

TURRIALBA

REVISTA INTERAMERICANA DE CIENCIAS AGRICOLAS

VOLUMEN 41

TRIMESTRE OCTUBRE—DICIEMBRE 1991

NUMERO 4

CODEN: TURRAB 41(4):445-631

Efeito de variáveis micrometeorológicas e disponibilidade hídrica no solo sobre resistência estomática à difusão gasosa em feijoeiro. H. Bergamaschi, H.J. Vieira, L.R. Angelocci, J.C. Ometto, O. Brunini	445
Comparación de las dietas del guanaco, ovino y bovino en Tierra del Fuego, Argentina. N. Bonino, A. Pelliza Striller	452
Características agronómicas, físicas, químicas y nutricias de quince variedades de amaranto.	
E. Calderón, J.M. González, R. Bressani	458
Efecto tóxico y uso de filtrados de <i>Mycosphaerella graminicola</i> (<i>Septoria tritici</i>).	
C.A. Cordo, L.R. Marechal, F.J. Babinec	465
Efecto del nitrógeno y de la presencia de trébol blanco sobre festuca alta.	
P. Cruz, H. Sinoquet, F. Gastal, B. Moullia, C. Varlet-Grancher, G. Lemaire	475
Efectos del Fosetil-Al en cítricos. I. Gomois y posibilidades de control	
M. Suárez, R. Delgado, D. Martínez, L. Suárez	482
Efectos del Fosetil-Al en cítricos. II. Influencia sobre rendimientos. R. Delgado, M. Suárez, R. Casamayor	488
Efecto de las propiedades mecánicas sobre suelos rojo-arcillosos del centro-sur de Chile.	
A. Ellices, R. Mac Donald, C. Ramírez	493
Resistencia del frijol a mustia hilachosa y su interacción con la lluvia. G. Frías, M.R. Rojas, S. Saborío	500
Imogolita en un andisol de México. C. Hidalgo, J.D. Etchevers, P. Quantin	509
Potenciales osmóticos y tuberización <i>in vitro</i> de secciones de brotes y esquejes de papa.	
L. Martínez, V.L. de Stecco, R. Tizio	515
Estudio preliminar sobre insectos polinizadores de macadamia en Costa Rica. C.E. Masís, H.J. Lezama	520
Goma extraída de vagens de <i>Parkia nitida</i> Miquel para inoculación e revestimento de semillas de leguminosas.	
F.M.S. Moreira, A.A. Franco	524
Efecto del almacenamiento hermético en la calidad del maíz para tortillas. E. Moreno, M.M. Reyes, Z. Nieto, J. Ramírez	528
Natural cross-fertilization of sesame grown in Sonora, Mexico. G.L.C. Musa, V.I. Padilla	534
Propagación vegetativa <i>in vitro</i> del chayote (<i>Sechium edule</i> (Jacq.) Sw.). Fase de establecimiento.	
G. Somarribas, J. Sandoval, L. Müller	538
Efecto de algunos caracteres agronómicos de <i>Bothriochloa ischaemum</i> en la producción de forraje verde y seco.	
H.A. Paccapelo, H.O. Lorda, L. Anton de Ferramola	545
Composición química y contenido energético de la biomasa de malezas en arrozales de Chile Central.	
C. Ramírez, J. San Martín, C. San Martín, D. Contreras	551
Biología poblacional del gramón. III. Bases genéticas y ambientales de la productividad y arquitectura. R. Sarandon	564
Evaluación de cacao híbrido bajo dos sistemas de sombra en Turrialba, Costa Rica. J. Morera, A. Mora	572
Comparación de 56 cruces interclonales de cacao en Pococí, Costa Rica. J. Morera, A. Mora	578
Caracterización de una población de cacao "Nacional" en el CATIE, Costa Rica. J. Morera, A. Mora, A. Paredes	583
Efecto de coberturas en la base del árbol de cacao en la diseminación de <i>Phytophthora</i> . V.H. Portas, J.A. Sánchez	589
O papel da chuva no fornecimento e reciclagem de nutrientes num agrossistema de cacau do sul da Bahia, Brasil.	
A.C. da Gama, R.A. Calheiros	598
Propagación clonal <i>in vitro</i> de diferentes especies de poró. A. Berrios, J. Sandoval, F. L.E. Müller	607
Ranking twenty-two tropical browse species from Guanacaste, Costa Rica. N. Lou Conklin, R.E. McDowell, P.J. Van Soest	615
Reseñas de libros	451, 464, 474, 577



INSTITUTO INTERAMERICANO DE COOPERACION PARA LA AGRICULTURA

San José, Costa Rica

CR ISSN 0041 - 4360

Efeito de Variáveis Micrometeorológicas e Disponibilidade Hídrica no Solo sobre Resistência Estomática à Difusão Gasosa em Feijoeiro¹

H. Bergamaschi*, H. J. Vieira**, L. R. Angelocci***,
I. C. Ometto***, O. Brunini****

ABSTRACT

Effects of micrometeorological variables on the stomatal diffusive resistance of common beans (*Phaseolus vulgaris* L.) subjected to different conditions of soil water availability were evaluated in a field experiment at Piracicaba, São Paulo (latitude 22°42'; altitude 576 masl). The common bean cultivar Aroana 80, type II (CIAT classification), was sown in 30 m x 20 m split-plots on July 7, July 22, and August 4, with two levels of soil water availability (irrigated and non-irrigated), during a drought period from Sept. 25 to Oct. 12). Effects of photosynthetically-active radiation (RFA), water vapour saturation deficit in the crop boundary layer (DS), and wind velocity on the stomatal resistance of common beans were evaluated through regression analysis. RFA flux density decreased the stomatal resistance exponentially, with a tendency for stabilization at high intensities, this being the main environmental factor explaining stomatal opening in irrigated plants. Higher wind velocity increases the stomatal resistance exponentially, and it was the second most important environmental factor influencing the stomatal opening in irrigated plants. DS also increased the stomatal resistance exponentially, but only under conditions of water deficiency. Stomatal diffusive resistance appeared to respond to an interaction between the soil water availability and the atmospheric evaporative demand.

RESUMO

Em experimento conduzido a campo, em Piracicaba - SP, Brasil (latitude = 22°42'S; altitude = 576 m), foram avaliados efeitos de variáveis micrometeorológicas sobre a resistência estomática à difusão gasosa em feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.), submetido a diferentes condições de disponibilidade hídrica no solo. A cultura foi conduzida em três épocas de semeadura (7 de julho, 22 de julho e 4 de agosto de 1983) e em dois níveis de água no solo (com e sem irrigação, durante uma estiagem de 25 de setembro a 12 de outubro) em subparcelas de 30 m x 20 m. Através de análise de regressão, foram avaliados os efeitos dos elementos radiação fotossinteticamente ativa (RFA), déficit de saturação de vapor d'água do ar da camada limite da cultura (DS) e velocidade do vento a 2 m acima do solo, sobre a resistência estomática total de folhas de feijoeiro. Aumentos na densidade de fluxo de RFA diminuíram exponencialmente a resistência estomática, com tendência a estabilizá-la em níveis elevados de luz, sendo a variável que melhor explicou as variações da abertura dos estômatos da cultura irrigada. A velocidade do vento aumentou exponencialmente a resistência estomática, sendo a segunda variável do ambiente que mais influenciou a abertura dos estômatos em plantas irrigadas. O DS também elevou exponencialmente a resistência estomática, mas somente quando submetida a déficit hídrico no solo. A abertura dos estômatos mostrou responder à interação entre a disponibilidade hídrica no solo e à demanda evaporativa da atmosfera.

INTRODUÇÃO

O decréscimo na disponibilidade de água no solo ocasiona queda no potencial da água nas folhas das plantas, levando à perda da turgescência e ao fechamento dos estômatos. Com isto, aumenta a resistência à difusão gasosa, o que determina menor perda de água por transpiração, mas, também, menor fotossíntese pela menor troca gasosa (anidrido carbônico-oxigênio), indispensável a este processo.

A abertura dos estômatos e, portanto, a resistência por eles imposta ao fluxo de vapor d'água é função de vários fatores internos e externos à folha. O ambiente físico externo à planta tem grandes influências sobre as relações hídricas de epiderme das folhas e, consequentemente, sobre os estômatos. Segundo Meidner y Mansfield (14), interações entre o suprimento de água e os fatores do meio ocorrem quase sempre, em condições naturais. Os mecanismos pelos quais estes fatores influenciam a abertura estomática não são inteiramente entendidos, não obstante existirem informações empíricas suficientes que permitem uma descrição geral dessa influência (8).

A abertura estomática depende de processos fotoquímicos, sendo função da densidade de fluxo quântico, da diferença de tensão de vapor d'água folhar, da temperatura da folha, da concentração de anidrido carbônico, da velocidade do vento e do estado hídrico da folha (10, 13, 20, 21)

1 Recebido para publicação el 11 de julho de 1989
Parte de tese de doutorado do primeiro autor. Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz"/Universidade de São Paulo (ESALQ/USP), 1984.

* Eng. Agr., Dr., Fac. Agronomia, UFRGS, Porto Alegre, RS, Bra; Bolsista do CNPq.

** Eng. Agr., MS., EMPASC, Florianópolis, SC, Bra

*** Eng. Agr., Dr. ESALQ/USP, Bolsista do CNPq; Eng. Agr. Dr. ESALQ/USP, Piracicaba, SP, Bra.

**** Eng. Agr. Dr., Inst. Agrônomo/SAEESP, Campinas, SP, Bra; Bolsista do CNPq.

O mecanismo pelo qual a luz influencia os estômatos ainda não está suficientemente claro. Entretanto, sabe-se que, existindo condições adequadas de potencial da água na folha, de concentração de anidrido carbônico e de temperatura, a resistência à difusão gasosa diminui com aumento da densidade de fluxo luminoso (8). Kuiper (1961), citado por Kanemasu e Tanner (12), também obteve uma relação hiperbólica entre a resistência estomática em feijoeiro e a densidade de fluxo luminoso.

Entretanto, as respostas estomáticas à luz, de abertura de manhã e fechamento à tarde, podem ser influenciadas pela mudança no teor de água na folha. Isto pode ocorrer em dias secos e quentes, quando a queda no teor de água na folha força o fechamento parcial dos estômatos, mesmo com elevado suprimento de luz (14).

Em experimento com feijoeiro, a campo e em câmara de crescimento, Kanemasu e Tanner (12) mostraram que os estômatos de face ventral (adaxial) necessitaram mais luz para sua abertura e foram muito mais influenciados pelo sombreamento do que os da face dorsal (abaxial). No campo, a abertura estomática do feijoeiro acompanhou a disponibilidade de luz, mas foi influenciada, também, pelo potencial da água nas folhas.

Inúmeros trabalhos, citados por Bergamaschi (2), caracterizaram as respostas dos estômatos de várias espécies à luz, todos demonstrando efeito positivo da densidade de fluxo luminoso sobre a abertura estomática; em termos de respostas espectrais, em geral, tem sido comprovada uma ação mais efetiva da luz azul, em relação aos demais comprimentos de onda.

Vários estudos tem demonstrado fechamento de estômatos independente de mudanças no potencial da água na folha ou até acompanhado por aumento no teor de água, indicando boa relação entre a resistência estomática e o déficit de saturação de vapor d'água do ar (6).

Schulze *et al.* (17) consideraram que baixa umidade no ar atua no fechamento estomático, que alta umidade conduz à abertura, e que os estômatos funcionam como o principal sensor de umidade. Partindo desta premissa, iniciaram uma linha de pesquisa, com várias espécies de clima desértico, em Israel. Sob condições de ar seco, tanto mesófitas como xerófitas aumentaram a resistência à difusão gasosa, elevando o conteúdo de água nas folhas, enquanto que o inverso ocorreu com ar úmido. Nestas condições, a resistência estomática do damasqueiro (mesófito) teve resposta direta à demanda evaporativa da atmosfera, excluindo a reação via potencial da água no mesófito, embora a influência da umidade do ar tenha sido maior em plantas com baixo suprimento de água no solo.

Ainda com damasqueiro, Schulze *et al.* (18, 19) mostraram a interação da umidade e da temperatura do ar sobre a resistência estomática, cujo efeito se pronunciou sob déficit hídrico no solo. As variações do potencial da água nas folhas tiveram pequeno efeito sobre o curso diário da resistência à difusão do vapor d'água, mostrando que os mecanismos de controle interno de abertura estomática foram sobrepujados e modificados pelos fatores do meio externo, no caso, temperatura e umidade do ar. Estes trabalhos estão em concordância e dão suporte a outros anteriores, com outras culturas e em outras condições. Posteriormente, pesquisas comprovaram as respostas estomáticas às condições de demanda evaporativa do ar, com diversas culturas, inclusive feijoeiro (2).

Farquhar (7) fez profunda e detalhada explanação da teoria que envolve os mecanismos de resposta estomática às variações na diferença de umidade da folha e do ar, com implicações e interações na transpiração e no balanço de água das folhas. Mecanismos que envolvem interações positivas e negativas entre a folha e o ar adjacente foram descritos, mostrando que as variações de resistência à difusão de gases pelos estômatos são devidas a respostas que se dão, basicamente, ao nível do "aparatus" estomático, como se referiu Aston (1). Assim, pode-se inferir que todos os fatores que interferem na diferença de umidade entre a folha e o ar que a envolve, bem como na resistência da camada limite à troca gasosa, influenciam a abertura estomática, dentre os quais a velocidades do vento, conforme descreveram O'Toole e Hatfield (16).

Partindo de resultados obtidos em condições naturais de campo, este trabalho objetivou determinar as influências de alguns fatores do meio físico sobre a resistência estomática à difusão gasosa, em folhas de feijoeiro

MATERIAL E METODOS

Foi conduzido experimento de campo na Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz"/Universidade de São Paulo, em Piracicaba-SP, à latitude de 22° 42' sul e altitude de 576 m, de junho a novembro de 1983. O clima da região é do tipo fundamental Cwa, pela classificação de Koeppen, sendo o solo do local classificado como terra roxa estruturada.

A cultivar utilizada foi Aroana 80, de hábito de crescimento indeterminado arbustivo, tipo II segundo a classificação do CIAT. Foi semeada manualmente em linhas espaçadas de 0.5 m, obtendo-se em torno de 200 000 plantas ha⁻¹ após estabilizada a emergência.

Em parcelas principais de 60 m x 30 m foram utilizados dois tratamentos de disponibilidade hídrica

no solo: (I) irrigado quando o potencial matricial de água do solo a 0.15 m atingisse -0.05 MPa; (D) - com deficiência hídrica, sem nenhuma irrigação durante uma estiagem de 17 dias, a partir de 25 de setembro.

Dentro de cada parcela principal, três épocas de semeadura constituíram as subparcelas: 7 de julho; 22 de julho e 4 de agosto. O período de diferenciação dos tratamentos de disponibilidade hídrica no solo coincidiu como o final de enchimento de grãos e maturação fisiológica, na primeira época; formação e desenvolvimento de legumes, na segunda; formação de botões florais e floração, na terceira. Maiores detalhes do experimento e das condições do período experimental foram apresentadas por Bergamaschi *et al.* (3, 4).

A resistência estomática à difusão gasosa foi determinada ao longo do período do dia, antes e durante a estiagem, com a finalidade de obter medidas em diferentes condições de disponibilidade hídrica e demanda evaporativa da atmosfera. Foi utilizado um porômetro de equilíbrio dinâmico ("steady state porometer") marca LI-COR, modelo LI-1600. Com o mesmo equipamento, foi medida a radiação fotossinteticamente ativa (RFA), concomitantemente à resistência estomática, além de outros parâmetros do ar e da folha que não foram utilizados neste estudo.

Em cada horário e em cada subparcela, os dados de porometria foram tomados em oito plantas ao acaso, sendo quatro na face ventral (adaxial) e quatro na face dorsal (abaxial). Para isto, sempre foram utilizados folíolos completamente desenvolvidos e localizados no estrato superior do dossel da cultura. A resistência estomática, em cada horário, foi calculada segundo

Black *et al.* (5), Teare *et al.* (22) e Gates (8), considerando que as resistências das duas faces da folha estão associadas em paralelo. A fórmula para cálculo da soma das duas resistências resulta:

$$r_e = r_1 r_2 / (r_1 + r_2)$$

sendo r_e a resistência estomática total de folha, r_1 a resistência da face dorsal (média de quatro repetições) e r_2 a resistência da face ventral (média de quatro repetições).

Através de análises de regressão simples, pelo método dos mínimos quadrados, foram testados os graus de associação entre a resistência total e as variáveis: (1) radiação fotossinteticamente ativa, medida pelo porômetro em cada leitura de resistência estomática; (2) déficit de saturação de vapor d'água do ar, medido por psicrômetro de pares termo-elétricos, localizados ao nível do topo da cultura; (3) velocidade do vento a 2 m acima do solo, determinada no perfil de vento, médio de 10 min, medido com anemômetros de célula foto-elétrica. Foi utilizado modelo de cálculo testando 25 combinações de transformações das variáveis independente e dependente, para seleção da função que melhor se ajustou a cada uma delas.

Nas análises de regressão foram utilizados resultados observados das 7 h às 15 h, procurando minimizar a interação dos fatores endógenos com os do meio. Na avaliação do efeito simples de cada variável independente, foram impostas condições de contorno, buscando manter os demais fatores do meio em nível não limitante. Este procedimento foi baseado em análise prévia dos resultados, avaliando as tendências da resposta estomática a cada fator do ambiente.

Quadro 1. Análise de regressão linear simples, com transformações de X e Y, de resistência estomática total à difusão gasosa $-Y(s.cm^{-1})$, em função da radiação fotossinteticamente ativa - RFA ($\mu E.m^{-2}.s^{-1}$), déficit de saturação de vapor do ar - DS (mmHg) e velocidade do vento ($m.s^{-1}$), em feijoeiro cultivar Aroana 80 (Piracicaba, SP, 1983).

Var. indep. (x)	Condições de contorno	eq. regressão	r^2	F	nº pares	erro padrão	
						a	b
RFA	DS < 14; vento < 3.0; irrigado	$Y^2 = -4.238 + 9062X^{-1}$	0.897	182.91**	23	2.048	670.087
RFA	DS < 10; vento < 4.0; irrigado	$Y^{-1} = -1.458 + 0.317 \ln X$	0.724	34.164**	15	0.368	0.054
DS	RFA > 750; vento < 3.0; irrigado	$Y^{-1} = 0.900 - 1.870.10^{-3}X^2$	0.331	11.880**	26	0.072	5.424
DS	RFA > 750; vento < 3.0; não irrigado	$Y^{1/2} = 1.176 + 0.003 X^2$	0.710	31.506**	15	0.118	5.267
Vento	RFA < 750; DS < 14.0; irrigado	$Y = 0.965 + 0.109 X^2$	0.632	53.151**	33	0.200	0.015
Vento	RFA > 750; DS < 10.0; irrigado	$1 nY = -0.546 + 0.365 X$	0.790	82.522**	24	0.140	0.040

** - Significativo ao nível de 1% de probabilidade ($P \leq 0.01$)

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Quadro 1 e nas Figuras 1 a 6 são apresentadas análises de regressão simples, associando valores de resistência estomática total de folhas de feijoeiro aos fatores radiação fotossinteticamente ativa, déficit de saturação de vapor d'água do ar junto às plantas e velocidade do vento a 2 m acima do solo. Os modelos apresentados são aqueles que melhor se ajustaram, relacionando a resistência estomática aos fatores citados.

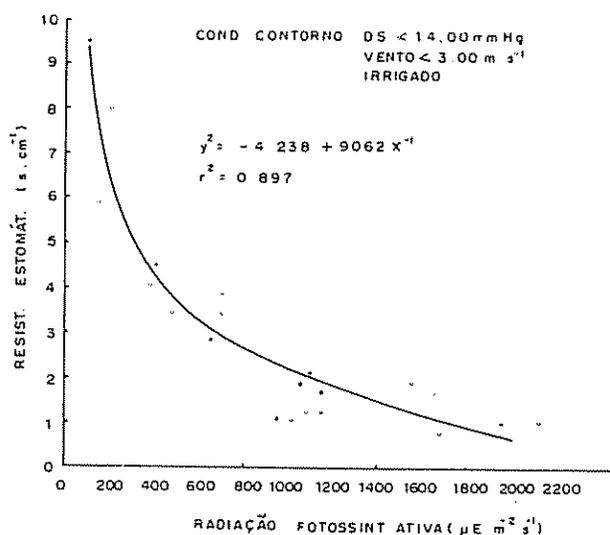


Fig. 1. Resistência estomática à difusão gasosa em feijoeiro irrigado ($s \cdot cm^{-1}$), em função da radiação fotossinteticamente ativa ($\mu E \cdot m^{-2} \cdot s^{-1}$), com déficit de saturação de vapor d'água no ar (DS) inferior a 14 mmHg e velocidade do vento inferior a $3 m \cdot s^{-1}$ (Piracicaba, SP, 1983).

Pode-se verificar que a mudança nos limites de uma das variáveis, apenas, altera o modelo que associa a resistência estomática a outra variável independente, o que mostra interação entre ambas. Contudo, é importante salientar que estas relações de causa-efeito são um tanto restritas pelo fato de que a variação de cada fator, bem como as suas combinações, não abrangem níveis extremos. Como enfatizou Jarvis (10), tal abrangência é difícil de ser obtida em experimentos de campo, onde a densidade de fluxo de radiação solar, a temperatura do ar e o déficit de saturação de vapor d'água do ar, por exemplo, tendem a se correlacionar. Por esta razão, segundo o autor, deve haver uma seleção adequada nos dados de campo para a análise ou, quando possível, controlar artificialmente o ambiente, para que as correlações entre as variáveis do meio sejam minimizadas.

Pela Quadro 1 e Figuras 1 e 2, verifica-se que a resistência estomática esteve associada à densidade de fluxo da radiação fotossinteticamente ativa (RFA)

segundo uma exponencial negativa, concordando com resultados de Kuiper, citado por Kanemasu e Tanner (12). Este efeito direto da densidade de fluxo luminoso sobre a abertura estomática também foi descrito em outras espécies, conforme citações de Bergamaschi (2). As variações de RFA explicaram 90% das variações da resistência dos estômatos quando o déficit de saturação do ar (DS) foi inferior a 14 mm Hg, o vento a 2 m acima do solo teve velocidades inferior a $3 m \cdot s^{-1}$ e as plantas receberam irrigação (Fig. 1). Reduzindo o limite de DS para 10 mm Hg e aumentando a velocidade do vento para $4 m \cdot s^{-1}$, RFA explicou 72% das variações da resistência estomática (Fig. 2).

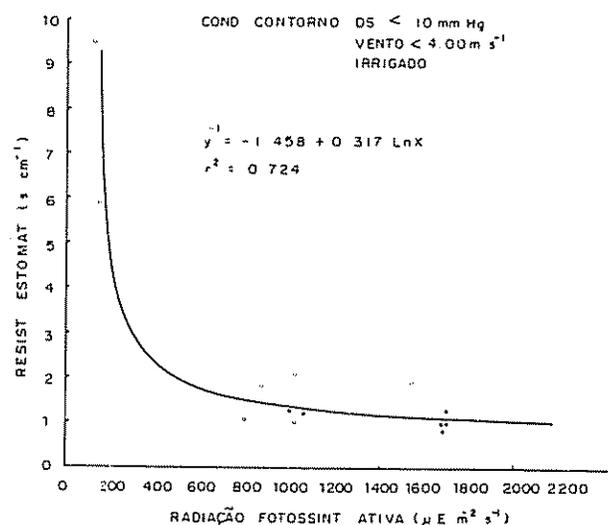


Fig. 2. Resistência estomática à difusão gasosa em feijoeiro irrigado ($s \cdot cm^{-1}$), em função da radiação fotossinteticamente ativa ($\mu E \cdot m^{-2} \cdot s^{-1}$), com déficit de saturação de vapor d'água no ar (DS) inferior a 10 mm Hg e velocidade do vento inferior a $4 m \cdot s^{-1}$ (Piracicaba, SP, 1983).

O déficit de saturação de vapor d'água do ar junto às plantas mostrou aumentar exponencialmente a resistência estomática à difusão gasosa, concordando com resultados de Schulze *et al.* (17, 18, 19) e Moldau e Syber (15). No entanto, na cultura irrigada o DS explicou apenas 33% das variações da abertura estomática (Fig. 3), enquanto que na condição de déficit hídrico esta associação aumentou para 71% (Fig. 4), mantidas a RFA acima de $750 \mu E \cdot m^{-2} \cdot s^{-1}$ e a velocidade do vento abaixo de $3 m \cdot s^{-1}$. A maior resposta à umidade e à temperatura do ar (DS combina estes dois elementos), quando as plantas são submetidas à condição de deficiência hídrica no solo foi mostrada por Schulze *et al.* (18, 19). Por outro lado, a baixa resposta observada na condição de irrigação também pode ser devida a que, durante o período analisado, o déficit de saturação junto à plantas não foi muito elevado, atingido extremos de 14 mm Hg, ao

passo que, em parcelas não irrigadas essa variável atingiu 20 mm Hg. De qualquer modo, este efeito exponencial de demanda evaporativa do ar da camada limite sobre a resistência estomática evidencia e interação destes dois fatores (solo e atmosfera) sobre as plantas.

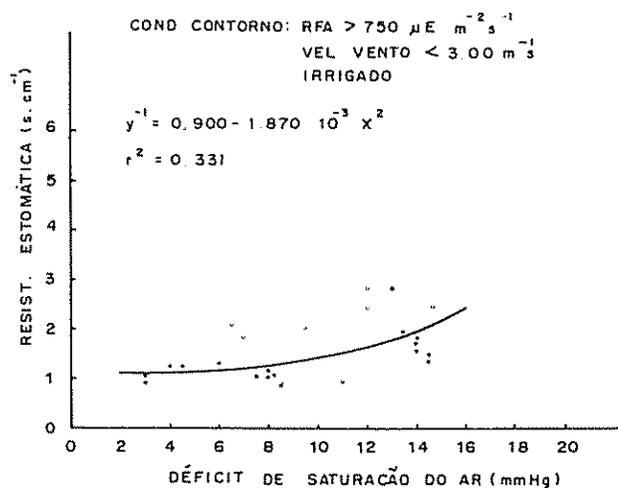


Fig. 3. Resistência estomática à difusão gasosa em feijoeiro irrigado (s cm^{-1}), em função do déficit de saturação de vapor d'água no ar (mm Hg), com radiação fotossinteticamente ativa (RFA) superior a $750 \mu\text{E m}^{-2} \text{s}^{-1}$ e velocidade do vento inferior a 3 m s^{-1} (Piracicaba, SP, 1983).

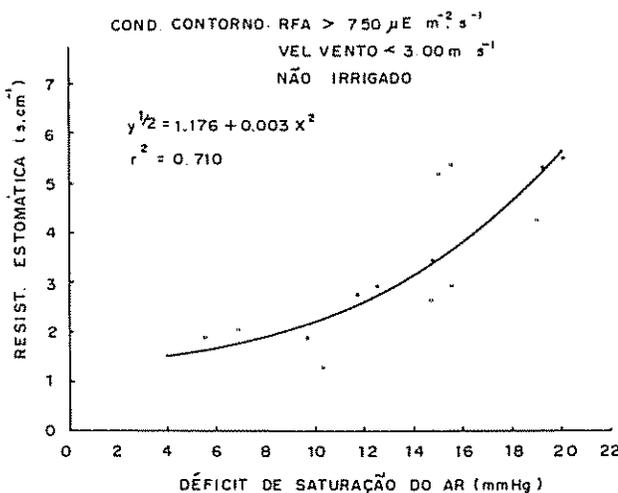


Fig. 4. Resistência estomática à difusão gasosa em feijoeiro não irrigado (s cm^{-1}), em função de déficit de saturação de vapor d'água no ar (mm Hg), com radiação fotossinteticamente ativa (RFA) superior a $750 \mu\text{E m}^{-2} \text{s}^{-1}$ e velocidade do vento inferior a 3 m s^{-1} (Piracicaba, SP, 1983).

A resistência estomática aumentou de forma exponencial em resposta à velocidade do vento, concordando com resultados de O'Toole e Hatfield (16). Na

cultura irrigada, com RFA acima de $750 \mu\text{E m}^{-2} \text{s}^{-1}$ e com DS inferior a 14 mm Hg, a velocidade do vento explicou 63% das variações na abertura estomática (Fig. 5). Reduzindo o limite do DS para 10 mm Hg, a associação entre aquelas variáveis aumentou para 79% (Fig. 6), indicando que a umidade do ar interferiu no efeito do vento sobre o mecanismo estomático.

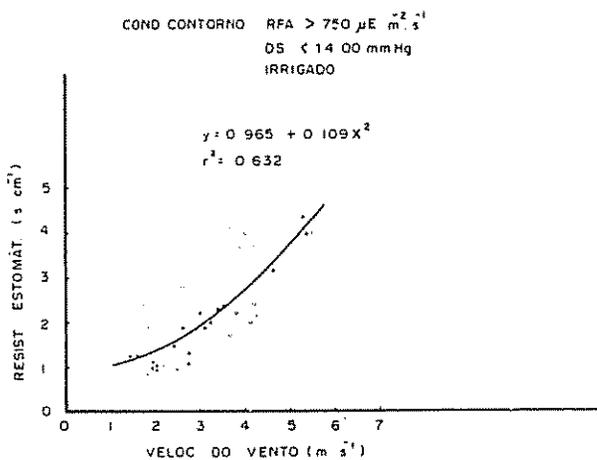


Fig. 5. Resistência estomática à difusão gasosa em feijoeiro irrigado (s cm^{-1}), em função da velocidade do vento (m s^{-1}), com radiação fotossinteticamente ativa (RFA) superior a $750 \mu\text{E m}^{-2} \text{s}^{-1}$ e déficit de saturação de vapor d'água no ar (DS) inferior a 14 mm Hg (Piracicaba, SP, 1983).

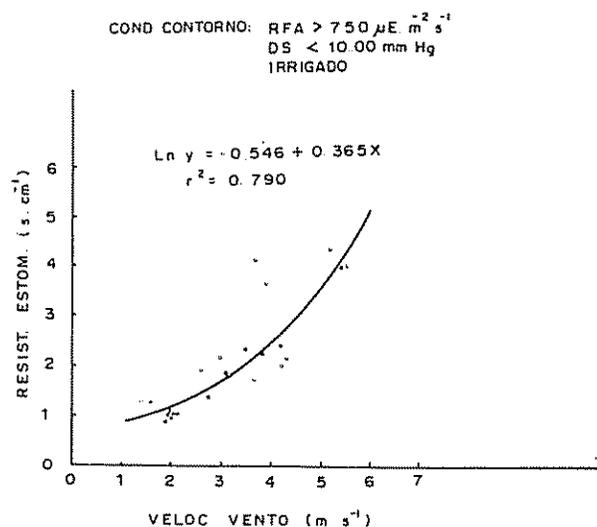


Fig. 6. Resistência estomática à difusão gasosa em feijoeiro irrigado (s cm^{-1}), em função da velocidade do vento (m s^{-1}), com radiação fotossinteticamente ativa (RFA) superior a $750 \mu\text{E m}^{-2} \text{s}^{-1}$ e déficit de saturação de vapor d'água no ar (DS) inferior a 10 mm Hg (Piracicaba, SP, 1983).

As respostas dos estômatos à demanda evaporativa da atmosfera e à disponibilidade hídrica do solo

mostram que o fechamento estomático é um mecanismo sensível e destinado a reduzir o déficit hídrico nas plantas para suportar determinados períodos de seca, conforme referiram-se Kanemasu e Tanner (11) e Hsiao *et al.* (9), muito embora as respostas em termos de desenvolvimento da planta e da superfície foliar tenham-se mostrado ainda mais sensíveis (2).

CONCLUSÕES

Para as condições sob as quais foram obtidos os resultados, conclui-se que:

Na ausência de limitações por outros fatores, a resistência dos estômatos do feijoeiro esteve associada à densidade de fluxo da radiação fotossinteticamente ativa segundo uma exponencial negativa, sendo a variável do meio que melhor explicou as variações da abertura estomática na cultura irrigada.

A velocidade do vento aumentou exponencialmente a resistência estomática, sendo a segunda variável do ambiente que melhor explicou as alterações da abertura dos estômatos em plantas irrigadas.

O déficit de saturação de vapor d'água do ar da camada limite da cultura também aumentou exponencialmente a resistência estomática à difusão gasosa. Entretanto, este efeito somente se pronunciou em plantas sujeitas a deficiência hídrica no solo.

A resistência estomática do feijoeiro mostrou responder à interação entre a disponibilidade hídrica no solo e a demanda evaporativa da atmosfera, bem como entre as variáveis analisadas.

LITERATURA CITADA

- ASTON, M.J. 1976. Variation of stomatal diffusive resistance with ambient humidity in sunflower (*Helianthus annuus*). Australian Journal of Plant Physiology 3:489-501.
- BERGAMASCHI, H. 1984. Perda de água e desenvolvimento do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.) sob diferentes condições de disponibilidade hídrica no solo e da atmosfera. Tese Ph.D. Piracicaba, ESALQ/USP. 204 p.
- BERGAMASCHI, H.; VIEIRA, H.J.; OMETTO, J.C.; ANGELOCCI, L.R.; LIBARDI, P.L. 1988a. Deficiência hídrica em feijoeiro. I. Análise de crescimento e fenologia. Pesquisa Agropecuária Brasileira 23(7):733-743.
- BERGAMASCHI, H.; OMETTO, J.C.; VIEIRA, H.J.; ANGELOCCI, L.R.; LIBARDI, P.L. 1988b. Deficiência hídrica em feijoeiro. II. Balanço de energia. Pesquisa Agropecuária Brasileira 23(7):745-757.
- BLACK, T.A.; TANNER, C.B.; GARDNER, W.R. 1970. Evapotranspiration from a snap bean crop. Agronomy Journal 62:66-69.
- BLACK, C.R.; SQUIRE, C.R. 1979. Effects of atmosphere saturation deficit on the stomatal conductance on pearl millet (*Pennisetum typhoides* S. e H.) and groundnut (*Arachis hypogaea* L.). Journal of Experimental Botany 30:935-945.
- FARQUHAR, G.D. 1978. Feedforward responses of stomata to humidity. Australian Journal of Plant Physiology 5:787-800.
- GATES, D.M. 1980. Biophysical ecology. New York, Springer-Verlag. 611 p.
- HSIAO, I.C.; O'TOOLE, J.C.; FOODMAR, V.S. 1979. Water stress as a constraint to crop production in the tropics. In Conferência Priorities for Alleviating Soil-Related Constraints to Food Production in the Tropics (1979, Los Baños, Philippines). IRRI. (Preprinted Paper).
- JARVIS, P.G. 1976. The interpretations of the variations in leaf water potential and stomatal conductance found in the field. Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Serie B- Biological Sciences 273:593-610.
- KANEMASU, E.T.; TANNER, C.B. 1969a. Stomatal diffusion resistance of snap beans. I. Influence of leaf water potential. Plant Physiology 44:1547-1552.
- KANEMASU, E.T.; TANNER, C.B. 1969b. Stomatal diffusion resistance of snap beans. II. Effect of light. Plant Physiology 44:1542-1546.
- KAUFMANN, M.R. 1976. Water transport through plants: Current perspectives. In Transport and transfer processes in plants. I.F. Wardlaw, J.B. Passoura (Eds). New York, Academic Press. 484 p.
- MEIDNER, H.; MANSFIELD, T.A. 1968. Physiology of stomata. London, Mc Hill. 179 p.
- MOLDAU, K.A.; SYBER, A.Y. 1975. Effect of air humidity on the conductivity of stomates and mesophyll of beans leaves at two values of soil moisture. Soviet Plant Physiology 21(4):663-668.
- O'TOOLE, J.C.; HATFIELD, J.L. 1983. Effect of wind on the crop water stress index derived by infrared thermometry. Agronomy Journal 75:811-817.
- SCHULZE, E.D.; LANGE, O.L.; BUSCHBOM, U.; KAPPEN, L.; EVENARI, M. 1972. Stomatal responses to changes in humidity in plants growing in the desert. Planta 108:259-270.
- SCHULZE, E.D.; LANGE, O.L.; KAPPEN, L.; BUSCHBOM, U.; EVENARI, M. 1973. Stomatal responses to changes in temperature at increasing water stress. Planta 110:29-42.

