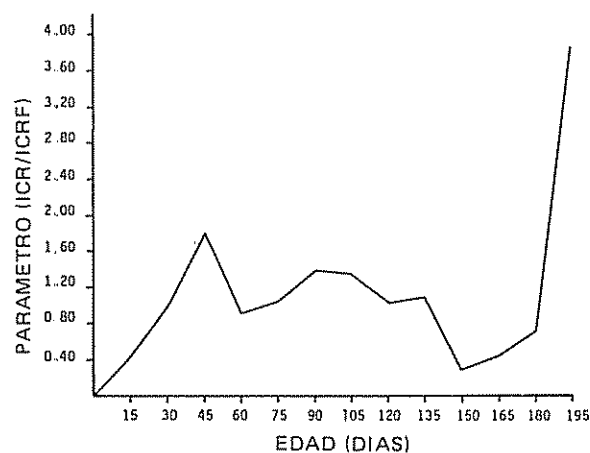


Fig 9 Variación de los valores del parámetro Alfa con la edad de la planta de chayote.

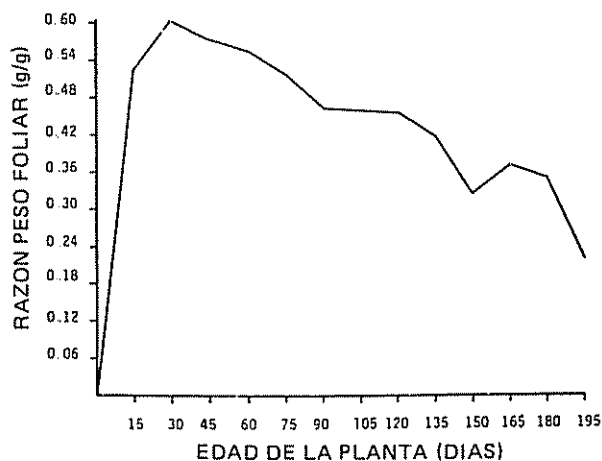


Fig. 10 Variación de la razón peso foliar (RPF) con la edad de la planta de chayote.

so total de la planta, luego de este período (150 días) se observó un ligero incremento del RPF que coincidió con la necesidad de sustituir el área foliar perdida con el fin de poder soportar fructificaciones más abundantes.

—Razón área foliar (RAF): representa el área foliar existente por cada gramo del peso total de la planta de chayote. Al inicio del ciclo de vida, hasta los 30 días (Figura 11), existe una gran cantidad de área foliar por cada gramo de peso total, esto porque el establecimiento del sistema foliar es fundamental para la supervivencia de la planta. Al desarrollar estructuras accesorias como tallos, zarcillos y peciolo en mayor número y tamaño aumentó el peso total de la planta y el incremento del área foliar no fue tan acelerado para mantener valores altos del RAF. Al ocurrir la fructificación (135 días), como se muestra en la Figura 11, hubo pérdidas de área foliar, lo que reflejó en una disminución del RAF que aumentó luego de este período al reponerse el área foliar perdida.

—Índice de área foliar (IAF): es un indicativo de la cobertura foliar. Al inicio del crecimiento de esta planta, como se puede observar en la Figura 12, la planta mostró una tendencia del IAF creciente, lo cual se interpreta como una acumulación de área foliar sobre una reducida superficie del suelo, esto porque la planta crece verticalmente hasta alcanzar la red de alambre (Figura 3). Al alcanzar la barbacoa (red de alambre), se inició el crecimiento horizontal sobre ésta (Figura 5), lo que hace que la superficie foliar se distribuya sobre un área mayor y por lo tanto el IAF disminuye con mayor celeridad en los períodos precedentes a la floración y a la fructificación. Es de esperar que al IAF aumente una vez que las plantas hayan ocupado todo el espacio disponible sobre la red de alambre y se inicie la competencia por luz.

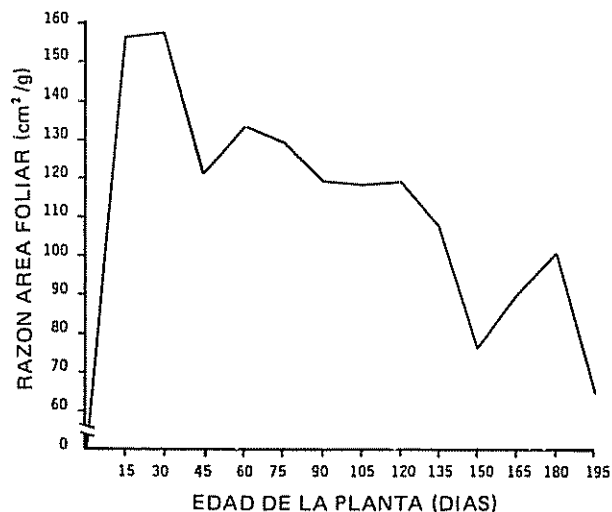


Fig. 11 Variación de la razón área foliar (RAF) con la edad de la planta de chayote.

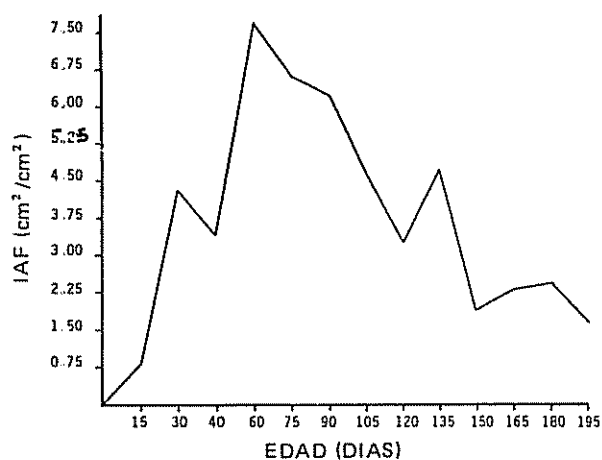


Fig. 12 Variación del índice de área foliar (IAF) con la edad de la planta de chayote.

—Área foliar específica (AFE): es en términos generales una medida de la integridad del área foliar, expresada como el inverso de la densidad. En general como se observa en el Cuadro 2, el AFE fue casi constante durante todo el período estudiado, pero hacia el final del período el AFE aumenta lo cual significa que pierde integridad al perder densidad; esta pérdida de integridad pudo deberse a la remoción de nutrientes para aportarlos al crecimiento del fruto.

Discusión

La planta de chayote mostró un patrón de crecimiento de tendencia creciente, esta tendencia se vio

afectada por procesos fisiológicos importantes como lo fueron el inicio de la floración activa y la producción de frutos. El crecimiento acelerado y la cantidad de biomasa producida en período de tiempo relativamente cortos son probablemente debidos al profuso sistema foliar desarrollado por esta planta más que a su eficiencia fotosintética; este hecho se explica por el sistema de siembra empleado que procura dar a la planta mayor competitividad por luz pero, las distancias de siembra empleadas provocan un acúmulo de follaje que limita su eficiencia al permanecer parte de este follaje en condiciones adversas para realizar la fotosíntesis.

Durante los períodos de floración y fructificación que se hallan entre los 75-105 días y 135-150 días respectivamente, la planta experimentó una disminución real de su peso total y foliar, y por lo tanto, su crecimiento absoluto y relativo durante esos períodos fue negativo. Lo anterior se debió a la pérdida de integridad de la parte aérea provocada por la remoción de nutrimentos hacia los procesos mencionados y al proceso natural de senescencia de los órganos, parte de estos órganos muertos no caen de la planta. La planta supera esos períodos críticos aumentando la producción de follaje que permita soportar las exigencias nutricionales de la formación de frutos, el régimen de fertilización empleado por los agricultores favorece el crecimiento de reposición, al existir nutrimentos minerales y agua disponibles en el suelo para ello.

El gran área foliar que desarrolla esta planta permite una eficiente captación de luz, pero la distribución espacial, bajo condiciones de cultivo, de esa área foliar limita la utilización plena de la capacidad de interceptación de energía radiante.

La competencia por luz y, la necesidad de un amplio sistema foliar para la producción y el crecimiento, se reflejaron en los valores del parámetro alfa, que se mantuvo cercano a 1, con disminuciones en los momentos críticos del crecimiento, como son la floración y la fructificación, y que aumentó cuando se inició el crecimiento de los frutos. Este crecimiento de frutos se producen en detrimento de otros aspectos del crecimiento general. El RPF mostró que alrededor de un 40% del peso total (en promedio) de la planta está constituido por las hojas y esa relación sólo disminuyó cuando se inició la producción de flores y frutos que consumieron una cantidad importante de los fotoasimilados disponibles para el crecimiento, como lo demuestran los valores del IAE.

Aún cuando sólo se lograron evaluar las primeras fructificaciones, que fueron pobres, la planta invirtió entre un 20 y un 45% de la asimilación total en la producción de frutos.

Dado que el estudio sólo se siguió hasta los 195 días es conveniente realizarlo hasta el final de la etapa de producción comercial (alrededor de 550 días) por cuanto solo fue posible establecer una eficiencia económica inicial que puede diferir de la eficiencia real que la planta pudiera alcanzar.

Resumen

Se realizó un análisis del crecimiento del chayote (*Sechium edule* Sw.) en condiciones de campo en el distrito de Ujarrás, Cantón de Paraíso, Cartago, Costa Rica, por espacio de seis meses después de la siembra.

El estudio permitió establecer que durante este tiempo el chayote es una planta de rápido crecimiento, y que probablemente debido a las condiciones de cultivo mostró una baja tasa de asimilación neta. El desarrollo de un sistema foliar capaz de mantener un alto índice de crecimiento es una prioridad de la especie. Lo anterior, lo demostró el alto valor obtenido para la razón del peso foliar durante los tres primeros meses de crecimiento, cuando el follaje representó más de un 50% del peso total de la planta.

Fue evidente la disminución del crecimiento total que ocurrió al inicio de los procesos de floración y fructificación, que significan una gran demanda de agua y energía.

Durante las primeras cosechas, la planta invirtió entre un 20 y un 45% de la asimilación total en la producción de frutos.

Literatura citada

1. ALVIN, R. y ALVIN, P. Efeito da densidade de plantio no aproveitamento da energia luminosa pelo milho (*Zea mays*) e pelo feijão (*Phaseolus vulgaris*), em culturas exclusivas e consorciadas. Turrialba (Costa Rica) 19(3): 389-393. 1969.
2. ARZE, J. y GUILLEN, N. Análisis de crecimiento en asociaciones de maíz (*Zea mays*) y frijol de costa (*Vigna sinensis*). XXV Reunión del PCCMCA Tegucigalpa, Honduras. 1979.
3. ASCENCIO, J. y FARGAS, J.E. Análisis del crecimiento del frijol (*Phaseolus vulgaris* L. "Turrialba-4") cultivado en solución nutritiva. Turrialba 23 (4): 420-427. 1973.
4. RADFORD, P. J. Growth analysis formulae. Their use and abuse. Crop Science 7(3): 171-175. 1967.
5. STEWARD, F.C. Growth and organization in plants. Londres, Addison-Wesley, 1969. 564 p.