- 19 SCHULZE, E.D.; LANGE, O.L.; KAPPEN, L.; EVENARI, M.; BUSCHBOM, H. 1975. The role of air humidity and leaf temperature in controlling stomatal resistance of *Prunus armeniaca* L. under desert conditions. II. The significance of leaf water status and interval carbon dioxide concentration. *Oecologia* 18:219-233.
- 20 SIVAKUMAR, M.V.K.; SHAW, R.H. 1979. Stomatal conductance and leaf water potential of soybeans under moisture stress. *Iowa State Journal of Research* 54(1):17-27.
- 21 SLATYER, R.O. 1967. *Plant-water relationships*. New York. Academic Press. 366 p.
- 22 TEARE, I.D.; KANEMASU, E.T.; POWERS, N.L.; JACOBS, H.S. 1973. Water use efficiency and its relations to crop canopy area, stomatal regulation and root distribution. *Agronomy Journal* 65:207-211.

RESEÑA DE LIBROS

GROOT, J.J.R.; WILLIGEN P. DE; VERBERNE, E.L.J. (EDS.). 1990. Nitrogen turnover in the soil-crop system. Dordrecht, Holanda, Kluwer Academic Publ. 388 p.

La investigación agrícola moderna tiene entre sus retos el alcanzar una producción económicamente adecuada, sin causar deterioro ambiental. El manejo correcto de los abonos con base en N inorgánico no es fácil en los sistemas productivos. Un conocimiento y una representación adecuada, por medio de modelos de este ciclo del N en suelos, plantas y aguas, son la meta de muchas investigaciones que se llevan a cabo, especialmente en algunas regiones de Europa Occidental donde la aplicación de abono es frecuente, el clima relativamente húmedo y los requerimientos de limpieza ambientales elevados.

El Instituto para Investigaciones de Fertilidad de Suelos de Holanda celebró su centenario reuniendo investigadores en este campo, especialmente de Europa Occidental y un representante de Canadá. Se evaluaron los diferentes sistemas de modelaje, tomando como referencia datos registrados en Holanda. Así se observó su utilidad para asesorar a los agricultores y determinar las áreas que requieren investigación adicional.

Se denotó que muchos de los modelos predecían el comportamiento del trigo, cultivo usado para este estudio; pero, en cuanto a la suerte del N en el suelo, todavía se necesita mayor investigación, sobre todo para determinar las pérdidas en el suelo y su llegada a

las aguas subterráneas, reservas de agua potable en muchos casos.

La información resumida indicó, con cierta frecuencia, que modelos muy sofisticados y con una gran cantidad de datos no contribuyeron más a lograr mejores predicciones que los sencillos.

El libro refleja la gran preocupación de muchos investigadores de países industrializados y el progreso alcanzado en este campo, donde aún hay bastante por hacer, como por ejemplo aclarar el comportamiento del N en el suelo, especialmente en su relación con la masa microbiana, expuesta a cambios rápidos, lo que sin duda es uno de los temas cuyo conocimiento contribuirá a la comprensión total del sistema. Por otro lado hace falta información referente a las condiciones de los trópicos húmedos, donde el uso de N inorgánico es considerable y presenta problemas. Las condiciones climáticas especiales de estas regiones presentaron enfoques nuevos, que tal vez, algún día, permitirán el empleo de un modelo universal para cada cultivo.

Los capítulos tienen bibliografías más o menos completas. Lastimosamente el libro no tiene un índice que habría hecho más sencillo su uso. Sin duda es una referencia muy útil en un campo de gran actualidad: el agrícola y de conservación ambiental.

ELEMER BORNEMISZA
UNIVERSIDAD DE COSTA RICA

Comparación de las Dietas del Guanaco, Ovino y Bovino en Tierra del Fuego, Argentina¹

N. Bonino*, A. Pelliza Sbriller*

ABSTRACT

A microscopic analysis of faeces was used to determine the diet of guanacos (*Lama guanicoe*), sheep (*Ovis aries*) and cattle (*Bos taurus*) in the steppe and the forest-steppe ecotone of Tierra del Fuego, Argentina, during the different seasons of 1986. The plant species identified were grouped as grasses, sedges (Juncaceae and Ciperaceae), herbs and shrubs, trees and lichens. In both study areas, and especially in the steppe, grasses were the principal group in the diet of all animals. The most important grass was *Festuca* spp. In all cases, except for the sheep in the steppe, where *Puccinellia* spp. was the predominant species. In general, the diversity of plant species in the diet of animals studied was highest in the ecotone area and there was no significant difference in the incidence. The composition of the diets consumed by the three animal species was very similar and greatest in the ecotone, where the degree of similarity was at least 65%; the correlation of diet composition between animals was significant.

Key words: South American camelids, ruminants, fecal analysis.

COMPENDIO

Con base en el análisis microscópico de las heces se determinaron las dietas del guanaco (*Lama guanicoe*), del ganado ovino (*Ovis aries*) y del ganado bovino (*Bos taurus*), en la estepa y en el ecotono bosque-estepa en Tierra del Fuego, Arg., en diferentes épocas de 1986. Las especies vegetales identificadas se reunieron en cinco grandes grupos: gramíneas, graminoides (juncáceas y ciperáceas), hierbas y arbustos, árboles y líquenes. En ambas áreas de estudio, especialmente en la estepa, las gramíneas eran el grupo principal en la dieta de todos los animales. Siempre la más importante fue *Festuca* spp., excepto para el ganado ovino de estepa, donde fue suplantada por *Puccinellia* spp. En general, la diversidad de especies vegetales en la dieta de los animales fue mayor en el área de ecotono y no hubo diferencias significativas entre ellos. La similitud de dietas de las tres especies animales también fue mayor en el ecotono, y, en todos los casos, superó el 65%, existiendo una correlación significativa ($P < 0.01$) en la dieta de todos los herbívoros.

Palabras claves: Camélidos suramericanos, rumiantes, análisis fecal.

INTRODUCCION

El guanaco (*L. guanicoe*) es el único ungulado que caracteriza la fauna silvestre autóctona de la isla Tierra del Fuego, en Argentina. La colonización de este territorio trajo consigo, entre otros, la introducción del ganado doméstico (principalmente ovino), que invadió el hábitat del guanaco, con el consiguiente efecto sobre esa población. Posiblemente entre ambas especies se estableció una competencia por el alimento, causa probable del desplazamiento del guanaco de algunas áreas de la isla (2, 9).

El objetivo de este trabajo es comparar, con base en el análisis de heces, las dietas del guanaco, ovino y bovino en la estepa y en el ecotono bosque-estepa en Tierra del Fuego, Arg.

Area de estudio

Las heces utilizadas en los análisis fueron recolectadas en dos áreas del sector: estepa y ecotono bosque-estepa (3).

La estepa, conocida como "Estepa Magallánica", abarca la parte norte de la isla con una superficie de 4180 km² (Fig. 1). De relieve ondulado, esta zona presenta cañadones que limitan planicies bajas y húmedas ("vegas") con abundante vegetación herbácea compuesta por diferentes especies de gramíneas (*Festuca* spp., *Poa* spp., *Bromus* spp., *Agrostis* spp.), dicotiledóneas (*Taraxacum officinale*, *Caetha sagittata*), ciperáceas (*Carex* spp.) y juncáceas (*Juncus* spp., *Luzula* spp.). Las tierras altas se encuentran cubiertas, generalmente, por plantas de "coirón dulce" (*Festuca gracillima*), "mata negra" (*Chiliorichum difussum*), y "murtilla" (*Empetrum rubrum*). Dentro de la Estepa Magallánica se encuentra una zona atípica, en la Bahía San Sebastián, que consiste en una planicie baja cubierta de pastos cortos y matorrales de "mata verde" (*Lepidophyllum cupressiforme*) y con numerosas lagunas de agua salada (3).

1 Recibido para publicación el 8 de febrero de 1990. Los autores agradecen a la Agencia de Extensión Rural del Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA), Río Grande, Arg.; y a Carola de León, por su trabajo en laboratorio.

* Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA), Bariloche, Arg.

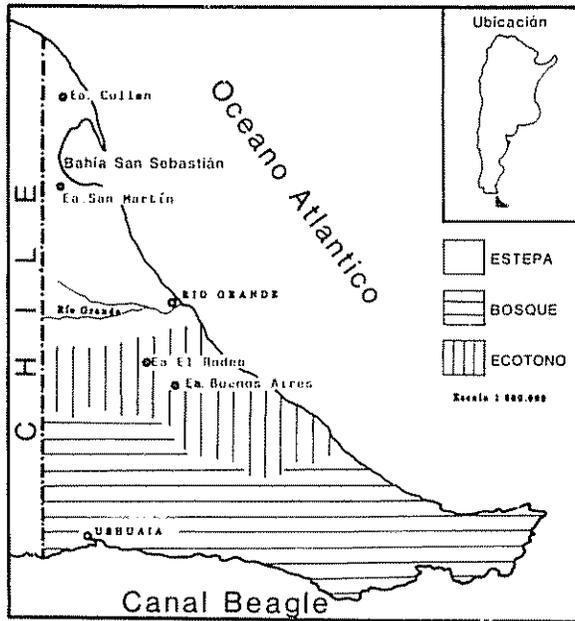


Fig. 1. Mapa de Tierra del Fuego (Arg), donde se indican las tres regiones ecológicas del estudio y las zonas de muestreo

El clima de esta estepa es templado frío, con una temperatura media anual de 5° centígrados. Las precipitaciones aumentan de norte a sur, registrándose un promedio de 380 mm anuales en Río Grande (4). La Estepa Magallánica presenta gran aptitud para la producción ganadera y, de hecho, el 50% de los ovinos y el 45.2% de los bovinos de Tierra del Fuego se encuentran en esta zona, con una carga promedio de 0.94 equivalente ovino por hectárea (4).

Entre la Estepa Magallánica y el área boscosa del sur se encuentra una zona de ecotono que abarca la parte central de la isla con una superficie de 4664 km² (Fig. 1). De relieve más pronunciado que el de la estepa, se caracteriza por la alternancia de pequeños manchones de bosque abierto de ñire (*Nothofagus antarctica*), que alternan con la estepa de coirón en las partes elevadas, y con comunidades herbáceas ("vegas") en las depresiones. El bosque aumenta en superficie y densidad hacia el sur y el oeste, donde la lenga (*N. pumilio*) se incorpora al estrato arbóreo (3). El clima es más frío y húmedo que el de la estepa --no se cuenta con registros sobre temperatura y precipitación. Las nevadas son frecuentes y, durante el invierno, la parte sur del área generalmente permanece cubierta por la nieve (4).

En la región de ecotono se encuentra el 44.6% del ganado ovino y el 35.8% del ganado bovino de la isla, con una carga promedio de 0.74 equivalente ovino por hectárea (4).

MATERIALES Y METODOS

Los resultados del análisis de la dieta del guanaco en Tierra del Fuego fueron obtenidos en 1986 por Bonino y Sbriller (1). En este trabajo se comparan con los obtenidos para las dietas de la oveja y del ganado bovino, en las mismas áreas y épocas de dicho año.

La composición botánica de la dieta se determinó por medio del análisis microhistológico de la materia fecal (5, 13, 14). La recolección de heces se realizó en las estancias San Martín y Cullen, ubicadas en el área de estepa, y en los alrededores de las estancias Buenos Aires y El Rodeo, en el área de ecotono bosque-estepa (Fig. 1). Los muestreos se efectuaron en abril (otoño), agosto (invierno) y noviembre-diciembre (primavera-verano) de 1986. De cada muestra se realizaron cinco preparados, de los cuales se analizó con 250 aumentos un total de 250 campos microscópicos para la identificación de fragmentos vegetales (7). Se identificaron las especies de plantas, las cuales se reunieron en cinco grandes grupos vegetales: gramíneas, gramínoideas (juncáceas y ciperáceas), hierbas y arbustos, árboles y líquenes.

La composición botánica de las dietas se expresa como la frecuencia relativa de cada especie vegetal presente en la dieta; no se efectuaron correcciones que tomaran en cuenta la digestibilidad diferencial entre especies de plantas.

La diversidad de especies vegetales en la dieta se estimó al utilizar la fórmula de Shannon (6).

$$H' = - \sum_{i=1}^n (N_i/N) \log_2 (N_i/N)$$

donde: H' = diversidad trófica;
 N_i = valor de la especie i en la dieta;
 N = suma de los valores correspondientes a todos los componentes de la dieta.
 En este caso, debido a que se trabajó con frecuencias relativas, $N = 100$

También se estimó la similitud de especies en la dieta, para lo cual se aplicó el índice de Bray y Curtis (8)

$$I_s = M_w (\%)$$

donde: M_w = suma de los valores más pequeños de las especies vegetales en común de las dietas que se comparan.

Para calcular el grado de asociación entre la dieta del guanaco y la de las especies domésticas, se empleó

el coeficiente de correlación de rango de Spearman (Rs) con un nivel de significación $P \leq 0.01$ (11, 12).

Las diferencias entre grupos vegetales, a lo largo del año, se sometieron a pruebas de significancia (Chi cuadrado) al nivel de $P \leq 0.01$ (12).

RESULTADOS

Area de estepa

En la Fig. 2 se pueden apreciar los porcentajes de los distintos grupos vegetales en la dieta del guanaco, ovino y bovino, en diferentes épocas del año y el promedio anual.

A lo largo del año, las gramíneas constituyeron el grupo principal en la dieta de las tres especies animales.

El promedio anual alcanzó el 90% en el guanaco, 76.8%, en el ganado vacuno y 65.6%, en el ovino, valores que difirieron significativamente ($P < 0.01$) de los demás grupos botánicos, en todos los casos. En cuanto a especies vegetales, *Festuca* spp. fue la principal gramínea en la dieta del guanaco y ganado bovino, mientras que *Puccinellia* spp. lo fue en la de las ovejas. Otras gramíneas relativamente importantes fueron *Poa* spp. y *Hordeum* spp.

En la dieta del ganado ovino y del bovino, otro grupo vegetal de relativa importancia fueron las hierbas y arbustos, cuyo promedio anual fue de 30.1% y 20.7%, respectivamente. Las ovejas utilizaron dicho grupo de manera similar en todas las épocas del año, mientras que el ganado bovino principalmente en invierno. Entre las especies más importantes merecen mencionarse a *Salicornia ambigua* y *Colobanthus subulathus*.

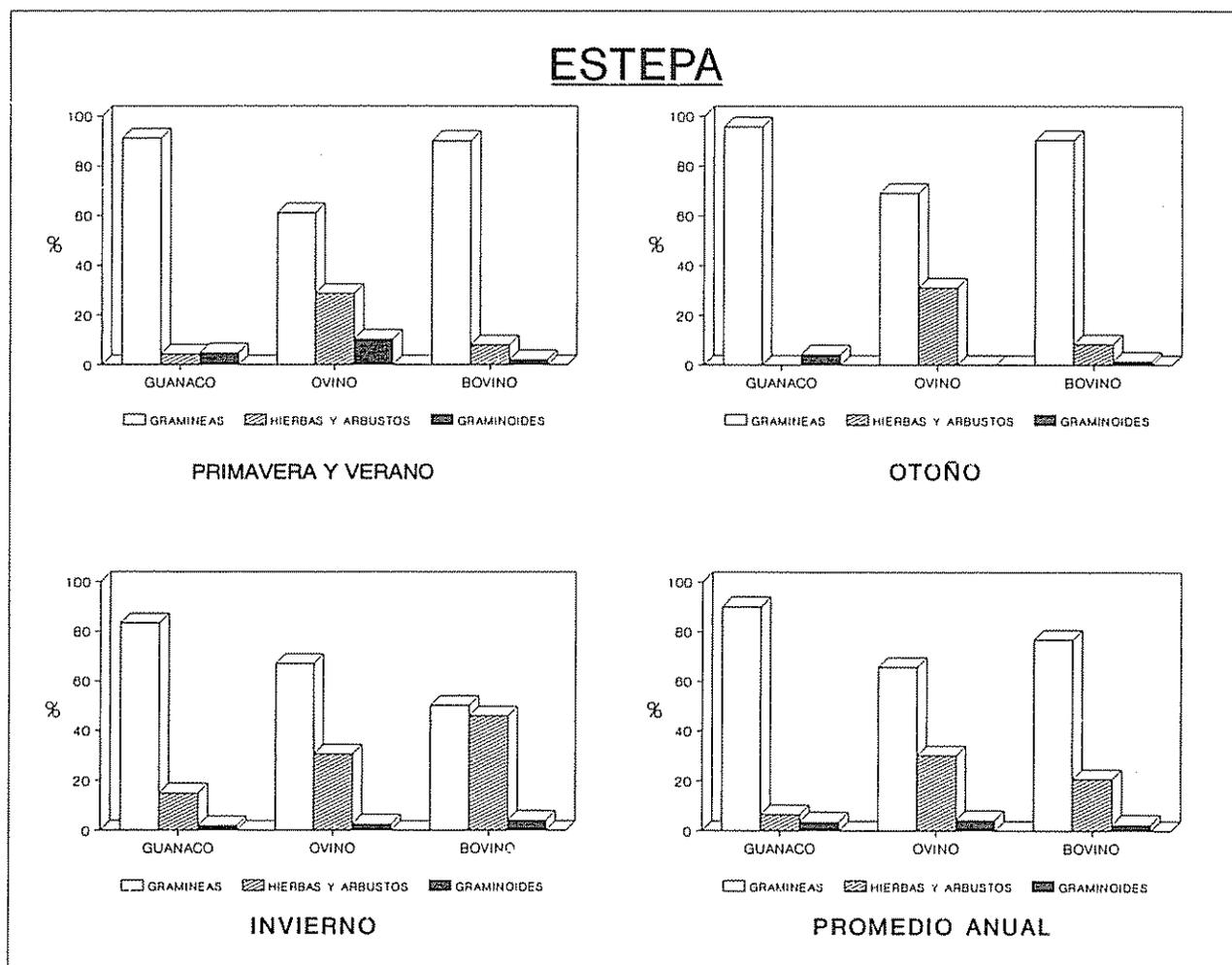


Fig. 2. Proporción de los diferentes grupos de especies vegetales en las dietas del guanaco, ganado ovino y bovino en la estepa de Tierra del Fuego, Arg.

El grupo de las plantas gramínoideas no superó el 5% anual en la dieta de ningún animal.

Cuadro 1. Promedio anual de la diversidad de especies vegetales (Índice de Shannon) en las dietas del guanaco, ganados ovino y bovino, en el área de estepa y de ecotono bosque-estepa en Tierra del Fuego, Arg.

	Estepa	Ecotono
Guanaco	1.63	2.17
Ganado ovino	2.05	2.09
Ganado bovino	1.74	2.04

Con respecto a la diversidad de especies vegetales en la dieta (Cuadro 1), el mayor índice anual correspondió al ganado ovino, seguido por el bovino y el guanaco, aunque los promedios respectivos no difieren significativamente entre sí. La época en que el índice de diversidad alcanzó su máxima expresión en la dieta de los tres herbívoros fue el invierno, lo cual indica que, durante esta época crítica, éstos utilizan todos los recursos alimenticios disponibles.

Cuadro 2. Promedio anual del índice de similitud (Is) y coeficiente de correlación de Spearman (Rs) entre las dietas del guanaco, ovino y bovino, en el área de estepa y de ecotono bosque-estepa en Tierra del Fuego, Arg.

	Estepa		Ecotono	
	Is (%)	Rs	Is (%)	Rs
Guanaco <i>versus</i> ovino	52	0.60	66	0.58
Guanaco <i>versus</i> bovino	63	0.59	69	0.58
Bovino <i>versus</i> ovino	53	0.63	68	0.47

La mayor similitud de dieta, a lo largo del año, se dio entre el guanaco y ganado bovino (63%), seguido del ovino-bovino (53%) y del guanaco-ovino (52%), aunque las diferencias entre sí no fueron significativas (Cuadro 2). El coeficiente de correlación indica la existencia de una asociación significativa ($P < 0.01$) entre la dieta de los pares de herbívoros mencionados.

Área de ecotono bosque-estepa

En la Fig. 3 se presentan las frecuencias de los distintos grupos vegetales en la dieta del guanaco, del

ganado ovino y del bovino, en diferentes épocas del año, y el promedio anual.

Al igual que en la estepa, el grupo más importante en la dieta de los animales estudiados lo integraron las gramíneas, cuyo promedio anual fue 38.9% en el guanaco, 41%, en el ovino y 39.9%, en el bovino. En todos los casos, la gramínea más importante fue *Festuca* spp., seguida por *Poa* spp. y *Agrostis* spp., mientras que *Carex* spp. se constituyó en la principal planta gramínoidea. La frecuencia de gramíneas y gramínoideas fue similar, a lo largo del año, en la dieta de las tres especies animales. En la dieta anual del guanaco, las gramíneas difirieron significativamente de los grupos restantes cuyos promedios fueron semejantes entre sí y, en ningún caso, superaron el 22 por ciento. En el caso del ganado ovino, la frecuencia anual de las gramíneas (41%) no difirió de la correspondiente a las gramínoideas (37.1%), pero sí de la de los árboles (12.5%) y hierbas y arbustos (9.4%). Algo similar ocurrió en el bovino, donde el promedio anual de las gramínoideas fue 38.6%, mientras que el de hierbas y arbustos, 14%, y el de árboles, 7.5 por ciento.

La frecuencia de árboles fue relativamente constante, a lo largo del año, en la dieta del guanaco y de la oveja, mientras que en la del ganado bovino fue mayor en primavera y verano. En todos los casos los árboles, fuente de alimento, fueron *N. antarctica* y *N. pumilio*, únicas especies arbóreas presentes en el área de estudio.

Las hierbas y arbustos fueron consumidos por el ganado ovino y bovino, principalmente en la época invernal, mientras el guanaco los consumió en forma pareja todo el año. Las especies que se destacaron en dicho grupo vegetal fueron la mata negra y *Berberis* spp., especialmente en la dieta del guanaco y del ganado bovino.

El guanaco es el único animal que presentó líquenes en su dieta, aunque solamente en otoño e invierno y en muy baja proporción (2% y 3%, respectivamente). No se descarta una subestimación de dicho grupo en la dieta, según lo señalan Bonino y Sbriller (1).

En cuanto a la diversidad de especies vegetales en la dieta (Cuadro 1), el mayor promedio anual correspondió al guanaco, aunque este valor no difirió significativamente del correspondiente al ganado ovino y bovino. En este caso, también fue en la época invernal cuando la dieta de los tres animales alcanzó la mayor diversidad.

Las medias anuales de similitud de dieta resultaron ser semejantes en todos los pares de animales analizados y ligeramente mayores que los correspon-

dientes al área de estepa. El par guanaco-bovino presentó un valor del 69%, ovino-bovino, del 68% y guanaco-ovino, del 66 por ciento. Al igual que en la estepa, dichas especies presentaron entre sí una asociación significativa ($P \leq 0.01$) en la composición de sus dietas.

DISCUSION

Se desconoce la existencia de estudios en que se compara la dieta del guanaco con la del ganado doméstico. La escasa información disponible se refiere a otras especies afines al guanaco, especialmente a la llama, *L. glama*, y a la alpaca, *L. pacos* (10).

En Tierra del Fuego se observó un patrón bastante semejante en la composición de la dieta anual del guanaco, del ganado ovino y del bovino. Los pastos

constituyeron la base principal de las dietas en todas las épocas, aunque en el ecotono todos los animales, y en especial el guanaco, usaron más extensivamente los recursos forrajeros disponibles. Esto probablemente se debe a que en dicha área las condiciones climáticas durante el otoño y el invierno son más rigurosas que en la estepa, por lo cual la disponibilidad de alimento se torna más crítica en dicha época. El guanaco es el único animal que presenta consumo de líquenes en el ecotono, si bien en baja proporción, lo cual sumado a las afirmaciones anteriores llevaría a pensar en que esta especie está mejor adaptada que el ganado doméstico en el uso de una amplia gama de recursos forrajeros.

La gran similitud de dieta entre el guanaco, la oveja y el ganado bovino indica la existencia de una interacción competitiva potencial por la utilización de los recursos forrajeros, tanto en la estepa como en el ecotono bosque-estepa.

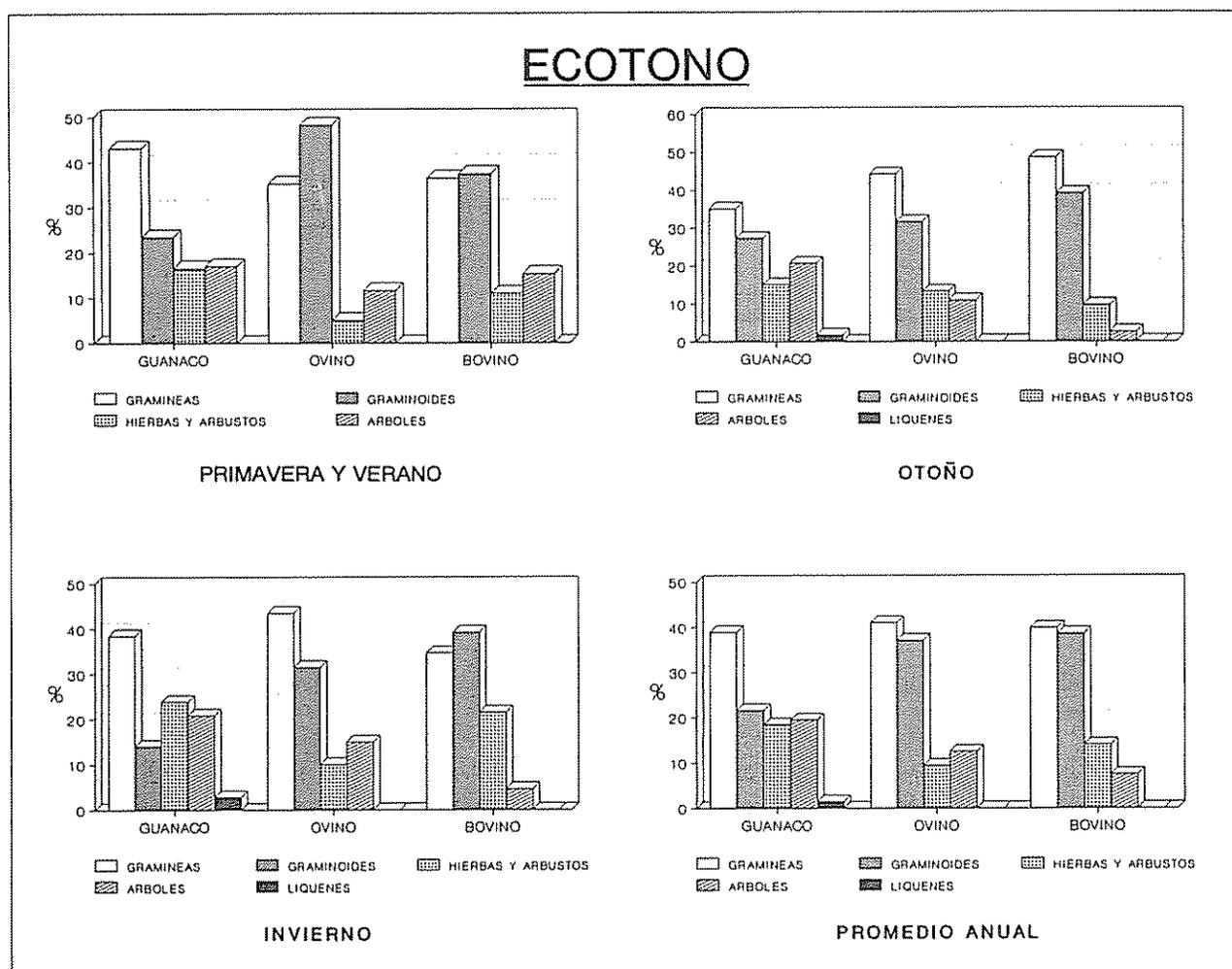


Fig. 3. Proporción de los diferentes grupos de especies vegetales en las dietas del guanaco, ganado ovino y bovino en la estepa de Tierra del Fuego, Arg.

LITERATURA CITADA

1. BONINO, N.; PELLIZA SBRILLER, A. 1986 Composición botánica de la dieta del guanaco (*Lama guanicoe*) en Tierra del Fuego, Argentina. EEA Bariloche, Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria. Informe Técnico 14 p.
2. BONINO, N.; FERNANDEZ, E. 1989 Estimación de las poblaciones de guanacos (*Lama guanicoe*) en Tierra del Fuego, Argentina. Dirección de Recursos Naturales de Tierra del Fuego. Boletín no. 1 13 p.
3. CASSOLA, A G.; LATOUR, M C.; PEREYRA, J. A.; SERRA, J. 1975 Relevamiento de vegetación. In Relevamiento expeditivo de los recursos naturales de la zona cordillerana de la región Patagónica: Informe técnico. J.A. Vallerini, L.E. Cohen, A.A. Marcolin, A.G. Cassola, M.C. Latour, J.A. Pereyra, J. Serra (Eds.). Arg., Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria, Consejo Federal de Inversiones 185 p.
4. CATALANO, A.; FERNANDEZ, E. 1986 Aspectos de la producción pecuaria de las distintas zonas agroecológicas de la Tierra del Fuego: Informe técnico. AER Río Grande, Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria. 12 p.
5. HOLECHIEK, J.L. 1982. Sample preparation techniques for microhistological analysis. Journal of Range Management 35:541-542.
6. HURTUBIA, J. 1973. Trophic diversity measurement in sympatric predatory species. Ecology 54:885-890.
7. LATOUR, M.C.; PELLIZA SBRILLER, A. 1981. Clave para la determinación de la dieta de herbívoros en el NO de Patagonia. Revista de Investigaciones Agropecuarias 16:109-157.
8. MUELLER-DOMBOIS, D.; ELLEMBERG, H. 1974. Aims and methods of vegetation ecology. New York. Wiley. 547 p.
9. RAEDEKE, K. 1982. Habitat use by guanacos (*Lama guanicoe*) and sheep on common range, Tierra del Fuego, Chile. Turrialba 32:309-314.
10. SAN MARTIN, F.; BRYANT, F. 1987. Nutrición de los camélidos sudamericanos: Estado de nuestro conocimiento. College of Agricultural Science, Texas Technological University. Artículo Técnico T-9-505 65 p.
11. SIEGEL, S. 1986. Estadística no paramétrica. Méx., Trillas. 344 p.
12. SNEDECOR, G.W.; COCHRAN, W.G. 1967. Statistical methods. 6 ed. Ames, Iowa State University Press. 573 p.
13. SPARKS, D.R.; MALECHIEK, J.C. 1968. Estimating percentage dry weight in diets using a microscope technique. Journal of Range Management 21:264-265.
14. WILLIAMS, O.B. 1969. An improved technique for identification of plant fragments in herbivore feces. Journal of Range Management 22:51-52.

Características Agronómicas, Físicas, Químicas y Nutricias de Quince Variedades de Amaranto¹

E. Calderón*, J.M. González**, R. Bressani***

ABSTRACT

Some agronomic as well as physical, chemical and nutritional characteristics of 15 amaranth selections are presented. The selections reached physiological maturity at 110 days at a height of between 160 cm and 230 centimeters. Grain yield varied between 5129 g/27 m² to 10 484 g/27 m². Average seed weight was 0.79 mg and size 1.88 mm x 1.70 mm. Protein content averaged 13.84% and fat 6.53 per cent. Likewise, average values for lysine, threonine, leucine and tryptophan were 333, 269, 346 and 101 mg/g N, respectively. Significant differences in protein quality were found between raw processed samples; differences were also found among raw samples, but not among processed ones. The process induced a significant increase in protein quality and digestibility. Once again, the information confirms the high nutritional value of grain amaranth protein and the existence of a genetic variability among cultivars that permits selecting those with the best yield and high nutritional quality.

COMPENDIO

En el presente estudio se evalúan algunas características agronómicas de 15 selecciones de amaranto, así como las diferencias en propiedades físicas, químicas y nutricionales del grano. Las selecciones llegaron a la maduración fisiológica en 110 d, a una altura que varió entre 160 cm y 230 centímetros. El rendimiento del grano varió entre 5129 g/27 m² y 10 484 g/27 m², con lo cual se encontraron diferencias estadísticamente significativas entre cultivares. El peso promedio por semilla fue de 0.79 mg con un tamaño de 1.88 mm x 1.70 milímetros. El contenido de proteína promedió 13.84% y el de grasa cruda, 6.53 por ciento. Asimismo, los promedios en lisina, treonina, leucina y triptófano fueron 333, 269, 346, y 101 mg/g N, respectivamente. Hubo diferencias significativas en la calidad de la proteína en las muestras crudas, en comparación con las procesadas, pero también dentro de las muestras crudas, no así en las procesadas. El proceso indujo un aumento importante en la calidad y digestibilidad de la proteína. La información confirma nuevamente el alto valor nutricional de la proteína del grano de amaranto y la existencia de una variabilidad genética que permite seleccionar las variedades de mejor calidad nutricional y de mayor rendimiento.

INTRODUCCION

El amaranto (*Amaranthus* spp.) se utilizó en la época precolombina con fines alimenticios y religiosos. Por razones no establecidas cayó en desuso y actualmente se utiliza sólo en algunas comunidades indígenas de México, América Central y América del Sur. Recientemente se ha descubierto que sus hojas y granos, ambos de alta calidad proteínica (16, 18, 20), constituyen potenciales fuentes de alimento para el ser humano (2, 4, 10, 16, 18).

La calidad nutricional de la proteína del grano es importante por su contenido relativamente alto en aminoácidos azufrados y lisina (11), de los cuales hay una cantidad deficiente en las proteínas de los cereales comunes y de las leguminosas, respectivamente (5, 14).

Descubierta la utilidad del amaranto como otro recurso para la alimentación humana, es importante hacer investigaciones dentro del mismo género, a fin de clasificar los materiales de acuerdo con sus propiedades químicas, físicas y nutricias. Asimismo, se debe analizar el comportamiento de materiales introducidos, para generar información que sirva de base para las investigaciones que sobre este cultivo se realizan en diferentes países.

Estudios previos incluyen una caracterización del germoplasma del amaranto en Guatemala (6), así como evaluaciones agronómicas y de composición química de varios grupos de muestras de diferentes especies (9, 15). En el presente estudio se evaluaron 15 materiales que representan tres especies, con el propósito de conocer las diferentes características químicas, físicas y

1 Recibido para publicación el 4 de enero de 1989. Parte de la tesis presentada por el primer autor antes de optar por el título de Ingeniero Agrónomo. El estudio se llevó a cabo con la ayuda financiera de la Academia Nacional de Ciencias (NAS/BOSTID), Gua

* Estudiante tutorial en la División de Ciencias Agrícolas y de Alimentos del Instituto de Nutrición de Centroamérica y Panamá (INCAP)

** Investigador a cargo de la administración de la Finca Experimental del INCAP

*** Jefe de la División de Ciencias Agrícolas y de Alimentos del INCAP

nutricionales, que pueden existir entre ellas, y así poder seleccionar las mejores para incluirlas en programas posteriores de producción. Anteriormente se informó sobre algunas diferencias entre especies y variedades (6, 10, 15).

MATERIALES Y METODOS

Se utilizaron semillas de 15 selecciones de amaranto (14 provenientes de Estados Unidos de América (EE.UU.) y una de Guatemala), sembradas y cosechadas en 1985 en la Finca Experimental del Instituto de Nutrición de Centroamérica y Panamá (INCAP), ubicada a 1500 msnm, en San Raymundo Sacatepéquez, Gua. Los datos que identifican a los materiales usados se presentan en el Cuadro 1.

Cada selección fue sembrada en parcelas de 3 cm x 3 cm con tres repeticiones cada una. El manejo de cada parcela experimental ya fue discutido (12). Después de la preparación de la tierra, se aplicaron 30 g por surco de fertilizante 15-15-15. La semilla se colocó en forma continua en el surco. Luego se hicieron dos raleos para dejar la misma población de plantas por parcela. La fecha de siembra fue el 8 de junio de 1985. Durante el desarrollo de las plantas se tomaron datos sobre la edad y altura al florecer y sobre la edad y la altura al cosechar, usando tres plantas por parcela. El rendimiento por repetición refleja la producción de grano de todas las plantas en la parcela de nueve metros cuadrados. Las

semillas recolectadas de cada selección de amaranto fueron sometidas a una caracterización física, química y nutricia.

Análisis físico

Para estudiar el peso de las semillas de cada una de las variedades, se registraron tres pesadas de 100 semillas cada una. Se utilizó una balanza analítica marca Mettler H20T, a fin de obtener un promedio representativo del peso de la semilla de cada variedad, el cual se expresó en miligramos.

Para determinar el tamaño de la semilla se usó una lupa de aumento con escala de 0 a 15 milímetros. Se midieron el largo y el ancho de 30 semillas de cada variedad, con el objeto de obtener un promedio representativo con el método empleado por Imeri *et al.* (15).

Análisis químico

Cada variedad se trabajó con tres repeticiones, de las cuales se sacó una muestra de aproximadamente 20 g, que fue molida y, luego, conservada en condiciones de temperatura ambiental en frascos de vidrio debidamente etiquetados.

Se estableció la humedad siguiendo la metodología descrita por la *Association of Official Agricultural*

Cuadro 1. Identificación de las selecciones de amaranto.

Número	Variiedad	Clave variedad	Especie	Origen
15-EU	A-412	(1)	<i>Hypochondriacus</i>	Estados Unidos de América
16-EU	A-622	(2)	<i>Cruentus</i>	
17-EU	80S-649	(3)	<i>Cruentus</i>	
18-EU	83S-538	(4)	<i>Hypochondriacus</i>	
19-EU	83S-K112	(5)	<i>Cruentus</i>	
20-EU	84S-1157	(6)	<i>Cruentus</i>	
22-EU	84S-1157	(7)	*	
23-EU	84S-K243	(8)	*	
24-EU	84S-K254C	(9)	<i>Hybridus</i>	
25-EU	84S-K266	(10)	<i>Cruentus</i>	
26-EU	84S-K277	(11)	<i>Cruentus</i>	
27-EU	84S-K283	(12)	<i>Cruentus</i>	
28-EU	*	(13)	<i>Hypochondriacus</i>	
29-EU	*	(14)	<i>Cruentus</i>	
17-G	17-GUA	(15)	<i>Cruentus</i>	Guatemala

Notas: Se determinó la especie en todas las variedades en la Finca Experimental del INCAP, durante la época de floración del amaranto. Se partió de las variedades conocidas y sembradas anteriormente en la finca (Gua, noviembre de 1985).

* No identificadas.

Chemists (AOAC) (1). Se usaron cápsulas de humedad y un horno de vacío, para lo cual se pesó entre 0.5 g y 0.9 g de muestra. La determinación de grasa se midió por el método de extracto etéreo, descrito también por la AOAC, para lo cual se utilizó el aparato Soxhlet y se pesó entre 0.91 g y 0.99 g de muestra que se extrajo durante 16 h en éter anhidro.

El contenido de nitrógeno se obtuvo por medio del método macro-Kjeldahl, pesando muestras entre 0.90 g y 0.99 g, siguiendo las técnicas descritas en la metodología de la AOAC (1). Los resultados se expresan como proteína cruda ($N \times 6.25$).

El contenido de aminoácidos se obtuvo de hidrolizados ácidos (6 N HCl). Se usó el analizador automático de aminoácidos Technicon. Los resultados se expresan en miligramos de aminoácidos/gramo de nitrógeno. El triptófano se midió en hidrolizados enzimáticos por colorimetría (8).

Evaluación nutricional

Para determinar la calidad de la proteína y su digestibilidad se alimentaron ratas con dietas que contenían harina de semilla de amaranto, tanto cruda como cocida. La harina cocida se preparó dejando remojar la semilla durante 30 min en agua a 60°C, luego se pasó por un deshidratador de rodos, calentado con vapor a 60 lb, a una velocidad de los rodos de 3 rpm, con una abertura entre ellos de 0.5 milímetros. La temperatura fue de 120° centígrados. Luego se molieron con un molino de martillos, a fin de obtener una harina deshidratada a 40 mallas. Se determinó el nitrógeno tanto de la harina obtenida de semilla cruda como de la harina cocida, con el propósito de preparar dietas a un nivel de 10% de proteína. A éstas se les agregó 4% de sales minerales (13), 1% de aceite de hígado de bacalao, 5% de aceite vegetal y se ajustaron con almidón de maíz hasta completar el ciento por ciento. Además, se agregaron 5 ml de una solución de vitaminas por cada 100 g de dieta (17).

Se prepararon dos dietas: una de control de caseína y otra libre de nitrógeno. Las dietas se proporcionaron a ratas de 21 d ó 22 d de edad de la raza Wistar, cuyo peso osciló entre 40 g y 50 gramos. Cada dieta se asignó a ocho animales cuatro hembras y cuatro machos, colocados en jaulas individuales, proporcionándoles agua y alimento *ad libitum*. El ambiente se ajustó a 20°C -21°C con 12 h de luz por día.

Después de iniciado el experimento se controlaron los cambios en peso, así como el consumo de alimento a los siete y catorce días. Se recolectaron las heces excretadas por los animales durante la segunda semana

después de iniciado el experimento y luego se secaron a 60°C; se limpiaron, se pesaron, se molieron y se les determinó el nitrógeno por la técnica de macro-Kjeldahl (1).

La calidad de la proteína se determinó por el índice de razón proteínica neta (NPR) (3) con duración de 14 d, calculándose, además, la digestibilidad de la proteína ingerida en recolecciones de heces, y datos de consumo durante los últimos cinco días del estudio (19).

Se hicieron análisis de variancia, pruebas de comparación múltiple de medias Tukey y se determinaron las correlaciones entre características físicas, químicas y de rendimiento de las diferentes variedades en estudio (22).

RESULTADOS Y DISCUSION

De acuerdo con los resultados agronómicos (Cuadro 2), el inicio de la floración se observó entre los 43 d y 59 d después de la siembra a alturas que variaron entre 45 cm y 95 centímetros. La cosecha varió entre 51 d y 78 d, a alturas que oscilaron entre 100 cm y 230 centímetros. El total de días entre siembra y cosecha fue entre 94 d y 123 días. Se informó acerca de datos similares en estudios de adaptabilidad de otros grupos de selecciones de amaranto, realizados en la Finca Experimental del INCAP (8, 15). Es de interés indicar que el tiempo de cosecha de 94 d y 123 d es atractivo, ya que el maíz a esa altura (1500 msnm) toma alrededor de seis a siete meses para cosechar. Por consiguiente, de haber humedad y variedades de amaranto, no sensitivas al fotoperíodo, sería factible obtener dos cosechas por año.

En el Cuadro 2 también se resumen los rendimientos del grano con diferencias estadísticamente significativas entre selecciones. El rendimiento de las tres parcelas, o sea por 27 m², varió entre 10 484 kg en la selección núm. 20 hasta 5129 kg, en la núm. 24. Esta última se caracterizó por tener además de la panoja principal, otras muchas pero podridas, lo que podría explicar su bajo rendimiento. El promedio de todas las selecciones fue de 8457 kg/m² ó 3132 kg/ha, cantidad similar a la que se obtiene del maíz (3200 kg/ha) en la misma localidad. Por consiguiente, habría algunas ventajas económicas para el productor, en particular si fuera posible obtener dos cosechas de amaranto en la misma área de cultivo.

Los resultados de los promedios de peso, longitud y anchura por semilla de las 15 diferentes variedades de amaranto en estudio se presentan en el Cuadro 3. El peso varió de 0.58 mg a 0.96 mg con un promedio de 0.796 mg, en tanto que la longitud osciló entre 1.74 mm

Cuadro 2. Datos agronómicos de 14 selecciones de amaranto.

Variedad (núm.)	Floración		Cosecha		Total (d)	Rendimiento/réplica (g)**			Rendimiento total (g)**
	días	altura (m)	días*	altura (m)		A	B	D	
15	59	0.95	64	2.30	123	3 419	2 122	2 451	7 992
16	59	0.60	52	1.70	111	2 325	2 208	1 902	6 435
17	51	0.80	59	1.85	110	3 519	4 102	2 108	9 729
19	59	0.50	51	1.70	110	3 659	1 538	1 048	6 245
20	51	0.70	58	1.85	109	3 813	3 696	2 975	10 484
22	45	0.60	78	1.65	123	3 260	2 766	2 250	8 576
23	45	0.45	65	1.65	110	3 119	2 108	1 555	6 782
24	43	0.55	51	1.10	94	1 438	1 898	1 793	5 129
25	45	0.60	65	1.95	110	3 590	3 657	1 638	8 885
26	59	0.80	51	1.80	110	4 099	3 369	2 426	9 894
27	51	0.60	58	1.60	109	3 779	3 572	1 395	8 746
28	45	0.45	64	1.70	109	3 491	3 046	3 311	9 848
29	51	0.70	58	1.80	109	4 292	3 231	2 885	10 108
17-GUA	59	0.70	51*	1.80	110	4 233	2 947	2 370	9 550

Notas:

- * Días entre floración a cosecha.
 ** g/9 m² (parcela).
 *** g/27 m².

y 2.06 mm, con un promedio de 1.88 mm, y la anchura entre 1.59 mm y 1.81 mm, con un promedio de 1.70 milímetros. Ya se han dado datos similares (8,15), que

Cuadro 3. Caracterización física de las selecciones de amaranto.

Variedad	Peso (mg)	Longitud (mm)	Anchura (mm)
1	0.96	1.98	1.74
2	0.58	1.77	1.62
3	0.82	1.99	1.79
4	0.68	1.74	1.59
5	0.77	1.81	1.66
6	0.86	1.93	1.78
7	0.70	1.83	1.64
8	0.72	1.88	1.72
9	0.91	1.95	1.73
10	0.68	1.78	1.61
11	0.75	1.91	1.70
12	0.80	1.84	1.68
13	0.95	2.06	1.81
14	0.80	1.88	1.74
15	0.96	1.93	1.73
X = Promedio	0.796	1.885	1.70
Mínimo	0.58	1.74	1.59
Rangos:			
Máximo	0.96	2.06	1.81

sugieren la posibilidad de seleccionar variedades con un grano más grande.

Los resultados de los diferentes análisis químicos se presentan en el Cuadro 4. La proteína varió entre 12.74% y 14.65% con un promedio de 13.84%; el porcentaje de grasa se encontró entre 5.16% y 7.44%, con un promedio del 6.53 por ciento. La variabilidad y el valor promedio son similares a los informados anteriormente (6, 8, 15)). Los resultados del análisis de aminoácidos se presentan en el Cuadro 5. El contenido de lisina expresado en miligramos por gramo de nitrógeno fue entre 298 mg/g N y 495 mg/g N; el de treonina, entre 163 mg/g N y 463 mg/g N; el de leucina, entre 240 mg/g N y 451 mg/g N; y el de triptófano, entre 80 mg/g N y 112 mg/g de nitrógeno. Estos datos confirman resultados previos y vuelven a indicar diferencias entre especies en contenido de nutrimentos (2, 8, 15, 21). Para fines comparativos, el mencionado cuadro incluye datos del patrón de aminoácidos FAO/OMS de referencia (19). Esta comparación con el promedio sugiere la limitación en el aminoácido leucina.

En el Cuadro 6 se presenta la evaluación de la calidad de la proteína de las muestras crudas. Los análisis estadísticos indicaron diferencias significativas entre muestras para el aumento en peso, el índice de utilización de la proteína (NPR) y la diges-

Cuadro 4. Caracterización química de las selecciones de amaranto.

Variedad	Proteína (%)	Grasa (%)	Humedad (%)
1	12.74	5.16	10.21
2	14.65	5.59	10.27
3	13.86	6.40	10.01
4	13.26	6.34	10.08
5	12.98	5.75	10.38
6	13.68	6.59	10.16
7	13.73	7.41	10.61
8	14.00	6.70	10.28
9	14.33	6.91	9.81
10	14.31	7.03	10.61
11	14.15	7.44	11.13
12	13.94	6.65	10.64
13	14.64	6.46	10.60
14	14.01	7.35	10.25
15	13.37	6.30	10.51
X = Promedio	13.84	6.53	10.37
Mínimo	12.74	5.16	9.81
Rangos:			
Máximo	14.65	7.44	11.13

Cuadro 5. Análisis de aminoácidos esenciales (mg/g N).

Variedad	Lisina	Treonina	Leucina	Triptófano
1	437	302	361	106
2	298	336	240	80
3	361	463	321	100
4	495	228	341	110
5	351	240	362	96
6	322	198	341	110
7	447	230	333	104
8	393	198	385	98
9	414	190	333	111
10	359	163	254	91
11	381	145	397	92
12	466	325	284	103
13	466	301	430	101
14	393	302	451	95
15	339	363	254	112
X = Promedio	333	269	346	101
Patrón				
FAO/OMS	340	250	440	60
Mínimo	298	145	240	80
Rangos				
Máximo	495	463	451	112

bilidad aparente de la proteína. La variabilidad es de interés, ya que permite seleccionar materiales de mejor valor nutritivo. El promedio del NPR fue de 2.49. Resultados similares se han informado anteriormente (9, 15).

Cuadro 6. Calidad proteínica de las selecciones de amaranto crudo.

Variedad	Incremento en peso (g)	NPR	Digestibilidad de la proteína (g)
1	28ab	2.83cdefgh	83.1abcdef
2	34	2.95abcdeh	79.5efgh
3	14bcd	2.22ijk	80.1cdefgh
4	10d	2.09jk	76.7h
5	13cd	2.21ijk	79.2fgh
6	20bcd	2.68efghij	79.1fgh
7	28abc	2.94bcdeh	78.4gh
8	22abcd	2.71defghi	79.5efgh
9	28ab	2.71defghi	79.8defgh
10	17bcd	2.36hijk	78.0g
11	18bcd	2.59fghij	80.1defgh
12	10d	1.86k	82.1bcdefgh
13	26abc	2.63fghij	82.1bcdefgh
14	17bcd	2.19ijk	80.1efgh
15	16bcd	2.50ghij	80.1efgh

Notas: Variedades con igual letra son estadísticamente iguales. Diferencias no-significativas. Letra "a" = mejor respuesta.

En el Cuadro 7 se resumen los datos de calidad proteínica en los materiales procesados. La información y el análisis estadístico indican diferencias significativas entre selecciones, en cuanto al aumento en peso y digestibilidad, no así en NPR, el cual promedió 3.34. Es de interés indicar que el análisis estadístico en NPR en las muestras crudas mostró diferencias significativas, lo cual no ocurrió en las muestras procesadas. Esto había sido informado con anterioridad (7, 9, 15) y sugiere posibles diferencias en sabor, presencia de sustancias tóxicas o de algún otro factor eliminado por el procesamiento. Asimismo, es importante señalar que el procesamiento produce un efecto sobre la calidad nutritiva de la proteína (7, 9). Los factores responsables de esta diferencia, inducida por el procesamiento, no han sido todavía establecidos. Otro aspecto interesante y significativo es que el promedio de la calidad en crudo fue de 2.49, mientras que en los materiales procesados aumentó a 3.34. Los incrementos en calidad proteínica oscilan entre 11% y 94%, lo cual sugiere que existen diferencias en sustancias antifisiológicas en los materiales crudos.

El análisis de variancia (ANDEVA) efectuado para estudiar la digestibilidad de la proteína (Cuadros 6 y 7),

Cuadro 7. Calidad proteínica de las selecciones de amaranto procesado.

Variedad	Incremento en peso (g)	NPR	Digestibilidad aparente (%)
1	50bcd	3.36a	80.2cdefgh
2	62ab	3.49a	78.1h
3	43cd	3.01a	79.5fgh
4	53abcd	3.47a	78.3gh
5	58ab	3.30a	80.1cdefgh
6	49bcd	3.12a	84.0abcde
7	54abcd	3.28a	84.5abc
8	42d	3.18a	86.2ab
9	67a	3.55a	83.3abcdef
10	50bcd	3.31a	82.3abcdefg
11	44cd	3.16a	84.3abcd
12	50bcd	3.61a	84.2abcd
13	56abc	3.37a	86.5a
14	59a	3.52a	85.5ab
15	55abcd	3.39a	84.5abc

Notas: Variedades con igual letra son estadísticamente iguales. No presentan diferencias significativas.
Letra "a" = mejor respuesta.

detectó diferencias significativas entre las variedades crudas y procesadas, a un nivel de confianza de 95%, por lo cual se procedió a hacer una prueba de medias de Tukey. La digestibilidad en promedio de la proteína para las muestras crudas fue de 79.7%, valor que aumentó a 82.7% en las muestras procesadas. Esto indica que el proceso mejora la biodisponibilidad de la proteína, lo cual ocurrió en 12 de las 15 selecciones. Por consiguiente, el aumento en la digestibilidad de la proteína puede explicar parte del incremento en la calidad proteínica por proceso.

Finalmente, en el Cuadro 8 se resumen las correlaciones encontradas entre los diferentes parámetros utilizados para caracterizar las selecciones de amaranto. Ninguna de las correlaciones mostró significancia estadística, aunque en algunos casos las correlaciones fueron negativas y en otros positivas.

Cuadro 8. Coeficientes de correlación entre características físicas, químicas y de rendimiento en 15 variedades de amaranto.

	Rendimiento	Peso	Lisina	Leucina	Treonina	Grasa
Proteína	-0.2441	-0.26661	-0.1348	-0.0138	-0.0687	0.4472
Grasa	0.3412	0.3417	0.1616	0.4069	-0.2813	-
Treonina	0.2477	0.2507	-0.1065	-0.0973	-	-
Leucina	0.2471	0.2824	0.5230	-	-	-
Lisina	-0.0173	0.1728	-	-	-	-
Peso	0.2680	-	-	-	-	-

LITERATURA CITADA

1. AOAC (ASSOCIATION OF OFFICIAL AGRICULTURAL CHEMISTS) 1970. Official methods of analysis of the AOAC 11 ed. Washington, D.C., AOAC. 1015 p
2. BECKER, R.; WHEELER, E.L.; LORENZ, K.; STAFFORD, A.E.; GROSJEAN, O.K.; BETSCHART, A.A.; SAUNDERS, R.M. 1981. A compositional study of amaranth grain. *Journal of Food Science* 46:1175-1181.
3. BENDER, A.E.; DOELL, B.H. 1957. Biological evaluation of proteins: A new aspect. *British Journal of Nutrition* 11:140-148.
4. BRESSANI, R. 1983. Calidad proteínica de la semilla de amaranto cruda y procesada. *Boletín El Amaranto y su Potencial* no 3
5. BRESSANI, R. 1983. Research needed to up-grade the nutritional quality of common beans (*Phaseolus vulgaris*). *Qualitas Plantarum-Plant Foods for Human Nutrition* 32:101-110.
6. BRESSANI, R.; ELIAS, L.G.; GONZALEZ, J.M.; GOMEZ-BRENES, R. 1987. The chemical composition and protein quality of amaranth grain germ plasma in Guatemala. *Archivos Latinoamericanos de Nutrición* 37:364-371
7. BRESSANI, R.; GONZALEZ, J.M.; ELIAS, L.G.; MELGAR, M. 1987. Effect of fertilizer application on the yield, protein and fat content and protein quality of raw and cooked grain of three amaranth species. *Qualitas Plantarum-Plant Foods for Human Nutrition* 37:59-67
8. BRESSANI, R.; GONZALEZ, J.M.; ZUÑIGA, J.; BREUNER, M.; ELIAS, L.G. 1987. Selections of amaranth grain representing four species. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 38:347-356
9. BRESSANI, R.; KALINOWSKI, I.S.; ORTIZ, M.A.; ELIAS, L.G. 1987. Nutritional evaluation of roasted, flaked and popped *A. caudatus*. *Archivos Latinoamericanos de Nutrición* 37:525-531.

10. BRESSANI, R.; ELIAS, L.G.; DE BOSQUE, C.M. 1988. Supplementary value of amaranth leaves to cereal grain-based diets. *Amaranth Newsletter* no. 1.
11. BRESSANI, R.; ELIAS, L.G.; GARCIA-SOTO, A. s.f. Limiting amino acids in amaranth grain protein from biological tests.
12. GONZALEZ, J.M., BRESSANI, R. 1987. A guide to amaranth cultivation: Summary of experiences at the INCAP experimental farm. *Amaranth Newsletter* 2:5-7.
13. HEGSTED, D. M.; MILLS, R.C.; ELVEHJEM, C.A.; HART, E.B. 1941. Choline in the nutrition of chicks. *Journal of Biological Chemistry* 138:459-466.
14. HOWE, E.E.; JANSEN, G.R.; GILFILLAN, E.W. 1965. Amino acid supplementation of cereal grains as related to the world food supply. *American Journal of Clinical Nutrition* 16:315-320.
15. IMERI, A.G.; GONZALEZ, J.M.; FLORES, R.; ELIAS, L.G.; BRESSANI, R. 1987. Variabilidad genética y correlaciones entre rendimiento, tamaño del grano, composición química y calidad de la proteína de 25 variedades de amaranto (*Amaranthus caudatus*). *Archivos Latinoamericanos de Nutrición* 37:132-146.
16. LEES, P. 1983. Amarantho: ¿El supercultivo del futuro? *Agricultura de las Américas* 32:16-17.
17. MANNA, L.; HAUGE, S.M. 1953. A possible relationship of Vitamin B12 to orotic acid. *Journal of Biological Chemistry* 201:91-96.
18. MARX, J.I. 1977. Amaranth: A comeback for the food of the Aztecs. *Science* 198:40.
19. NUTRITIONAL EVALUATION of protein foods. 1980. P.L. Pellet, V.R., Young (Eds.) Tokyo, Japan, United Nations University World Hunger Programme. *Food and Nutrition Bulletin* (Supplement no. 4).
20. SANCHEZ-MARROQUIN, A. 1983. Dos cultivos olvidados de importancia agroindustrial: El amaranto y la quinua. *Archivos Latinoamericanos de Nutrición* 33:11-32.
21. SENFT, J.P. 1980. Protein quality of amaranth grain. In *Amaranth Conference* (2). Proceedings. Emmaus, PA, Rodale Press. p. 43-47.
22. SNEDECOR, G.W., COCHRAN, W.G. 1980. *Statistical methods*. 7 ed. Ames, Iowa State University Press.

RESEÑA DE LIBROS

SNEH, B.; BURPEE, L.; OGOSHI, A. 1991. Identification of *Rhizoctonia* species. The St. Paul, Minnesota, USA, American Phytopathological Society. 133 p.

Todo lo que necesita saber acerca de la taxonomía, identificación y características de los grupos de anastomosis, puede encontrarlo en forma muy bien condensada en este excelente libro.

Es reconocida la importancia de este hongo como fitopatógeno de suelo y su distribución universal; así como los intentos de clasificación, mediante métodos sencillos, utilizados por los fitopatólogos y técnicos de laboratorio. Sin embargo, al revisar rápidamente esta información detallada y concisa nos damos cuenta de la complejidad del sistema, y de su utilidad para los investigadores que tengan interés especial en este hongo.

Para aquellos fitopatólogos que han tenido frecuentemente la mala experiencia de no obtener infección al inocular masivamente el hongo en el suelo,

resulta de especial interés el capítulo dos, donde se describen los métodos para aislar, multiplicar y estimar poblaciones en el suelo, así como para preservarlas.

Para los investigadores con interés en el control biológico de la enfermedad causada por *Rhizoctonia* binucleada, se describe en detalle y con fotografías muy nítidas el proceso de tinción de núcleos. El estado actual de la clasificación y las características de los grupos de anastomosis de la *Rhizoctonia* binucleada, están descritos en los capítulos siete y ocho.

En resumen se hace énfasis en la identificación de los aislamientos, caracterización de los grupos de anastomosis y taxonomía de los estados anamórficos y teleomórficos, incluyendo datos muy importantes, pero poco asequibles, procedentes de los especialistas japoneses.

EDGAR VARGAS
LABORATORIO DE FITOPATOLOGÍA
UNIVERSIDAD DE COSTA RICA

Efecto Tóxico y Uso de Filtrados de *Mycosphaerella graminicola* (*Septoria tritici*)¹

C. A. Cordo*, L. R. Marechal**, F. J. Babinec***

ABSTRACT

To study the effect of *Mycosphaerella graminicola* filtrate upon wheat leaves and its possible usage as a resistance selection method, a liquid medium was used to culture the fungus; the culture filtrate was partially purified and two leaf bioassays were carried out to observe reproduction of the lesion on wheat leaves. The histological study was performed comparing the action of the inoculum and of the filtrate at cell level; its effect was focused upon the cell wall. Activity of hydrolytic enzymes (pectic and cellulolytic), their production by the pathogen, and their effect on wheat leaf blotch were detected. The activity was measured by reading viscometrical reduction and by detecting free reducing groups as reaction products. Pathogenic action of four *M. graminicola* strains was correlated with the toxic action of the strains' filtrate on three varieties of wheat. The fourth leaf of each variety was inoculated and filtrate applied to the leaves with polyurethane slides. Inoculum effect was measured through picnidial coverage. Filtrate effect was established by a scale of necrotic injury. Statistical analysis showed that inoculation and topical application were not correlated ($r=0.192$) in regard to host-specific reaction. However, a general relationship was established between strain pathogenicity and filtrate aggressivity. Buck Napostá cultivar was the most sensitive wheat to fungus filtrate. It was concluded that a fungus filtrate with cellulolytic enzymes cannot be used for selecting resistant varieties.

Key words: *Mycosphaerella graminicola* (*Septoria tritici*), wheat, enzymes, filtrate, selection method.

COMPENDIO

Se estudió el efecto del filtrado de *Mycosphaerella graminicola* sobre hojas de trigo, con el objeto de emplearlo en el método de selección de cultivares resistentes. Para el crecimiento del hongo se utilizó un medio de cultivo líquido. El filtrado se purificó parcialmente. Para observar la reproducibilidad del síntoma en las hojas, se emplearon dos bioensayos. Se realizó un estudio histológico para comparar la acción del inóculo y del filtrado celular. El cultivo filtrado dañó las hojas cuando se inyectó y cuando se topicó. Su efecto se localizó sobre la pared celular. Se detectaron la actividad de enzimas hidrolíticas (pécticas y celulolíticas), su producción por el patógeno *in vitro* y su efecto sobre la hoja de trigo. Se midió la actividad enzimática mediante la lectura de la reducción de la viscosidad y por detección de grupos reductores libres, como productos de reacción. Se determinó el carácter constitutivo de las enzimas celulolíticas y el adaptativo de las pécticas. Se correlacionó la acción patogénica de cuatro aislamientos de *M. graminicola* con la acción tóxica del filtrado de los aislamientos sobre tres cultivares de trigo. El análisis estadístico mostró que la inoculación y la topicación no se correlacionaron en cuanto a su reacción específica para cada variedad. Sin embargo, se estableció una relación entre patogenicidad de los aislamientos y agresividad de los filtrados fúngicos. Se concluyó que un filtrado fúngico con enzimas celulolíticas no puede ser usado para seleccionar cultivares resistentes.

Palabras claves: *Mycosphaerella graminicola* (*Septoria tritici*), trigo, enzimas, filtrados, método de selección.

INTRODUCCION

La "mancha de la hoja del trigo" causada por *Mycosphaerella graminicola* (Fuckel) Schroeter Rob. ex Desm. produce necrosis en las partes aéreas de la planta (30), ocasionando pérdidas considerables en caso de epifitias severas (13).

Como en otras enfermedades, el método de control más eficiente es la selección de cultivares resistentes mediante infecciones naturales o inoculaciones artificiales. Se han empleado las toxinas producidas por los patógenos respectivos en lugar del inóculo, para la búsqueda de fuentes de resistencia, como en el caso de la caña de azúcar, contra *Helminthosporium sacchari* (26), y del maíz, contra *H. carbonum*, (16), o para detectar la sensibilidad del hospedante al patógeno, como en el caso de la avena frente a *H. victoriae* (17),

1 Recibido para publicación el 1 de noviembre de 1989. Los autores agradecen a las autoridades del Instituto de Investigaciones Bioquímicas "Fundación Campomar" por haber facilitado el lugar de trabajo, materiales y drogas para esta investigación; a Juan C. Lindquist, por la lectura crítica y opiniones vertidas; a Carlos del Santo, por el asesoramiento estadístico; a las autoridades de la Comisión de Investigaciones Científicas (CIC), Buenos Aires, por el financiamiento de esta investigación; a Héctor O. Arriaga, su asesoramiento como Codirector, y a Héctor E. Alippi, por haber permitido el uso de las instalaciones de la Facultad de Agronomía, Universidad Nacional de La Plata, Arg.

* Investigador Adjunto de la Comisión de Investigaciones Científicas de la Provincia de Buenos Aires, Facultad de Agronomía. Universidad Nacional de La Plata.

** Investigador del Instituto de Investigaciones Bioquímicas "Fundación Campomar", Buenos Aires, Arg.

*** Secretaría de Investigaciones Científicas, Lomas de Zamora, Buenos Aires, Arg.

del sorgo frente a *Periconia circinata* (23); de la cebada, ante *H sativum* (14), o del álamo, ante *Ceratocystis ulmi* (22).

El conocimiento sobre la toxina de *S. tritici* es limitado. Malcom (18) describió un glucopéptido específico, con actividad enzimática celulolítica. Cordo y Marechal (11) establecieron la participación de enzimas celulolíticas como responsables del síntoma de la enfermedad; lo hicieron a través del estudio histológico y de reacciones comparativas con otras celulasas.

El objetivo de este trabajo fue estudiar la posibilidad de emplear el filtrado de *M. graminicola* (Fuckel) Schroeter en la selección de genótipos resistentes. Se analizó la actividad enzimática, se investigaron técnicas de aplicación y se compararon los resultados obtenidos mediante la aplicación del filtrado y del inóculo sobre cultivares de trigo.

MATERIALES Y METODOS

Los filtrados empleados en este trabajo fueron obtenidos por crecimiento de cuatro aislamientos del hongo (38388C.D.L.HW3, LHW4 LHW5) en medio Fries núm. 3 con extracto de levadura (6). Se centrifugaron a 12 000 g, durante 15 min y los supernadantes se liofilizaron. Se redisolviéron en agua destilada en un volumen de 18 a 20 veces menor que el original y se desalinizaron con una columna de Bio Gel P6, Bio Rad Laboratorios (50-100 mesh), equilibrada y eluida con agua; la velocidad de flujo fue de 10 ml por minuto. Se midió el contenido de azúcares (prueba fenolsulfúrica) y de proteínas por lectura de absorbencia a 235 nm y con el reactivo de Bradford (7).

Se probaron dos bioensayos foliares: 1) Inyección del filtrado purificado en hoja joven (26) y 2) topicación del filtrado purificado en hoja joven (16).

Se analizó histológicamente el daño ocasionado por el filtrado en el tejido de la hoja. La composición química del filtrado se determinó mediante reacciones específicas para celulasas, poligalacturonasas (4) y pectinpectato liasas (3).

La actividad enzimática se detectó al considerar el porcentaje de reducción de la viscosidad de la mezcla de reacción (12) y el incremento en grupos reductores por el Método Somoggi-Nelson (24). Los aislamientos empleados (38388C.D. y LHW5) se cultivaron en el medio Fries núm. 3 con extracto de levadura, empleando inductores para la producción de celulasas y poligalacturonasa: carboximetil celulosa y pectinas de manzana (ambas al 1%), respectivamente.