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 SILO		
1979-84	9 436	12 933

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

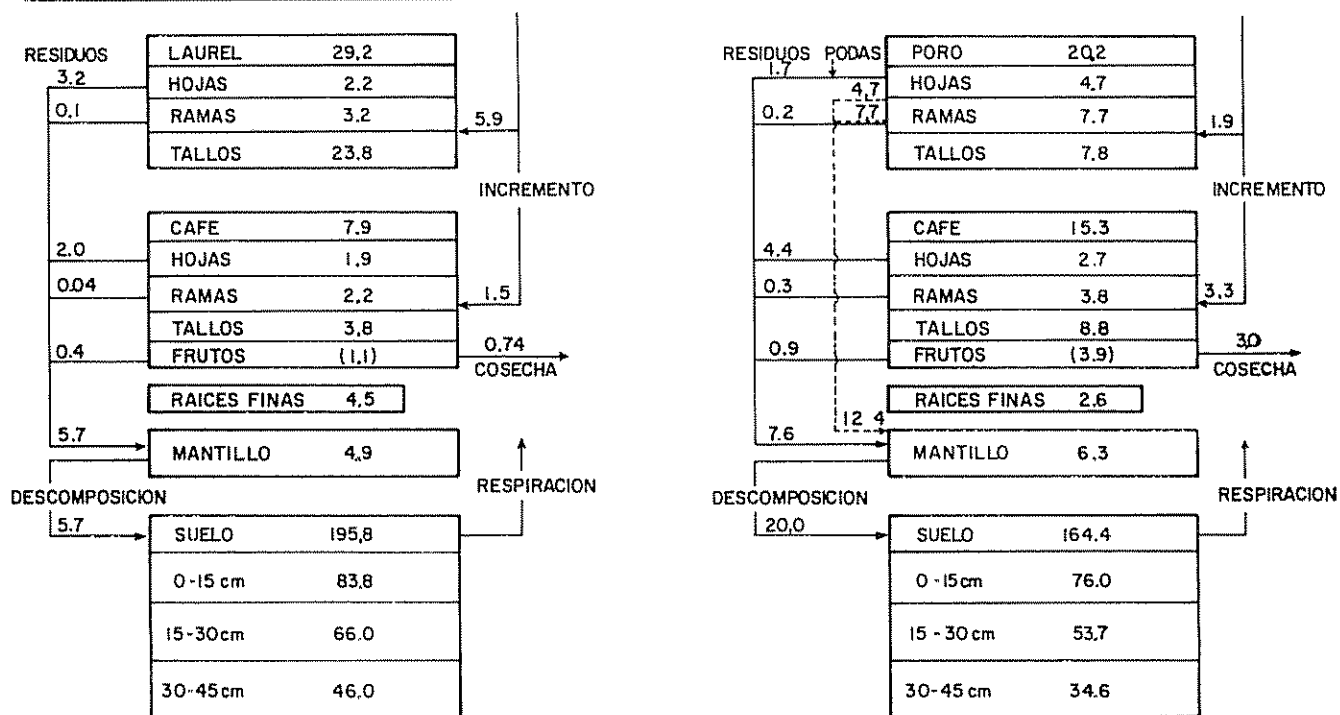


Fig 1 Ciclo de la materia orgánica en los sistemas agroforestales café con laurel y café con poró (reservas t/ha, transferencia t/ha/a)

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

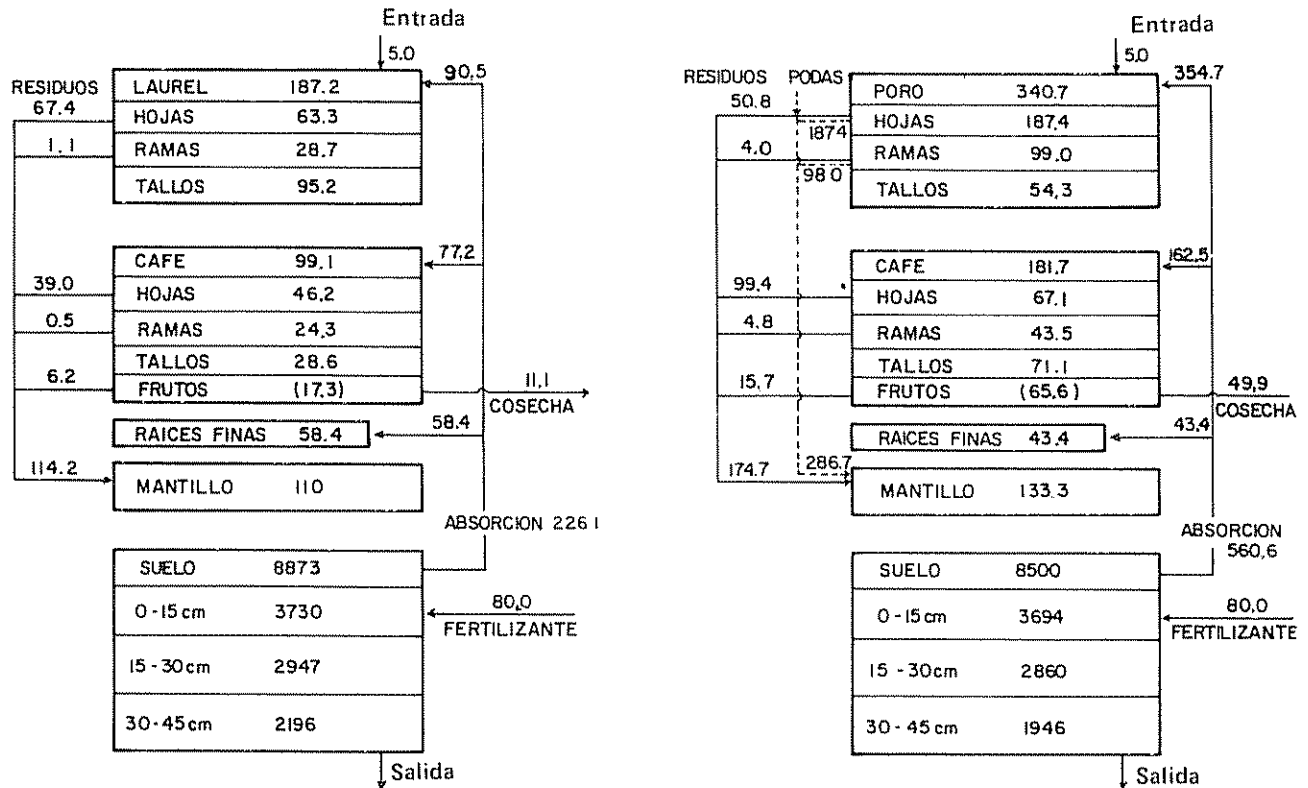


Fig. 2. Ciclo del nitrógeno en los sistemas agroforestales café con laurel y café con poró (reservas kg/ha - transferencias kg/ha/a).

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-

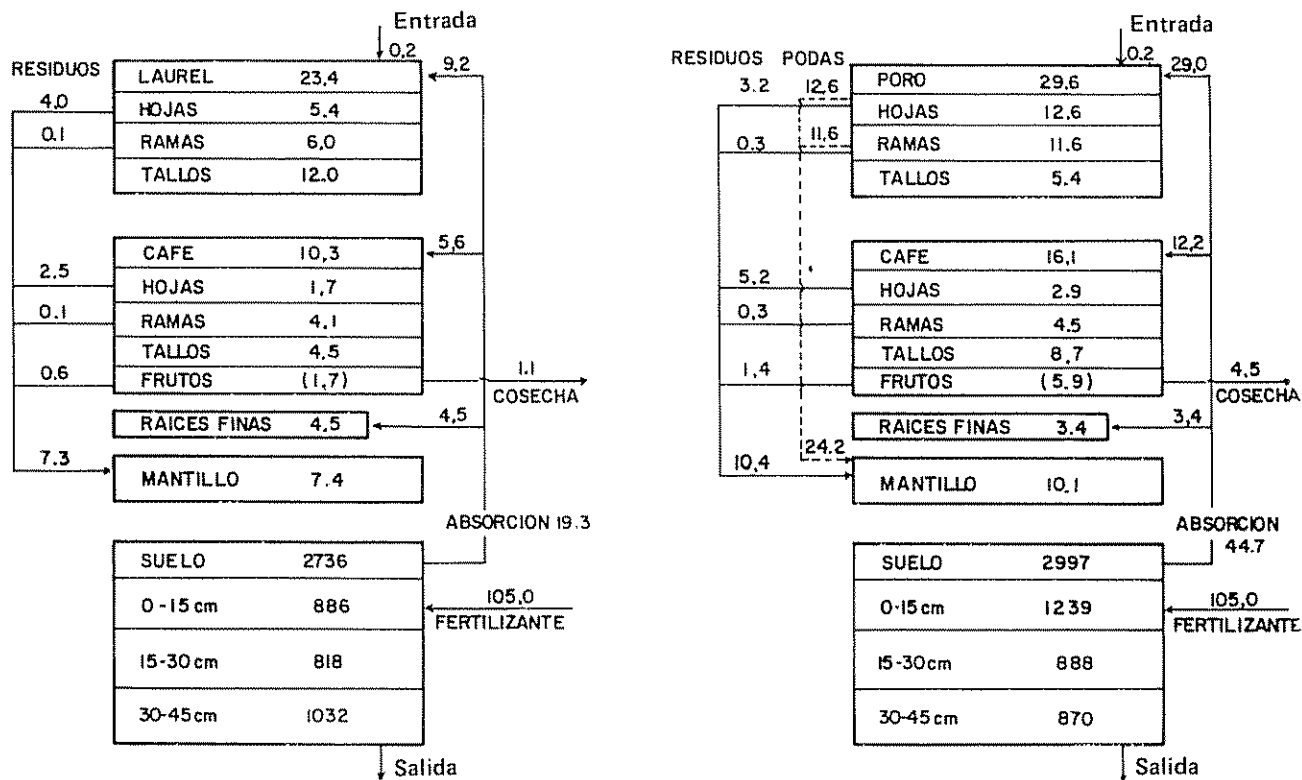


Fig. 3. Ciclo del fósforo en los sistemas agroforestales café con laurel y café con poró (reservas kg/ha, transferencia kg/ha/a).

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

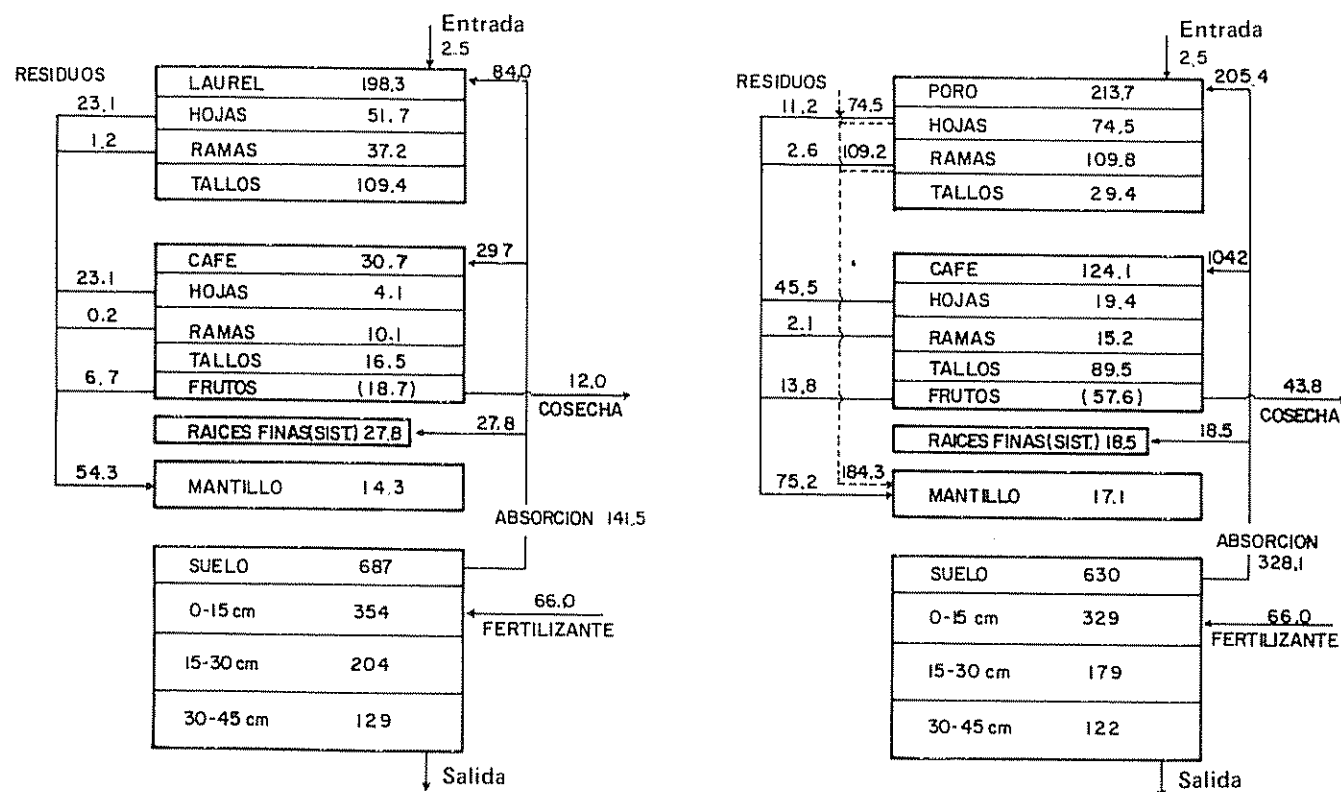


Fig. 4 Ciclo del potasio en los sistemas agroforestales café con laurel y café con poró (reservas kg/ha, transferencias kg/ha/a).

Aquí nuevamente se observa una diferencia importante entre los sistemas en estudio. Las ganancias de K en el sistema café con poró 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 + poró	Café + laurel	Café + poró
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):

	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 poró, 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 poró 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 suelo; 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 café. Requerimientos de la cosecha Costa Rica. MAG-STICA. Información Técnica No 9. 1959. 16 p.
7. CARVAJAL. Café - 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 caféiro. Quantidade e distribuição de N, P₂O₅, K₂O, CaO e MgO em caféiro 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.