La actividad de la poligalacturonasa (PG) se estudió al medir la reducción de la viscosidad de una solución del 2% de pectina de manzana como sustrato, con un viscosímetro Fenske-Ostwald 150. La mezcla de reacción contenía 2.5 ml de pectina al 2%; 0.1 ml de 0.5 M "buffer" citrato al pH 4.8; 2 ml de extracto, llevando a 8 ml con agua destilada. Se emplearon dos testigos:

T1 = mezcla de reacción sin filtrado enzimático.
T2 = agua destilada.

La actividad de la celulasa se estudió al medir la reducción de la viscosidad de una solución al 2% de carboximetil celulosa sódica (CMC) como sustrato. El viscosímetro utilizado fue F.O. tipo 300. La mezcla de reacción contenía 2.5 ml de CMC al 2% a pH 4.3, 0.1 ml de 0.5 M de "buffer" citrato a pH 4.8 y 2 ml de extracto, en un volumen final de 8 mililitros. Se emplearon dos testigos:

T1 = mezcla de reacción sin filtrado enzimático.
T2 = agua destilada.

La lectura de azúcares reductores se hizo en un fotolorímetro Coleman a 520 nanómetros. La incubación de la reacción se hizo durante 240 minutos a 35 grados centígrados. Todos los ensayos se repitieron dos veces y cada repetición se realizó por duplicado. Los resultados se expresaron con una significancia de P0.05.

Para comparar los resultados obtenidos, entre la topicación con filtrado y la inoculación artificial con suspensión de esporas, se condujeron ensayos con los cuatro aislamientos anteriormente indicados y tres cultivares nacionales: Trigo 708 (T 708), Buck Napostá (BN) y Klein Toledo (KT), en un factorial 4 x 3 según un diseño completamente aleatorizado con tres (topicado) y cuatro (inoculado) repeticiones, respectivamente.

Para el topicado, en cada unidad experimental (parcela), 10 hojitas fueron limpiadas previamente con agua destilada estéril, sobre las que se colocaron cubos de poliuretano de 4 mm de lado, sobresaturados con filtrado. Las hojas topicadas se cubrieron con tapas de vidrio y el sistema quedó en cámara húmeda durante 96 horas. Al finalizar el período, se retiraron los cubos y se observó el daño producido. La sensibilidad de la hoja se clasificó en cuatro niveles (0 = ausencia; 1 = ampollado epidérmico; 2 = menos del 50% del ancho de la lámina necrosada; y 3 = más del 50% del ancho de la lámina necrosada).

Para el análisis de la variancia se calculó el daño en promedio para cada unidad experimental: suma de las

frecuencias multiplicadas por los valores respectivos. Se probó el ajuste de las observaciones a una distribución normal por Kolmogorov-Smirnov (25).

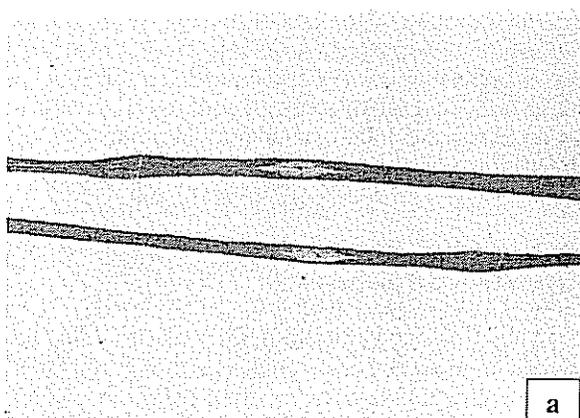
La inoculación se realizó por medio de la técnica descrita por Cordo (10): se preparó el inóculo con aislamientos cultivados en medio Fries núm. 3 con extracto de levadura. La concentración de esporas se ajustó a 3.5×10^6 . Cada unidad experimental consistió en una maceta con cinco plantas. Para el análisis del porcentaje de cobertura pecnidial promedio se usó la transformación angular.

RESULTADOS

En el filtrado desalinizado se detectaron azúcares (150 $\mu\text{mol/ml}$ de filtrado) y proteínas (2.5 mg/ml de filtrado).

Técnica de aplicación del filtrado

La inyección produjo una lesión necrótica similar a la producida por el hongo, de contorno difuso, con cicatriz del pinchazo, centro necrótico definido y halo de epidermis blanqueada, paralelo a las nervaduras. Cuando se aplicó diluido (1:1) sólo se produjo un halo clorótico. La infiltración con medio de cultivo purificado y con agua destilada (testigos) no produjo reacción. Con esta técnica el síntoma apareció en 48 h (Fig. 1a).



La topicación del filtrado produjo adelgazamiento y dilatación del ancho de la lámina con necrosis de la zona también topicada. Como tipos extremos de lesión se pudo observar, desde el ampollado epidérmico con desorganización celular, hasta la hendidura de la epidermis en casos más agudos, que comprometió a ambas epidermis.

El síntoma se manifestó entre el cuarto y quinto días (Fig. 1b). El tipo de lesión, producido por topicación, condujo a investigar la acción de enzimas participantes en el colapso de la pared celular. Mediante el estudio histológico se determinó que el espesor de la lámina foliar se redujo a la mitad, y las paredes de las células parenquimáticas se destruyeron, con desaparición del contenido, mientras que el haz vascular se mantuvo intacto (Fig. 2ab). Estos caracteres resaltan al compararlos con tejido sano (Fig. 2c). Estas observaciones hacen suponer que el filtrado parcialmente purificado actuó sobre elementos cementantes y la propia pared; y se presupone que las enzimas celulolíticas y pectolíticas participaron en el proceso inicial de patogénesis.

Actividad enzimática

La actividad de la poligalacturonasa se destacó cuando el aislamiento 38388C.D. creció bajo inducción pectina de manzana. Produjo 121.7 Mmol glucosa reductora/ mg proteína a los 240 min, reduciéndose en un 83% la viscosidad del sustrato. En cambio, el mismo aislamiento sin inductor redujo un 3% la vis-

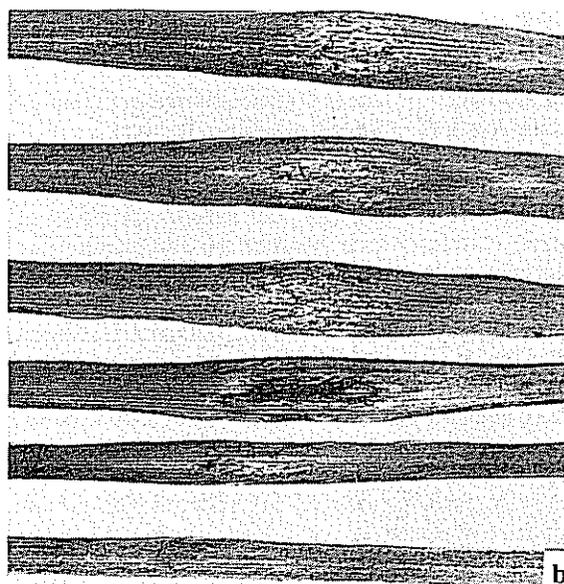


Fig. 1. Lesión producida por a) inyección del filtrado parcialmente purificado de *M. graminicola* (aumento de $\times 1$); por b) topicación del filtrado parcialmente purificado de *M. graminicola* (aumento de $\times 1$)

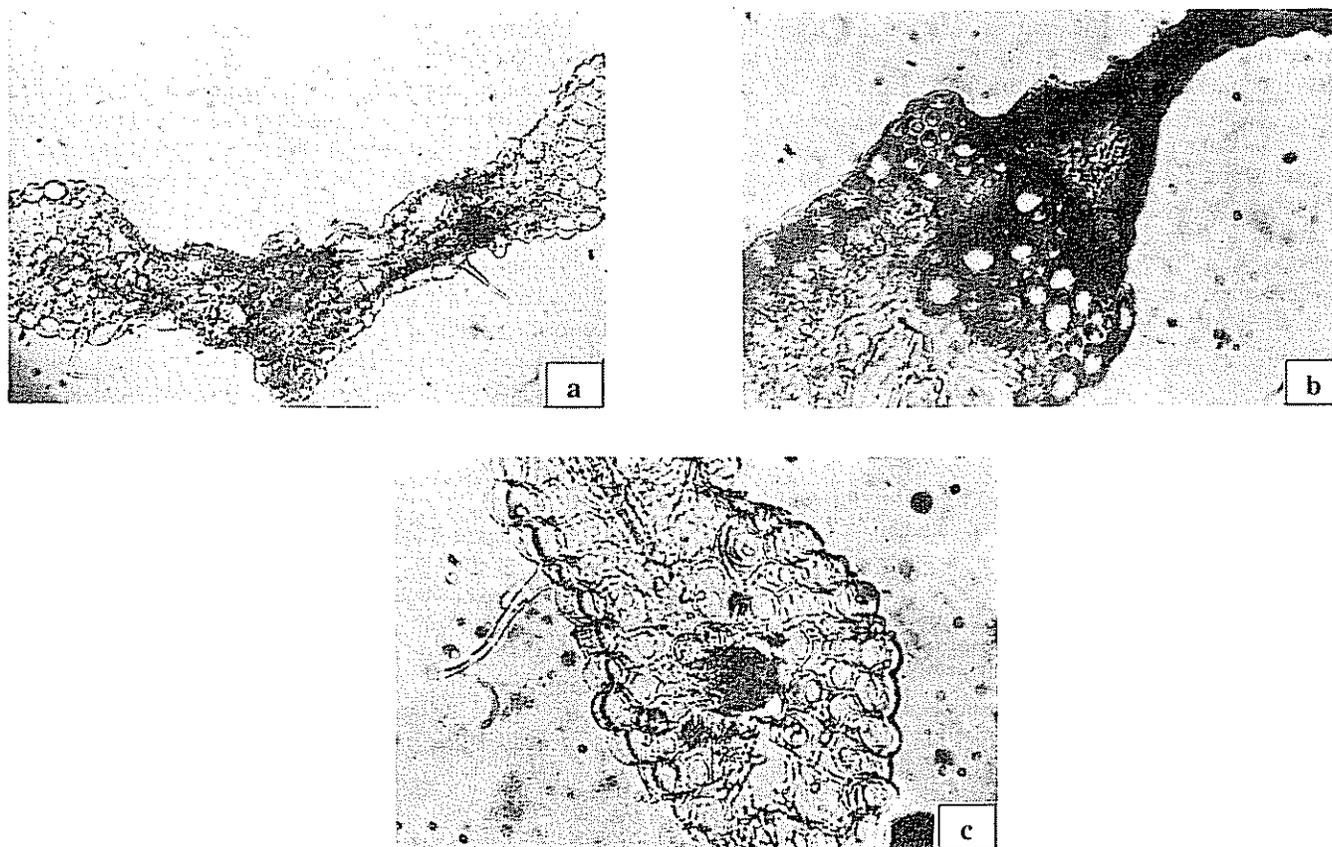


Fig. 2. Corte transversal de la hoja de trigo, a) inyectada con filtrado de cultivo de *M. graminicola* (obsérvese la reducción del espesor de la lámina en la zona afectada; aumento de x210); b) infectada por *M. graminicola* (obsérvese la reducción del espesor de la lámina en la zona afectada); c) comparación con el tejido normal (aumento de x280).

cosidad, produciendo 3.43 Mmol glucosa reductora por miligramo de proteína a 240 minutos. Ninguno de los testigos acusó pérdida de viscosidad ni eliminación de grupos reductores. Este resultado confirmaría la naturaleza inductiva de la poligalacturonasa producida en cultivo por *M. graminicola* (Figs. 3a y 3b).

La actividad de la celulasa se evidenció por la reducción de la viscosidad del sustrato cuando se ensayó con filtrado producido sin inducción. La reducción en la viscosidad del sustrato para el aislamiento 38388C.D. se vio casi triplicada al finalizar la cuarta hora de reacción (33%), comparado con la reducción de la viscosidad medida para el aislamiento LHW5 (13%). Cuando el aislamiento 38388C.D. creció, sujeto a inducción con CMC, la reducción en viscosidad aumentó a un 84% en la cuarta hora. Los valores elevados de reducción en la viscosidad del sustrato, evidenciados en los aislamientos no inducidos, sugerirían la naturaleza constitutiva de la celulasa (Fig. 3c).

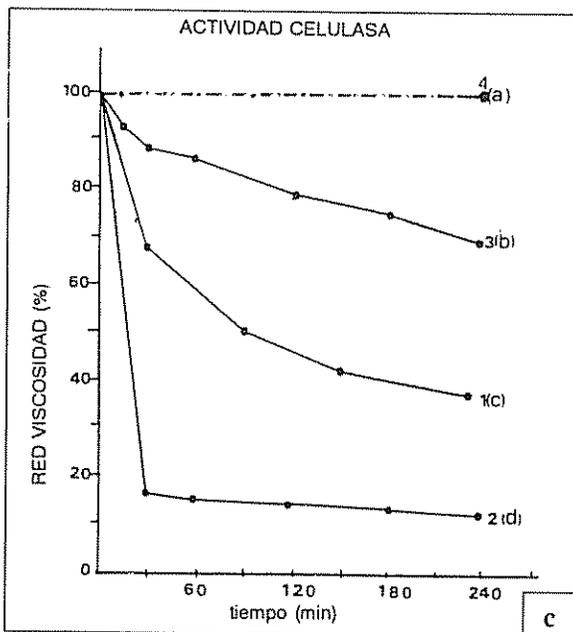
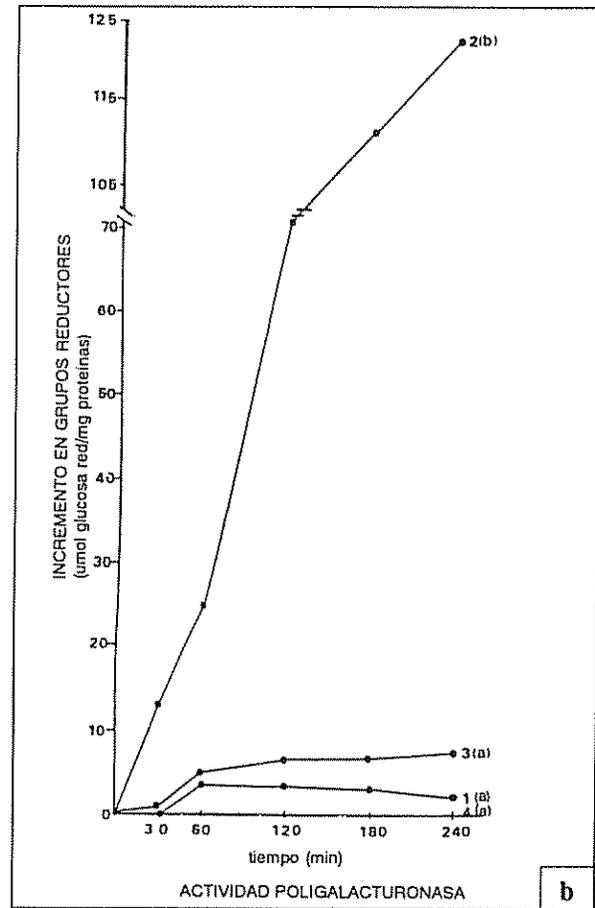
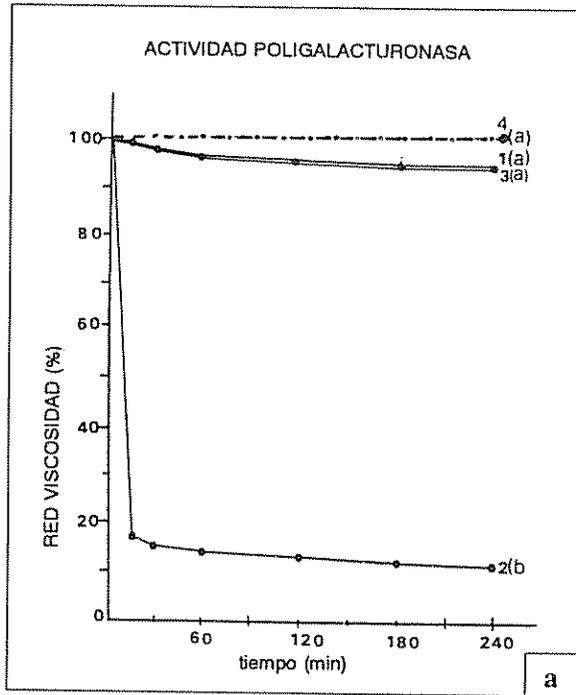
Contrariamente a lo acaecido con la mezcla de reacción completa, los controles (T1 y T2) no manifes-

taron reducción de la viscosidad ni liberación de azúcares reductores en el transcurso de la cuarta hora de observación. El tipo de celulasa producido por *M. graminicola*, no fue detectada por Somoggi-Nelson al menos con 240 min de incubación.

La naturaleza inductiva de la poligalacturonasa (un incremento) del 89% en la reducción de la viscosidad y de más de 100 veces en los moles de glucosa reductora por miligramo de proteína, eliminados al cabo de la cuarta hora de reacción, indicaría que los constituyentes de la pared celular estimularían la producción de enzimas.

Efecto del filtrado versus efecto del inóculo

El análisis de ambos efectos muestra falta de correlación entre los dos métodos de evaluación de la reacción de los cultivares frente al patógeno. En el Cuadro I se observa que el cuadrado medio para inoculación fue altamente significativo para las fuentes de variación: tratamientos, aislamientos y para la



Leyenda:

- 1: aislamiento 38388C D sin inductor;
 - 2: aislamiento 38388C D con inductor;
 - 3: aislamiento LIW5 sin inductor;
 - 4: controles (T1 mezcla de reacción sin enzima; T2 agua destilada)
- Los puntos de los gráficos seguidos por diferentes letras difieren significativamente de $P \leq 0.05$

Fig. 3. a y b) Actividad de poligalacturonasa; porcentaje de reducción de viscosidad de la mezcla de reacción y actividad enzimática por medio del incremento en grupos reductores por el método de Somoghi-Nelson. Mediciones realizadas durante 240 min; 3c) actividad de celulasa; porcentaje de reducción en viscosidad de la mezcla de reacción durante 240 minutos

interacción aislamiento por cultivar. Esto último indicaría cierto grado de especialización para los aislamientos LHW4 y LHW5, cuyos porcentajes de cobertura picnidial son intermedios entre los otros dos aislamientos (Cuadro 2). Los cultivares utilizados mostraron diferencias significativas y altamente significativas respectivamente, con estas cepas.

Cuadro 1. Análisis de la variancia para inoculación (CM₁) y topicación (CM₂).

Fuente de variación	G.L.	CM ₁	Humedad
Tratamientos	11	0.330 302**	1.805 258**
Cepas	3	0.809 977**	3.666 962**
Variedades	2	0.044.119**	2.008.992**
Cepa x variedad	6	0.115 859**	0.806 494*
Variancia en LH ₃	2	0.224 791**	0.639 186**
Variancia en LH ₄	2	0.176 575*	0.173 334**
Variancia en LH ₅	2	0.108 781**	0.501.511**
Variancia en 38388C.D.	2	0.089 673**	3.114 445**
Error	36	0.29343	—
	23		0.263 643
Coefficiente de variabilidad (%)		20.12	38.42

Notas:

n.s. no significativo.

Para la técnica de topicación, la variación se concentró en el aislamiento 38388C.D. de mayor virulencia. En este caso la interacción significativa no es necesariamente un indicador de especialización. El coeficiente de variación es considerablemente superior al obtenido para inoculación. Este dato alertaría sobre la reducida precisión de la técnica de topicación. Los resultados obtenidos con la variable índice medio de daño –para topicación– muestra además escasa concordancia con los obtenidos para cobertura picnidial (Cuadro 3). La correlación entre ambos no fue sig-

Cuadro 2. Comportamiento promedio de las cepas

	Cobertura picnidial (%) (inoculación)	Daño promedio (topicación)
LH ₃	7.6 a	0.46b
LH ₄	13.0ab	1.83a
LH ₅	23.6bc	1.79a
38388 C.D.	28.2c	1.25ab

Notas: Cepas con la misma letra no difieren significativamente al 1% (Prueba de Student).

nificativa ($r = 0.192$). La topicación con filtrado fúngico de composición celulolítica no es eficaz para detectar el comportamiento de cultivares frente a *S. tritici* (Figs. 4 y 5). La observación de la Fig. 5 realza la sensibilidad de cada cultivar frente al filtrado fúngico y su correspondencia con la acción del inóculo.

La reacción de los tres cultivares se correlacionó con la aplicación del inóculo y la topicación del filtrado, sólo para el aislamiento menos virulento (LHW5). Para los restantes aislamientos se observó una reacción heterogénea y no correlativa por la aplicación de los dos tratamientos. Así para el aislamiento LHW3, la topicación produjo una reacción de intermedio en los tres cultivares, mientras que con la inoculación se registraron los tres tipos de reacción.

También se pudo detectar, mediante gráficos, el grado de virulencia de los aislamientos y su correspondencia con la sensibilidad de la variedad a la acción del filtrado (Fig. 4). El aislamiento LHW5 se caracterizó por su bajo grado de virulencia. Su filtrado ocasionó una respuesta insensible en T 708 y KT; en cambio, moderadamente sensible en BN (tipo 2). Esta diferencia no fue detectada estadísticamente. La virulencia de ninguno de los restantes aislamientos se reflejó en la sensibilidad de los correspondientes cultivares a la acción de los respectivos filtrados. Los aislamientos LHW4 y 38388C.C. demostraron comportamientos

Cuadro 3. Correlación entre técnicas de inoculación y topicación.

Cepa Variedad	LH ³			LH ₄			LH ₅			38388 C.D.		
	BN	KT	T708	BN	KT	T708	BN	KT	T708	BN	KT	T708
Inoculación	34.98 ¹⁻²	22.21 ^b	14.99 ^b	11.38 ^a	6.63 ^a	20.44 ^b	3.48	8.73	11.65	20.79	31.23	32.95
Topicación	1.17 ³	1.40	0.77	1.63	1.77	2.50	0.13	0.92	0.33	0.73 ^a	2.77 ^c	1.87 ^b

Notas:

- 1 Variedades con igual letra no difieren significativamente (dentro de cada cepa); ausencia de letras indica que no hay diferencias significativas.
- 2 Promedio general del porcentaje de cobertura picnidial.
- 3 Índice medio de daño.

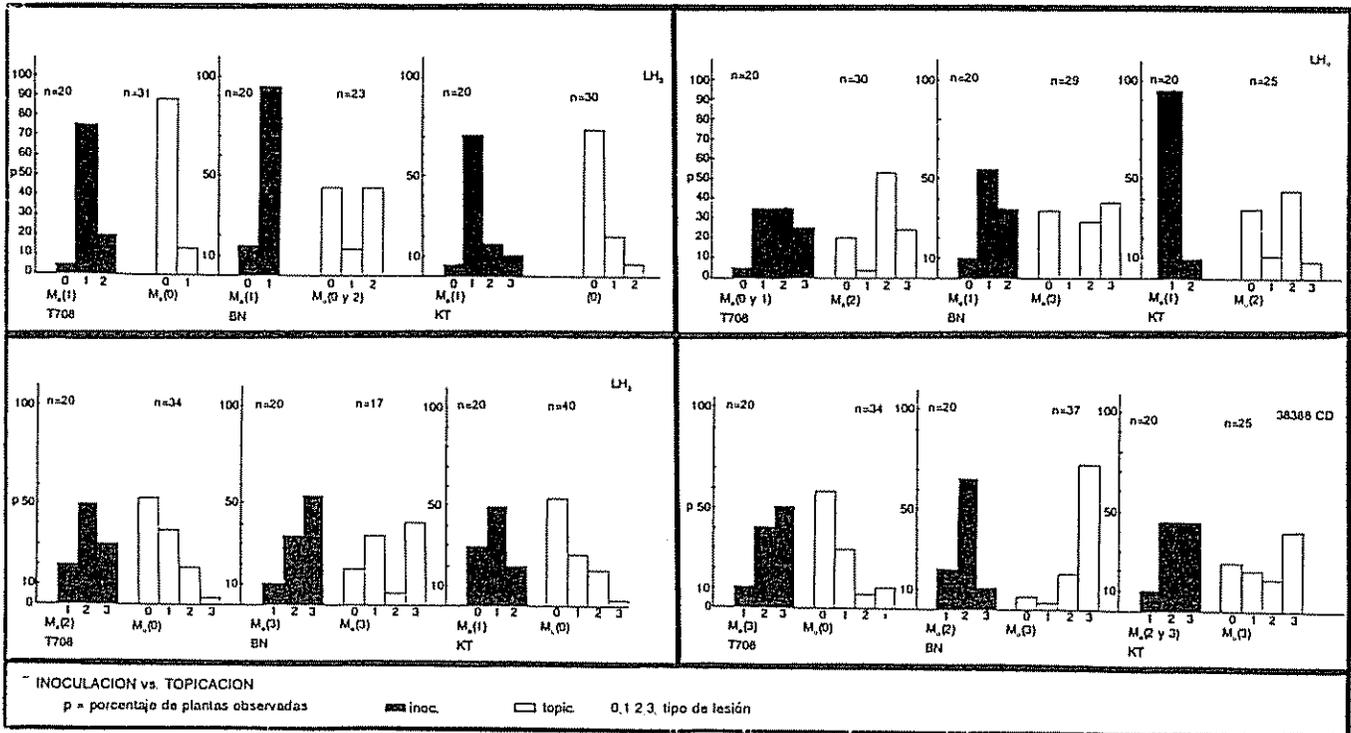


Fig. 4. Frecuencia de daño inóculo *versus* daño filtrado sobre tres cultivares de trigo (Trigal 708, Buck Napostá, Klein Toledo) para los aislamientos LH5, LHW4, 38388C.D., LHW3.

Leyenda: Barras de posición derecha: Frecuencia observada según escala-tipo de lesión filtrado.
 Barras de posición izquierda: Frecuencias observadas según escala-tipo de lesión inóculo

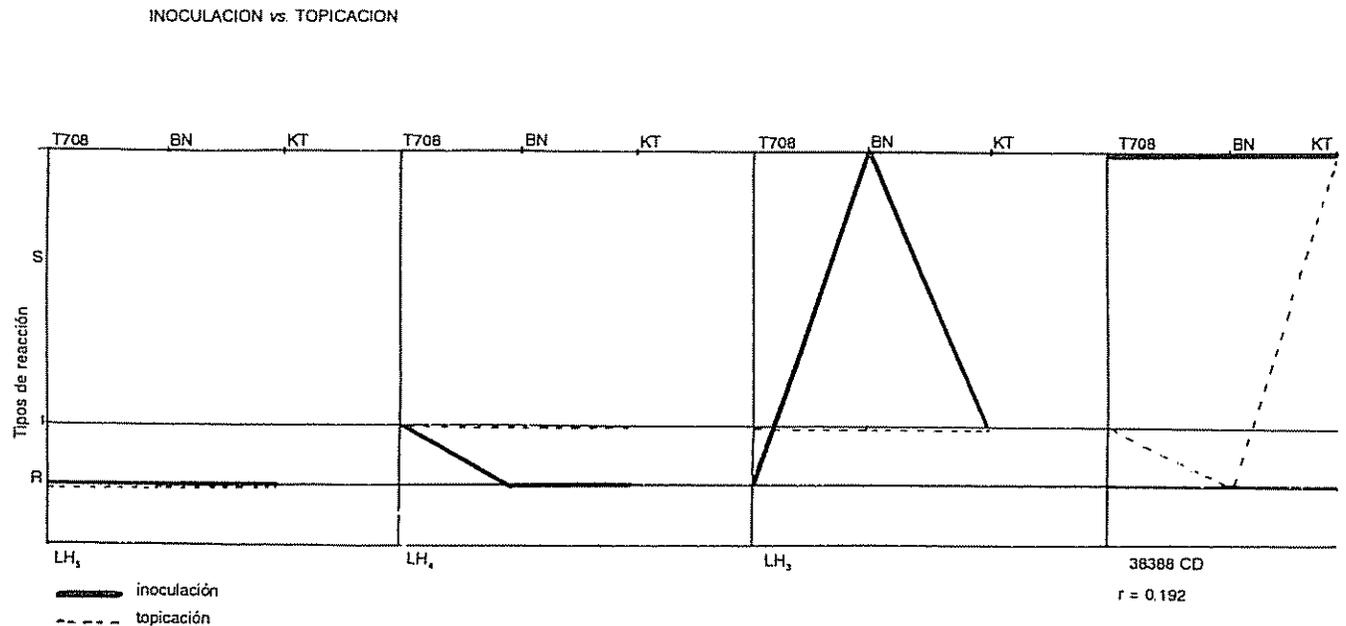


Fig. 5. Correspondencia entre acción del inóculo y del filtrado de los tres cultivares para cada uno de los aislamientos (LHW5, LHW4, LHW3, 38388C.D.).

opuestos; en cambio, LHW3 demostró un comportamiento desplazado.

DISCUSION

Las celulasas son muy significativas en enfermedades en que el patógeno se mueve en forma relativamente lenta, a través del tejido hospedante (podredumbres secas, mancha de hoja); hay una lenta pero completa degradación del tejido por el patógeno primario (32). Cordo y Marechal (11) establecieron la responsabilidad de las enzimas celulolíticas en la producción del síntoma de la "mancha de la hoja del trigo". Lo evidenciaron por medio de estudios histológicos y de reacciones comparativas con otras celulasas. Malcom (18) citó por primera vez la actividad de enzimas celulolíticas al describir el síntoma desarrollado, por inyección del filtrado fúngico sobre dos cultivares de trigo de distinta susceptibilidad a *S. tritici*. El rasgo determinante fue el debilitamiento de la rigidez estructural con daño y muerte aparente del contenido celular. Este carácter también se observó en el estudio histológico de este trabajo. La muerte celular, con desaparición de contenido y destrucción de paredes, se visualizó en el corte transversal de hoja de trigo inyectada con filtrado.

Malcom (18) también describió que los dos cultivares inyectados reaccionaron con distinta sintomatología: sólo clorosis, o clorosis y necrosis, según que el cultivar fuese resistente o susceptible, respectivamente. Sin embargo, en este trabajo, los dos cultivares nacionales de distinta susceptibilidad respondieron de forma similar.

El estudio histológico constituyó una herramienta valiosa para interpretar el daño celular producido por un mecanismo que guía la desorganización del mesófilo. El desarrollo intercelular de *M. graminicola* recuerda al desarrollo de otros patógenos, como *Rhizoctonia* en hipocótilos de *P. vulgaris* (4), en que la laminilla media de las células corticales del hipocótilo se disuelven y los espacios intercelulares están empaquetados con hifas fúngicas.

El desarrollo intercelular de hifas fúngicas de *M. graminicola* implicaría la participación de un complejo enzimático hidrolítico —enzimas pécticas y celulolíticas— donde el principio macerante, representado por poligalacturonasa y polimetilestearasas, sería responsable de la digestión del cementerio intercelular o la laminilla media. Otro rasgo que determina la acción enzimática es el tiempo que transcurre en la aparición de síntomas. El filtrado inyectado produjo su acción en 48 h, y en contacto con cutícula en cuatro días. Esto fue observado también por Brown (8).

La heterogeneidad entre los tipos de reacción, para un mismo cultivar no está bien entendido aún. La composición polisacarida (celulosas, pectinas) de paredes celulares de plantas maduras, para distintas variedades en una misma especie, es esencialmente idéntica (1), como también lo son los constituyentes de paredes celulares de monocotiledóneas y dicotiledóneas (2, 9). Habiendo eliminado las posibles causas de variabilidad experimental, sólo resta pensar en factores relacionados con la reacción enzimática: disponibilidad del sustrato, estabilidad de enzima, velocidad de la reacción.

Tomiyama (28), Griffey y Leach (15) y Mercer *et al.* (20) establecieron que el espesor de material de pared celular afecta la habilidad del patógeno y de la enzima para degradarla. Las paredes gruesas son más duras y requieren más tiempo en ser degradadas. Esto explicaría que, en muchas enfermedades, las partes más viejas de la planta son las más resistentes. No obstante, las celulasas, poligalacturonasas y otras enzimas que degradan paredes celulares varían cualitativamente como isoenzimas. Presumiblemente hay una intensa variación isoenzimática de las enzimas degradantes, pero también hay variación en sus productos, siendo ésta casi siempre cuantitativa (2). Esta variación de las enzimas y sus productos podrían orientar las causas de heterogeneidad observadas en este trabajo.

La acción enzimática del filtrado observada en hojas de trigo, es localizada. Sólo reacciona la superficie de contacto, tanto al picar como al inyectar. En cambio, es sistémica para otros metabolitos tóxicos producidos por *H. sacchari* (26), *H. carbonum* (16); *H. victoriae* (19); *A. kikuchiana* (27). Por la investigación bibliográfica (23, 31, 33) se conoce que una toxina podría emplearse en pruebas de resistencia varietal si está casualmente involucrada en la producción de la enfermedad-factor de patogenicidad. Otra categoría de toxina, a la que se conferiría un nivel medio de resistencia, es la que está comprometida en el inicio de la enfermedad, pero la reacción del hospedante varía según la concentración que se aplique (factor de virulencia) (29).

Algunos autores consideran a las enzimas extracelulares —enzimas degradantes de la pared celular— como indirectamente toxinas a las células vegetales, o les atribuyen sólo carácter tóxico a las enzimas pécticas (5). Para este caso, las enzimas celulolíticas no serían consideradas toxinas. Varios caracteres reafirmarían esta observación: acción localizada, efecto no observado a distancia del lugar de producción, reacción producida después de un período prolongado de contacto de la mezcla —cuarto día— lo que indica la intervención de una enzima (8). A partir de este análisis, no se puede emplear una enzima para selec-

cionar fuentes de resistencia, porque como tal no actúa como factor de patogenicidad ni de virulencia.

En los gráficos de interacción/filtrado-cultivar y en el análisis de la producción de la enfermedad por cada aislamiento en particular, se observó falta de correspondencia entre el efecto del inóculo y efecto del filtrado para los cuatro aislamientos interactuantes. Alberseim, Jones y English (1) formularon una explicación de la causa que distintos aislamientos de un mismo patógeno ataquen diferencialmente cultivares diferentes de una misma especie. El espectro de interacción entre enzimas que degradan los polisacáridos de pared y los carbohidratos de la planta hospedante es muy amplio, y conduce a una variedad de interacciones entre planta y la enfermedad; en cambio, se establece una relación más o menos razonable entre producción de la toxina y producción de la enfermedad por el patógeno (33). Esta parcialización podría apoyar la consideración de metabolito no tóxico -en sentido estricto- para las enzimas celulolíticas tratadas en este trabajo.

CONCLUSIONES

Siguiendo las consignas delineadas al señalar el propósito de este trabajo se concluye que no se halló correlación de resultados al comparar el efecto del método de **inoculación** con el efecto del método de **topicación**. Con ambos métodos se observa una respuesta definida de cada uno de los cultivares (BN, KT, T708) a los respectivos aislamientos (LHW5, LHW4, LHW3, 38388C.D) pero al compararlas no se corresponden. Por tanto, el filtrado de cultivo de *M. graminicola* de composición enzimática (celulasas) no se puede emplear en la selección para comportamiento varietal.

LITERATURA CITADA

- ALBERSHEIM, P.; JONES, I.; ENGLISH, P. 1969. Biochemistry of the cell wall in relation of infective processes. *Annual Review of Phytopathology* 7:171-195.
- ALBERSHEIM, P.; ANDERSON-PROUTY. 1975. Carbohydrates, protein, cell surface, and the biochemistry of pathogenesis. *Annual Review of Plant Physiology* 26:31-52.
- BASHIAN, Y.; OKON, Y.; HENIS, Y. 1985. Detection of cutinase and pectic enzymes during infection of tomatoes by *Pseudomonas syringae*. *Phytopathology* 75:940-945.
- BATEMAN, D.F. 1963. Pectolytic activities of culture filtrates of *Rhizoctonia solani* and extracts of *Rhizoctonia*-infected tissues of bean. *Phytopathology* 53:198-204.
- BATEMAN, D.F.; BASHIAN, Y. 1976. Degradation of plant cells and membranes by microbial enzymes. In *Physiological plant pathology Encyclopedia of Plant Physiology* 4:316-345.
- BOUSQUET, J.F.; SKAJJENNICOV, M.S. 1974. Isolation and mode of action of a phytotoxin produced by *S. nodorum* Berk. *Phytopathology* 80:355-360.
- BRADFORD, M.M. 1976. A rapid and sensitive method for the principle of protein-dye binding. *Analytical Biochemistry* 72:248-254.
- BROWN, W. 1915. The action of *Botrytis cinerea*. *Annals of Botany* 29:313-348.
- BURQUE, D.; KAUFMAN, P.; McNEIL, M.; ALBERSHEIM, P. 1974. The structure of plant cell walls. VI. A survey of walls of suspension-cultured monocots. *Plant Physiology* 54:109-115.
- CORDO, C.A. 1979. Mancha de la hoja del trigo (*Septoria tritici*) en la República Argentina: Método de inoculación en laboratorio. *Anales de la Sociedad Científica Argentina* 212:41-48.
- CORDO, C.A.; MARECHAL, I.R. 1988. Acción tóxica del filtrado de *Septoria tritici*. *Revista de la Facultad de Agronomía (Arg.)* 63:25-34.
- DESHIPANDE, K.B. 1960. Studies on the pectolytic enzymes system of *Rhizoctonia solani* Kuhn. IV. Viscosity-reducing enzymes. *Enzymology* 22(5):295-306.
- EYAL, Z.; AMIRI, Z.; WAHL, I. 1973. Physiological specialization of *S. tritici*. *Phytopathology* 63:1087-1091.
- GAYED, S.K. 1961. Production of symptoms of barley leaf-spot diseases by culture filtrate of *Helminthosporium sativum*. *Nature* 12:725-726.
- GRIFFEY, R.T.; LEACH, J.G. 1965. The influence of age of tissue on the development of bean anthracnose lesions. *Phytopathology* 55:915-918.
- HOFFMAN, S.J.; SCHIILE, J. 1972. Leaf bioassay for *Helminthosporium carbonum* toxin: Search for phytoalexin. *Phytopathology* 63:729-734.
- LUKE, H.; WHEELER, H.E. 1955. Toxin production by *Helminthosporium victoriae*. *Phytopathology* 45:453-458.
- MALCOM, H. 1978. A host-specific toxin extracted from *Septoria tritici*. In *Proceedings of the Australian Septoria Workshop*. N.S.W. Wales.
- MEEHAN, F.; MURPHY, H. 1974. Differential phytotoxicity of metabolic by-products of *Helminthosporium victoriae*. *Science* 106:270-271.
- MERCER, P.C.; WOOD, R.K.S.; GREENWOOD, A.D. 1974. Resistance to anthracnose of French bean. *Physiological Plant Pathology* 4:291-306.
- NELSON, N. 1944. A photometric-adaptation of the Somoggi method for the determination of glucose. *Journal of Biological Chemistry* 153:375-380.

22. SALEMINK, C.A.; REBEL, H. 1965. Phytotoxin isolated from liquid cultures of *Ceratocystis ulmi*. Science 149:202-203.
23. SCHEFFER, R.P.; PRINGLE, R.B. 1961. A selective toxin produced by *Periconia circinata*. Nature 191:912-913.
24. SCHEFFER, R.P.; YODER, O.C. 1972. Host-specific toxins and selective toxicity. In Phytotoxins in plant disease. R.K.S. Wood, A. Ballio, A. Graniti (Eds.). New York, Academic. p 251-272.
25. STEEL, R.D.Y.; TORRIE, J.H. 1985. Bioestadística: Principios y procedimientos. McGraw-Hill. 622 p.
26. STEINER, G.; BYIHNER, R. 1971. Partial characterization and use of a host specific toxin from *H. sacchari* on sugarcane. Phytopathology 61:691-695.
27. TANAKA, S. 1933. Studies on black spot diseases of the Japanese pear (*Pyrus serotina*). Memoirs of the College of Agriculture. Kyoto University 28:1-31.
28. TOMIYAMA, K. 1963. Physiology and biochemistry of disease resistance of plants. Annual Review of Phytopathology 1:295-324.
29. VANDER PLANK, J.E. 1978. Genetics and molecular basis of plant pathology. New York, Springer-Verlag. 167 p.
30. WEBER, G.F. 1922. Speckled leaf blotch of wheat. Phytopathology 12:558-585.
31. WHEELER, H. 1975. Plant pathogenesis. New York, Springer-Verlag. 106 p.
32. WOOD R.K.S. 1960. Pectic and cellulolytic enzymes in plant disease. Annual Review of Plant Physiology 11:229-322.
33. YODER, O.C. 1981. Assay. In Toxins in plant disease. R.D. Durbin (Ed.). New York, Academic Press. p 45-78.

RESEÑA DE LIBROS

FAGERIA, N.K.; BALIGAR, U.C.; JONES, C.A. 1991. Growth and mineral nutrition of field crops. Nueva York, Deckker. 476 p.

En la línea de la serie de libros sobre suelos, plantas y ambiente, este volumen examina, en sus primeros seis capítulos, la nutrición mineral de los cultivos agronómicos; los factores que afectan ese proceso, especialmente ambientales; el flujo de nutrimentos que permiten identificar los problemas nutricios; las técnicas de simulación de manejo y crecimiento de cultivos; y, finalmente, las interacciones entre nutrimentos esenciales y enfermedades de las plantas.

En adición a la reciente información en este campo, se amplían las consideraciones sobre el ambiente tropical, en vista de la amplia experiencia de los dos primeros autores sobre el tema. El énfasis bibliográfico en los artículos está dado porque constituyen un resumen de la información existente, y que, a pesar de no ser los más actualizados, dan una visión amplia de la problemática. La bibliografía del segundo capítulo, concerniente a las influencias ambientales, es particularmente amplia—más de cien referencias.

Los once capítulos siguientes están dedicados a los cultivos o a grupos de ellos. Se inicia con el tratamiento de los cereales, trigo y cebada, arroz, maíz y sorgo; luego, se sigue con las leguminosas, soja, frijol y caupí y maní, caña de azúcar, yuca y algodón. En el último capítulo se examina la nutrición de pastos con énfasis especial en las mezclas gramíneo-leguminosas y en la fijación potencial de nitrógeno por parte de los componentes de leguminosas en pastos. Todos los textos son claros y comprensibles para el profesional o el agricultor, con educación informal. El inglés es diáfano y permite el estudio del tema con conocimientos moderados.

En general es una obra de referencia de considerable utilidad para bibliotecas e investigadores, a quienes se recomienda su lectura.

ELEMER BORNEMISZA
UNIVERSIDAD DE COSTA RICA

Efecto del Nitrógeno y de la Presencia de Trébol Blanco sobre Festuca Alta¹

P. Cruz, H. Sinoquet*, F. Gastal, B. Mouliat*,
C. Varlet-Grancher**, G. Lemaire**

ABSTRACT

The response of tall fescue (*Festuca arundinacea*) growth to nitrogen supply and intercropping with white clover (*Trifolium repens*) was studied using a growth analysis method accounting for light and nitrogen relations in both pure and mixed stands. Pure tall fescue (P) and mixed (A) plots were grown in west central France with (N1) and without (N0) nitrogen supply. Leaf area, aerial biomass and nitrogen content were measured once a week during a summer regrowth with irrigation. Nitrogen fertilization had a significant effect on the fescue production in pure and mixed stands. The presence of white clover had only a small depressive influence on tall fescue production in fertilized mixture. A model of light interception for each species in the associations showed the light competition induced by white clover on tall fescue. In mixed stands, tall fescue had a lower light interception than in pure stands, but this effect was counterbalanced by a higher light conversion efficiency of intercepted PAR into dry matter. The light-conversion efficiency was strongly related to the foliage nitrogen status, which was improved by the leguminous component presence. This work shows how graminæ growth can be analysed in terms of light and nitrogen relations, particularly in case of mixed crops.

Key-words: Light competition, interception efficiency, conversion efficiency, nitrogen nutrition, mixtures.

INTRODUCCION

El cultivo de dos o más especies anuales o perennes en asociación es una práctica corriente. A pesar de la amplia difusión de los cultivos mixtos, es siempre difícil manejarlos correctamente a consecuencia del poco conocimiento de las relaciones de competencia entre especies y de las leyes biológicas que las rigen. Este desconocimiento podría explicarse

COMPENDIO

En este trabajo se estudió el efecto de la fertilización nitrogenada y de la presencia de una leguminosa (*Trifolium repens*) sobre la producción de la festuca alta (*Festuca arundinacea*). Se utilizó un método de expresión del crecimiento que permite analizar las relaciones de competencia por la luz y por el nitrógeno entre las especies asociadas. Cultivos de festuca pura (P) y asociada (A) fueron estudiados en el centro-oeste de Francia con agregado de nitrógeno mineral (N1) o sin él (N0). La superficie foliar, la biomasa aérea y el contenido de nitrógeno fueron medidos semanalmente durante un rebrote estival. La festuca alta respondió fuertemente a la fertilización nitrogenada. Sin embargo, en dicha situación, se dio un ligero efecto depresivo provocado por la presencia del trébol. La utilización de un modelo de interceptación de la luz permitió demostrar en las asociaciones la competencia del trébol por este factor. El efecto depresivo es, sin embargo, compensado por una eficiencia de conversión del PAR en materia seca superior en el caso de las festucas asociadas. Las diferentes eficiencias de conversión estuvieron muy relacionadas con el nivel de nutrición nitrogenada de los cultivos de festuca, mejorando este nivel con la presencia del trébol. Este trabajo muestra cómo analizar el crecimiento de los componentes de una asociación en relación con la luz y el nitrógeno disponibles, particularmente en el caso de una graminæ asociada a una leguminosa.

Palabras claves: Competencia por luz, eficiencia de interceptación, eficiencia de conversión, nutrición nitrogenada, asociaciones.

en parte por el gran número de combinaciones posibles de especies y por la gran cantidad de situaciones de clima y suelo, en que pueden cultivarse. Esta diversidad hace también que la búsqueda del manejo adecuado de una asociación determinada sea muy laboriosa y que la extrapolación de los resultados obtenidos lleve implícitos altos riesgos.

A pesar de las dificultades citadas, la mayor parte de los trabajos en investigación agronómica sobre asociaciones se refieren a situaciones particulares, y en ellos se presentan análisis con métodos estáticos sin ambición explicativa de los fenómenos de competencia. Ejemplos de este tipo de análisis son el uso del *Relative Yield Total* (RYT) (18) y el *Land Equivalent Ratio* (LER) (16, 17), citados corrientemente en la bibliografía científica. Estos métodos son útiles para describir y comparar situaciones particulares, pero en

¹ Recibido para publicación el 18 de julio de 1990

* Station Agropédologique de la Zone Caraï; Institut National de la Recherche Agronomique (INRA); Pointre à Pitre, Guadeloupe, Antillas Francesas

** Station d'Ecophysiologie des Plantes Fourragères, INRA, Lusignan, Francia

ningún caso permiten el estudio de la naturaleza de la respuesta de las especies asociadas a los factores de crecimiento (11), pues sólo ponen de manifiesto las consecuencias finales de la competencia (2).

En el caso particular de cultivos forrajeros perennes, las limitaciones de estos análisis son más evidentes, pues no existe un estado único y determinado de cosecha.

En un trabajo anterior (3) se describió un análisis mecanista del crecimiento de un cultivo mixto, que permitió caracterizar la competencia entre las especies asociadas por los recursos del medio (luz, agua, nitrógeno y otros). En dicho análisis, la productividad del cultivo se evaluó por su rendimiento energético, el cual pone en relación la producción de materia seca y la radiación solar (PAR = *Photosynthetically Active Radiation*), interceptada por el canopy (8, 14). En caso de crecimiento potencial, es decir sin limitación de agua ni elementos nutritivos, dicha relación es una recta común a todas las especies de un mismo tipo metabólico (C3 ó C4). Si un factor se vuelve limitante, su efecto se traducirá en una disminución de la cantidad de energía interceptada al momento del muestreo (menor desarrollo del área foliar) o en una disminución de la pendiente de la recta (menor eficiencia de conversión del PAR interceptado), o en ambas simultáneamente.

La identificación del factor implicado se puede realizar al efectuar mediciones del potencial hídrico en el caso del agua, y al analizar el contenido de nitrógeno u otros elementos en la materia seca. Dichos valores de contenido de nitrógeno no deben compararse en una fecha determinada, sino que deben expresarse en función de la cantidad de materia seca acumulada, evitando así el fenómeno de dilución del nitrógeno durante el crecimiento. Esta dilución, aun en condiciones óptimas de nutrición nitrogenada, es función de dos variables: nivel de nutrición del cultivo y tasa de crecimiento. Si el nitrógeno es expresado en función del grado de crecimiento (materia seca acumulada), se hace intervenir solamente la primera variable, la cual puede así diagnosticarse (1).

En el caso de una asociación, el rendimiento energético de cada una de las especies no puede ser calculado, si no se conoce separadamente la energía interceptada por ellas. Esta puede estimarse mediante la utilización de un modelo de intercepción descrito y validado experimentalmente sobre un cultivo mixto (10). Este modelo calcula todos los términos del balance radiactivo del PAR (radiación reflejada, transmitida al suelo, absorbida por cada especie) a partir de los datos de la estructura geométrica del cultivo, de las propiedades ópticas de las hojas y del suelo, y de las

características de la radiación incidente –altura del sol, relación entre radiación difusa y directa.

El objeto del presente trabajo es aplicar la metodología propuesta sobre una asociación de trébol blanco y festuca alta. Por tratarse de una asociación entre una leguminosa y una gramínea, se analiza particularmente el factor nitrógeno, evitando interacciones con otros elementos nutritivos y con el agua.

MATERIALES Y METODOS

Los cultivares del ensayo se sembraron en abril de 1985 en Lusignan, centro-oeste de Francia (0.07°E, 46.26°N, altitud 150 metros). El dispositivo experimental consistió en parcelas puras de *F. arundinacea* Schreb. cv. Clarine y parcelas de festuca asociada a *T. repens* L. cv. Huia, siendo la superficie de cada parcela de 10 metros cuadrados. La siembra de la gramínea se realizó en líneas a 20 cm y la leguminosa al voleo. La densidad de siembra de la festuca fue la misma en cultivo puro o asociado, lo que permitió limitar la variación del valor de la competencia intraespecífica, al comparar ambos cultivos.

En cada uno de los cultivos se estudiaron dos niveles de nutrición nitrogenada. Los niveles de nitrógeno correspondieron a 0 (N0) y 90 (N1) unidades/hectárea/rebrote, utilizándose como fertilizante el amonitrato. Al inicio del ciclo de crecimiento se aplicó a todos los tratamientos una fertilización basada en fósforo y potasio. Los cuatro tratamientos –dos cultivos por dos niveles de nitrógeno– se repartieron al azar en dos bloques, con tres repeticiones por bloque.

Todos los cultivos del ensayo fueron regados por aspersión cuando fue necesario, para mantenerlos al 100% de la evapotranspiración máxima y evitar, así, un posible déficit hídrico. El estudio se realizó durante un ciclo de rebrote de 36 días, entre el 17 de junio y el 22 de julio de 1986.

Mediciones sobre el material vegetal

La biomasa aérea fue medida semanalmente mediante el muestreo de 1.5 m² por parcela, el cual se realizó con una máquina cortadora automotriz. La materia seca remanente, luego del paso de la barra de corte, fue medida con muestreos manuales a ras del suelo de 500 cm² por parcela y adicionada a la anterior para obtener la biomasa total. De esta manera sólo se operó en las cuatro últimas fechas, puesto que al principio del rebrote, y como consecuencia de la baja altura del tapiz, sólo se hicieron muestras con la cortadora manual.

Para determinar el índice de área foliar (IAF), parámetro utilizado para el cálculo de la energía solar interceptada, fue necesario separar la biomasa foliar de ambas especies y el cálculo del peso específico foliar (PEF) de cada una de ellas. Para obtener el PEF, una submuestra por tratamiento fue planimetrada (planímetro óptico Delta T Devices) y su materia seca fue determinada. Todas las determinaciones de materia seca fueron realizadas por secado de la muestra, a 80°C durante 24 h, en estufas con circulación de aire forzada.

La materia seca obtenida por encima de la barra de corte de la cortadora automotriz –últimos cuatro muestreos– se molió hasta un tamaño de partículas de 0.5 mm y el contenido de nitrógeno total (método Kjeldahl) fue determinado. Se operó de esta manera para poder interpretar la dilución del nitrógeno solamente en la materia seca acumulada durante el rebrote estudiado. Se evita de esta manera una interferencia del material vegetal residual (principalmente estolones), no recolectado en el corte preliminar.

Balance radiactivo

Para calcular el balance radiactivo mediante el modelo citado anteriormente, deben explicitarse ciertas consideraciones. En primer lugar, los cultivos analizados fueron considerados como homogéneos en el plano horizontal. Esto significa que se considera despreciable un posible efecto de la siembra en líneas de la gramínea, el cual, en una pradera en su segundo año de crecimiento como la estudiada, puede intervenir sólo durante unos pocos días luego del corte.

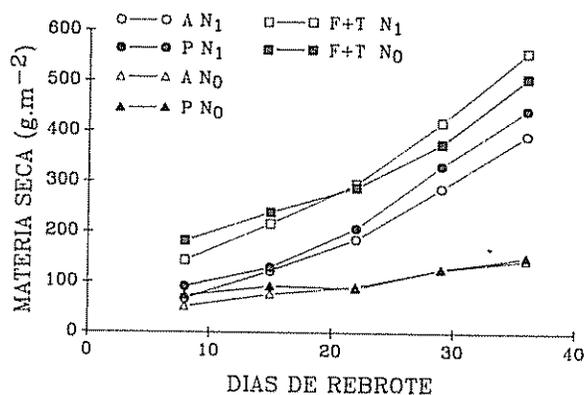
Para simplificar la utilización del modelo, los parámetros de la estructura se limitaron a dos: el IAF de cada especie y la inclinación media con respecto al plano horizontal de las hojas de cada una de ellas. Como valores de inclinación media de las hojas de las dos especies utilizadas, se tomaron datos citados en la bibliografía: 25° para el trébol blanco (9) y 65° para las gramíneas de hojas erectas (19). En cuanto a las propiedades ópticas de las hojas de ambas especies se tomaron valores de coeficientes de reflexión y transmisión del PAR de 0.10 y el mismo valor para el albedo del suelo.

Para los coeficientes de reflexión y para la inclinación media de las hojas de ambas especies, se estableció como hipótesis la inexistencia de un efecto "asociación" o "nivel de fertilización" sobre dichos parámetros. De todas maneras el modelo es poco sensible a ligeras modificaciones de estos parámetros (10). La radiación global (RG) incidente fue medida con un piranómetro LI-COR 2005 y se asumió la relación $PAR = 0.48 * RG$ (15).

RESULTADOS Y DISCUSION

Crecimiento

En la Fig. 1 se muestra la acumulación de materia seca en función del tiempo de rebrote para festuca pura, festuca asociada y asociación festuca más trébol. El efecto del nitrógeno mineral y de la presencia del trébol sobre la festuca puede analizarse, estableciendo diversas comparaciones. En primer lugar, la fertilización incrementa notablemente el crecimiento de la festuca ya sea pura o asociada. La diferencia entre esos dos tratamientos fertilizados (N1) hace suponer un efecto competitivo del trébol, el cual no se manifiesta en el caso de que haya ausencia de nitrógeno.



Legenda:

- A : festuca asociada
- P : festuca pura
- F + T : festuca + trébol
- N0 : no fertilizado
- N1 : fertilizado (90 u de N/ha)

Fig 1 Acumulación de la biomasa aérea en función del tiempo de rebrote

Sobre la producción total de la asociación (festuca más trébol) existe igualmente un efecto de la fertilización, pero al observar la baja producción de la festuca asociada N0, se puede deducir que la contribución del trébol ha sido más importante en la asociación N0 que en la N1.

El crecimiento, así expresado, da resultados considerados clásicos como la mayor contribución del trébol cuando no se fertiliza con nitrógeno (4), o resultados más originales como el efecto competitivo de la leguminosa hacia la gramínea (12). Sin embargo, es evidente que todo resultado observado sobre las curvas

de crecimiento es consecuencia de las relaciones de competencia entre la gramínea y la leguminosa, y que ninguna conclusión puede sacarse sobre el sentido ni sobre la amplitud de dichas relaciones. Para ello es necesario analizar más profundamente la competencia por luz y nitrógeno, dos factores fundamentales en esta experimentación.

Eficiencia de intercepción de la radiación solar

El modelo utilizado permite calcular la evolución a lo largo del ciclo de rebrote de la eficiencia de la intercepción de la radiación para la festuca pura y asociada en los dos niveles de nitrógeno. Para este cálculo el modelo utiliza las mediciones semanales del IAF de cada especie de la asociación, interpolándolas en forma lineal para obtener datos diarios. Las curvas obtenidas están representadas en la Fig. 2. Puede observarse el efecto de competencia del trébol por sombreado puesto que, aunque el IAF es superior o igual en las gramíneas asociadas (Fig. 2a), la cantidad de energía que interceptan es inferior a la calculada para los cultivos puros (Fig. 2b).

Una síntesis de estas relaciones está dada por la Fig. 3, la cual expresa la eficiencia de intercepción en función del IAF. Ella muestra que, inde-

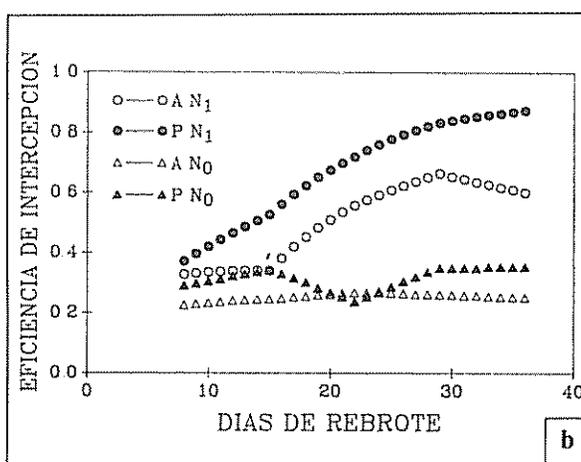
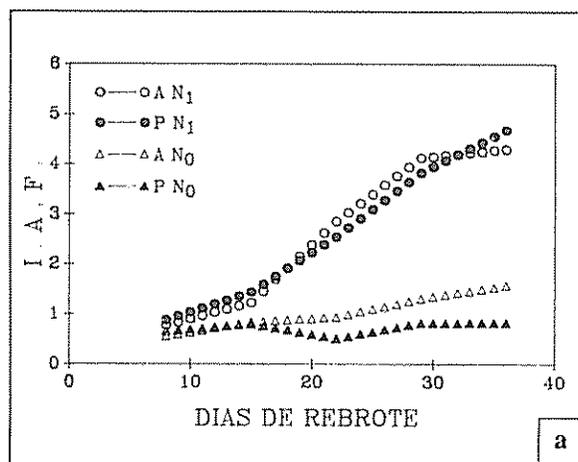
pendientemente del nivel de fertilización considerado, la intercepción de la luz para un mismo IAF es siempre superior en la gramínea pura que en la asociada al trébol.

Eficiencia de conversión

La relación obtenida para cada cultivo de festuca en la Fig. 3 permite calcular la eficiencia de conversión en materia seca de la energía útil para la fotosíntesis (PAR) absorbida por cada uno de ellos (Fig. 4), utilizando los datos de radiación global (RG)

Las pendientes de las rectas muestran que la eficiencia de conversión es superior en la gramínea asociada, lo que le permite compensar la gran diferencia de eficiencia de intercepción para un mismo IAF. Dicha compensación se traduce en una producción equivalente de la gramínea en los dos tratamientos N0. En el caso del nivel N1 la competencia del trébol, manifestada en las curvas de eficiencia de intercepción (Fig. 3), no permite a la festuca asociada producir tanta materia seca como la festuca pura, a pesar de que la presencia de la leguminosa mejora su eficiencia de conversión (Fig. 4)

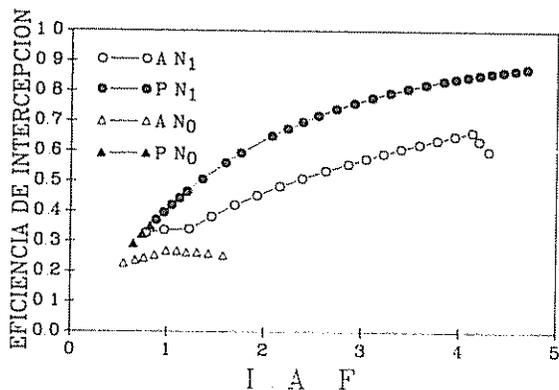
Entre paréntesis aparece el valor de la pendiente de la recta (eficiencia de conversión en g/MJ del PAR absorbido) para cada tratamiento



Leyenda:

- A : festuca asociada
- P : festuca pura
- N0 : no fertilizado
- N1 : fertilizado (90 u de N/ha)

Fig. 2 a) Cinética de expansión del IAF (Índice de Área Foliar) de los cultivos de festuca en función del tiempo de rebrote; b) Evolución de la eficiencia de intercepción del PAR (*Photosynthetically Active Radiation*) en función del tiempo para los cultivos de festuca



Leyenda:

A : festuca asociada
 P : festuca pura
 N0 : no fertilizado
 N1 : fertilizado (90 u de N/ha)

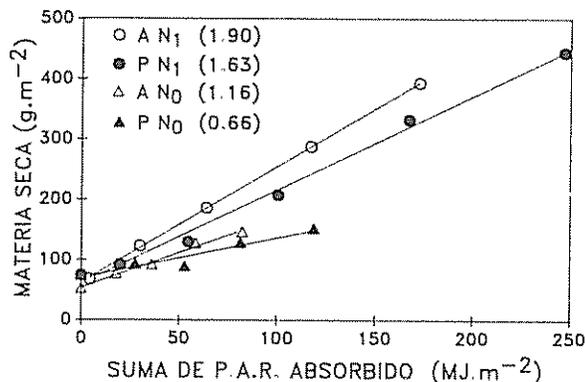
Fig 3. Evolución de la eficiencia de intercepción del PAR (*Photosynthetically Active Radiation*) en función del IAF (*Índice de Área Foliar*) de los cultivos de festuca.

La diferencia de pendiente entre las rectas calculadas para la gramínea asociada y la gramínea pura no es significativa ($\alpha = 5\%$) en ninguna de las dosis de nitrógeno. El bajo número de datos con los cuales las rectas están trazadas conlleva a la prueba estadística una baja potencia para detectar una diferencia entre los valores de las pendientes, aunque ella exista realmente (alto riesgo de error de segundo tipo). El valor de la pendiente de la festuca asociada N1 es próximo al citado en la bibliografía como la eficiencia potencial de las especies de tipo C3 en condiciones de crecimiento no limitantes (5), lo que podría indicar que su nivel de nutrición nitrogenada es óptimo.

Para confirmar un eventual efecto del nitrógeno sobre la eficiencia de conversión de las gramíneas asociadas (N0 y N1), puede realizarse un diagnóstico comparativo del nivel de nutrición de los distintos cultivos.

Nivel de nutrición nitrogenada

El diagnóstico del nivel de la nutrición nitrogenada se realiza según el método de curvas de dilución (7). Las curvas obtenidas están representadas en la Fig. 5. Se observa que efectivamente la presencia del trébol mejora el estado de nutrición de la festuca en los dos



Leyenda:

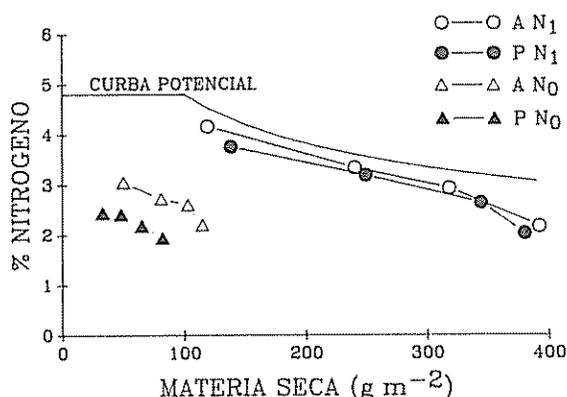
A : festuca asociada
 P : festuca pura
 N0 : no fertilizado
 N1 : fertilizado (90 u de N/ha)

Fig 4. Acumulación de la biomasa aérea en función de la suma del PAR (*Photosynthetically Active Reaction*) absorbido por los cultivos de festuca

niveles de fertilización, N0 y N1, pues para una misma cantidad de materia seca producida, el contenido de nitrógeno es más alto en la gramínea asociada que en la pura, aunque el efecto es menos evidente en el nivel N1. El orden decreciente de la nutrición nitrogenada en los cuatro tratamientos es el mismo que el observado sobre las rectas de eficiencia de conversión (Fig. 4), lo que ilustra claramente la correspondencia entre ambas expresiones.

Curva potencial: curva de referencia para cultivos de especies C3 en condiciones de nutrición nitrogenada no limitante (7).

Es importante recordar que solamente la expresión del contenido de nitrógeno en función del grado de crecimiento, permite distinguir entre un aparente efecto benéfico de la leguminosa y una verdadera mejora del nivel de nutrición de la gramínea. Dicho efecto aparente se explica frecuentemente por una disminución del crecimiento, y todo error de interpretación se evita incluyendo en la expresión del contenido de nitrógeno la materia seca producida por el cultivo considerado. La viabilidad de este método de diagnóstico está demostrada por la evidencia de resultados opuestos a los aquí presentados, obtenidos con otro tipo de asociación en que la leguminosa fue la alfalfa (1). Esto podría explicarse por un "turn over"

**Leyenda:**

A : festuca asociada
 P : festuca pura
 N0 : no fertilizado
 N1 : fertilizado (90 u de N/ha)

Fig. 5. Curvas de dilución del nitrógeno en la biomasa aérea acumulada por los cultivos de festuca.

de tejidos y órganos más rápido en el trébol, principalmente los nódulos, órganos que en el caso de la alfalfa mueren en baja proporción luego del corte (13).

En el presente experimento los valores correspondientes a la festuca asociada N1 son muy próximos a la curva de referencia citada para gramíneas de tipo C3 (6), es decir:

$$\text{Porcentaje de N} = 4.8 (\text{MS}/100)^{-32}$$

donde la materia seca (MS) se expresa en gramos por metro cuadrado y corresponde a valores a 100. Ello indica un nivel de nutrición de dicho tratamiento muy cercano al potencial, lo que explica la alta eficiencia de conversión señalada anteriormente.

CONCLUSION

El estudio de una asociación utilizando un modelo de intercepción de la radiación solar y un método de diagnóstico de la nutrición nitrogenada, permite aclarar ciertos aspectos de la competencia, entre las especies, por los recursos del medio. Se evidenció la importante reducción de la eficiencia de intercepción de la gramínea debido a la competencia del trébol. Sin embargo, su producción no se redujo en la misma proporción, pues la presencia de la leguminosa mejora la eficiencia de conversión. Esto se pone particularmente de manifiesto en ausencia de fertilización,

condición en la cual la materia seca, producida por la festuca, es equivalente en cultivo puro y asociado. El análisis del nivel de nutrición confirma el mayor efecto benéfico del trébol en el tratamiento no fertilizado. Queda demostrado que en las condiciones de este experimento, el agregado de nitrógeno mineral es contrario al efecto benéfico producido por la presencia del trébol. Este efecto sería mayor en el caso de un cultivo destinado a una producción con bajos insumos.

Es importante señalar que un análisis idéntico puede realizarse sobre los efectos competitivos de la gramínea sobre la leguminosa. En el caso del trébol blanco, el problema metodológico que debe resolverse es el de poder cuantificar de manera fiable la acumulación de la materia seca producida durante el rebrote. La importancia de la senescencia en las especies que, como el trébol, tienen un "turn over" rápido de tejidos, interfiere en la expresión de la eficiencia de conversión y de la dilución del nitrógeno (3).

El experimento puso de manifiesto el tipo de aporte que este método de análisis puede brindar al estudio de la competencia entre especies. Su utilización en estudios sobre asociaciones de leguminosas y gramíneas en condiciones tropicales presenta perspectivas interesantes. Por un lado, las asociaciones entre leguminosas C3 y gramíneas C4, típicas de dichas latitudes, presentan la originalidad de combinar tasas de crecimiento muy diferentes, condiciones en que un buen manejo requiere también un buen conocimiento de las relaciones de competencia. Por otra parte, la utilización de cultivos que necesiten bajos insumos, principalmente nitrógeno, es muy necesaria en dichas condiciones y el efecto benéfico de las leguminosas debería ser más claramente demostrado. Finalmente, la diversidad de especies que allí pueden cultivarse hace improbable la evaluación de todas las combinaciones posibles, y la formulación de leyes de comportamiento o de acción de dicha competencia se vuelve necesaria para predecir el comportamiento de una asociación.