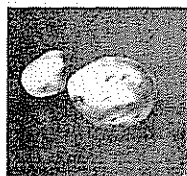
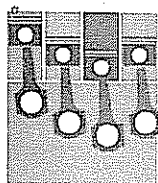
10. DE LAS SALAS, G y FASSBENDER, H W The soil science bans of agroforestry production systems. In HeuvelDop, J y Lagemann, J. Agroforestry. Proceedings of a seminar held in CATIE, Turrialba, Costa Rica 1981. pp. 27-33.
11. ENRIQUEZ, G. Ensayo central de cultivos perennes en comparación con algunos anuales. 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

Resumen

En una población de camote derivada del cruce entre clones de flores blancas y rosadas fue identificada una planta que mostró extensibilidad tanto en la fase masculina como también femenina. En ella se estudió la microsporogénesis, la megasporogénesis y la distribución de almidón de la antera y en los óvulos. Los resultados fueron comparados con datos similares obtenidos del progenitor fértil de flores rosadas en contraste con el masculino fértil. En la planta estéril el tepetum es persistente y presenta almidón en su parte externa, el cual aumenta conforme la entera madura. La falta de nutrimentos para el polen en formación resulta en su esterilidad, similarmente el saco embrionario se encuentra en estado de inanición debido al comportamiento aberrante del endotelio. Se llegó a la conclusión que tanto el tepetum como el endotelio han perdido su actividad fisiológica, fallando en la transferencia de nutrimentos hacia el polen en desarrollo y al saco embrionario respectivamente, lo que resulta en la total esterilidad de las fases tanto masculina como femenina.

Introduction

I *pomoea batatas* (Linn.) popularly known as sweet potato is an important tuber crop of tropics and sub-tropics. It is a polyploid, but the clones generally show high pollen fertility. Though the incompatibility system prevalent in this crop has been widely studied (11, 16) the factors reducing male and female fertility have been attributed to polyploidy (12, 20). While studying a population of sweet potato raised from a cross between white flowered and normal pink coloured clones, a plant was found to have rather small anthers and also without any seed set; further studies revealed it to be completely male and female sterile. The present communication describes the sequence of microsporogenesis and megasporogenesis resulting in sterility of the hybrid.

Materials and methods

The buds of different stages and the flowers of sterile clone identified in the present study and normal fertile parent with pink flowers, were fixed in 3:1 alcohol acetic acid mixture. The shrivelled ovaries of sterile plant and the developing capsules of the fertile parent were also fixed. The usual infiltration and embedding procedures were followed. Sections were cut at 8-12 μ thickness and stained with Heidenhain's hematoxylin. The starch distribution was studied with hematoxylin and counter stained with 1.0% iodine solution. However, iodine masked the staining of hematoxylin, hence two sets of slides were studied for micro-and megasporogenesis and starch distribution, separately. The pollen were stained with 1% acetocarmine.

Results**Microsporogenesis. Male Fertile (MF)**

The young anthers at pre-meiotic stage show an epidermis, a prominent sub-epidermal layer, two or three middle layers, a tapetum and pollen mother

¹ Received for publication in June 15, 1985

CTCRI Publication No. 426

* Central Tuber Crops Research Institute, Trivandrum-17, India

cells (Figure 1). As the PMCs enlarge, the middle layers get crushed. The tapetum becomes binucleate and exhibit maximum development as the PMCs enter meiosis and up to microspore tetrad stages (Figure 2). Though in the early stages, the starch is almost absent in the anther tissue, at the tetrad stage the wall layers and connective tissue show the presence of starch, but tapetum is devoid of any starch. The tapetum gradually passes into a phase of decline and senescence and remnants may be noticed for some more time and some starch may be noticed around the septum (Figure 3). Later, the tapetum completely disappears while the microspores continue growth and differentiation. The mature anthers are devoid of any starch and the single layered endothecium has well developed fibrillar thickenings (Figure 4). The pollen grains are globular and fertility is as high as 95% (Figure 5).

Male Sterile (MS)

The sequence of differentiation and development of different layers are normal and comparable with MF up to the microspore tetrad stage. In the young anthers, the tissues are devoid of starch as in MF, but in a few anthers intense starch deposit has been noticed outside the tapetum even at the late PMC stage approaching meiosis (Figure 6). The starch deposits are more intense at tetrad stage (Figure 7) and the intensity increases as the microspores separate (Figure 8). The tapetum remains intact even after the development of exine ornamentation on the pollen (Figure 9). The tapetum is found to develop vacuoles but never found to increase in size. Occasionally, the tapetal cells coalesce and form a periplasmodium and in contrast to MF plants, the starch deposits increase outside the tapetum as the anthers mature (Figure 10). Even in the fully mature anthers, dense deposits of starch are noticed in the connective tissue, septum and wall layers and tapetum is still discernible (Figure 11). The endothecium is poorly differentiated and does not show any fibrillar thickenings and consequently the pollen are not liberated. The pollen grains are globular and much smaller than the fertile pollen and the sterility is total (Figure 12).

Megasporogenesis. Female fertile

The female gametophyte is monosporic, 8-nucleate and the antipodals are ephemeral. The synergids are pointed towards the micropylar end and one of the synergids is destroyed by the entrance of the pollen tube. The fertilization of the egg is followed by secondary fertilization.

The starch deposition occurs in the integument only after early 8-nucleate stage and by the time the egg apparatus is organised, the egg is found filled with

starch but the synergids are completely devoid of any starch (Figure 13). The endothelium remains undifferentiated even after fertilization and the development of embryo and the distribution of starch in the integument gradually diminishes as the seed matures.

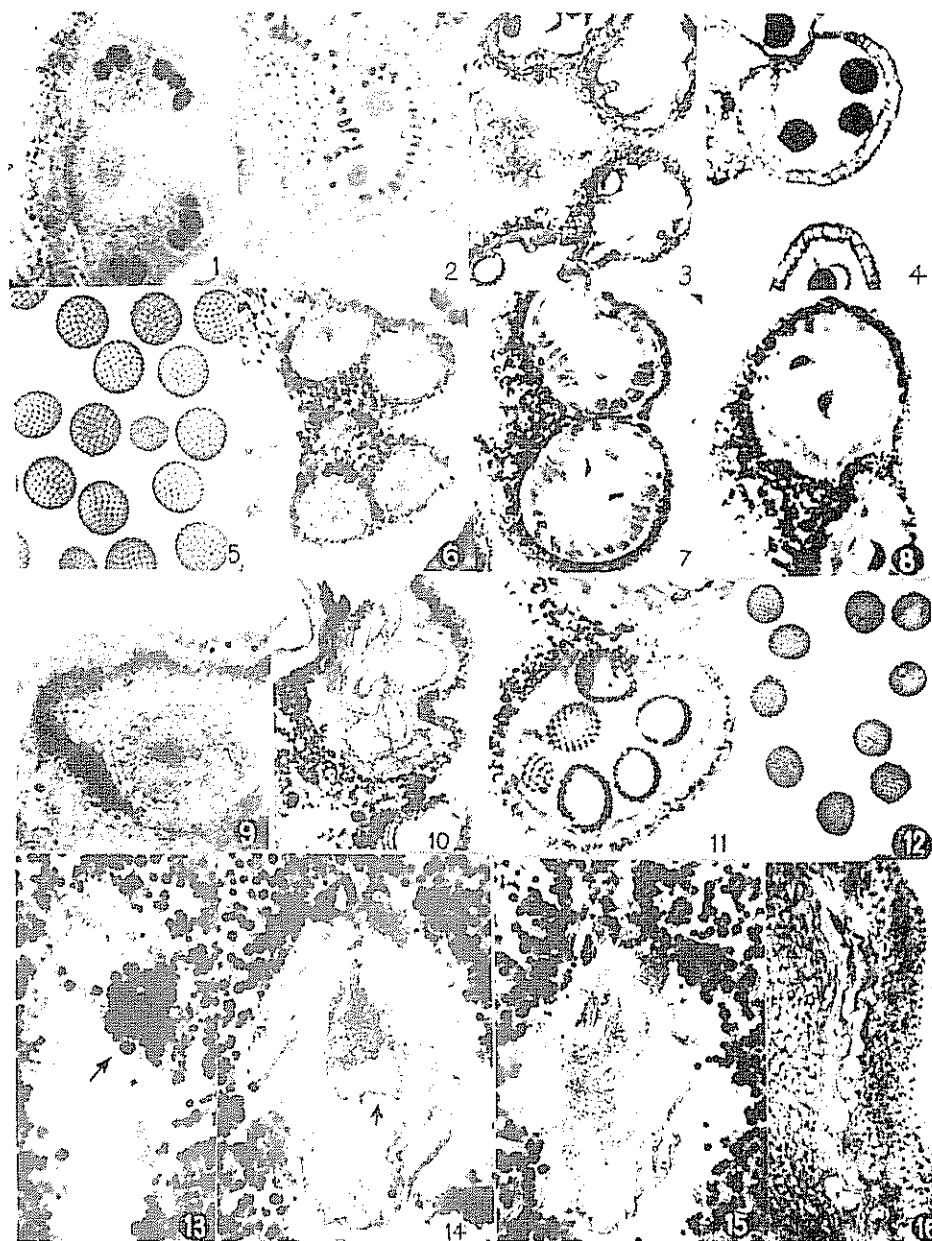
Female sterile

The early megasporogenesis is normal but when the egg apparatus is organised, the egg is found devoid of any starch (Figure 14), while plenty of starch is noticed in the integuments. The intensity of starch concentration outside the embryo sac is found to increase and the distribution becomes more and more pronounced than that of fertile parent. Both synergids remain intact indicating the absence of fertilization, when degeneration sets in the embryo sac (Figure 15). The endothelial cells gradually become prominent and later embryo sac is found completely crushed by these bloated cells (Figure 16) resulting in the collapse of the ovules.

Discussion

Though sterility is of significant interest to the plant breeder the phenomenon has wide cytogenetical implications. Since the sterility is noticed both in male and female phases, the sequences are considered separately for pollen sterility and ovule sterility. The factors operating in male sterility have been widely studied in a number of plant species. Besides meiotic abnormalities, disorganization of PMCs (21), absorption of microspores (5, 14), premature degeneration of tapetum (13), coalescence and persisting tapetum (4, 9) and non-dehiscence of anthers (6) are known to cause male sterility. Among them, the aberrant behaviour of tapetum is the most important and wide spread in crop plants.

The observations made in the present study on the microsporogenesis and pollen development in the MF and MS plants indicate that the failure of the tapetum to disintegrate at the appropriate time and its persistent nature resulted in the starving of the developing pollen grains and consequent degeneration. Maheswari (10) proposed that the tapetum serves as a reservoir of food material and the nutrients are made available to the developing pollen grains by the degeneration of tapetum at the appropriate time. Though the nutritive role of tapetum is well recognised, Echlin (3) established that the sensitive phases of microsporogenesis are dependent on tapetum through which the nutritive materials either pass or to be metabolised. Sterility of pollen can be caused by the disturbed or retarded activity of tapetum resulting in the decrease or total prevention of transfer of carbohydrates, fats, proteins and nucleic acids (8). The failure



Figs 1-5. Microsporogenesis in fertile clone.

Fig 1 Young anther (350 X) Fig 2 Well defined tapetum and without starch anywhere (350 X) Fig 3. Young pollen with remnants of tapetum and a few scattered starch around septum (80 X) Fig 4 Anther with fertile pollen and endothecium with fibrillar trickenings (80 X) Hematoxylin Fig 5 Fertile pollen (80 X) Acetocarmine or Hematoxylin-iodine.

Figs 6-12 Microsporogenesis in sterile plant

Fig 6. PM stage with starch outside the tapetum (350 X) Fig 7. Intense distribution of starch in microspore tetrad stage (350 X) Fig 8 Distribution of starch in young microspore stage (350 X) Fig 9 Persisting tapetum even when the pollen have developed ornamentation (700 X) Hematoxylin Fig 10 Starch deposit increases as anthers mature (350 X) Fig 11 Mature anther with poorly developed endothecium, remnants of tapetum and starch in the septum, and connective tissue and wall layers (350 X) Fig 12 Steril pollen (80 X) Acetocarmine or hematoxylin-iodine

Fig 13 Megasporogenesis in fertile plant – egg (→) filled with starch (700 X)

Figs 14-16 Megasporogenesis in sterile plant.

Fig 14 Egg (→) without starch (700 X) Fig 15 Both synergids are intact (700 X) Fig 16 Collapsed embryo sac surrounded by prominent endothelium (700 X)

of tapetum during the development of microspores is widely reported in *Sorghum* (18), *Aglaonema* (4) and cassava (9)

The occurrence of more starch outside the tapetum and the increase in the intensity of the starch deposit as the anther matures in the MS in contrast to be MF indicate the tapetum has lost the ability to transfer the nutrients to the developing pollen grains. It is reported that the reduced enzymatic activity of tapetum result in the insufficient supply of carbohydrates and other nutrients from the tapetum to the developing microspores (1, 7). The ability of tapetum to produce and transfer nucleic acids and proteins to developing microspores and pollen is reported to have been depressed in the MS plants of *Allium cepa* (15), *Beta vulgaris* (2) and *Sorghum* (19). When the increased intensity of starch deposits outside the tapetum and the persistent nature of tapetum are considered together in the present material, it may be concluded that the tapetum might have lost its enzymatic activity; furthermore, by its persisting nature it has become a physiological barrier in preventing supply of nutrients to the developing pollen grains resulting in total pollen sterility

Similarly in the ovule, the endothelium otherwise known as 'integumentary tapetum' surrounding the embryo sac has a critical role in transferring the nutrients to the developing embryo sac. The egg is found filled with starch in MF, but the distribution of starch in the integument gradually diminishes as the seed matures and the endothelium remains undifferentiated. In contrast, the MS plant shows that egg is completely devoid of starch while the distribution of starch in the cells outside the integumentary tapetum becomes more and more pronounced underlining the fact that the nutrients are prevented from entering the embryo sac, thereby accumulating in the integument. Later the endothelial cells also become bloated and further crush the starving embryo sac

While studying the sterile florets in sunflower, Savchenko (17) concluded that the nutrients are not transferred to the embryo sac but accumulated in the cells of the integumentary tapetum stimulating it to grow further. However, Satina *et al.* (16) observed the endothelium disintegrate in compatible crosses, but incompatible ones induce the endothelial cells to become greatly enlarged and crush the embryo sac. In the present study by considering the behaviour of tapetum in the anther along with the behaviour of integumentary tapetum, it may be concluded that they have lost their physiological activity and fail to transfer the nutrients to the developing pollen grains and embryo sac respectively resulting in total sterility in both male and female phases.

Summary

A sweet potato plant showing sterility in male and female phases was identified in a population derived from a cross between white flowered and pink coloured clones. Studies were made on the microsporogenesis, megasporogenesis, the distribution of starch in the anther and ovules of the sterile plant and was compared with the fertile parent with pink flowers. In contrast to MF, in the MS plant the tapetum is persistent and the presence of starch outside the tapetum increase as the anthers mature. The lack of nutrients to the developing pollen result in pollen sterility. Similarly, the embryo sac is also starved by the aberrant behaviour of the endothelium. It is concluded that the tapetum and endothelium have lost their physiological activity and fail to transfer the nutrients to the developing pollen grains and embryo sac respectively, resulting in total sterility in both male and female phases

Literature cited

1. CHANG, T.T. Pollen sterility in maize. M.S. Thesis, Cornell Univ. Ithaca, New York 1954.
2. CHAUHAN, S.V.S. and KINOSHITA, T. Morphological and histological studies on pollen degeneration in cytoplasmic male sterile sugar beet. *Journal FAC Agriculture Hokkaido University* 59 (4): 323-331 1980.
3. ECHLIN, P. The role of the tapetum during microsporogenesis of angiosperm. In Helsop-Harrison, J. (ed.) *Pollen: Development and physiology*, London, U.K. 1971. pp 44-61.
4. JOS, J.S. and MAGOON, M.L. Studies on male sterility in *Aglaonema bimanicum*. *Indian Journal of Horticulture* 28: 224-227. 1971.
5. JOS, J.S., MAGOON, M.L., SADASIVAIAH, R.S. and Appan, S.G. Studies on sterility in cassava I. Mechanism of pollen abortion in some male sterile clones. *Indian Journal of Horticulture* 23: 177-184 1966.
6. JOS, J.S. and VIJAYA BAI, K. Functional male sterility in cassava. *Current Science* 50: 1035-1036. 1981.
7. KAUL, C.L. and SINGH, S.P. Studies on male sterile barley II pollen abortion. *Crop Science* 6: 539-541. 1966.

8. LINSKENS, H.F. Fertilization mechanisms in higher plants. In Metz, B.C. and Monroy, A. (eds.) Fertilization, Academic Press, London. 1969. pp 189-253.
9. MAGOON, M.L., JOS, J.S. and VASUDEVEN, K.N. Male sterile cassava. The Nucleus 11: 1-6. 1968
10. MAHESWARI, P. Introduction to the embryology of angiospermum, McGraw Hill, New York. 1950.
11. MARTIN, F.W. The system of self incompatibility in *Ipomoeas*. Journal Heredity 59:263-267. 1965.
12. MARTIN, F.W. Analysis of the incompatibility and sterility of sweet potato. Proceedings First International Symposium on Sweet Potato, Tainan, Taiwan, 1982 pp 275-283.
13. MURTHI, A.N. and WEAVER, J.B. Histological studies in five male sterile strains of Upland cotton. Crop Science 14: 658-663. 1974.
14. REDDY, B.V.S., GREEN, J.M. and BISEN, S.S. Genetic male sterility in pigeon pea. Crop Science 18:362-364. 1978
15. SAINI, S.A. and DAVIS, G.N. Male sterility in *Allium cepa* and some species hybrids. Economical Botany 23:37-49. 1969.
16. SATINA, S., RAPPAPORT, J. and BLAKESLEC, A.F. Ovular tumors connected with incompatible crosses in *Datura*. American Journal of Botany 37: 576-586. 1950.
17. SAVCHENKO, M.I. Anomalies in the structure of angiosperm ovules. Dokl. Akad. Nauk. SSSR (Botanical Science Section) 130: 15-17. 1960.
18. Singh, S.P. and Hadley, H.H. Pollen abortion in cytoplasmic male sterile *Sorghum*. Crop Science 1: 430-432.
19. TRIPATHI, D.P., MEHTA, S.L. and RAO, N.G. Soluble protein and isoenzymes from anthers of diverse male steriles in *Sorghum*. Indian Journal Genetic 41: 170-177. 1981.
20. WANG, H. and BURNHAM, H. A study of fruit and seed setting ability and female sterility in sweet potato. Botanical Bulletin Academic Sinica 9(2): 14-20. 1968.
21. WEAVER, J.B. and ASHLEY, T. Analysis of a dominant gene for male sterility in upland cotton, *Gossypium hirsutum*. Crop Science 11: 596-598. 1971.

viene de la pág 414



- Proceedings caribbean workshop on the organization and administration of agricultural research. <i>Varios autores</i>	6.00
- Producción de hortalizas <i>E. Cásseres</i>	7.50
- Procesos sociales e innovación tecnológica <i>E. Trigo y M. Piñeiro</i>	10.00
- Química de suelos <i>H. Fassbender</i>	7.00
- Reparación de motores de tractores agrícolas <i>J. Gilardi</i>	2.00
- Sistemas de riego <i>L. Gurovich</i>	12.00
- Suelos del trópico <i>P. A. Sánchez</i>	15.00
- Taxonomía vegetal <i>A. Marzocca</i>	8.50
- Tecnología de la leche <i>A. Revilla</i>	5.00
- Tomates <i>R. Villareal</i>	4.00
- La Yuca o mandioca <i>A. Montaldo</i>	12.00

Reseña de libros

MEJIA, M. *ANDROPOGON GAYANUS*. Kunth: Bibliografía Analítica. Centro Internacional de Agricultura Tropical. 1984. 176 p.

Es verdaderamente halagador encontrar un libro de esta naturaleza cuando en la bibliografía de gramíneas todo escasea.

El autor analiza concienzudamente todos los aspectos importantes de la especie tales como: una sinopsis descriptiva, la botánica, la taxonomía y distribución geográfica, las características agronómicas, adaptación, establecimiento, manejo y producción de forraje; asociación con leguminosas, suelos y fertilización, germoplasma, fitomejoramiento, plagas, enfermedades, producción de semillas, nutrición animal, valor nutritivo, consumo, composición química y producción animal; además de sus variedades seleccionadas para forraje, razón por la cual rápidamente el lector se da cuenta de qué tipo de pasto se trata en cuanto a valor nutritivo y producción animal.

Los aspectos taxonómicos y botánicos están bien investigados y lo que se relata de la especie sobre adaptación, magnífica, características que pueden dar una buena opción a muchos países latinoamericanos que presentan problemas serios en cuanto a sabanas y bosques, ya que el hombre ha efectuado un mal manejo de ellos. Las características agronómicas son muy semejantes a nuestra *Hypharrhenia rufa*, (también traída de Africa) aún en asociación con leguminosas como *stylosanthes*, puesto que esta última mantiene al ganado en la época seca. También se asemeja a *Hypharrhenia* en cuanto a su valor nutritivo moderado ya que ninguno de los dos géneros suple las necesidades de proteína cruda y minerales de crecimiento.

La digestibilidad *in vitro* y la energía digestible son bajas durante la lluvia y sequía pero la cantidad de forraje y la posibilidad de seleccionar fracciones ricas en nutrimentos podrían permitir aumentos de peso del animal; por ello los estudios muestran ganancias en peso/animal de 300-400 g/animal/día, lo que demuestra que funciona en forma adecuada. Con res-

pecto a la producción animal es buena puesto que puede sostener 2.3 animales/ha, lográndose bajo pastoreo 457 kg/peso vivo/ha/año. En asociación con leguminosas el peso aumenta a 670 g/día con 2 animales/ha.

En Costa Rica, bajo condiciones similares de manejo, los mejores pastos sostienen 1.5 animales/ha. Con tales características, *A. guayanus* es una gramínea promisoría, que soporta suelos difíciles para el cultivo de ellas. En Costa Rica ya se ha introducido en la zona de San Carlos, pero creo que debe ser probado cuidadosamente y sólo para los suelos ácidos, pues ya tenemos experiencia con otras especies de *Andropogon* que por ser tan invasoras se convierten en malas hierbas. Considero que nuestros suelos no están tan degradados como para tener que dispersarla, ni presentan problemas tan serios como muchos sudamericanos en los cuales, como demuestra el autor, esta gramínea viene a solucionar múltiples problemas.

Otro punto por analizar es la buena viabilidad de la semilla lo que hace que la especie se disemine; en caso de que en nuestro medio no se comporte adecuadamente, se convertiría en una gramínea invasora como *Dischantedium aristatum*, que en países suramericanos funciona bastante bien y en nuestro país, en algunas zonas de Guanacaste, se ha transformado en un problema.

El libro suministra también valiosa bibliografía sobre leguminosas, resultados de proyectos y programas del CIAT, los cuales son de gran utilidad ya que ellas son las colaboradoras inmediatas de las gramíneas. Sin embargo, en el último congreso de pastos se comentó la poca importancia que ellas tenían en las asociaciones, llegándose a considerar que no pueden mantenerse en una forma adecuada, o que deberían cultivarse por separado, como lo deja entrever en sus citas bibliográficas el autor, pues en ellas se demuestra que su producción decae después de un periodo corto.

Considero el libro del Dr. Mariano Mejía muy valioso, una fuente de consulta que da un aporte a la agrostología latinoamericana.

MAYRA MONTIEL LONGHI
FACULTAD DE AGRONOMIA
ESCUELA DE ZOOTECNIA
UNIVERSIDAD DE COSTA RICA

COMUNICACIONES

Response of cotton genotypes to presowing hydration-dehydration treatments under accelerated and natural ageing conditions.

Resumen. Los efectos de pretratamientos mediante hidratación y deshidratación con agua, vapores de yodo, fosfato dibásico de sodio y pantotenato de calcio, sobre el control del deterioro de las semillas, fue estudiado en cuatro cultivares de algodón, sometidas tanto a envejecimiento acelerado como también al proceso normal. Se observaron diferencias genotípicas en cuanto a la resistencia bajo condiciones de aceleramiento; "Bhagya" y "Sharada" mostraron poco efecto, mientras que en "Jayadhar" la germinación se redujo a más de la mitad. Pretratamiento de las semillas con agua, fosfato dibásico de sodio o pantotenato de calcio, reduce el deterioro considerablemente. La germinación de las semillas se correlacionó significativamente con el pretratamiento con agua en el caso de "Sharada", con la conductividad eléctrica en el de "Laxmi" y con la permeación de azúcares en "Jayadhar"; ninguno de los pretratamientos mostró incremento en la germinación de "Bahagya".

Considerable evidence are available to show that changes in permeability of plasma membrane occur during storage with consequent loss of seed viability. Increased cell-permeability of deteriorated seed allows large quantities of cellular components to diffuse out when placed in water. Seed deterioration was well correlated with increased electrical conductance and sugars of seed leachates (1, 3, 10, 18, 19). Presowing hydration-dehydration of seeds with water or dilute solution of chemicals significantly slow down deterioration of various crop seeds (6, 11, 14, 15). Artificial or accelerated ageing technique as developed by Delouche (12), has become an useful technique in understanding the mechanism of seed deterioration and also to predict the loss of seed vigour. Recently Bourland and Ibrahim (9), reported variation among

cotton cultivars for resistance to seed deterioration using this technique. In the present paper, the genotypic variation in cotton seed deterioration under both accelerated and natural ageing conditions as well as its control by hydration-dehydration pretreatments are reported.