LITERATURA CITADA

1. CRUZ, P.; LÉMAIRE, G. 1986. Analyse des relations de compétition dans une association de luzerne (*Medicago sativa* L.) et de dactyle (*Dactylis glomerata* L.). II Effets sur la nutrition azotée des deux espèces. *Agronomie* 6(8):727-734
2. CRUZ, P. 1987. Les associations graminées-légumineuses en climat tropical: Remarques sur les méthodologies d'étude. In *Pâturages et alimentation des ruminants en zone tropicale humide*. INRA p 299-309

3. CRUZ, P.; MOULIA, B.; SINOQUET, H. 1989. Extension d'une méthode d'analyse de la croissance d'un couvert végétal aux cultures associées: Bases théoriques. In Annual Meeting Caribbean Food Crops Society (25, Guadeloupe). (In press)
4. GARDNER, E.H.; JACKSON, T.L.; WEBSTER, G.R.; TURLEY, R.H. 1960. Some effects of fertilization on the yield: Botanical and chemical competition of irrigated grass-clover pasture. Canadian Journal Plant of Science 40:546-562
5. GOSSE, G.; VARLET-GRANCHER, C.; BONHOMME, R.; CHARTIER, M.; ALLIRAND, J.M.; LEMAIRE, G. 1986. Production maximale de matière sèche et rayonnement solaire intercepté par un couvert végétal. Agronomie 6(1):47-56.
6. LEMAIRE, G.; SALETTE, J. 1984. Relations entre dynamique de croissance et dynamique de prélèvement d'azote pour un peuplement de graminées fourragères. I. Etude de l'effet du milieu. Agronomie 4:423-430
7. LEMAIRE, G.; GASIAL, F.; SALETTE, J. 1989. Analysis of the effect of N nutrition on dry matter yield of sward by reference to potential yield and optimum N content. In International Grass Congress (16., Nice). Proceedings p 179-180.
8. MONTEITH, J.L. 1977. Climate and the efficiency of crop production in Britain. Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Serie B. 281:277-294
9. NICHIPOROVICH, A.A. 1961. Properties of plant crops as an optical system. Soviet Plant Physiology 8:25-38
10. SINOQUET, H.; MOULIA, B.; GASIAL, F.; BONHOMME, R.; VARLET-GRANCHER, C. 1990. Modeling the radiative balance of the components of a binary mixed canopy: Application to a white clover-tall fescue mixture. Acta Oecologica 11:469-486.
11. TURKINGTON, R. 1983. Leaf and flower demography of *Trifolium repens* L. I. Growth in mixture with grasses. New Phytologist 93:599-616.
12. VALLIS, I. 1978. Nitrogen relationships in grass/legume mixtures. In Plant relations in pastures. J.R. Wilson (Ed.). Canberra, Australia. 439 p.
13. VANCE, C.; HEICHEL, G.; BARNES, D.; BRYAN, J.; JOHNSON, L. 1979. Nitrogen fixation, nodule development and vegetative regrowth of alfalfa (*M. sativa* L.) following harvest. Plant Physiology 64:1-8.
14. VARLET-GRANCHER, C. 1982. Analyse du rendement de la conversion de l'énergie solaire par un couvert végétal. Thèse d'Etat. Université du Paris Sud. 144 p.
15. VARLET-GRANCHER, C.; GOSSE, G.; CHARTIER, M.; SINOQUET, H.; BONHOMME, R.; ALLIRAND, J.M. 1989. Mise au point: Rayonnement solaire absorbé ou intercepté par un couvert végétal. Agronomie 9:419-439.
16. WILLEY, R.W. 1979a. Intercropping: Its importance and research needs. I. Competition and yield advantages. Field Crop Abstracts 32:1-10.
17. WILLEY, R.W. 1979b. Intercropping: Its importance and research needs. II. Agronomy and research approaches. Field Crop Abstracts 32:73-85.
18. WIT, C.T. DE. 1960. On competition. Versl. Landbouwk Onderz 66(8):1-82.
19. WIT, C.T. DE. 1965. Photosynthesis of leaf canopies. Wageningen, Center for Agric. Publ. Agric. Research Report no. 663. 57 p.

Efectos del Fosetil-Al en Cítricos

I. Gomosis y Posibilidades de Control¹

M. Suárez*, R. Delgado*, D. Martínez*, L. Suárez**

ABSTRACT

Phytophthora gummosis performance in three citrus varieties grafted onto sour orange (*Citrus aurantium* L.) was studied. "Marsh" grapefruit (*C. paradisi* Macf.) on sour orange was the most sensitive combination, followed by "Ortanique" tangor (*C. reticulata* Blanco x *C. sinensis* (L.) Osbeck); less affected was "Valencia" orange. Different gummosis control methods were also tested to evaluate the possibilities of using Fosetil-Al (Aliette) as compared to the current thermal method and traditional trunk surgery. Good results were attained with the application of Fosetil-Al at the rate of 60 g/l after surgery and at 100 g/l smeared on after a simple surface scratching in the affected area. Foliar-applied Fosetil-Al at the rate of 2.5 g/l, was able to protect trees from further *Phytophthora* spp. attacks, and provided acceptable lesion control.

Key words: *Phytophthora*, citrus fruits, Fosetil-Al.

COMPENDIO

Se realizaron estudios sobre el comportamiento de la gomosis debida a *Phytophthora* spp., en tres variedades de cítricos injertadas sobre naranjo agrio (*Citrus aurantium* L.). Los resultados demuestran que la combinación más sensible es el pomelo "Marsh" (*C. paradisi* Macf.), seguida por tangerina "Ortanique" (*C. reticulata* Blanco x *C. sinensis* (L.) Osbeck) y, finalmente, con menores afecciones por naranjo "Valencia" (*C. sinensis* (L.) Osbeck). También se evaluaron diferentes métodos de control de la gomosis con el objeto de conocer las posibilidades de empleo del Fosetil-Al (Aliette), en comparación con el actual método térmico y la tradicional cirugía vegetal. Se obtuvieron resultados satisfactorios con la aplicación de Fosetil-Al a 60 g/l, posterior a la cirugía, y a 100 g/l aplicado por embadurnamiento después de un simple raspado superficial en la zona dañada. El Fosetil-Al en aspersión foliar en una dosis de 2.5 g/l, además de proveer un aceptable control de los chancros, fue capaz de proteger a los árboles de ataques ulteriores de *Phytophthora* spp.

Palabras claves: *Phytophthora*, cítricos, Fosetil-Al.

INTRODUCCION

En la Empresa de Cítricos Victoria de Girón, en Cuba, la gomosis está ampliamente diseminada (4), aun cuando el patrón más utilizado es el naranjo agrio (*C. aurantium* L.) que muestra resistencia a patógenos del género *Phytophthora* tal como *P. parasitica* Dastur, que ha sido aislado de la corteza de plantas enfermas en áreas de producción (5).

Con el envejecimiento de las plantaciones y la tendencia a la diversificación con nuevos patrones y variedades, esta problemática cobrará más importancia, por lo que se necesitan medidas preventivas y curativas más eficientes. El objeto de este trabajo es evaluar las posibilidades de empleo del fungicida sistémico Fosetil-Al (Aliette), para controlar *Phytophthora* spp. (3, 9).

Laville y Chalandon (8) plantearon que, con aspersiones foliares de Fosetil-Al en zonas geográficas muy diferentes y en condiciones de suelos y climas muy variados y en cítricos de distintos tipos, se han obtenido excelentes controles, una cicatrización completa de los chancros inducidos en los troncos y ramas principales con *P. parasitica* y *P. citrophthora*, especies que causan la gomosis en Cuba (12).

Las plantas estudiadas estaban injertadas a una altura de 40 cm y los chancros se presentaron por encima de la unión patrón-injerto.

MATERIALES Y METODOS

El trabajo se desarrolló en la Empresa de Cítricos Victoria de Girón, en un lote típico (400 ha) plantado con pomelo "Marsh" (*C. paradisi* Macf.) de 12 años de edad, tangerina "Ortanique" (*C. reticulata* Blanco x *C. sinensis* (L.) Osbeck) y naranjo "Valencia" (*C. sinensis* (L.) Osbeck), ambos con 14 años de edad e injertados sobre naranjo agrio, con un marco de plantación de 5 m x 10 m para el primero y de 4 m x 8 m en los restantes.

¹ Recibido para publicación el 9 de julio de 1991

* Estación Experimental de Cítricos, Jagüey Grande, Matanzas, Cuba.

** Empresa de Cítricos Victoria de Girón, Jagüey Grande, Matanzas, Cuba.

El suelo es ferralítico rojo típico y el riego es por aspersión.

En cada variedad se tomó el 50% del área plantada en el lote, se muestrearon todos los campos pares y las hileras 6 y 12 en cada uno de ellos, evaluando las plantas de acuerdo con la siguiente metodología:

Grado	Descripción
0	Plantas sanas.
1	Menos del 25% del área del tronco afectada, sin síntomas foliares.
2	Entre el 25% y el 50% del área del tronco afectada, amarillamiento en una o dos ramas principales.
3	Más del 50% del área del tronco afectada, defoliación generalizada, con amarillamiento marcado.
4	Plantas próximas a morir.

Los índices de afección por gomosis se determinaron mediante las fórmulas:

$$\text{Porcentaje de distribución} = \frac{\text{Plantas afectadas}}{\text{Total de plantas afectadas}} \times 100$$

$$\text{Intensidad de afección (IA)} = \frac{(0 \times N0) + \dots (4 \times N4)}{4N} \times 100$$

Donde:

N0 ... N4 - Número de plantas en cada grado.
N - Número total de plantas.

Diferentes tratamientos en el control de la gomosis

Se evaluaron distintos métodos para el control de la gomosis, los que se describen a continuación:

Térmico: Aplicación de calor directamente sobre la zona dañada por medio de la llama de un soplete.

Cirugía vegetal: Descortezamiento del área afectada, hasta delimitar bien los márgenes entre la lesión y los tejidos sanos.

Ventana: Sólo se realizó el descortezamiento en un área de 100 cm² aproximadamente, ubicada en forma de ventana en la zona central de la lesión.

Respaldo superficial: Se raspó la superficie visiblemente dañada sin llegar a profundizar en la corteza.

Sin raspar: Se mantuvo intacta la lesión.

Foliar: Aspersión del follaje con el fungicida, empleando una motomochila manual.

Como se refleja en el Cuadro 1, se estudiaron comparativamente el método térmico, aplicando la llama de un soplete durante cuatro o cinco segundos sobre la zona afectada, la cirugía vegetal con los tratamientos de los fungicidas sulfato u oxiclورو de cobre más cal o Fosetil-Al en diferentes dosis, y los métodos de la ventana, del raspado o sin raspar, con aplicaciones de Fosetil-Al a las dosis referidas.

Otras variantes de utilización del Fosetil-Al fueron: dos aspersiones foliares a razón de 5 l por árbol al inicio y final del período lluvioso (mayo y octubre) y una sola aplicación al inicio de las lluvias.

En función del número de variantes utilizadas para cada método de control de la gomosis en estudio, correspondieron entre 10 y 20 árboles escogidos al azar dentro de un campo típico de pomelo "Marsh" y, como se observa en el Cuadro 1, inicialmente se midieron los chancros y, después de observaciones periódicas, se tomó como evaluación final la realizada a los 30 meses de efectuados los tratamientos. Para conocer la intensidad de la afección se utilizó el procedimiento descrito anteriormente, pero empleando la siguiente escala:

Grado	Descripción
0	Plantas cicatrizadas, sin exudaciones.
1	Plantas cicatrizadas, con exudaciones.
2	Plantas no cicatrizadas.

La efectividad de cada uno de los tratamientos se determinó mediante la fórmula:

$$\text{Porcentaje de efectividad} = \frac{1 - \text{IA tratamiento}}{\text{IA testigo}} \times 100$$

Cuadro 1. Dimensiones de los chancros y comportamiento de la gomosis con diferentes tratamientos y métodos de control.

Métodos de control	Tratamientos (concentración)	Lesión (cm x)		Intensidad de la afección después de 30 meses (%)
		largo	ancho	
Térmico	Calor	54.6	10.7	10
Cirugía vegetal	Sulfato de cobre + cal (100-150 g/l)	55.1	6.5	0
	Oxido de Cobre + cal (100-150 g/l)	46.9	6.2	10
	Fosetil-Al (50 g/l)	53.2	6.4	20
	Fosetil-Al (60 g/l)	57.2	6.8	10
"Ventana"	Fosetil-Al (50 g/l)	60.3	13.3	80
	Fosetil-Al (60 g/l)	56.3	13.1	60
"Raspado" superficial	Fosetil-Al (50 g/l)	47.6	7.1	40
	Fosetil-Al (60 g/l)	51.4	8.3	20
	Fosetil-Al (100 g/l)	55.9	7.4	0
Sin raspar	Fosetil-Al (60 g/l)	53.8	7.8	60
	Fosetil-Al (100 g/l)	60.9	11.0	40
Foliar	Fosetil-Al 1 aplicación (2.5 g/l)	59.6	12.4	20
	Fosetil-Al 1 aplicación (2.5 g/l)	49.7	9.0	20
Testigo	--	60.7	13.2	90

RESULTADOS Y DISCUSION

Distribución e intensidad de afección de la gomosis

La gomosis se encontró en todos los campos muestreados (Cuadro 2) con la tendencia a un elevado porcentaje de plantas con daños menores al 25% del área y sin síntomas foliares (grado 1), aunque un reducido porcentaje en pomelo "Marsh" y tangerina "Ortanique" manifestó síntomas foliares, debido a que las afecciones llegaron a alcanzar entre el 25% y el 50% del perímetro del tronco (grado 2).

Si no se toman las medidas de control oportunas, al transcurrir el tiempo, se incrementará el número de plantas afectadas y se agudizarán las consecuencias de los daños producidos fundamentalmente en pomelos. En éstos aparecieron unas pocas plantas con defoliación generalizada, debido a las lesiones en el

tronco, que sobrepasaron el 50% de su superficie (grado 3); en esta fase ya no es posible recuperar las plantas afectadas y, al pasar más tiempo, un mayor número de ellas alcanzarán este grado.

Es necesario aplicar medidas de control, además, por las mermas considerables en la producción de los árboles enfermos, los que pueden llegar a morir (2). Según Klotz y Childs (6) la enfermedad causa daños significativos en las raíces y en la zona basal de la planta hasta ocasionar severas lesiones que pueden ser graves y permanentes, debido a que los azúcares y otras sustancias, producidas en las hojas, no pueden translocarse hasta el sistema radical y alimentarlo.

En las plantaciones estudiadas, aunque el síntoma no se presenta en la zona basal por la resistencia del patrón naranjo agrio (2) a *Phytophthora*, las lesiones en troncos y ramas principales también obstaculizan la circulación de sustancias elaboradas.

Cuadro 2. Porcentaje de plantas afectadas por gomosis en cada grado.

Variedad	Total de plantas	Afección (%)				
		0	1	2	3	4
"Marsh"	1 342	83.8	15.1	1.1	0.1	0.0
"Ortanique"	1 824	91.6	8.0	0.4	0.0	0.0
"Valencia"	1 824	96.9	3.1	0.0	0.0	0.0

Cuadro 3. Distribución e intensidad de afección de la gomosis en el lote.

Indices (%)	Variedades		
	"Marsh"	"Ortanique"	"Valencia"
Distribución	11.4	8.9	3.1
Indice de afección	4.3	2.2	0.8

En el Cuadro 3 se observa que los mayores problemas se encontraron en pomelo "Marsh", con valores del 11.4% y 4.3% de distribución e intensidad respectivamente, conclusiones a las que llegaron también García *et al.* (4) en estudios realizados por la empresa. En "Ortanique" la distribución refleja valores no menos importantes al alcanzar el 8.9% de los árboles, mientras que en naranjo "Valencia" sólo el 3.1% de las plantas presentó chancros producidos por *Phytophthora*.

Acción de diferentes tratamientos en el control de la gomosis

Los resultados demuestran (Fig. 1) que el control de la gomosis mediante el método térmico es efectivo; y la tradicional cirugía vegetal, también, mostró un buen control con la aplicación de sulfato u oxiclورو de cobre más cal, ambos en dosis de 100 g/l y con Fosetil-Al a 60 g/l como "protectantes" en el área descortezada.

El Fosetil-Al aplicado a 50 g/l y 60 g/l, con el método de la "ventana", refleja resultados no satisfactorios, ya que el contacto del producto en la parte central de la lesión estimula la cicatrización fundamentalmente en la zona donde se practicó la ventana.

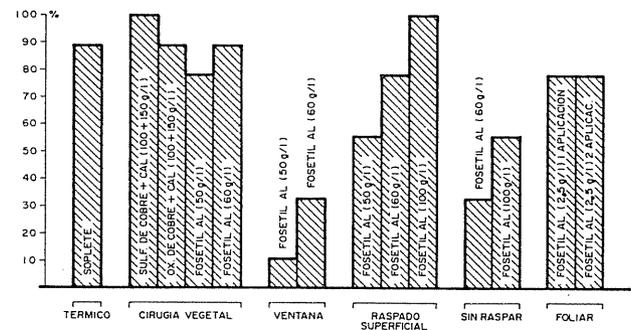


Fig. 1. Efectividad de los diferentes tratamientos y métodos en el control de la gomosis.

Por lo tanto es difícil eliminar la presencia del chancro por este método; sin embargo, el Fosetil-Al aplicado sobre superficies dañadas raspadas superficialmente ofrece una mejor actividad de control, sobre todo con dosis de 100 g/l, mediante las cuales las plantas se recuperaron. Pero el valor de este método no radica solamente en el porcentaje de plantas que se pueden curar, sino también en la capacidad de recuperación de los chancros. Es así que los tejidos enfermos no muy afectados pueden recuperarse totalmente; en chancros, donde el hongo sólo haya

provocado la muerte parcial de los tejidos en lesiones aun bien expandidas, se puede observar que el tejido enfermo se desprende en forma de escamas al ser sustituido por otro nuevo de apariencia completamente sana; y en chancros más avanzados se desprende la corteza sin ser renovada sólo en la parte más afectada por el patógeno. De ahí que este método permite una recuperación más rápida en los árboles, logrando la desaparición de los chancros en un tiempo más breve; cuando la cicatrización no es completa porque la zona afectada es muy grande, la permanencia de las lesiones cicatrizadas siempre tiene un diámetro inferior que con los métodos empleados hasta el momento (Fig. 2).



Fig. 2. Control de la gomosis con el método del 'raspado' superficial y la aplicación de Fosetil-Al en lesiones muy desarrolladas.

Las concentraciones más altas de Fosetil A-1 (60 g/l y 100 g/l), aplicadas directamente sobre la superficie afectada, fueron poco efectivas, debido probablemente a la disminución del contacto del producto con los tejidos activos de la planta; lo mismo pudo haber ocurrido con el método de la "ventana", donde la translocación del Fosetil-Al, a través de los haces conductores, parece estar limitada, como consecuencia de los daños producidos por *Phytophthora* spp.

Se conoce que el Fosetil-Al actúa estimulando los mecanismos de autodefensa de la planta y no por con-

tacto directo con el patógeno (11), por lo que para un buen control de la gomosis, además de la dosis adecuada de Fosetil, éste necesita ser absorbido y translocado con eficiencia.

Al valorar el estado sanitario general de las plantas tratadas mediante los métodos "térmico", de cirugía vegetal con aplicación de cobre más cal y "raspado" superficial con aplicación de Fosetil-Al a 100 g/l, se observó la presencia de exudaciones de goma en un 80%, 60% y 40% respectivamente, como consecuencia de los chancros producidos por *Phytophthora* spp. en otras partes del tronco y las ramas principales. Esto indica que dichos métodos no eliminan otros chancros, ya establecidos, ni evitan la aparición de otros puntos de infección, mientras que el Fosetil-Al, aplicado al follaje, es capaz de suprimir el desarrollo de *Phytophthora* spp. y posibilita que las plantas se mantengan libres de infecciones durante un período de tiempo prolongado, debido al efecto sistémico de este fungicida y a su capacidad de moverse en forma ascendente y descendente en la planta (10). Es el sistema descendente el que le permite que, una vez aplicado al follaje, pueda controlar a *Phytophthora* spp. en las partes bajas de la planta, no sólo cuando muestra los síntomas visibles (Fig. 3) sino también en las infecciones incipientes, ya que la gomosis no es más que la manifestación externa de afecciones severas.



Fig. 3. Control de la gomosis en lesiones poco desarrolladas con aplicación foliar de Fosetil-Al

En sentido general, los resultados obtenidos en el control de los gomosis, coinciden con los estudios de Laville y Chalandon (8) en tratamientos directos sobre chancros de *Phytophthora* spp. inducidos o por infecciones naturales, donde soluciones de Fosetil-Al, en comparación con las técnicas clásicas de embadurnamiento mediante caldos cúpricos o captafol, lograron un cese inmediato del desarrollo de los chancros, acompañado de un cese de la exudación de goma, independientemente, del tamaño de los mismos. Además, con aplicaciones foliares de Fosetil-Al, se obtuvo un control completo y a largo plazo de los chancros producidos por *Phytophthora* spp.

CONCLUSIONES

La encuesta realizada en el área escogida demuestra que la gomosis causada por *Phytophthora* spp. se encuentra ampliamente distribuida. Son más importantes los daños en pomelos por su marcada susceptibilidad, a pesar de estar injertados sobre naranjo agrio.

Para controlar esta enfermedad los resultados confirman que en el tratamiento directo de los chancros en los troncos o ramas principales, se pueden utilizar diferentes métodos tales como:

- Térmico: Aplicación de calor con la llama de un soplete.
- Cirugía vegetal: Como "protectantes" en la zona descortezada.
 - a) Sulfato de cobre más cal (100 g/l - 150 g/l).
 - b) Oxidocloruro de cobre más cal (100 g/l - 150 g/l).
 - c) Fosetil-Al (60 g/l).
- Raspado superficial y aplicación de Fosetil-Al (100 g/l).

Estos métodos son efectivos, pero resultan poco prácticos por su laboriosidad, fundamentalmente la cirugía vegetal; y no es raro observar un alto porcentaje de plantas con nueva actividad de chancros que hace necesarios nuevos tratamientos. Este aspecto cobra mayor importancia en las condiciones de la citricultura extensiva que se desarrolla actualmente en Cuba.

El Fosetil-Al puede utilizarse con éxito por embadurnamiento de los chancros después de un simple raspado superficial de la zona afectada, lo cual hace más práctico el método ya que no es necesario eliminar la corteza afectada ni delimitar los tejidos sanos y enfermos, como exigen los preparados cúpricos. Pero evidentemente, este tipo de tratamiento se hace más

necesario cuando se produce un descubrimiento tardío de la gomosis; por consiguiente, el Fosetil-Al debe aplicarse preferiblemente por vía foliar como tratamiento preventivo-curativo en las plantaciones, a partir de un determinado porcentaje de plantas con síntomas visibles de la enfermedad, cuando se garanticen resultados económicos positivos.

LITERATURA CITADA

1. DAVIS, R.M. 1982. Control of *Phytophthora* root and foot rot of citrus with systemic fungicides metalaxyl and phosethyl aluminum. *Plant Disease* 66(3):218-220.
2. FAWCETT, H.S. 1936. *Citrus diseases and their control*. New York, McGraw. 656 p.
3. FEICHTENBERGER, E. 1982. Research work on the control of *Phytophthora* gummosis of citrus with systemic fungicides in Brazil. *Marrakeck, Journées Aliette* 274:11.
4. GARCIA, R.; AGUILAR, H.; TOLEDO, J.L. 1983. La pudrición del pie de los cítricos en la Empresa de Cítricos "Victoria de Girón". *Centro Agrícola* 10(3):93-104.
5. HERRERA, L.; RIVERO, L. DEL; GARCIA, R. 1980. Resistencia varietal de especies y variedades de cítricos a *Phytophthora parasitica* Dastur. *Centro Agrícola* 7(1):141-151.
6. KLOTZ, I.J.; CHILDS, J.F.L. 1963. La podredumbre del pie de los cítricos. Trad. por J. Mesa. In *USDA: Enfermedades de las plantas*. Méx. p. 855-859.
7. LAVILLE, E. 1979. Utilisation d'un nouveau fongicide systemique: L'Aliette, dans la lutte contre la gommose à *Phytophthora* des agrumes. *Fruits* 34(1):35-41.
8. LAVILLE, E.; CHALANDON, A. 1982. Síntesis de los resultados obtenidos con el Fosetil-Al en la lucha contra las enfermedades de los agrios debidas a *Phytophthora*. *Fruits* 37(1):11-17.
9. MATEUS, J.D.; NISHIDA, T.; 1984. Timing foliar sprays of phosethyl-Al to control *Phytophthora* gummosis in lemon trees. In *International Citrus Congress (So Paulo) Abstracts* 461.
10. PAVIOT, J.; MANFORTE, J.E. 1986. Utilización de Aliette contra las enfermedades de los cítricos. In *Simposio Internacional sobre Citricultura Tropical (La Habana, Cuba) Abstracts* 447.
11. RAINAL, G.; RAVISE, A.; BOMPEIX, G. 1980. Action du tris-o-ethyl-phosphonate d'aluminium sur la pathogenic de *Plasmopara viticola* et sur la stimulation des reactions de défense de la vigne. *Annales de Phytopathologie* 12(3):163-175.
12. ZAMORA, V.; CASIN, J. 1986. El género *Phytophthora* como causante de enfermedades en los cítricos. *Boletín de Reseñas. Cítricos y Otros Frutales* 24:56.

Efectos del Fosetil-Al en Cítricos

II. Influencia sobre Rendimientos¹

R. Delgado*, M. Suárez*, R. Casamayor*

ABSTRACT

Fosetil-Al effects on mature grapefruit (*Citrus paradisi* Macf.) trees grafted to sour orange (*C. aurantium* L.) treated over two consecutive years (four applications per year) are evaluated. This systemic fungicide was able to increase yields significantly by increasing the number of fruits per tree the first year and by enhancing fruit size in both years. Quality analysis showed increased physical characters with no change in the chemical ones. Of the three rates evaluated (2.5, 5 and 20 g/l - 5 l of solution per tree), the 5 g/l rate showed the best results.

Key words: *Phytophthora*, Fosetil-Al.

COMPENDIO

Se evaluaron los efectos del Fosetil-Al durante dos años de aplicación consecutiva (cuatro aplicaciones al año), en árboles adultos de pomelo "Marsh" (*Citrus paradisi* Macf.) injertados sobre naranjo agrio (*C. aurantium* L.). Este fungicida sistémico logró elevar significativamente los rendimientos, pues en el primer año se incrementó el número de frutos por planta y en dos años aumentó el tamaño de las frutas. El análisis de calidad denota incrementos en los caracteres físicos de los frutos, sin alteraciones en los caracteres químicos. De las tres dosis evaluadas (2.5 g/l, 5 g/l y 10 g/l, a razón de 5 l de solución por planta), se obtuvieron los mejores resultados al emplear 5 g por litro.

Palabras claves: *Phytophthora*, Fosetil-Al.

INTRODUCCION

Durante los últimos años se han estudiado diferentes productos químicos, destinados al control de *Phytophthora* spp. en cítricos. Entre éstos, el Aliette o Fosetil-Al (Tris-o-etil fosfonato de aluminio) se ha utilizado comercialmente en varias regiones cítricas del mundo.

Se le ha empleado en viveros y plantaciones jóvenes y adultas de diferentes combinaciones patrón-injerto. En plantaciones adultas se han logrado aumentos significativos en los rendimientos (6, 7, 8), aunque la respuesta es variable, al parecer relacionada con el nivel de infección de *Phytophthora* spp.

Se ha demostrado que, con Fosetil-Al, la longitud de las raíces puede aumentar hasta en un 300% (4). De esta forma, en las regiones más afectadas y donde hay una mayor cantidad de propágulos por gramos de suelo en la rizosfera, se puede esperar una mejor respuesta. Habrá una mayor recuperación con respecto a los árboles no tratados y, por tanto, una mejor absorción de agua y nutrimentos en los árboles tratados con dicho producto.

La Empresa de Cítricos de Jagüey Grande, si bien no presenta una de las áreas cítricas con más gomosis en el país, tiene la enfermedad ampliamente distribuida fundamentalmente en pomelos, con una distribución de un 11.4% en un lote estudiado como se refleja en la primera parte de este trabajo. Ello presupone un nivel de infección alto en las raíces (no visible) en nuestras plantaciones.

La mayor parte de los estudios con Fosetil-al en cítricos se ha encaminado hacia el control de *Phytophthora* spp., tanto de forma preventiva como curativa, bondades que se han demostrado convincentemente en diferentes regiones del mundo (1, 2, 4, 9).

El objetivo del presente trabajo es evaluar los efectos del Fosetil-Al en pomelos adultos y definir la dosificación óptima con el propósito de mejorar los rendimientos.

MATERIALES Y METODOS

Se emplearon plantas aparentemente sanas de pomelo "Marsh" (*C. paradisi* Macf.), injertadas sobre naranjo agrio (*C. aurantium* L.), plantadas en 1975 a 5 m x 10 m, en un suelo ferralítico rojo típico y con un sistema de riego por aspersión bajo pronóstico.

¹ Recibido para publicación el 9 de julio de 1991.

* Estación Experimental de Cítricos, Jagüey Grande, Matanzas, Cuba.

El Fosetil-Al se aplicó al asperjar el follaje con una motomochila manual durante cuatro veces al año (enero, abril, julio y octubre), coincidiendo con los períodos de actividad vegetativa.

Se usaron 5 l de solución final y los tratamientos fueron:

- Solución de 2.5 g/l (12.5 g/plantas).
- Solución de 5 g/l (25 g/planta).
- Solución de 10 g/l (50 g/planta).
- Testigo (sin aplicación).

En cada tratamiento se utilizaron cinco réplicas de tres árboles, dispuestos en un diseño de bloques al azar.

Se estudiaron los efectos durante dos años de aplicación consecutiva (1987 y 1988), evaluando el número de frutos por planta y su peso. Además, se efectuó un análisis de calidad cada año para lo cual se tomaron cinco réplicas de 12 frutas por tratamiento (4 por árbol), analizando los siguientes caracteres: diámetro, altura, peso y grosor de la corteza, así como el porcentaje de sólidos solubles totales (SST), por refractometría, el de acidez por titulación con NaOH 0, 1 N, en presencia de fenolftaleína como indicador, el índice de madurez (SST/acidez) y el contenido de vitamina C con 2,6-diclorofenol indofenol.

Los procedimientos agrotécnicos se efectuaron siguiendo los instructivos técnicos que se aplican en la producción.

Los resultados fueron procesados estadísticamente por medio de análisis de variancia y la prueba de rangos múltiples de Duncan, ($P = 0.05$). Los datos expresados en porcentaje se transformaron para el análisis mediante la fórmula, $2 \arcsen \sqrt{x}$.

RESULTADOS Y DISCUSION

Como se observa en la Fig. 1, el Fosetil-Al mejoró significativamente los rendimientos en el primer año de aplicaciones, fundamentalmente debido al incremento en el número de frutos y a un ligero aumento en el peso.

Se ha postulado (5) que el mecanismo de acción del Fosetil-Al se basa en la elevación de la capacidad defensiva de la planta, contra diferentes especies patógenas del género *Phytophthora*.

Para esto, su doble sistema ascendente y descendente permite este control en la zona radical, donde la incidencia de *Phytophthora* spp. y sus efectos negativos sobre los rendimientos están aún poco estudiados en nuestras condiciones.

Al parecer estas plantas aparentemente sanas, respondieron a las aplicaciones de Fosetil-Al, ya que aunque el patrón de naranjo agrio es bastante resistente a *Phytophthora* spp. (9), debe existir un cierto grado de afección en las raíces controlable por este fungicida sistémico.

El segundo año de aplicaciones consecutivas (1988) no muestra incrementos significativos en los rendimientos, aunque el peso de los frutos si aumentó significativamente. Esto puede deberse al efecto alterante del primer año de aplicaciones sobre el segundo; no obstante, aún en las variantes de mayor incremento en el primer año, no hubo caídas en los rendimientos en el segundo, lo cual indica que las plantas tratadas con Fosetil-Al mantienen la ventaja sobre las no tratadas.

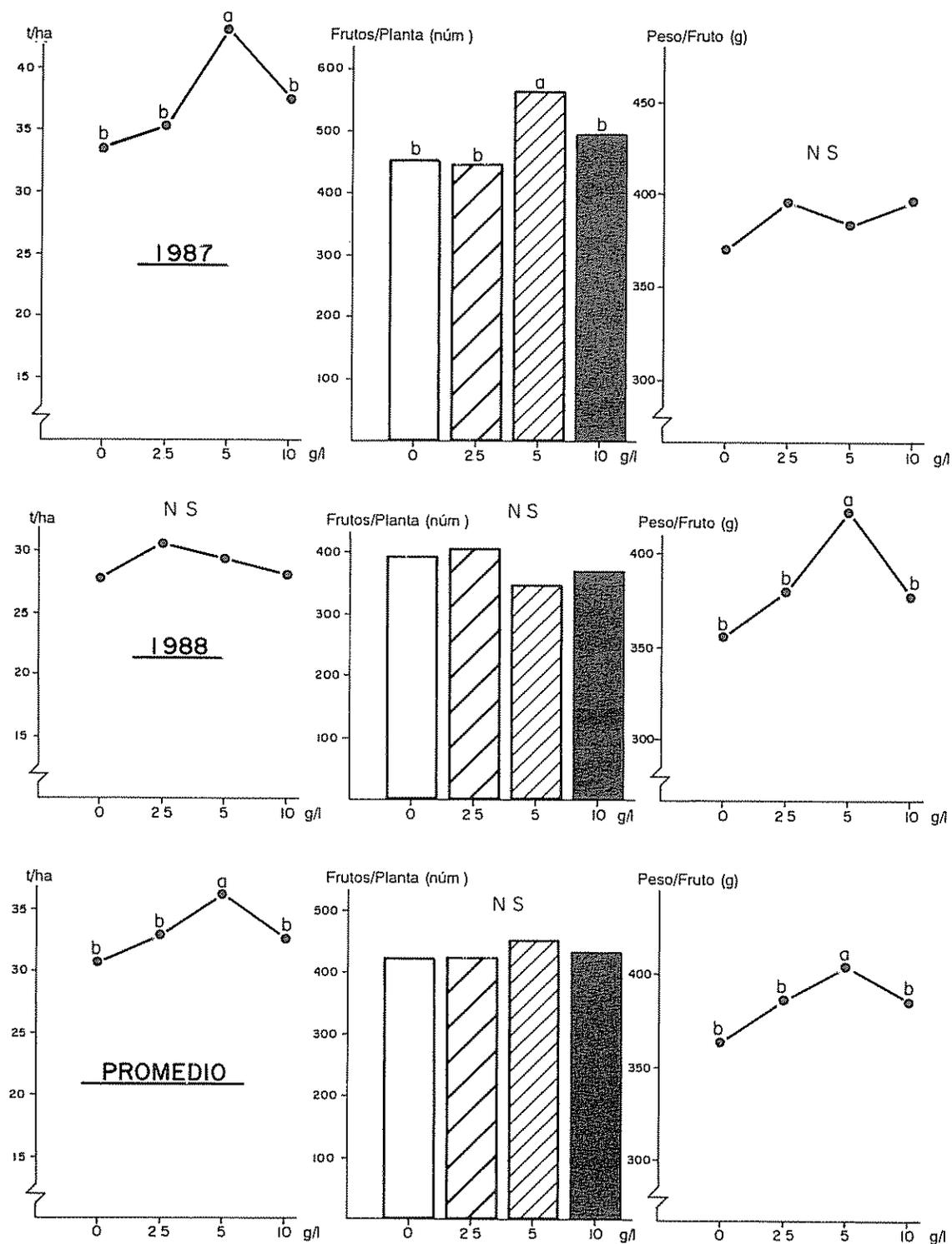
El hecho de que en el primer año mejore el número de frutos por planta y que en el segundo su calibre puede explicarse, a través de la hipótesis de que la elevación en la capacidad de absorber agua y nutrimentos y en el estado general de los árboles del primer año repercutió desde los primeros componentes del rendimiento (floración, cuaje). Ello elevó el número de frutos y su aumento en tamaño no fue tan marcado, por la multiplicación de los consumidores de reservas al aplicar Fosetil-Al y la lógica competencia que se establece entre las estructuras reproductoras; no obstante, a pesar de aumentar significativamente el número de frutos, su tamaño no fue menor, únicamente explicable sobre la base de que estas plantas suministraron más nutrimentos hacia sus frutos.

En el segundo año, la fructificación pudo estar limitada por los incrementos en el año anterior, como se ha sugerido, sin embargo, en árboles con cantidades aproximadamente iguales de frutos, su crecimiento fue mayor, evidenciando la capacidad del Fosetil-Al en ese año de aumentar el calibre, efecto logrado con la mejoría en el estado general de los árboles.

Hubo incrementos en los rendimientos hasta de 5.5 t/ha con 5 g/l de Fosetil-Al, mientras que con 10 g/l los efectos fueron más pobres.

El análisis de calidad (Cuadro 1) mostró que no hubo diferencias en los caracteres químicos en ambos años, mientras que los caracteres físicos (peso, diámetro, altura y espesor de corteza) aumentaron significativamente en el segundo. El porcentaje de jugo se elevó con dosis intermedias en 1987.

Como se observa en el Cuadro 2, en todos los casos hubo incrementos en los rendimientos, y la respuesta más consistente se obtuvo con la dosis intermedia (5 g/l). Aquí debe considerarse que el análisis se hace sobre la base de los efectos en plantas aparentemente



Leyenda: Letras iguales no difieren según la prueba de rangos múltiples de Duncan en cada carácter y año, P=0.05 .

Fig. 1. Efectos del Fosetil-Al sobre los rendimientos (t/ha), la fructificación (número de frutos por planta) y el peso de los frutos (g) durante 1987, 1988, y el promedio.

Cuadro 1. Análisis de calidad en frutos de árboles de pomelo "Marsh" tratados con Fosetil-Al y sin tratar.

Dosis (g/l)	Peso (g)	Diámetro (mm)	Altura (mm)	Espesor corteza (mm)	Jugo (%)	SST (%)	Acidez	SST/Acidez (%)	Vitamina C (mg/100 ml jugo)
COSECHA 1987									
0	362	90.0	84.1	6.6	26.8 b	9.0	1 390	6.5	44.3
2.5	398	90.5	86.0	6.5	30.6 a	9.4	1 339	7.0	44.3
5	388	90.1	84.1	6.0	27.8 ab	9.0	1 359	6.7	43.0
10	372	90.6	85.0	6.5	26.5 b	9.0	1 378	6.6	44.4
sig.	ns	ns	ns	ns	*	ns	ns	ns	ns
COSECHA 1988									
0	352 b	87.0 b	84.0 b	3.9 b	44.4	8.9	1 114	8.0	37.8
2.5	376 b	90.0 a	90.0 a	5.6 a	43.7	9.0	1 083	8.4	36.1
5	418 a	92.0 a	90.0 a	4.2 b	45.2	8.9	1 127	7.9	37.0
10	380 b	92.0 a	90.0 a	4.2 b	43.6	9.0	1 039	8.7	36.8
sig.	*	*	*	*	ns	ns	ns	ns	ns

Nota: Valores con letras iguales no difieren según la muestra de rangos múltiples de Duncan, P = 0.05.

Cuadro 2. Rendimientos obtenidos con cuatro aplicaciones anuales de Fosetil-Al en pomelo "Marsh".

Tratamientos o dosis g/l t/ha incremento	Cosecha 1987		Incremento	Cosecha 1998		X Para los 2 años	
	Rendimiento (t/ha)			Igual que 1987 Rend.	Inc.	Rend.	Inc.
0	33.7	--	27.9	--	30.8	--	
2.5	35.3	1.6	30.7	2.8	33.0	2.2	
5	43.2	9.5	29.3	1.4	36.3	5.5	
10	42.4	4.1	28.0	0.1	35.2	2.1	

sanas, dentro de un campo con plantas afectadas por gomosis en el tronco y las ramas. Estas últimas deben dar una mayor respuesta y a más largo plazo; los efectos económicos serán más positivos por el saneamiento en las plantaciones que se logra al recuperar las plantas declinantes, aspecto considerado en el artículo anterior.

Resumiendo se puede concluir que el Fosetil-Al incrementa los rendimientos de los pomelos adultos injertados sobre naranjo agrio, para lo cual 5 g/l fue la dosis más efectiva.

Que la mejora en los rendimientos se debe a una mejor fructificación y a un aumento en el peso de los frutos, incrementando los caracteres físicos de los mismos sin alterar los caracteres químicos.

LITERATURA CITADA

1. FARIH, A.; MENGE, J.A.; TSAO, P.H.; OHR, H.D. 1981. Metalaxil and fosetil aluminum for control of *Phytophthora* gummosis and root rot on citrus. *Plant Disease* 65(8):654-657.
2. FROSSARD, P.; HAURY, A.; LAVILLE, E. 1977. Resultats préliminaires concernant l'activité de l'éthylphosphite d'aluminium (LS 74-783) sur les maladies à *Phytophthora* des agrumes, l'avocatier et de l'ananas. *Phytophthora-Phytopharm.* 26:55-61.
3. HERRERA, L.; DEL RIVERO, L.; GARCIA, R. 1980. Resistencia varietal de especies y variedades de cítricos a *Phytophthora parasitica* Dastur. *Centro Agrícola* 7(1):141-151.

4. LAVILLE, E. 1979. Utilisation d'un nouveau fongicide systémique: l'Alicette, dans la lutte contre la gombose à *Phytophthora* des agrumes. *Fruits* 34(1):35-41.
5. MENGE, J.A. 1986. Use of new systemic fungicides on citrus. *Citrograph* 71(12):245-250.
6. PAVITO, J.; MONFORIE, J.E. 1986. Utilización de "aliette" contra las enfermedades de los cítricos. In Simposio Internacional sobre Citricultura Tropical. Abstracts 447.
7. PINTO, W.B.S.; PRAIES, H.S.; MILAN, J.E.E. 1987. Avaliação da produtividade em talhões de pomelo tratados com o fungicida sistêmico fosetil-al, devido à incidência de *Phytophthora parasitica*. In Congresso Brasileiro sobre Fruticultura (9). Abstracts 37:20.
8. PRAIES, H.S.; MILAN, J.E.E. 1987. Efeito do fosetilal na melhoria de produtividade de talhões cítricos, como incidência da gomose de *Phytophthora*. In Congresso Brasileiro sobre Fruticultura (9). Abstracts 57:30.
9. TIMMER, L.W. 1979. Preventive and systemic activity of experimental fungicides against *P. parasitica* on citrus. *Plant Disease Reporter* 63:324-372.

Efecto de las Propiedades Mecánicas sobre Suelos Rojo-Arcillosos del Centro-Sur de Chile¹

A. Ellies*, R. Mac Donald*, C. Ramírez*

ABSTRACT

Inadequate use has caused degradation of red clay soils of southern Chile resulting in alteration of their physical/mechanical properties. This study determined the normal variation of these properties in three different red clay soils of the IX and X Regions. Characteristics of the principal soil series of the area were obtained, selecting those with the most significant agricultural activity. Penetration resistance and torsion shear of 30 sites of each soil series was measured in winter every 10 cm, up to a depth of 40 cm. In addition, undisturbed soil samples were taken to determine pore space. Information obtained was subjected to cluster analysis, selecting three sites of each soil series that represented different compaction groups (high, medium and low). In the same sites, a vegetation census was carried out to determine plant coverage and soil samples were taken to separate roots by the floatation method. The number of plant species diminished as compaction increased in the soils, and those with thick roots dominated. Total root biomass decreased in the same way, being more strongly expressed in those soils under marked seasonal precipitation. Biomass variation mainly affected fine roots.

COMPENDIO

El uso inadecuado de los suelos rojo-arcillosos de la zona sur de Chile ha provocado su degradación, alterando sus propiedades físico-mecánicas. En este estudio se determinan los rangos más comunes de estas propiedades en tres tipos de suelos rojo-arcillosos de las regiones IX y X. Se procedió a fijar los parámetros físico-mecánicos de las principales series de la zona, seleccionando aquellas con las áreas agropecuarias más significativas. Durante el período invernal, en 30 lugares de cada serie de suelo, se precisó la resistencia a la penetración y a la torsión, por estrato de 10 cm, hasta una profundidad de 40 centímetros. Paralelamente, se recolectaron muestras de suelo sin revolver para determinar la magnitud del espacio poroso. Los antecedentes fueron sometidos a un análisis de conglomerados, para lo cual se seleccionaron tres lugares por serie, que difirieron en el grado de compactación (alto, intermedio y suelto). En los lugares seleccionados se levantaron censos de vegetación para establecer el grado de cobertura y se tomaron muestras del suelo para separar raíces mediante flotación. El número de especies disminuyó al aumentar el grado de compactación en los suelos, dominando aquéllas con raíces gruesas. La biomasa radicular disminuyó en el mismo sentido, acentuándose en los suelos sujetos a una distribución más estacional de las precipitaciones. La variación en la biomasa afectó principalmente las raíces finas. Igual efecto se observó con un aumento en la resistencia a la penetración y, en menor grado, con el incremento de la resistencia a la torsión.

INTRODUCCION

La maquinaria agrícola, actualmente en uso, ha incrementado notablemente su potencia y peso. Ello en muchas ocasiones provoca una disminución en el rendimiento por compactación del suelo. En la mayoría de los casos, el efecto compactante es negativo para el desarrollo vegetal, y en especial, cuando el subsuelo es muy denso (2, 9). Las interrogantes sobre las presiones aceptables que se pueden ejercer sobre el suelo son frecuentes. La aparente ventaja en la utilización de equipos pesados

reside en que las labores de preparación del suelo se pueden efectuar más rápido y fácilmente. Pero dicha utilización puede proveer una compactación en la profundidad del suelo, especialmente cuando el laboreo se ejecuta en condiciones de humedad inadecuada (10).

Sobre la compactación del suelo inciden factores internos y externos. En los primeros, se incluyen la composición mecánica, la estructura, la estabilidad, la densidad aparente, la distribución de poros por tamaño y el contenido de carbono. Los factores externos son la magnitud de la carga, tipo de presión y sistema de tiro. Todos estos factores inciden, en uno u otro grado, sobre la compactación del suelo y alteran las condiciones de crecimiento vegetal (3, 7).

La evaluación de la compactación es difícil ante la gran variedad de condiciones en que es posible un desarrollo vegetal. Con la compactación disminuyen

¹ Recibido para publicación el 22 de enero de 1990. Financiado por el Fondo de Ciencia y Tecnología (FONDECYT) 913-88 y por la Dirección de Investigación y Desarrollo RS-88-29, Universidad Austral de Chile.

* Universidad Austral de Chile, Valdivia, Chile.

los poros gruesos en magnitudes que dependen de las condiciones de humedad y textura del suelo. El factor que más frecuentemente afecta el crecimiento vegetal es el balance del agua (5). Para determinar la capacidad de arraigamiento en un suelo existen varios métodos, ninguno exacto en términos absolutos, por lo que es mejor elegir una combinación de ellos (6).

Existen variables que permiten inferir la capacidad de arraigamiento de las plantas: densidad aparente, resistencia a la penetración, resistencia cortante y capacidad de aire de un suelo. Al degradarse un suelo por un manejo compactante, estos factores sufren una alteración. Por ejemplo, la resistencia a la penetración es una medida usada para diagnosticar el estado estructural del suelo, desde el punto de vista del desarrollo radicular. Las principales propiedades que interactúan sobre la resistencia a la penetración son: contenido de humedad, velocidad de secado, manejo agrícola y propiedades a las penetraciones; por lo tanto, constituye un elemento útil para diagnosticar el suelo en cuanto a su susceptibilidad de arraigamiento. Pero esta medida no indica las causas que dificultan la exploración del suelo por parte de las raíces, lo que se debe evaluar a partir de otros antecedentes (1). La intensidad del arraigamiento de los vegetales depende del sistema poroso del suelo, destacándose la magnitud del espacio, el tamaño de los poros y la continuidad y sentido de éstos. La penetración, desarrollo y ramificación del sistema radicular en la masa del suelo dependen, finalmente, de sus propiedades físico-mecánicas.

La variación de las propiedades físico-mecánicas de los suelos del sur de Chile se debe a los procesos pedogenéticos y a las medidas de manejo. Las praderas permanentes que se desarrollan sobre los suelos rojo-arcillosos están formadas por hierbas de origen europeo. Como su composición florística refleja las condiciones edáficas, la proporción de especies permitirá deducir las características del suelo (4). La proporción entre biomasa aérea y subterránea, también, refleja las condiciones en que prospera la planta (8).

En este trabajo se determinarán los rangos físico-mecánicos más comunes en tres series de suelos rojo-arcillosos de las regiones IX y X de Chile, y se evaluará el efecto sobre el desarrollo radicular. Estos antecedentes son una base necesaria en el diseño de normas para un mejor uso de los suelos rojo-arcillosos, evitando su erosión y, con ello, los problemas sociales.

MATERIALES Y METODOS

Como material edáfico se seleccionaron suelos rojo-arcillosos ubicados en las regiones IX y X de Chile, los cuales corresponden a las series Metrenco, Cúdico y Fresia. Se eligieron estas series porque tienen gran

extensión y muchas áreas con cultivos, incluidas en las distintas zonas agroclimáticas. Durante los meses de junio a julio de 1988 se recolectó material edáfico en 30 lugares cubiertos con pradera natural. Su selección abarcó toda la distribución espacial y, por lo tanto, la variabilidad que espera de los suelos, cuidando además que todos los lugares tuvieran una posición topográfica y pendiente similar. En cada lugar se determinó la resistencia a la penetración y a la torsión y la densidad aparente por estrato de 10 cm, desde la superficie hasta una profundidad de 40 centímetros. La resistencia a la penetración y al corte por torsión se midió siete veces. Para determinar la densidad aparente y porosidad, las muestras de suelo se tomaron con cilindros de 369 centímetros cúbicos.

En laboratorio se determinaron la densidad real y la aparente a humedad de campo, con muestras secadas a 105°C, calculándose la porosidad total.

Los valores individuales para estrato de cada lugar y por serie de suelo fueron sometidos a un análisis de conglomerados por variable, para seleccionar sitios de cada serie de suelo que representaran poblaciones con distintas propiedades físicas. De cada serie de suelo se escogieron tres sitios, usando como criterios de selección la porosidad total del suelo seco y la resistencia a la torsión.

Los sitios seleccionados por porosidad, resistencia a la penetración y resistencia al corte por torsión de la serie Fresia quedaron muy próximos entre sí, mientras en los de las series de Cúdico y Metrenco estaban ligeramente más separados.

En cada lugar seleccionado se levantó un censo vegetativo y se extrajeron muestras no removidas de suelo para determinar la cantidad de raíces: las más grandes fueron separadas manualmente y las más finas mediante flotación.

RESULTADOS Y DISCUSION

En el Cuadro 1 se presentan las variaciones de las propiedades físico-mecánicas considerando la totalidad del perfil de las tres series de suelos analizadas. De Norte a Sur existe un orden de mayor a menor en las tres series de suelo analizadas, en la densidad aparente y en la resistencia a la torsión y, por lo tanto, una relación inversa para la porosidad total. Para la resistencia a la penetración no se observa una ordenación geográfica. Los suelos con menor porosidad presentan mayor resistencia a la torsión y están ubicados en áreas con una estacionalidad en las precipitaciones más marcada.

Cuadro 1. Variabilidad de las propiedades físico-mecánicas de los suelos Metrenco, Cúdico y Fresia.

Suelos	Metrenco				Cúdico				Fresia			
	media	de	máx.	mín.	media	de	máx.	mín.	media	de	máx.	mín.
R. P.	9.6	2.2	17.2	2.7	10.2	2.0	16.0	4.8	10.0	2.4	18.5	2.8
R. T.	10.8	4.3	24.0	1.6	8.3	2.4	21.6	1.0	7.3	2.1	16.4	1.6
Da. C.	1.17	0.11	1.39	0.74	1.03	0.14	1.29	0.64	0.84	0.13	1.04	0.45
Da. S.	1.32	0.14	1.62	0.84	1.20	0.16	1.52	0.74	1.02	0.14	1.24	0.61
Ep. C.	54.2	4.0	69.9	47.1	58.1	5.1	72.3	48.2	64.5	5.1	79.8	52.4
Ep. S.	48.5	5.2	65.9	37.1	51.0	5.7	67.3	37.6	56.5	5.4	71.2	42.5

Notas:

- R. P. = Resistencia a la penetración (kg/cm²)
R. T. = Resistencia a la torsión (kg/cm²)
Da. C. = Densidad aparente de campo (g/cm³)
Da. S. = Densidad aparente suelo seco (g/cm³)
Ep. C. = Espacio poroso campo (%)
Ep. S. = Espacio poroso suelo seco (%)
de = desviación estándar

Los valores de densidad aparente y porosidad total difieren en las condiciones de campo y en las muestras secadas. Ello se debe a que este tipo de suelo tiene mucho material coloidal inorgánico, que afecta su capacidad de hinchamiento. En el período estival estos suelos se secan completamente en la superficie, de manera que alcanzan una porosidad similar a la mínima. La distribución por tamaño del espacio poroso también debería variar en el transcurso del año al cambiar la porosidad de condiciones húmedas a secas.

La resistencia a la penetración y a la torsión se midió en condiciones invernales y, por lo tanto, representan valores mínimos. En condiciones secas estas resistencias serán mayores por la cohesión de la textura del suelo. En el período estival existe por ello una mayor resistencia al arraigamiento de las plantas.

En el Cuadro 2 se detallan las propiedades físico-mecánicas de los puntos con distintos grados de compactación de los suelos seleccionados, mediante el análisis de conglomerados. Estos puntos representan las distintas poblaciones de alta, media y baja porosidad total.

En las series Metrenco y Fresia, los suelos representantes de los tipos de compactación difieren considerablemente entre sí en su porosidad, mientras que en el suelo Cúdico los dos primeros grupos se asemejan. El grupo más compactado del suelo Fresia es más suelto que el más suelto del suelo Metrenco y, también, más suelto que el grupo de compactación intermedia del suelo Cúdico.

La resistencia a la torsión media por perfil se incrementa con el aumento de la densidad aparente, pero en los estratos superiores no siempre se encuentra esta relación. Similar es la tendencia entre resistencia a la penetración y densidad aparente.

En el Cuadro 3 se presentan la cantidad y distribución por tamaño de las raíces en los tres suelos para las distintas condiciones de compactación. La cantidad de raíces por volumen del suelo Metrenco, aumenta fuertemente, junto con el incremento del espacio poroso, en especial para las raíces más finas. El incremento del arraigamiento en la condición más suelta de este suelo, puede deberse a un mayor espacio poroso, como también a la menor resistencia a la torsión y penetración en estas condiciones.

En el suelo Cúdico también aumentan las raíces, en especial las finas en condiciones de alta porosidad. La cantidad de raíces para el rango de compactación alta e intermedia es similar, ya que en las dos condiciones no difiere significativamente el monto del espacio poroso. En un suelo con porosidad intermedia existe incluso una disminución en la cantidad de raíces, lo cual se puede explicar por la alta resistencia a la penetración medida en este caso. En el suelo Cúdico se esperaba un incremento aún mayor en la cantidad de raíces para la condición menos compactada, pero esto probablemente fue impedido por la alta resistencia a la penetración observada en el primer estrato. Algo similar ocurre con la resistencia a la torsión.

Cuadro 2. Propiedades físico-mecánicas de los grupos poblacionales de las tres series de suelos analizados.

Suelo	Profundidad (cm)	Resistencia		Densidad		Porosidad	
		Penetración	Torsión m(kg/cm ³)	Campo	Seco (g/cm ³)	Campo (%)	Seco
Metrenco							
Compactado	0-10	12.2	7.8	1.37	1.52	47.3	41.5
	10-20	10.7	8.3	1.23	1.42	51.3	43.9
	20-30	11.5	7.0	1.32	1.53	50.6	42.7
	30-40	10.3	9.8	1.39	1.61	47.6	39.3
Intermedio	0-10	9.2	8.5	1.09	1.26	58.1	51.5
	10-20	11.0	7.8	1.11	1.27	57.3	51.2
	20-30	11.7	8.1	1.13	1.29	56.7	47.5
	30-40	11.2	8.8	1.15	1.34	54.9	47.5
Suelto	0-10	3.8	5.3	0.94	1.02	60.2	56.8
	10-20	8.3	7.2	1.06	1.14	56.6	53.3
	20-30	8.0	6.3	1.04	1.11	60.2	57.5
	30-40	8.5	11.1	1.13	1.26	56.4	51.4
Cúdico							
Compactado	0-10	10.7	10.0	1.16	1.30	52.3	46.5
	10-20	10.4	9.7	1.24	1.36	51.4	46.7
	20-30	11.6	11.1	1.23	1.43	49.0	40.7
	30-40	10.9	8.4	1.29	1.43	48.2	42.6
Intermedio	0-10	13.1	8.7	1.12	1.27	54.1	48.0
	10-20	13.0	10.0	1.12	1.31	55.9	48.4
	20-30	11.2	6.9	1.09	1.19	56.7	52.6
	30-40	10.8	7.7	1.15	1.27	56.1	51.5
Suelto	0-10	12.3	9.7	0.78	0.93	65.2	58.5
	10-20	8.2	7.8	0.72	0.85	67.4	61.5
	20-30	7.0	6.8	0.64	0.74	71.7	67.3
	30-40	6.5	5.6	0.67	0.80	71.6	66.1
Fresia							
Compactado	0-10	10.4	8.7	0.91	1.14	60.3	50.2
	10-20	10.0	8.1	1.01	1.22	52.4	42.5
	20-30	9.4	7.2	0.94	1.10	60.4	53.5
	30-40	7.3	4.9	0.84	1.16	62.3	48.0
Intermedio	0-10	14.4	10.1	0.78	0.95	69.3	62.6
	10-20	11.5	7.7	0.72	0.87	67.0	60.1
	20-30	11.8	7.2	0.64	0.79	72.1	65.5
	30-40	7.3	6.7	0.76	0.95	68.6	60.7
Suelto	0-10	13.0	8.5	0.55	0.72	73.8	65.7
	10-20	12.4	8.0	0.56	0.75	73.3	64.3
	20-30	6.5	5.4	0.47	0.73	78.2	66.2
	30-40	5.9	4.5	0.50	0.79	77.9	65.0

Cuadro 3. Monto y distribución por tamaño de las raíces en los suelos analizados para tres condiciones de compactación.

Suelo	Profundidad (cm)	Raíces		Monto total	
		Tamaño > 0.2 mm (g/l)	< 0.2 mm	Estrato (g/l)	Perfil acumulado (g/l)
Metrengo					
Compactado	0-10	1.22	6.71	7.93	7.93
	10-20	0.67	0.69	0.76	8.69
	20-30	0.05	0.43	0.48	9.17
	30-40	0.05	0.24	0.29	9.46
Intermedio	0-10	5.91	8.65	14.56	14.56
	10-20	2.12	1.70	3.82	18.38
	20-30	0.99	0.66	1.65	20.03
	30-40	0.61	0.39	1.00	21.03
Suelto	0-10	4.52	30.62	35.14	35.14
	10-20	0.82	9.57	10.39	45.53
	20-30	0.14	1.07	1.21	46.74
	30-40	0.18	0.77	0.95	47.69
Cúdico					
Compactado	0-10	5.36	11.96	17.32	17.32
	10-20	0.65	1.50	2.15	19.47
	20-30	0.41	0.96	1.37	20.87
	30-40	0.20	0.50	0.70	21.57
Intermedio	0-10	2.75	10.60	13.35	13.35
	10-20	0.42	3.90	4.32	17.57
	20-30	0.46	0.57	1.03	18.60
	30-40	0.14	0.28	0.42	19.02
Suelto	0-10	4.56	20.24	24.80	24.80
	10-20	1.15	6.62	7.77	32.65
	20-30	0.35	1.22	1.57	34.22
	30-40	0.15	1.12	1.27	35.49
Fresia					
Compactado	0-10	3.33	15.08	18.41	18.41
	10-20	1.28	5.82	7.10	25.51
	20-30	0.57	2.12	2.69	28.20
	30-40	0.22	1.40	1.62	29.82
Intermedio	0-10	2.11	14.51	16.62	16.62
	10-20	0.70	8.61	9.31	25.93
	20-30	0.51	8.34	8.85	34.78
	30-40	0.35	0.82	1.17	35.95
Suelto	0-10	1.70	7.99	9.69	9.69
	10-20	0.32	3.47	3.79	13.48
	20-30	0.49	3.04	3.53	17.01
	30-40	0.27	1.16	1.43	18.44

La relación observada entre porosidad total, resistencia a la penetración con la cantidad y distribución por tamaño de raíces en los suelos Cúdico y Metrenco, es similar. Esto se explica porque tienen un rango semejante de propiedades físico-mecánicas. También las condiciones climáticas para estos suelos se asemejan. Distinta es la situación para el suelo Fresia que mantiene una alta porosidad en los tres rangos de compactación. Sólo se observa un leve aumento en la cantidad de raíces en los dos primeros rangos de compactación. En la condición más suelta hay una disminución en la cantidad de raíces. Por ser más poroso, este suelo debe presentar un mayor grado de macroporosidad, lo que constituye una ventaja para climas muy lluviosos. Sin embargo, con una precipitación estacional, como ocurre en este caso, una porosidad gruesa abundante no presenta ventajas, debido a la menor capacidad de acumulación de agua en el suelo.

En el suelo Fresia no se encontró una asociación entre resistencia a la penetración y desarrollo radicular. Esta resistencia parece ser una limitación para el arraigamiento sólo cuando se presenta junto con una alta densidad aparente o baja porosidad. Con una alta porosidad, una mayor resistencia a la penetración no afecta el desarrollo vegetal, sino más bien la mayor o menor cantidad de agua que se almacena en el suelo.

La composición florística de los suelos Metrenco y Cúdico presentó una gran variación entre los diferentes niveles de compactación, dominando especies diferentes en cada situación. Los cambios más extremos los presentó el suelo Metrenco, en el cual para la situación menos suelta dominaron chéptica (*Agrostis capillaris*) y cola de zorro (*Cynosurus echinatus*); con compactación intermedia: paja ratonera (*Anthoxanthum utriculatum*) y pasto cebolla (*Arrhenatherum bulbosum*); y con compactación alta, trébol (*Trifolium cf. arvense*) y zanahoria silvestre (*Daucus carota*). En el suelo Cúdico con la compactación intermedia aumenta la cobertura de porotillo (*Lotus subpinnatus*) y un incremento a niveles altos, se reflejó en una abundancia de aquilea o mil en ramas (*Achillea millefolium*). En el suelo Fresia, la flora fue más uniforme y sólo destacó un aumento en la cobertura de la hierba del chancho (*Hypochaeris radicata*), en los niveles medios de compactación.

En el suelo Metrenco compactado se presentaron especies vegetales con raíces pivotantes, grandes y gruesas, mientras que en los más sueltos dominaron hierbas con raíces finas superficiales. En el suelo Cúdico estas diferencias no existen. En el suelo Fresia se encontró cierta disminución del tamaño de las raíces de algunas especies hacia los niveles de mayor compactación.

En el Cuadro 4 se presentan las especies vegetales que dominan en los suelos analizados para los distintos grados de compactación. En los suelos Metrenco y Cúdico aumentan las especies terófitas o anuales para las condiciones más compactadas, mientras en el suelo Fresia éstas sólo están presentes en las más sueltas. Aparentemente, su presencia responde a la falta de agua, común denominador para las situaciones descritas. En efecto, esta forma de vida es propia de climas secos.

Cuadro 4. Composición florística estival para los suelos Metrenco, Cúdico y Fresia, con distinto grado de compactación.

Formas de vida	Hemicriptófitos		Terófitos	Otras especies
	En roseta	Cespitosos		
Metrenco				
Compactado	2	4	7	4
Intermedio	3	6	3	0
Suelto	4	7	2	1
Cúdico				
Compactado	4	4	6	1
Intermedio	5	4	7	1
Suelto	3	10	2	2
Fresia				
Compactado	4	9	0	2
Intermedio	2	6	3	3
Suelto	4	11	2	2

A medida que aumenta la porosidad en los suelos, también aumentan las especies hemicriptófitas, es decir hierbas perennes con yemas a nivel del suelo. Dentro de este grupo de vegetales incrementan preferentemente las especies cespitosas. Estas últimas se caracterizan por tener raíces menos gruesas y una distribución radicular más profusa.

La supervivencia de la parte aérea verde de este grupo de plantas depende de la permanente disponibilidad de agua; en caso contrario, y con breves períodos de sequía, dichos órganos mueren rápidamente. Los hemicriptófitos cespitosos presentan grandes cambios estacionales de su biomasa en condiciones poco favorables de humedad. En caso de sequía prolongada, ellos reducen su biomasa y, entonces, son fácilmente superados por especies más resistentes, como los hemicriptófitos en roseta.

CONCLUSIONES

Existe un orden Norte-Sur, de mayor a menor, en el grado de compactación de los suelos analizados. Los

suelos más compactados presentan también una mayor resistencia a la torsión y en un menor grado para la resistencia a la torsión.

Los suelos más compactados en relación con los sueltos tienen menos raíces por unidad de volumen. Al aumentar el grado de porosidad aumentan principalmente las raíces finas.

En los suelos compactados se incrementa el número de especies terófitas, mientras que en los suelos más sueltos el de las hemicriptofíticas, destacándose entre éstas las cespitosas.

LITERATURA CITADA

1. BARLEY, K.P.; FARELL, D.A.; GREACEN, E.I. 1965. The influence of soil strength on the penetration of a loam by plant roots. *Australian Journal of Soil Research* 3:69-73.
2. BLACK, G.R. 1964. Soil compaction: Is it critical? *Crops and Soils* 16:9-12.
3. COLEMAN, G.E.; PERUMPAL, J.V. 1974. The infinite element analysis of soil compaction. *Transactions of ASAE* 17(5):856-860.
4. ELLENBERG, H. 1974. Zeigerwerte mitteleuropäischer Gefaesspflanzen. *Scripta Geobotanica (Goettingen)* 9:1-97.
5. HARTGE, K.H.; EHLERS, W. 1985. Zur Wirkung Physikalischer Bodeneigenschaften auf den Ertrag von Kulturpflanzen. *Kali-Briefe* 16(6):477-488.
6. HARRACH, T. 1978. Die Durchwurzelbarkeit von Boeden als wichtiges Kriterium des Ertragspotenciales. *Kali-Briefe* 14(2):115-122.
7. HORN, R. 1986. Compressibility of arable land. In *Impact of water and external forces on soil structure*. *Catena Supplement* 11:53-72.
8. KAUSCH, W.; HEINRICH, E. 1959. Beziehungen zwischen Transpiration und Wurzelwerk. *Planta* 53:434-448.
9. SOMMER, H., STEINKAMPF, M.; ZACH, M.; CZERATZKI, W. 1976. Ein Beitrag zum Problem der Bodenverdichtung beim Einsatz leistungsstarker Schlepper. *Landbau Voelkerode* 25(2):69-74.
10. VOMOCIL, J.A.; FLOCKER, W. 1965. Degradation of structure of Yolo loam by compaction. *ASSSP* 29:7-12.

Resistencia del Frijol a Mustia Hilachosa y su Interacción con la Lluvia¹

G. Frías*, M.R. Rojas*, S. Saborío**

ABSTRACT

The effect of environmental conditions on bean (*Phaseolus vulgaris* L.) resistance to web blight (WB) caused by *Thanatephorus cucumeris* (Frank) Donk was evaluated in Esparza, Costa Rica, in 1988. Disease severity and environmental factors were monitored on two plantings at the National Web Blight Nursery of Costa Rica (VINTE) and two of the International Web Blight Nursery Elite (VIM Elite). The VINTE was spray inoculated with mycelial suspensions of *T. cucumeris*, and the VIM Elite was exposed to natural inoculum in the field. All bean lines presented lower disease severities than the susceptible control, "BAT 1155" when the average rainfall during crop development was 87 - 92 mm/10 days. However, with rainfalls of 134 - 168 mm/10 days, these lines were as susceptible as "BAT 1155" VINTE bean lines exposed to an average rainfall of 92 mm/10 days could not be differentiated from the susceptible control, based on the number of WB lesions four days after inoculation with mycelial suspensions. However, 23 days after inoculation, all lines had disease severities significantly lower than "BAT 1155". This suggests that WB resistance is a plant physiological response triggered by the fungus during infection, and results in lower growth rate of the pathogen within the infected tissue. To explain the interaction rainfall-WB resistance, the following hypothesis is proposed: Intensity of plant reaction to the infection by *T. cucumeris* varies according to soil moisture. High rainfalls (134-168 mm/10 days) increase soil moisture to levels that completely inhibit plant resistant reaction to the pathogen. Knowledge gained on the interaction rainfall-resistance may be used to modify the breeding strategy in order to increase efficiently the level of resistance to bean web blight.