Material and methods

Four cotton cultivars, viz., 'Sharada', 'Laxmi', 'Bhagya', (*Gossypium hirsutum*, L) and 'Jayadhar' (*G. herbaceum*, L) were raised in field (medium black soil) in 1981-82 season and the seeds collected were sundried and stored in paper envelopes. Three months after collection, the seeds were subjected to hydration-dehydration (soaking for five hours followed by shade drying to original weight) pretreatments with water, sodium phosphate dibasic (10^{-4} M) and calcium pentethenate (10 ppm). In another treatment seeds were exposed to iodine vapours for 24 hours, in a vacuum desiccator (5.5 l) by placing 2 g iodine in a Petri plate. The seeds were then allowed to age artificially at the 100 percent relative humidity and 40°C for three days. Following this, seeds (100 per treatment) were sown on sand filled in a plastic pot, in triplicates. The total seedling emergence, 12 days after sowing was recorded, as a measure of germinability. Non-aged and aged seeds without pretreatments constituted two sets of control.

Seed leachate was collected by placing 1 g seed in 25 ml distilled water for one hour. The electrical conductivity and sugars in the seed leachate were determined in a conductivity bridge (4) and by colorimetry (16) respectively. Water soluble sugars in seed was extracted and estimated following the method of Agrawal (2).

The naturally aged seeds stored in paper envelopes after seven months under prevailing laboratory conditions (relative humidity $82 \pm 2\%$; temperature $26 \pm 2^\circ\text{C}$; seed moisture around 9%) were subjected to hydration-dehydration pretreatments as under accelerated ageing system, excluding the iodine vapours treatment. The germination test was done as above, with cultivars 'Bhagya', 'Laxmi' and 'Jayadhar' only.

Results

Hydration-dehydration pretreatments particularly water under accelerated ageing system and calcium pantothenate as well as sodium phosphate dibasic under natural ageing system significantly enhanced the germination over untreated aged or non-aged seeds (Table 1).

Under both the systems of ageing, 'Bhagya' maintained significantly higher germination percentage than others, while 'Laxmi' showed relatively lower germination. However, under natural ageing system, genotypic response to pretreatments differed significantly. Thus, calcium pantothenate for 'Bhagya' and 'Jayadhar' and water for 'Laxmi' proved to be better treatments than others.

Electrical conductance and leachate sugars as well as seed sugars differed significantly among the pretreatments and genotypes (Table 2). Pretreatments considerably lowered the electrical conductivity of the seed leachates, with significant reduction observed under calcium pantothenate and water pretreatments. Among the genotypes, EC was considerably less in 'Bhagya'. However, the extent of reduction over aged seeds differed with pretreatments among the genotypes. The highest reduction was observed under sodium phosphate dibasic in 'Sharada' (50%) followed by calcium pantothenate in 'Laxmi' (36.8%). The sugar content of seed leachates, on the

other hand, increased significantly in the pretreated seeds, barring water, wherein significant reduction was noticed. The genotypes references were apparent, with 'Laxmi' having highest concentration followed by 'Sharada' and least in 'Bhagya'. The water soluble seed sugars also exhibited a definite increase in pretreated seeds, particularly in calcium pantothenate treatment. However, in comparison to aged seeds, significant reduction was observed under water and sodium phosphate (dibasic) pretreatments, which was on par with non aged untreated seeds. This was evident, in all the genotypes, barring 'Jayadhar'. The percent sugar leached out of the seed, was significantly least in calcium pantothenate treatment, followed by water over that in aged untreated seeds. 'Bhagya' lost least seed sugars in leachates, while significantly higher quantities were lost in 'Laxmi'. As with other seed leachate characteristics, genotypes and pretreatment interaction differences were apparent with 'Jayadhar' and 'Laxmi' showing significant reduction in water pretreatment, while it was achieved in calcium pretreatment in 'Sharada' over both aged and non-aged seeds.

Discussion

The results generally confirmed earlier observations that hydration-dehydration pretreatments could effectively restore the seed vigour damaged by ageing (5, 6, 7, 8, 13, 14, 15). It is believed that much of the ageing damage is caused by what is termed 'free radical pathology'. The quenching effect of hydration on the propagation of free radicals may account for much of the beneficial effects of short-term hydration-dehydration pretreatments (5). This was evident from the altered pattern of leached substances from pretreated seeds.

However, among the pretreatments iodine vapour did not improve the germination, as it believed

Table 1: Effect of hydration-dehydration pretreatments on percent germination of cotton seeds.

Treatment cultivar	Accelerated Ageing					Natural Ageing				
	Sharada	Laxmi	Bhagya	Jayadhar	Mean	Laxmi	Bhagya	Jayadhar	Mean	
Non-aged control	86.7	57.3	93.3	84.0	80.3	—	—	—	—	
Aged-untreated	78.7	46.7	81.3	41.3	62.0	18.7	29.3	20.0	22.7	
Water	84.0	60.0	92.0	80.0	79.0	31.1	46.7	24.0	35.1	
Iodine vapours	66.7	41.3	45.3	28.0	45.3	—	—	—	—	
Sodium phosphate dibasic (10^{-4} M)	82.7	78.7	86.7	69.3	76.0	30.7	55.3	37.3	41.1	
Calcium pantothenate (10 ppm)	82.7	66.7	85.3	68.0	75.7	26.7	66.0	41.3	44.7	
Mean	80.2	56.2	80.7	61.8	—	26.8	49.3	30.7	—	
C.D. 5% Cultivars (C)						6.4				4.1
Pretreatment (T)						7.8				6.0
Interaction CxT						NS				8.0

Table 2: Genotypic variation to hydration-dehydration pretreatments in seed and seed leachate characteristics of cotton.

TREATMENT	Seed leachate conductivity (µmhos/cm)					Seed leachate sugar (mg/g seed)					Water soluble seed sugar (mg/g seed)					Sugar leached (per cent)				
	V ₁	V ₂	V ₃	V ₄	Mean	V ₁	V ₂	V ₃	V ₄	Mean	V ₁	V ₂	V ₃	V ₄	Mean	V ₁	V ₂	V ₃	V ₄	Mean
1. Non-aged control	350	233	133	200	229	0.598	0.829	0.295	0.104	0.456	14.33	14.00	17.25	15.50	15.27	4.17	5.92	1.71	0.67	3.12
2. Aged-untreated	233	250	125	200	202	0.742	0.504	0.206	0.460	0.478	19.17	15.00	22.67	13.50	17.28	4.04	3.36	0.91	3.41	2.93
3. Water	167	167	125	233	173	0.620	0.591	0.206	0.131	0.362	14.42	15.67	15.50	17.33	15.73	4.30	2.92	1.33	0.76	2.33
4. Iodine vapour	217	317	133	217	221	0.610	0.915	0.294	0.545	0.591	24.17	16.33	16.83	15.58	18.23	2.52	5.60	1.75	3.52	3.35
5. Sodium phosphate dibasic (10 ⁻⁴ M)	117	217	133	250	179	0.533	0.729	0.362	0.352	0.494	15.00	17.25	16.50	14.67	15.88	3.55	4.23	2.19	2.40	3.09
6. Calcium pantothenate (10 ppm)	217	158	117	183	169	0.316	0.587	0.271	0.325	0.500	18.17	18.08	21.58	19.25	19.28	1.74	3.25	1.26	1.69	1.98
7. Mean	217	224	128	214	—	0.570	0.676	0.272	0.319	—	17.54	16.05	18.40	15.97	—	3.89	4.21	1.52	2.07	—
C.D. 5% Cultivar (C)	26					0.028					0.57					0.24				
Pretreatment (T)	32					0.035					0.70					0.29				
Interaction (CxT)	64					0.075					1.40					0.58				

V₁ = Sharada; V₂ = Laxmi; V₃ = Bhagya; V₄ = Jayadhar.

Table 3: Correlation (r) between seed characters and germination

		EC	Seed sugar	Leachate sugar	% Sugar leached
1) Mean of all varieties		-0.3078 ^{ns}	0.2012 ^{ns}	-0.3857 ^{ns}	0.4104 [*]
2) Individual varieties					
	Sharada	-0.1329 ^{ns}	-0.8109 ^{**}	-0.2292 ^{ns}	-0.3474 ^{ns}
	Laxmi	-0.8032 ^{**}	0.2523 ^{ns}	-0.3247 ^{ns}	-0.3474 ^{ns}
	Bhagya	0.0031 ^{ns}	0.0661 ^{ns}	-0.0711 ^{ns}	-0.1186 ^{ns}
	Jayadhar	0.5084 [*]	0.3832 ^{ns}	-0.9288 ^{**}	-0.9185 ^{**}

ns = Non-significant; * = significant at 0.05 P; ** significant at 0.01 P

to be (7) Iodine has a role in the stabilization of lipoprotein membranes of the cell, rendering them less susceptible to lipid peroxidation and free radical reaction. Thus, use of iodine, in arresting deterioration needs further confirmation.

It is said that seeds with seed vigour resist accelerated ageing test (6, 17). Generally, this view appears to be true since 'Bhagya' which maintained relatively higher germination under accelerated ageing, retained its relative vigour under natural ageing conditions also.

Although it is generally agreed that a short term hydration-dehydration treatments with water or dilute solution of chemicals could repair the damage caused by ageing, the way in which it is accomplished appears to be elusive. The pattern of leakage substances as well as seed sugars among the genotypes and pretreatments differed considerably. Thus generally, it appeared that none of the seed/leachate characteristics studied bore any relationship with seed vigour (Table 3). However, among the individual genotypes, seed sugars in 'Sharada', EC of seed leachates in 'Laxmi', and leachate sugar and/or percent sugar leached out of seed in 'Jayadhar' were found to strongly influence, negatively the germination. None of the characters studied was found to have any influence on germination in 'Bhagya' which incidentally maintained high degree of germinability.

Our observations lend support to the view that altered membrane permeability to be major cause of loss in seed viability. These changes are generally found in cotyledons. However, the extent of deterioration caused in the Cotyledons *vis-a-vis* embryos leading to loss in seed vigour, are yet to be elucidated.

Acknowledgements

The authors thank Dr Y. C. Panchal, Professor and Head, Department of Crop Physiology, College of Agriculture, Dharwad and Dr B.H. Katarki, Senior

Scientist (Cotton), for providing necessary facilities and encouragement to carry out the work reported in this paper.

Summary

The effect of hydration-dehydration pretreatments with water, iodine vapours, sodium phosphate-dibasic and calcium pantothenate on the control of seed deterioration was studied in four cotton cultivars under both accelerated and normal ageing systems. Genotypic differences were observed in resistance to ageing under accelerated system; 'Bhagya' and 'Sharada' showed little effect, while in 'Jayadhar' the germinability reduced to more than half. Pretreatment of seed with either water, sodium phosphate dibasic or calcium pantothenate checked the deterioration considerably. Seed germination was significantly correlated with water soluble sugars of seed in 'Sharada', electrical conductance in 'Laxmi' and leachate sugar in Jayadhar, none of the parameters had any relationship with germination in 'Bhagya'.

June 14, 1984

K. V. JANARDHAN,* B.S. JANAGOUDAR*, K. VENKATA SUBBAIAH*

* Department of Crop Physiology, College of Agriculture, Dharwad-580005, Karnataka, India

Literature cited

1. ABDUL BAKI, A. A. and ANDERSON, J. D. Physiological and biochemical deterioration of seeds. In Kozlowski, T. T. ed. Seed Biology. New York, Academic Press 1972, pp. 283-315.

2. AGRAWAL, P.K., Genotypic variation in germination and membrane permeability in wheat (*Triticum aestivum*) seeds during storage under ambient conditions. *Seed Research* 7: 120-127 1979
3. AGRAWAL, P.K. and SIDDIQUI, M.N. Influence of storage temperature and seed moisture on germination, free fatty acid content and leaching of sugars from soybean seeds during storage. *Seed Research* 1: 75-82. 1973
4. ANDERSON, A.M., HART, T.R. and FRENCH, R.C. Comparison of germination techniques and conductivity tests of cotton seeds. *Proceedings of International Seed Testing Association* 29: 81-86. 1964.
5. BASU, R.N. Physico-chemical control of seed deterioration. *Seed Research* 4: 15-23 1976.
6. BASU, R.N. and DASGUPTA, M. Control of seed deterioration in wheat (*Triticum aestivum* L.). *Indian Agriculturist* 18: 285-288 1974
7. BASU, R.N. and RUDRAPAL, A.B. Physicochemical control of seed deterioration by free radical controlling agents. *Indian Journal of Experimental Biology* 16: 1070-1073. 1979.
8. BASU, R.N., CATTOPADHYAY, K. and PAL, P. Maintenance of seed viability in rice (*Oryza sativa* L.) and jute (*Corchorus capsularia* L. and *Corchorus olitorius* L.) *Indian Agriculturist* 18: 75-79. 1974
9. BOURLAND, F.M. and IBRAHIM, A.A.L. Effect of accelerated ageing treatments on six cotton genotypes. *Crop Science* 22: 637-640. 1982.
10. CHING, T.M. and SCHOOLCRAFT, I. Physiological and chemical differences in aged seeds. *Crop Science* 8: 407-409, 1962.
11. DASGUPTA, M. and BASU, R.N. Prolonging the viability of wheat seed. 14th All India Wheat Workers Workshop: Bidhan Chandra Krishi Viswavidyalay, Kalyani, W Bengal, India 1973
12. DELOUCHE, J.C. Seed Deterioration. *Seed World* 92: 14-15, 1963
13. DELOUCHE, J.C., MATTHEWS, R.K., DOUGHERTY, G.N. and BOYD, A.H. Storage of seeds in tropical regions. *Seed Science and Technology* 1: 663-662. 1973
14. DHARMALINGAM, C. and BASU, R.N. Control of seed deterioration in cotton (*Gossypium hirsutum* L.) *Current Science* 47: 484-487, 1978.
15. HAYDECKER, W., Vigour. In Roberts, E.H. ed. *Viability of seeds* London, Chapman and Hall 1972. pp 209-252.
16. MCCREADY, R.M., GUGGOL, Z.J., SILVIERA, V. and OWENS, H.S. Deterioration of starch and amylase in vegetables. *Analytical Chemistry* 22: 1156-1158. 1950.
17. MUSGRAVE, M.E., PREESTLEY, D.A. and LEOPOLD, A.C. Methanol stress as a test of seed vigor. *Crop Science* 20: 626-630. 1980.
18. PRESLEY, J.T. Relation of protoplast permeability to cotton seed viability and predisposition to seedling disease. *Plant Disease Reporter* 42: 852. 1958.
19. TAKAYANAGI, K. and MURAKAMI, K. Rapid germinability test with exudate from seed. *Nature* 218:493 1968.

Tablas de volumen para *Gmelina arborea* Roxb. en Manila de Siquirres, Costa Rica.

Summary. Double entry over-and under-bark tables are given for total volume and volume to 10 cm over-bark top diameter for 17 years old *Gmelina arborea* Roxb plantations at Manila in Siquirres, Costa Rica. Individual tree volumes were calculated using the Smalian method for the sections and a top cone. Total and commercial volume tables were developed using a linear regression model based on natural logarithms. Fifteen regression models were tested. The Furnival index, the coefficient of determination, the residual distribution, and the significance of the coefficients of the equations indicate the best fit to be the natural logarithm model.

Las plantaciones de *Gmelina arborea* Roxb. en Manila de Siquirres fueron establecidas entre 1966 y

1970 En total se estableció 1 000 hectáreas (ha), pero por problemas de drenaje solamente sobrevivieron aproximadamente 600 ha.

Por lo que se observa en el campo, se realizaron pruebas de densidades, así como pruebas de procedencias y progenies de árboles seleccionados. Desafortunadamente no existe información escrita disponible para estudiar este material.

Es posible que el manejo de estas plantaciones se limitó a eliminación de dobles ejes y podas hasta tres metros de altura. Existen pequeñas áreas raleadas a manera de ensayo.

La finalidad de este trabajo es la de preparar tablas de volumen total y comercial, con y sin corteza para las plantaciones, establecidas a 3.0 x 3.0 metros.

Descripción del área

Las plantaciones están ubicadas en la zona atlántica de Costa Rica a 10° 10' de latitud norte, 83° 25' de longitud oeste y 30 metros sobre el nivel del mar. Ecológicamente el área corresponde a la zona de vida bosque húmedo tropical en transición a perhúmedo según Holdridge (3) con 3 500 mm de precipitación, 25° C de temperatura media anual y 88% de humedad relativa, según la estación meteorológica de Monte Verde. Los suelos son aluviales de topografía plana, poco desarrollados, mal drenados y sujetos a inundaciones periódicas. En la actualidad, la mayor parte de la plantación está cubierta por una red de drenajes instalados durante la época de la explotación del abacá (*Musa textilis*) (1, 4, 5). El espaciamiento de la plantación muestreada era de 3.0 x 3.0 m. Los árboles presentaron un fuste recto, sin bifurcaciones, y con base uniforme que podría ser aprovechada desde 20 cm a nivel del suelo.

Toma de datos y elaboración de tablas de volumen

En forma preliminar se tabularon 60 árboles de los que estaban siendo explotados por la empresa Scott Paper de Costa Rica, para la producción de pulpa mecánica. Los árboles fueron seleccionados de manera que quedaran representados los diámetros desde 20 cm de diámetro a la altura del pecho (dap) hasta el máximo observado en el área de explotación.

Para determinar el volumen de madera del fuste, sin incluir las ramas, se midió el diámetro con y sin corteza desde 20 cm del suelo y a intervalos variables

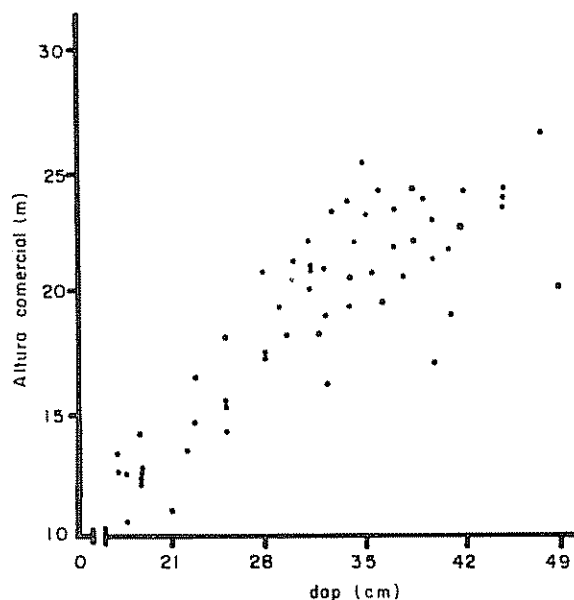


Fig 1 Relación altura comercial - dap.

de 2.0 a 4.0 m según la forma del fuste, hasta 10 cm mínimo con corteza. Se utilizó el programa de cómputo VOLCALC*, el cual calcula el volumen de cada sección en forma individual utilizando la fórmula de Smalian y considera la última sección del árbol completo como un cono.

Las Figuras 1, 2 y 3 muestran el alto grado de ajuste lineal que se obtuvo con los 60 árboles utilizados al relacionar altura comercial-dap, volumen comercial-altura comercial, y volumen comercial-dap. El ajuste que mostraron las anteriores relaciones, se consideró suficiente, por lo que se decidió no incluir más árboles en el análisis.

Las alturas y dap medios y los volúmenes determinados fueron utilizados por el programa "VOLREG"*** para probar el ajuste de 15 modelos de regresión. Se consideraron como mejores los modelos que presentaron el índice de Furnival más bajo (2), la distribución de los residuales más uniforme, el coeficiente de la determinación más alto y los coeficientes de la ecuación con efecto significativo. Se utilizó el programa "ESTIREG" para graficar los volúmenes estimados por la regresión con los obtenidos por

* Programa de computación desarrollado H.J. Palmer para la computadora IBM 4331, CATIE, Turrialba, Costa Rica.

*** El programa VOLREG fue adaptado por H.J. Palmer del programa original desarrollado por H.L. Wright, Oxford University, Inglaterra.

ubicación, para asegurar de que no existía sesgo en las estimaciones. El Programa "STANDTAB"* se utilizó para calcular el factor mórfo. Los modelos fueron probados con otro grupo de datos independientes, para confirmar los coeficientes determinados.

Resultados

De los 15 modelos de regresión probados (Cuadro 1), se seleccionó el modelo 8 el cual está basado en logaritmos naturales. Fue seleccionado por presentar el índice de F-valor más bajo en la mayoría de los casos; además la distribución de los residuales fue más uniforme y los coeficientes de determinación más altos.

$$\ln v = b_0 + b_1 + \ln d + b_2 \ln h$$

donde:

- Ln v = logaritmo natural del volumen
- Ln d = logaritmo natural del dap
- b₀ = constante
- b₁ y b₂ = coeficientes de la regresión
- Ln h = logaritmo natural de la altura total.

* Programas de computación desarrollados por H J Palmer para computador IBM 4331 del CATIE

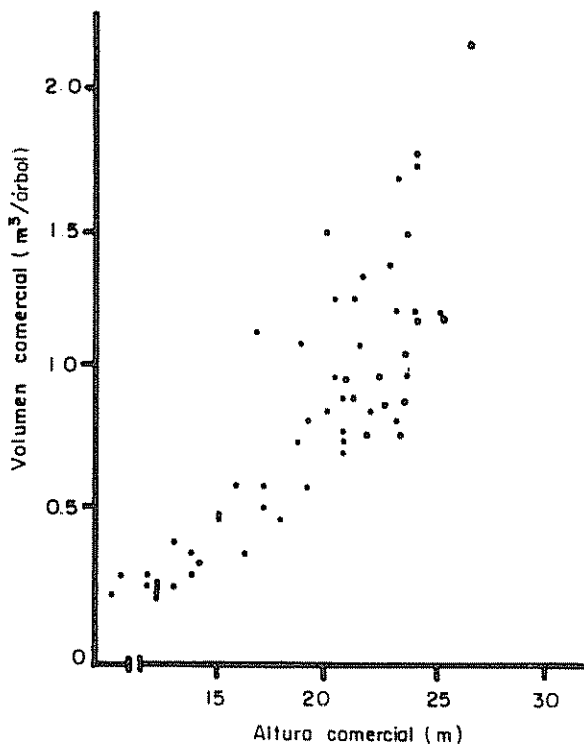


Fig 2 Relación volumen comercial - altura

Con base en este modelo se elaboró las tablas de volumen de doble entrada para volumen total con y sin corteza, y volumen comercial al límite de diámetro de 10 cm con y sin corteza (Cuadros 2, 3, 4 y 5). Las tablas incluyen el modelo de regresión con los respectivos índices de ajuste.

El factor mórfo promedio fue de 0.38; sin embargo, la alta variación que presentó indica que esta característica en esta especie no es adecuada para calcular el volumen.

Con base en las tablas de volumen desarrolladas, se observa que el volumen de corteza en esta especie es relativamente alto; así por ejemplo, un árbol de 30 m de altura total y 40 cm de dap tiene 16.7% de corteza. El volumen de madera del cono terminal de la copa es un árbol de 30 cm de altura total y 40 cm de dap, a 10 cm de diámetro comercial mínimo es solamente el 0.84% del volumen total, sin considerar el volumen que representan las ramas.

Resumen

Se presentan tablas de volumen total y comercial hasta 10 cm de diámetro superior con corteza para plantaciones de 17 años de edad de *Gmelina arborea* Roxb en Manila, Siquirres, Costa Rica.

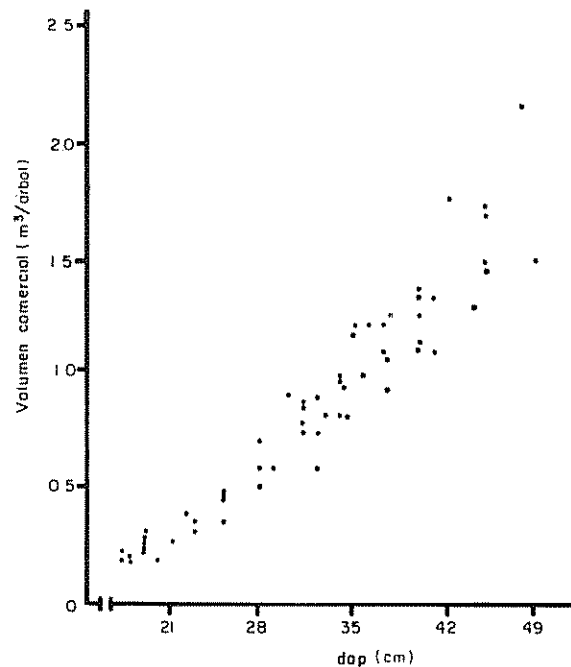


Fig 3 Relación volumen comercial - dap

Cuadro 1 Modelos de regresión probados y sus respectivos coeficientes de determinación, índices de Furnival y pruebas "t" para los coeficientes.

	VOLUMEN TOTAL										VOLUMEN COMERCIAL (10 cm)									
	Con corteza					Sin corteza					Con corteza					Sin corteza				
	R ² (%)	I.F.	b ₁	b ₂	b ₃	R ² (%)	I.F.	b ₁	b ₂	b ₃	R ² (%)	I.F.	b ₁	b ₂	b ₃	R ² (%)	I.F.	b ₁	b ₂	b ₃
1. V = d	93	0.162	***			93	0.142	***			93	0.162	***			93	0.141	***		
2. V = d+d ²	94	0.156	*	*		94	0.135	NS	**		94	0.156	*	*		94	0.134	NS	*	
3. V = d ²	93	0.160	***			93	0.136	***			93	0.161	***			93	0.137	***		
4. V = d ² + h	96	0.129	***			96	0.110	***			96	0.132	***			95	0.113	***		
5. V = d ² + h+d ² h	96	0.125	NS	NS	***	96	0.108	NS	NS	***	96	0.128	NS	NS	**	96	0.111	NS	NS	***
6. V = d ² + dh+d ² h	96	0.120	NS	*	**	96	0.105	NS	NS	**	96	0.123	NS	**	**	96	0.108	NS	*	**
7. Ln V = Ln d	96	0.117	***			96	0.099	***			96	0.118	***			96	0.104	***		
8. Ln V = Ln d+Ln h	98	0.088	***	***		98	0.078	***	***		98	0.096	***	***		97	0.091	***	***	
9. V/d ² = 1/d ² + 1/d	24	0.113	NS	NS		30	0.096	NS	NS		40	0.113	NS	NS		49	0.096	NS	NS	
10. V/d ² = 1/d ²	24	0.113	***			30	0.096	***			40	0.112	***			49	0.096	***		
11. V/d ² = 1/d ² h	25	0.092	***			14	0.080	**		04	0.096	NS			01	0.088	NS			
12. V/d ² = 1/d ² +h/d ² +h	52	0.091	NS	NS	**	52	0.080	NS	NS	*	58	0.095	NS	NS	*	60	0.086	NS	NS	NS
13. V/d ² h+ 1/d ² h+ 1/h+ld ²	28	0.090	NS	NS	**	18	0.080	NS	NS	NS	09	0.095	NS	NS	NS	08	0.086	NS	*	NS
14. V/d ² = 1/d ² +h/d+h	54	0.089	NS	*	*	54	0.079	NS	NS	*	60	0.094	NS	NS	*	61	0.084	*	NS	NS
15. V/d ² h = 1/d ² h + 1/h + 1/d	31	0.888	NS	NS	*	20	0.080	NS	NS	NS	12	0.094	NS	*	NS	11	0.085	*	NS	NS

Módulo seleccionado = No.8

V = volumen total o comercial con o sin corteza (m³)

d = diámetro a la altura del pecho (cm)

h = altura total (m)

Ln = logaritmo natural en base e

R² = coeficiente de determinación (%)

I.F. = Índice de Furnival

b₁ = coeficiente 1, la significancia de la prueba de "t"

b₂ = coeficiente 2, la significancia de la prueba de "t"

b₃ = coeficiente 3, la significancia de la prueba de "t"

NS = no significativo

***, **, * = nivel de significancia al 0.1%, 1% y 5% respectivamente.

Cuadro 2. Tabla de volumen (m^3) con corteza para *Gmelina arborea* Roxb. en Manila, Siquirres, Costa Rica

DAP (cm)	Altura total (m)													
	10.0	12.0	14.0	16.0	18.0	20.0	22.0	24.0	26.0	28.0	30.0	32.0	34.0	
20.0	0.1341	0.1604	0.1858	0.2130	0.2392	0.2554	0.2915	0.3176	0.3436	0.3696	0.3956	0.4216	0.4475	
22.0	0.1589	0.1902	0.2214	0.2525	0.2836	0.3145	0.3455	0.3765	0.4073	0.4392	0.4690	0.4998	0.4475	
24.0	0.1856	0.2222	0.2586	0.2949	0.3312	0.3674	0.4036	0.4397	0.4758	0.5118	0.5478	0.5837	0.6197	
26.0	0.2141	0.2563	0.2983	0.3402	0.3821	0.4238	0.4656	0.5072	0.5488	0.5904	0.6319	0.5734	0.7148	
28.0	0.2444	0.2925	0.3405	0.3883	0.4361	0.4838	0.5314	0.5790	0.6264	0.5739	0.7213	0.7686	0.8159	
30.0	0.2765	0.3308	0.3851	0.4392	0.4932	0.5472	0.6010	0.5548	0.7085	0.7622	0.8158	0.8693	0.9228	
32.0	0.3102	0.3712	0.4321	0.4928	0.5535	0.6140	0.6744	0.3748	0.7950	0.8552	0.9154	0.9755	1.0355	
34.0	0.3457	0.4136	0.4815	0.5492	0.6167	0.5841	0.7515	0.8187	0.8859	0.9530	1.0200	1.0869	1.1538	
36.0	0.3828	0.4581	0.5332	0.6081	0.6829	0.7576	0.8322	0.9067	0.8910	1.0553	1.1295	1.2037	1.2777	
38.0	0.4215	0.5045	0.5872	0.6697	0.7521	0.8344	0.9165	0.9985	1.0804	1.1622	1.2440	1.3256	1.4072	
40.0	0.4620	0.5528	0.5435	0.7339	0.8242	0.9144	1.0044	1.0942	1.1840	1.2736	1.3632	1.4527	1.5421	
42.0	0.5040	0.6031	0.7020	0.8007	0.8992	0.9975	1.0957	1.1938	1.2917	1.3895	1.4872	1.5848	1.6824	
44.0	0.5476	0.5654	0.6728	0.8700	0.9771	1.0639	1.1906	1.2971	1.4035	1.5098	1.6160	1.7220	1.8280	
46.0	0.5928	0.7095	0.8258	0.9419	1.0577	1.1734	1.2889	1.4042	1.5194	1.6345	1.7494	1.8642	1.9789	
48.0	0.6396	0.7655	0.8910	1.0162	1.1412	1.2660	1.3906	1.5150	1.6393	1.7635	1.8875	2.0114	2.1361	
50.0	0.6880	0.8233	0.9538	1.0930	1.2275	1.3617	1.4957	1.6296	1.7632	1.8967	2.3010	2.1634	2.2965	
52.0	0.7379	0.8830	1.0278	1.1793	1.3165	1.4604	1.6042	1.7477	1.8911	2.0343	2.1773	2.3202	2.4630	
54.0	0.7893	0.9445	1.0994	1.2539	1.4082	1.5622	1.7159	1.8695	2.0228	2.1760	2.3290	2.4819	2.6345	
56.0	0.4828	1.0079	1.1731	1.3380	1.5026	1.6689	1.8310	1.9949	2.1585	2.3219	2.4852	2.6483	2.8113	

$$LVV = -9.630 + 1.785 \ln d + 0.985 \ln h$$

$$R^2 = 98\%, I.F. = 0.088$$

$$b_1 = ***, b_2 = ***$$

Cuadro 3. Tabla de volumen total (m³) sin corteza para *Gmelina arborea* Roxb. en Manila, Siquirres, Costa Rica.

DAP (cm)	Altura total (m)													
	10.0	12.0	14.0	16.0	18.0	20.0	22.0	24.0	26.0	28.0	30.0	32.0	34.0	
20.0	0.1111	0.1321	0.1528	0.1734	0.1939	0.2143	0.2345	0.2546	0.2747	0.2947	0.3146	0.3344	0.3542	
22.0	0.1326	0.1576	0.1824	0.2070	0.2314	0.2557	0.2798	0.3039	0.3278	0.3516	0.3754	0.3990	0.4226	
24.0	0.1558	0.1852	0.2143	0.2432	0.2719	0.3004	0.3288	0.3570	0.3852	0.4132	0.4411	0.4589	0.4966	
26.0	0.1807	0.2148	0.2486	0.2821	0.3154	0.3485	0.3814	0.4141	0.4468	0.4792	0.5116	0.5439	0.5760	
28.0	0.2074	0.2074	0.2852	0.3236	0.3618	0.3998	0.4375	0.4751	0.5126	0.5498	0.5859	0.6239	0.6608	
30.0	0.2356	0.2356	0.3241	0.3878	0.4112	0.4543	0.4972	0.5400	0.5825	0.6248	0.6670	0.7091	0.7510	
32.0	0.2656	0.2656	0.3653	0.4145	0.4634	0.5121	0.5604	0.6086	0.6565	0.7042	0.7518	0.7992	0.8464	
34.0	0.2972	0.2972	0.4087	0.4638	0.5185	0.5730	0.6271	0.6810	0.7346	0.7880	0.8412	0.8942	0.9471	
36.0	0.3304	0.3927	0.4544	0.5157	0.5765	0.6370	0.6972	0.7571	0.8167	0.8761	0.9352	0.8942	1.0329	
38.0	0.3652	0.3652	0.5023	0.5700	0.6373	0.7042	0.7707	0.8369	0.9028	0.9684	1.0338	1.0990	1.1639	
40.0	0.4017	0.4774	0.5524	0.6269	0.7009	0.7744	0.8476	0.9204	0.9928	1.0650	1.1370	1.2086	1.2800	
42.0	0.4397	0.5225	0.6047	0.6862	0.7672	0.8477	0.9278	1.0075	1.0868	1.1658	1.2446	1.3230	1.4012	
44.0	0.4793	0.5696	0.6591	0.7480	0.8363	0.9240	1.0113	1.0982	1.1947	1.2708	1.3567	1.4622	1.5274	
46.0	0.5204	0.6185	0.7158	0.8123	0.9081	1.0034	1.0982	1.0925	1.2865	1.3800	1.4732	1.5660	1.6586	
48.0	0.5632	0.6693	0.7745	0.8789	0.9827	1.0858	1.1884	1.2904	1.3921	1.4933	1.5941	1.6946	1.7948	
50.0	0.6074	0.7219	0.8354	0.9480	1.0599	1.1711	1.2818	1.3919	1.5015	1.6107	1.7194	1.8278	1.9358	
52.0	0.6532	0.7764	0.8984	1.0195	1.1398	1.2595	1.3784	1.4968	1.6147	1.7321	1.8491	1.9657	2.0818	
54.0	0.7005	0.8326	0.9635	1.0934	1.2224	1.3507	1.4783	1.6053	1.7317	1.8577	1.9831	2.1081	2.2327	
56.0	0.7494	0.8907	1.0307	1.1697	1.3077	1.4449	1.5814	1.7173	1.8525	1.9872	2.1214	2.2551	2.3884	

$$L v v = -9.938 + 1.854 \ln d + 0.947 \ln h$$

$$R^2 = 98\%, \text{ I. F.} = 0.079$$

$$b_1 = ***; b_2 = ***$$

Cuadro 4. Tabla de volumen comercial (m³) con corteza para *Gmelina arborea* Roxb. en Manila, Siquirres, Costa Rica

DAP (cm)	Altura comercial (m) a 10 cm diámetro mínimo													
	10.0	12.0	14.0	16.0	18.0	20.0	22.0	24.0	26.0	28.0	30.0	32.0	34.0	
20.0	0.1275	0.1511	0.1745	0.1977	0.2207	0.2435	0.2651	0.2886	0.3110	0.3333	0.3555	0.3775	0.3995	
22.0	0.1532	0.1817	0.2098	0.2376	0.2652	0.2926	0.3198	0.3469	0.3738	0.4006	0.4272	0.4537	0.4802	
24.0	0.1812	0.2149	0.2481	0.2810	0.3137	0.3461	0.3783	0.4103	0.4421	0.4738	0.5053	0.5367	0.5679	
26.0	0.2115	0.2507	0.2895	0.3280	0.3661	0.4039	0.4415	0.4788	0.5160	0.5529	0.5897	0.6263	0.6628	
28.0	0.2440	0.2893	0.3341	0.3784	0.4224	0.4660	0.5094	0.5525	0.5953	0.6379	0.6804	0.7226	0.7647	
30.0	0.2788	0.3305	0.3816	0.4323	0.4825	0.5324	0.5819	0.6311	0.6801	0.7288	0.7772	0.8255	0.8736	
32.0	0.3157	0.3743	0.4322	0.4896	0.5465	0.6030	0.6591	0.7148	0.7703	0.8254	0.8803	0.9350	0.9894	
34.0	0.3549	0.4208	0.4859	0.5504	0.6143	0.5778	0.7408	0.8035	0.8658	0.9278	0.9896	1.0510	1.1122	
36.0	0.3963	0.4698	0.5425	0.6145	0.6859	0.7568	0.8272	0.8972	0.9668	1.0360	1.1049	1.1735	1.2418	
38.0	0.4399	0.5215	0.6022	0.6821	0.7614	0.8400	0.9182	0.9958	1.0731	1.1499	1.2264	1.3026	1.3784	
40.0	0.4856	0.5757	0.6648	0.7531	0.8406	0.9274	1.0137	1.0994	1.1847	1.2696	1.3540	1.4381	1.5218	
42.0	0.5336	0.6326	0.7304	0.8274	0.9235	1.0190	1.1138	1.2080	1.3017	1.3949	1.4877	1.5800	1.6720	
44.0	0.5837	0.6920	0.7990	0.9051	1.0103	1.1147	1.2184	1.3214	1.4239	1.5259	1.6274	1.7284	1.8290	
46.0	0.6360	0.7539	0.8706	0.9861	1.1007	1.2145	1.3275	1.4398	1.5514	1.6625	1.7731	1.8832	1.9928	
48.0	0.6904	0.8185	0.9451	1.0705	1.1949	1.3184	1.4411	1.5630	1.6842	1.8048	1.9249	2.0449	2.1634	
50.0	0.7470	0.8855	1.0226	1.1583	1.2929	1.4265	1.5592	1.6911	1.8222	1.9527	2.0826	2.2119	2.3407	
52.0	0.8057	0.9551	1.1029	1.2493	1.3945	1.5386	1.6817	1.8240	1.9655	2.1062	2.2463	2.3858	2.5247	
54.0	0.8666	1.0273	1.1863	1.3437	1.4998	1.6548	1.8086	1.9618	2.1140	2.2654	2.4160	2.5660	2.7154	
56.0	0.9295	1.1020	1.2725	1.4414	1.6089	1.7751	1.9403	2.1044	2.2676	2.4300	2.5916	2.7525	2.9128	

$\ln v = 10.0961 - 9.997 + 1.929 \ln d + 0.933 \ln h$

R² = 98%, I.F. = 0.096.

B₁ = ***, b₂ = ***

Cuadro 5. Tabla de volumen comercial (m³) sin corteza para *Gmelina arborea* Roxb. en Manila, Siquires, Costa Rica

DAP (cm)	Altura comercial (m) a 10 cm diámetro mínimo													
	10.0	12.0	14.0	16.0	18.0	20.0	22.0	24.0	26.0	28.0	30.0	32.0	34.0	
20.0	0.1052	0.1227	0.1398	0.1565	0.1730	0.1891	0.2050	0.2206	0.2361	0.2514	0.2665	0.2815	0.2963	
22.0	0.1282	0.1496	0.1705	0.1909	0.2109	0.2305	0.2499	0.2690	0.2879	0.3065	0.3249	0.3432	0.3612	
24.0	0.1537	0.1793	0.2043	0.2287	0.2527	0.2753	0.2976	0.3224	0.3450	0.3673	0.3894	0.4112	0.4329	
26.0	0.1015	0.2118	0.2413	0.2702	0.2985	0.3263	0.3537	0.3808	0.4074	0.4338	0.4599	0.4857	0.5113	
28.0	0.2117	0.2471	0.2815	0.3152	0.3482	0.3807	0.4127	0.4442	0.4753	0.5061	0.5365	0.5667	0.5965	
30.0	0.2444	0.2852	0.3249	0.3638	0.4019	0.4394	0.4763	0.5127	0.5487	0.5842	0.6193	0.6541	0.6885	
32.0	0.2795	0.3262	0.3716	0.4161	0.4597	0.5025	0.5448	0.5864	0.6275	0.6681	0.7481	0.7481	0.7674	
34.0	0.3171	0.3700	0.4215	0.4720	0.5215	0.5701	0.6180	0.6652	0.7116	0.7579	0.8035	0.8486	0.8933	
36.0	0.3571	0.4467	0.4748	0.5316	0.5873	0.6420	0.6960	0.7492	0.8017	0.8536	0.9049	0.9557	1.0060	
38.0	0.3996	0.4663	0.5313	0.5948	0.6572	0.7185	0.7788	0.8383	0.8971	0.9552	1.0126	1.0694	1.1257	
40.0	0.4446	0.5198	0.5911	0.6618	0.7312	0.7993	0.8665	0.9327	0.9981	1.0627	1.1266	1.1398	1.2525	
42.0	0.4921	0.5742	0.6542	0.7325	0.8092	0.8647	0.9500	1.0323	1.1047	1.1762	1.2469	1.3169	1.3862	
44.0	0.5421	0.6325	0.7206	0.8069	0.8914	0.9745	1.0565	1.1372	1.2169	1.2957	1.3736	1.4507	1.5271	
46.0	0.5946	0.6938	0.7904	0.8850	0.9778	0.0690	1.1588	1.2473	1.3348	1.4212	1.5066	1.5012	1.5750	
48.0	0.6496	0.7580	0.8636	0.9669	1.0683	1.1679	1.2660	1.3628	1.4583	1.5527	1.6461	1.7385	1.8300	
50.0	0.7072	0.8251	0.9401	1.0526	1.1629	1.2714	1.3782	1.4805	1.9875	1.6903	1.7919	1.8925	1.9921	
52.0	0.7673	0.8953	1.0200	1.1421	1.2618	1.3795	1.4953	1.6069	1.7224	1.8339	1.9442	2.0534	2.1615	
54.0	0.8290	0.9684	1.1033	1.2353	1.3648	1.4921	1.6175	1.7411	1.8631	1.9837	2.1030	2.2210	2.3380	
56.0	0.8951	1.0445	1.1900	1.3324	1.4720	1.6093	1.7445	1.8779	2.0095	2.1395	2.2682	2.3955	2.5216	

Ln v = -10.442 + 2.080 Ln d + 0.846 Ln h

R² = 79%, I.F. = 0.091b₁ = ***, b₂ = ***

El volumen fue calculado por trozas de tamaño variable a través de la fórmula de Smalian, considerando la última sección como un cono. Las tablas de volumen fueron desarrolladas usando modelos de regresión logarítmica.

Se probaron 15 modelos de regresión. Se utilizó el índice de Furnival, la distribución de los residuales, el coeficiente de determinación y la significancia de los coeficientes de la ecuación para seleccionar los modelos con mejor ajuste.

21 de noviembre de 1984

R. SALAZAR*
H.J. PALMER*

* CATIE, Turrialba, Costa Rica

Literatura citada

1. COSTA RICA. Anuario Meteorológico. Instituto Meteorológico Nacional. 1980. 243 p.
2. FURNIVAL, G.M. An index for comparing equations used in volume tables. *Forest Science* 7 (4): 337-341. 1961.
3. HOLDRIDGE, L. R. Life zone ecology (rev. ed.) San José, Costa Rica, Tropical Science Centre. 1967. 206 p.
4. PEREZ, S., ALVARADO, A. y RAMIREZ, E. Mapa sobre asociación de sub-suelos de Costa Rica, (Preliminar). (Esc. 1:200.000) San José, Oficina de Planificación Sectorial Agropecuaria. 1978.
5. PEREZ, S. y van GINNKEN, P. Mapa de capacidad de uso del suelo. (Esc. 1:200.000) San José, Oficina de Planificación Sectorial Agropecuaria, 1978.

A semi-synthetic diet for adult banana fruit scarring beetles, *Colaspis ostmarki* (Coleoptera: Chrysomelidae)

Resumen. Una dieta semi-sintética ha sido desarrollada con el propósito de mantener individuos adultos de *Colaspis ostmarki* Blake para ser utilizados en estudios de laboratorio y de campo. Los adultos se alimentan bien de la dieta y pueden ser mantenidos por períodos prolongados bajo condiciones de laboratorio. La longevidad y producción de huevos de estos adultos fue comparada con la de individuos alimentados con varios tejidos de plantas de banano.

Several species of *Colaspis* beetles attack banana fruit throughout the neotropics; *Colaspis ostmarki* Blake is the primary species in Costa Rica and Panama. The beetle is common in the Estrella Valley of Costa Rica plus other areas along the Atlantic Coast in both countries.

Previous attempts to study the insect have been difficult due to the inability to maintain adults under laboratory conditions. To overcome this problem, an artificial diet was developed whereby field collected adults could be held under laboratory conditions, see Singh (1).

Materials and methods

An artificial diet used by Wellso *et al.* (2) to feed adult cereal leaf beetles, *Oulema melanopus* (L.), was modified primarily through changes in the inhibitor part of the diet to maintain adult *C. ostmarki* in the laboratory (Table 1). To prepare the diet, the agar was dissolved in water by stirring and heating to boiling on a hot plate. The agar solution was cooled to 60° C and the other components were added in the following order: The components of "B" and "C" were added and blended for 1 min. The components of "D" and "E" were added, and the total mixture blended at high speed for 2 min. The blended diet was dispensed in the shape of a "c" with a aqueeze bottle into Petri dish bottoms. Adults preferred to rest off the diet, and readily moved to and from the diet; this circumstance reduced bacteria and fungal contamination because adult beetles did not walk or defecate as often on the diet. After the diet had cooled for about two hours, dishes were placed in plastic bags and stored in the refrigerator at 4°C for up to 2 weeks. One batch of diet yielded about 175 dishes (1.5 ml each).

Beetles were field collected from bananas in the Estrella Valley and one pair were placed within 24 hours after collection on either the diet or natural foods. Data on the longevity and egg production of

Table 1. Ingredients for semi-synthetic diet for adult *Colaspis ostmarki* (modified from Wellso, et al (2))

Ingredient	Amounts
A. Water	215.0 ml
Agar-agar	2.5 g
B. Formalin	0.75 ml
10% KOH	1.25 ml
Wheat germ oil	1.25 ml
Corn oil	2.80 ml
C. Methyl Paraben	0.35 g
Sorbic acid	0.20 g
Ethyl Alcohol - (Dehydrated U.S.P.) ³	2.50 ml
D. Vanderzant vitamin Supplement - insect ¹⁻⁴	3.0 g 5.0 g
E. Chlorophyllin (Na - K - Cu)	0.10 g
Wheat germ (raw)	9.80 g
Casein	11.40 g
Sucrose	16.40 g
Wesson's salt mix ²	3.25 g
Torula yeast	2.00 g
Brewers yeast	1.70 g
Alphacel	5.40 g
Egg albumen	2.50 g
Cholesterol	0.75 g
Gelatin	1.75 g
Streptomycin sulfate	0.025 g
Aureomycin	0.030 g

- (1) United States Biochemical Corporation, Cleveland, Ohio, 44128
- (2) Bio Serv. Inc., P.O. Box BS, Frenchtown, N.J. 08825
- (3) Methyl Paraben and sorbic acid dissolved in alcohol before adding to diet.
- (4) Vitamin mixture dissolved in water before adding to diet

the beetles fed either the medium or natural foods were obtained by checking daily for adult beetle mortality and/or eggs. The diet was changed every other day.

Banana leaves, flowers, bracts and fruit were put into Petri dishes within 2 hours of collection. The unrolled leaf and very young fruit that were under the bract at time of collection were used. Banana fingers were cut in half lengthwise and the cut surface placed down on a piece of filter paper in each Petri dish. Food was changed every day.

Results

Adult longevity and egg production was much higher on the semi-synthetic diet than on the banana tissue tested (Table 2). Young banana fruit supported the best egg production but longevity was about equal to banana flowers or bracts. Banana leaves did not support egg production and longevity was greatly reduced. Field populations commonly feed on the leaves, but these data suggest they can not reproduce without flower or fruit parts. Although adults fed on this diet for an average of 65.3 days and laid an average of 651 eggs per female, young larvae that just hatched from eggs could not be reared on this diet.

Acknowledgments

The author wishes to thank Dr. Robert Loe, Director of Research, Standard Fruit Company for sup-

Table 2. Biological data for *Colaspis ostmarki* beetles fed a semi-synthetic diet or natural food (banana leaves, banana flower parts and young green banana fruit).

Food	Number of pairs tested	Average days lived		Average number of egg masses laid per female	Average number of eggs per mass	Total eggs laid-average per female	Average number of eggs/day per female
		females	males				
Diet	25	65.3 (20-129)*	104.1 (14-248)	7.16 (2-17)	91.0 (50-146)	651.6 (155-1833)	9.95 (2.6-18.2)
Banana Leaves	20	8.0 (2-14)	8.2 (2-18)	0.0	0.0	0.0	0.0
Banana Flowers	20	20.1 (2-32)	20.5 (11-31)	0.50 (0-2)	64.3 (8-125)	32.2 (8-125)	1.40 (0.25-6.9)
Banana Bracts	20	18.2 (2-31)	15.2 (4-25)	0.45 (0-1)	58.6 (15-118)	26.4 (15-118)	1.58 (0.83-6.9)
Green Banana Fruit	20	20.1 (2-32)	20.6 (11-31)	0.77 (0-2)	82.3 (11-203)	63.4 (11-203)	3.09 (0.5-13.9)

* Range

porting this study. Thanks are also due Elinar A. Manley, Italo Maineri, and Victor Urzola for their assistance with diet preparation and rearing aspects of the study.

Summary

In order to maintain adults of *Colaspis ostmarki* Blake for laboratory and field studies a semi-synthetic diet was developed.

Adults fed well on the diet and lived for extended periods of time under laboratory conditions. Longevity and egg production of adults fed the test diet were compared to various individuals fed banana plant tissues.

September 25, 1985

G.V. MANLEY*

* Department of Zoology, Michigan State University, East Lansing, MI 48824

Literature cited

1. SINGH, P. Artificial diets for insects, mites, and Spiders. New York, IFI/Plenum. pp. 41-121.
2. WELLSO, S.G., CONNIN, R.V., HOXIE, R.P., and COOB, D.L. Storage and Behavior of Plant and Diet-Fed Adult Cereal Leaf Beetle, *Oulema melanopus* (Coleoptera: Chrysomelidae) The Michigan Entomologist 3(4): 102-107 1970.