COMPENDIO

Se evaluó el efecto del medio ambiente sobre la resistencia del frijol a la mustia hilachosa causada por *Thanatephorus cucumeris* (Frank) Donk, en Esparza, Costa Rica, en 1988. Se registraron las condiciones climáticas y la severidad de la enfermedad en dos siembras del Vivero Nacional de Telaraña (VINTE), Costa Rica, y del Vivero Elite de Mustia (VIM Elite). El VINTE se asperjó con suspensiones de micelio del patógeno y el VIM Elite se expuso al inóculo natural. Cuando el promedio de lluvia, durante el ciclo de cultivo, fue de 87 - 92 mm/10 d, las líneas de frijol evaluadas, en ambos viveros, presentaron severidades de mustia menores que el testigo susceptible "BAT 1155". Sin embargo, cuando la lluvia alcanzó 134 - 168 mm/10 d, todas las líneas fueron tan susceptibles como el testigo. En el VINTE expuesto a precipitaciones promedio de 92 mm/10 d, ninguna línea pudo diferenciarse de "BAT 1155" con base en el número de lesiones de mustia, cuatro días después de la aspersión con suspensiones de micelio del patógeno. Sin embargo, 23 días después de la inoculación, todas las líneas presentaron porcentajes de mustia significativamente menores que "BAT 1155". Esto sugiere que la resistencia a mustia es el resultado de una reacción fisiológica de la planta, que se activa después de la infección y que resulta en la disminución del crecimiento del patógeno dentro del tejido infectado. Para explicar la interacción lluvia-resistencia a mustia, se propone la siguiente hipótesis: La intensidad con que la planta reacciona a la infección por *T. cucumeris* varía de acuerdo con la humedad del suelo. Cuando la lluvia es abundante (134 - 168 mm/10 d), la humedad del suelo alcanza niveles que inhiben completamente la reacción de resistencia de la planta. El conocimiento de la interacción lluvia-resistencia puede utilizarse para modificar la estrategia de mejoramiento y aumentar, en forma eficiente, el grado de resistencia del frijol a la mustia hilachosa.

INTRODUCCION

El uso de variedades resistentes es una de las mejores alternativas para el manejo de la mustia hilachosa del frijol, causada por *Thanatephorus cucumeris* (Frank) Donk (anamorfo: *Rhizoctonia solani*). Desde 1974, se seleccionó germoplasma de frijol con base en su reacción a la enfermedad en condiciones de campo (9, 13, 14, 16), y se identificaron muchas líneas y variedades con algún grado de resistencia. Sin embargo, este germoplasma no posee niveles de resistencia adecuados para obtener rendimientos aceptables en regiones con alta precipitación y temperatura, en donde la enfermedad se ha convertido en la principal limitante del cultivo (1, 2, 4, 15, 16).

1 Recibido para publicación el 3 de julio de 1989

* Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), Apdo. 55-200, Coronado, San José, C.R.

** Estación Experimental Fabio Baudrit, Universidad de Costa Rica

Los esfuerzos para incrementar el grado de resistencia del germoplasma seleccionado en el campo no han tenido el éxito esperado. En 1988 ninguna de las líneas mejoradas, incluidas en el Vivero Internacional de Mustia (VIM), superó significativamente a la variedad Talamanca, que posee niveles "intermedios" de resistencia (7, 8). "Talamanca" fue seleccionada del Vivero del Equipo de Frijol, CIAT, sembrado en Costa Rica en 1979 y ha sido usado como testigo del VIM desde 1983 (9).

Uno de los problemas para mejorar la resistencia del frijol a la mustia es que la reacción de las variedades a la enfermedad, de un lugar o fecha de siembra a otro, varía considerablemente. Por ejemplo, en el VIM 1983-85 se reportan variedades que fueron evaluadas como de resistencia intermedia ("tolerantes") en algunos países y susceptibles en otros (9). Este fue el caso de las variedades HT 7719, MUS 6 y XAN 33 en el VIM 1985 sembrado en Costa Rica, Guatemala y República Dominicana.

Esta inconsistencia en la reacción del germoplasma a la enfermedad se ha observado también al comparar variedades sembradas en diferentes regiones de un mismo país. Flores (6) sembró 35 variedades en Pérez Zeledón y Esparza, Costa Rica, y encontró algunas con resistencia intermedia a la enfermedad en una localidad y susceptibles en la otra.

También se han observado cambios en la reacción de las variedades de acuerdo con la época de siembra. Por ejemplo, "MUS 37" fue la variedad con la más baja severidad de mustia entre las 100 líneas del VIM sembrado en mayo 1986 en Esparza, Costa Rica. En la siembra de setiembre, en el mismo año y localidad, más de 25 líneas presentaron severidades menores que MUS 37 (7, 18).

Para aumentar la eficiencia del mejoramiento de frijol por resistencia a mustia, es necesario conocer los factores responsables de los cambios en la reacción del germoplasma de un lugar o época de siembra a otro.

Los datos que aquí se presentan sugieren que la cantidad de lluvia, durante el desarrollo del cultivo, es el principal factor responsable de los cambios en la reacción de las variedades a la enfermedad, de una fecha de siembra a otra.

MATERIALES Y METODOS

Ubicación y manejo agronómico

Los ensayos se llevaron a cabo en Esparza, Costa Rica, en 1988, en una finca ubicada a 208 msnm, con una precipitación media anual de 2520 milímetros.

Las líneas de frijol del Vivero Nacional de Telaraña (VINTE), Costa Rica, 1988, y del Vivero Internacional de Mustia Elite 1988 (VIM ELITE), se sembraron en parcelas de tres surcos de 2 m de largo, espaciados a 0.6 metros. En cada surco se sembraron 30 semillas. Se fertilizó con la fórmula comercial 10:30:10, a razón de 200 kg/ha y se aplicó Mefosfolan (Cyrolane 2G). Tanto el fertilizante como el insecticida se aplicaron al fondo del surco, antes de la siembra.

Evaluación de resistencia en el VINTE

Las 11 líneas de frijol del VINTE, un testigo susceptible a mustia, "BAT 1155", y uno de resistencia intermedia, "Talamanca", se sembraron el 26 de mayo (VINTE-mayo) y el 23 de setiembre (VINTE-set.) de 1988. Parcelas de cada línea se distribuyeron en un diseño de bloques completos al azar con cuatro repeticiones. Las plantas del surco central de cada parcela se asperjaron con aproximadamente 100 ml de una suspensión de micelio de *R. solani* con 60 000 fragmentos por mililitro, preparada siguiendo la metodología que a continuación se describe.

Se cultivó un aislamiento de *R. solani* en papa dextrosa agar. Antes de que el hongo cubriera la superficie del medio, se transfirieron tres discos de micelio (5 ml de diámetro) de la orilla de la colonia a un Erlenmeyer de 500 ml con 50 ml de caldo de papa dextrosa y se incubó por 3 d a 25° centígrados. Cincodiez colonias de *R. solani* se separaron del medio de cultivo y se licuaron durante 3 min en 200 ml - 250 ml del "buffer" ácido morfolinoctano-sulfónico 0.0005 M, pH 6.1 (MES) (Sigma). La suspensión resultante se filtró a través de ocho capas de gasa. El número de fragmentos de micelio en el filtrado, se estimó con un hemacitómetro y se diluyó con el "buffer" MES hasta ajustar la concentración a 60 000 fragmentos por mililitro.

Los VINTE-mayo y setiembre se inocularon 19 d y 24 d después de la siembra (DDS), respectivamente. Para reducir la infección por salpique del inóculo natural presente en el suelo, el surco central de las parcelas del VINTE-mayo se cubrió con zacate seco. En el VINTE-setiembre, los tres surcos de la parcela se cubrieron con cascarilla de arroz. La selección del tipo de sustrato usado para evitar el salpique fue hecha con base en la disponibilidad del material, pero ambos fueron considerados igualmente eficientes. En el VINTE-setiembre se cubrieron los tres surcos de la parcela para evitar el efecto del salpique del suelo aledaño al surco central inoculado.

Los bloques del VINTE, asperjados con suspensiones de micelio, se alternaron con bloques no

inoculados de las mismas líneas y con el mismo tipo de cobertura. En estas parcelas se evaluó la proporción de enfermedad producida por salpique de inóculo natural.

El porcentaje de área foliar con mustia se estimó visualmente cada 7 d a 12 días. En el VINTE-mayo, se contó el número de lesiones en 10 trifolios por surco, 4 d después de la inoculación (DDI), para determinar si las diferencias en severidad de mustia, entre variedades, se debían a una reducción de las infecciones producidas por el patógeno.

Evaluación de resistencia en el VIM Elite

Las 12 líneas que componen el VIM Elite 1988, un testigo susceptible, "BAT" 1155, y uno de resistencia intermedia, "Talamanca", fueron sembrados utilizando el mismo tipo de parcela, manejo agronómico y diseño usado para el VINTE. Sin embargo, el VIM Elite se expuso al inóculo natural presente en el suelo de la parcela experimental. No se inoculó ni se protegió del salpique.

El porcentaje de área foliar con mustia se estimó visualmente cada 7 d a 10 días.

Interacción lluvia-resistencia a mustia

Para obtener información adicional sobre el efecto de la lluvia en la reacción del frijol a mustia, se examinaron los resultados de diferentes viveros (VIM, VINTE, VIM Elite A y VIM Elite B) sembrados en Esparza, Costa Rica, en 1988, en épocas con precipitaciones en promedio de 87 mm/10 d a 168 mm/10 d, durante el ciclo de cultivo. El grado de resistencia de las variedades MUS 37, NAG 217, RAB 79, Talamanca y BAT 1155, incluidas en los cuatro viveros, se calculó dividiendo el porcentaje de mustia de cada variedad entre el porcentaje de mustia en "BAT 1155". Por lo tanto, variedades con calificaciones menores de uno fueron más resistentes que "BAT 1155". En cada vivero la evaluación de la enfermedad se hizo cuando "BAT 1155" presentaba severidades de mustia entre el 40% y el 85 por ciento.

Condiciones climáticas

Se hicieron registros de temperatura de la Estación Meteorológica Macacona, ubicada a 500 m de la parcela experimental. En cada siembra se calculó la temperatura media cada 10 días. Los datos de lluvia se obtuvieron de la Estación Meteorológica San Miguel de Barranca situada 3 km al oeste de la parcela experimental. En cada siembra se calculó la cantidad

total de lluvia cada 10 días. La humedad relativa y luminosidad (horas de brillo solar) se registraron en la Estación Meteorológica de Puntarenas, 10 km al oeste de la parcela. Se calculó el número de horas de brillo solar y la humedad relativa media cada 10 días.

Rendimiento

El rendimiento en kilogramos por hectárea se calculó con base en el peso del grano cosechado del surco central de cada parcela. Aquí sólo se reportaron los rendimientos del VINTE.

RESULTADOS

Vinte

En las parcelas inoculadas del VINTE-mayo, el número de lesiones de mustia, 23 d después de la siembra (cuatro DDI), varió considerablemente entre las líneas (Cuadro 1). Sin embargo, ninguna de las líneas presentó un número de lesiones significativamente menor que el testigo susceptible, "BAT 1155" (Cuadro 1). Por otra parte, el desarrollo de la epidemia fue más rápido en "BAT 1155" que en cualquiera de las

Cuadro 1. Número de lesiones de mustia, cuatro días después de la inoculación del Vivero Nacional de Telaraña con suspensiones de micelio de *R. solani* de 60 000 fragmentos/ml. Siembra de mayo, 1988, Esparza, Costa Rica.

Línea	Número de lesiones/Trifolio*
"RAB 408"	29.9 a**
"RAB 377"	29.7 a
"A 237"	26.6 a b
"ICTA 883"	23.6 a b c
"BAT 1155"	22.4 a b c
"XAN 222"	21.7 a b c
"HUEJAR"	21.0 a b c
"TALAMANCA"	17.9 a b c
"MUS 3"	17.8 a b c
"MUS 37"	17.2 a b c
"REV 81"	16.1 b c
"MUS 47"	15.6 b c
"MUS 52"	11.9 c

Notas:

- * Promedio de cuatro repeticiones (10 trifolios/repetición).
- ** Promedios seguidos por la misma letra no difieren significativamente, de acuerdo con la prueba de Duncan ($p = 0.05$).

líneas del VINTE-mayo, tanto en las parcelas inoculadas como en las no inoculadas, aunque en estas últimas la epidemia se inició en etapas más avanzadas del cultivo (Fig. 1). El porcentaje de mustia, 42 DDS, fue significativamente mayor en "BAT 1155" que en el resto de las líneas; esto sucedió tanto en las parcelas inoculadas como en las no inoculadas (Cuadro 2).

Cuadro 2. Porcentaje de mustia, 42 días después de la siembra en las líneas del Vivero Nacional de Telaraña. Siembra de mayo, Esparza, Costa Rica, 1988.

Línea	Inoculado* mustia** (%)	No inoculado mustia (%)
"BAT 1155"	59.2 a***	221x6 a
"HUETAR"	35.0 b	6.2 c d
"RAB 377"	33.2 b c	14.0 b
"REV. 81"	27.7 b c d	5.0 d
"ICTA 883"	25.0 b c d	12.0 b c
"MUS 47"	23.2 b c d	7.5 c d
"A 237"	22.7 b c d	7.2 c d
"RAB 408"	22.7 b c d	7.2 c d
"XAN 222"	18.5 c d	6.2 c d
"TALAMANCA"	18.2 c d	3.7 d
"MUS 37"	17.7 c d	4.5 d
"MUS 3"	17.0 c d	7.0 c d
"MUS 52"	16.2 d	4.5 d

Notas:

- * Las parcelas inoculadas se asperjaron con una suspensión de micelio de *R. solani* de 60 000 fragmentos por mililitro.
- ** Promedio de cuatro repeticiones.
- *** Promedios seguidos por la misma letra no difieren significativamente de acuerdo con la prueba de Duncan (p = 0.05).

En las parcelas inoculadas del VINTE-setiembre, el desarrollo de la epidemia fue muy similar en todas las líneas (Fig. 2). Lo mismo ocurrió en las parcelas no inoculadas, aunque en éstas la epidemia se inició en etapas más avanzadas del cultivo (Fig. 2). No se observaron diferencias significativas, en el porcentaje de mustia, entre las líneas del VINTE-setiembre y "BAT 1155", 44 DDS (Cuadro 3) o en cualquier otra etapa de la epidemia.

En las dos siembras del VINTE, la temperatura y la humedad relativa durante los 60 DDS se mantuvieron entre los 26°C y 29°C, y 84% y 89%, respectivamente (Fig. 3).

El brillo solar durante los primeros 30 DDS fue mayor en la siembra de mayo que en la de setiembre,

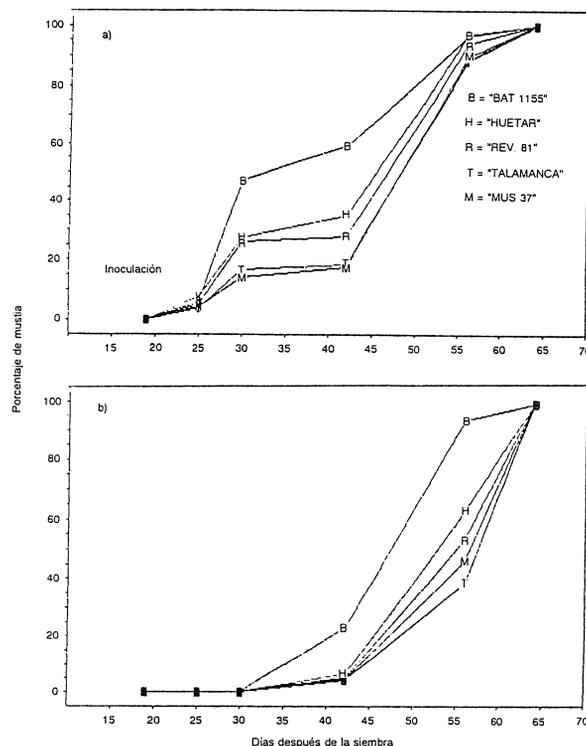


Fig. 1. Desarrollo de la mustia hilachosa en las cinco líneas de frijol, seleccionadas del Vivero Nacional de Telaraña. Siembra de mayo, 1988, Esparza, C.R. a) Parcelas inoculadas con una suspensión de micelio de *R. solani* de 60 000 fragmentos por mililitro; b) parcelas no inoculadas.

pero el promedio durante el ciclo de cultivo fue muy similar; se registraron 58 h sol y 54 h sol/10 d en la siembra de mayo y setiembre, respectivamente (Fig. 3). Sin embargo, estos datos no son muy precisos pues fueron tomados a 10 km de la parcela experimental.

La cantidad de lluvia durante los 60 DDS en la primera y segunda siembra del VINTE varió ampliamente. Se registraron promedios de 92 mm/10 d y 134 mm/10 d en la siembra de mayo y setiembre, respectivamente (Fig. 3).

VIM Elite

Todas las líneas del VIM Elite, sembradas en octubre, presentaron porcentajes de mustia significativamente menores que el testigo susceptible "BAT 1155", 40 DDS (Fig 4). En la siembra de setiembre, las variedades no pudieron diferenciarse de "BAT 1155", 40 DDS (Fig. 4) ni en cualquier otra etapa de desarrollo de la epidemia (datos no incluidos).

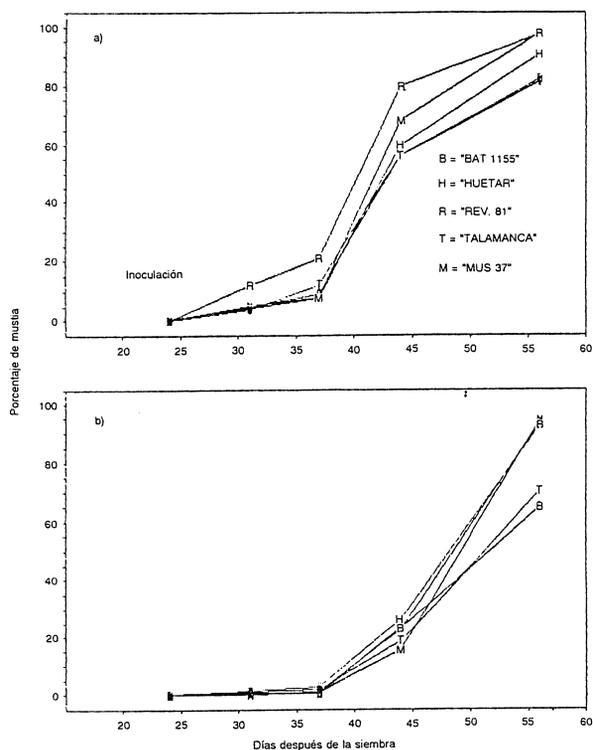


Fig. 2. Desarrollo de la mustia hilchosa en cinco líneas de frijol, seleccionadas del Vivero Nacional de Telaraña. Siembra de setiembre, 1988, Esparza, C.R. a) Parcelas inoculadas con una suspensión de micelio de *R. solani* de 60 000 fragmentos por mililitro; b) parcelas no inoculadas.

En las dos siembras del VIM Elite, la temperatura media durante el desarrollo del cultivo fue de 26° centígrados. Las diferencias en humedad relativa y luminosidad entre la siembra de setiembre y la de octubre fueron mínimas. En la primera se registró una humedad relativa de 86.8% y un promedio de 50.5 h sol/10 d, respectivamente. En la siembra de octubre se registró una humedad relativa de 84.3% y un promedio de 52.6 h sol/10 días. En contraste, la lluvia varió ampliamente entre siembras. Se registraron promedios de 168 mm/10 d y 87 mm/10 d, en la siembra de setiembre y octubre, respectivamente (Fig. 4).

Interacción lluvia-resistencia a mustia

La resistencia de las cinco variedades usadas en este análisis disminuyó conforme se incrementó el promedio de lluvia de 87 mm/10 d a 168 mm/10 días. En siembras con precipitaciones de 87 mm y 98 mm, las líneas superaron por amplio margen a "BAT 1155" (Cuadro 4). En la siembra con 134 mm de lluvia, sólo "MUS 37" fue más susceptible que "BAT 1155". Con

Cuadro 3. Porcentaje de mustia, 44 días después de la siembra, en las líneas del Vivero Nacional de Telaraña. Siembra de setiembre, Esparza, Costa Rica, 1988.

Línea	Inoculado* mustia* (%)	No inoculado mustia (%) *
"RAB 377"	87.6 a	48.3 a
"XAN 222"	82.5 a	41.2 a
"REV 81"	80.0 a	26.2 a
"RAB 408"	79.5 a	52.5 a
"ICTA 883"	78.7 a	48.7 a
"A 237"	76.2 a	19.2 a
"MUS 3"	71.2 a	37.5 a
"MUS 37"	68.3 a	15.6 a
"MUS 52"	65.0 a	17.5 a
"MUS 47"	60.0 a	41.6 a
"HUETAR"	60.0 a	22.5 a
"BAT 1155"	56.6 a	23.3 a
"TALAMANCA"	56.6 a	18.3 a

Notas:

* Tratamientos con igual letra son estadísticamente iguales, según prueba de Duncan al cinco por ciento.

168 mm de lluvia, sólo las variedades Talamanca y RAB 79 mantuvieron algún grado de resistencia (Cuadro 4).

Rendimiento VINTE

El rendimiento en las parcelas no inoculadas superó ampliamente el de las inoculadas, en las dos épocas de siembra (Fig. 5).

En el VINTE-mayo, todas las líneas superaron por amplio margen al testigo susceptible "BAT 1155", tanto en las parcelas inoculadas como en las no inoculadas (Fig. 5).

En el VINTE-setiembre no se observaron diferencias marcadas en rendimiento entre líneas en las parcelas inoculadas (Fig. 5), mientras que en las parcelas no inoculadas se obtuvieron diferencias de más de 1000 kg/ha entre "MUS 37" y "BAT 1155" (Fig. 5).

Los rendimientos en la siembra de mayo fueron marcadamente menores que en la de setiembre (Fig. 5), aparentemente por el inicio tardío de la epidemia en esta última fecha.

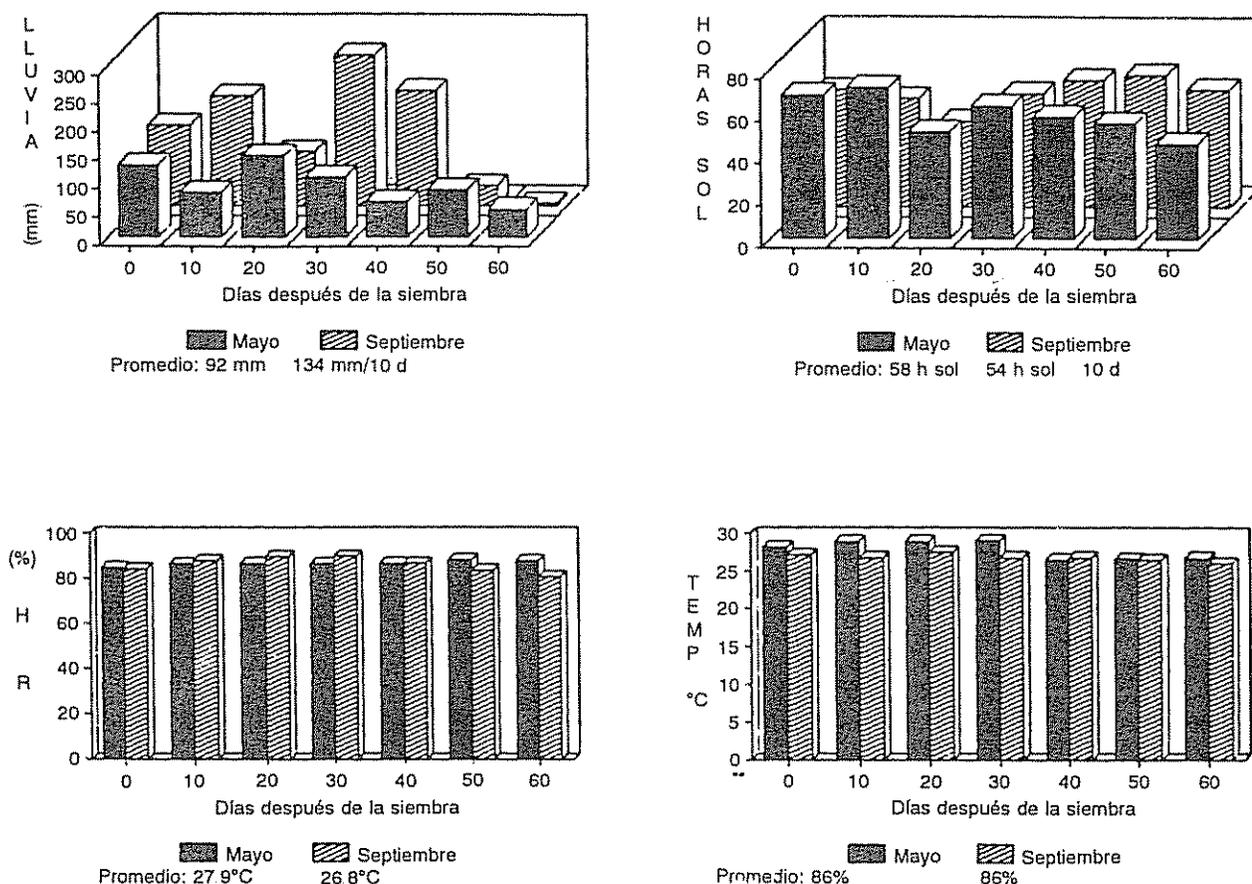


Fig 3 Condiciones climáticas durante la primera (mayo) y segunda (setiembre) siembra del Vivero Nacional de Telaraña (VINTE) en Esparza, Costa Rica, 1988. Las unidades climáticas se expresan como el promedio (temperatura y humedad relativa) o total (lluvia) cada 10 d, después de la siembra y como promedio durante el ciclo del cultivo.

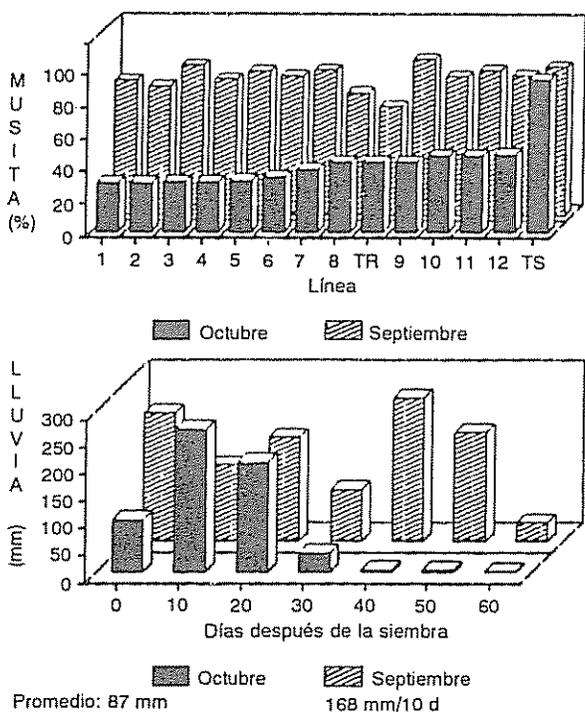
DISCUSION

Las líneas del VINTE-mayo no pudieron diferenciarse del testigo susceptible "BAT 1155", con base en el número de lesiones de mustia, 4 d después de la inoculación (DDI) (Cuadro 1). Sin embargo, a los 11 DDI y 23 DDI todos los materiales presentaron porcentajes de mustia significativamente menores que "BAT 1155" (Fig. 1a, Cuadro 2). Esto sugiere que la resistencia a mustia es el resultado de una reacción fisiológica de la planta, que se activa después de la infección y que resulta en la reducción del crecimiento del patógeno dentro del tejido infectado. Este tipo de mecanismo de resistencia ha sido reportado en enfermedades de otros cultivos (10, 12).

La reacción de resistencia de las líneas evaluadas en los diferentes viveros cambió drásticamente de acuerdo con la época de siembra. La cantidad de lluvia fue el principal factor climático asociado al cambio de reacción; cuando la precipitación promedio durante el

desarrollo del cultivo fue de 87 mm/10 d ó 92 mm/10 d, todas las líneas presentaron menor severidad de mustia que el testigo susceptible "BAT 1155" (Cuadros 2 y 4, Fig. 1). En contraste, ninguna línea presentó severidades significativamente menores que "BAT 1155" cuando se registraron promedios de lluvia de 134 mm/10 d ó 168 mm/10 d (Cuadros 3 y 4, Fig. 2). Un promedio de lluvias de más de 134 mm/10 d durante la época de siembra son bastante comunes en Esparza y en otras regiones, como Pérez Zeledón y Guápiles, donde la mustia es importante.

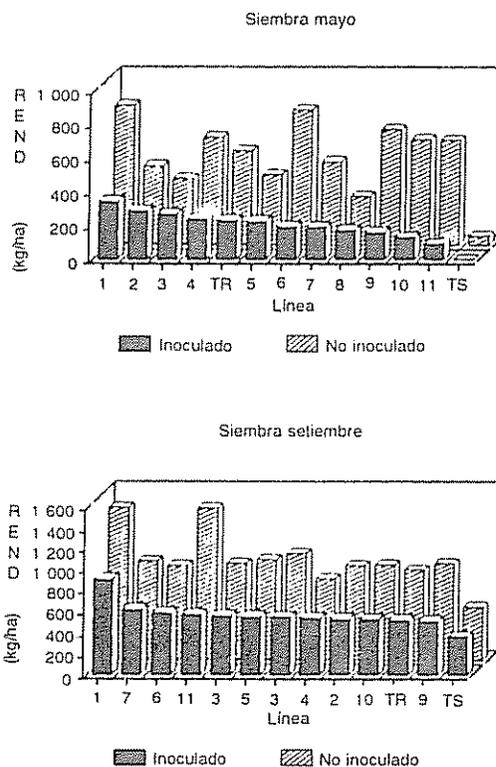
La lluvia abundante puede aumentar la presión de inóculo mediante el incremento del salpique o de la humedad relativa. Sin embargo, la humedad relativa en las diferentes siembras de los viveros evaluados fue muy similar. Por otra parte, el efecto del salpique en las siembras del VINTE, se minimizó mediante la cobertura del suelo con zacate o cascarilla de arroz. Además las dos siembras del VINTE se asperjaron con



Leyenda:

1 = "MUS 6", 2 = "MUS 22", 3 = "MUS 11", 4 = "MUS 3", 5 = "RAB 47", 6 = "NAG 116", 7 = "NAG 217", 8 = "XAN 222", TR = "Talamanca", 9 = "MUS 37", 10 = "RAB 79", 11 = "BAT 527", 12 = "RAB 72", TS = "BAT 1155".

Fig 4. Cantidad de lluvia y porcentaje de mustia en la primera (setiembre) y segunda (octubre) siembra del Vivero Internacional de Mustia Elite (VIM Elite) en Esparza, Costa Rica, 1988. La cantidad de lluvia se expresa como el total cada 10 d después de la siembra y como el promedio durante el ciclo de cultivo



Leyenda:

1 = MUS 37, 2 = MUS 3, 3 = ICTA 883-5-2-m, 4 = XAN 222, TR = Talamanca, 5 = "RAB 408", 6 = MUS 52, 7 = "MUS 47", 8 = "RAB 377", 9 = "A 237", 10 = "REV 81", 11 = Huctar, TS = "BAT 1155".

Fig 5 Rendimiento del Vivero Nacional de Ielaraña (VINIE) en parcelas no inoculadas e inoculadas con suspensiones de micelio de *R. solani* en las siembras de mayo y setiembre, Esparza, Costa Rica, 1988

Cuadro 4. Efecto de la cantidad de lluvia sobre la reacción de cinco líneas de frijol a la mustia hilachosa. Esparza, Costa Rica, 1988.

Línea	Fecha de siembra-lluvia (mm/10 d)			
	Octubre 17 87 mm*	Mayo 20 92 mm	Set. 25 134 mm	Set. 9 168 mm
	(Mustia Línea (%) / Mustia "BAT 1155" (%))			
"MUS 37"	0.46	0.62	1.59	1.13
"NAG 217"	0.40	0.67	0.67	1.15
"RAB 79"	0.49	0.52	0.59	0.83
"TALAMANCA"	0.45	0.78	0.79	0.83
"BAT 1155"	1.00	1.00	1.00	1.00

Nota:

* Promedio de lluvia durante los 60 días después de la siembra

suspensiones de 60 000 fragmentos de micelio por mililitro y "BAT 1155" alcanzó severidades de 57% - 60%, 20-22 DDI (Cuadros 2 y 3). Estas consideraciones y los resultados de inoculaciones hechas en el laboratorio (7, 8) indican que la cantidad de inóculo no fue responsable de los cambios en la reacción de las líneas a la mustia.

Para explicar el efecto de la lluvia sobre la reacción de las líneas a la enfermedad, se formuló la siguiente hipótesis: Existe una interacción entre la resistencia a mustia y la humedad del suelo. Cuando la lluvia es abundante (134 mm/10 d - 168 mm/10 d), la humedad del suelo alcanza niveles que inhiben la reacción de resistencia de la planta a la infección.

Un buen drenaje del suelo mediante la siembra en lomillo o camas altas, reduce la severidad de la enfermedad. El efecto benéfico de estos sistemas de siembra se le atribuye a la disminución del salpique de inóculo del suelo a la planta. Sin embargo, un mejor drenaje implica menor humedad del suelo y, de acuerdo con la hipótesis aquí planteada, mayor reacción de resistencia.

Algunos investigadores sugieren que la mayor severidad de mustia en épocas de siembra con alta precipitación se debe al incremento en salpique y a la alta humedad relativa (5, 17). Los resultados obtenidos en este trabajo sugieren que, además de aumentar el salpique, la lluvia abundante inhibe la reacción de resistencia de la planta, haciéndola más susceptible al ataque del patógeno y, como consecuencia, aumenta la severidad de la enfermedad.

La evaluación de germoplasma de frijol por resistencia a mustia a través de localidades y del tiempo ha resultado en datos inconsistentes (6, 7, 18). La inhibición de la reacción de resistencia por lluvias abundantes podría explicar los cambios en la reacción del germoplasma a la enfermedad. Sin embargo, otros factores como: variabilidad del patógeno, tipo de inóculo predominante (basidiósporas o esclerocios) y características físico-químicas del suelo podrían también afectar la reacción de resistencia a mustia. Se requiere más investigación para establecer la importancia de cada uno de estos factores en la reacción de las variedades a la enfermedad. Esto permitiría establecer las condiciones óptimas para la reacción de resistencia.

La información generada en este estudio sugiere modificar la estrategia de mejoramiento para aumentar, en forma más eficiente, los niveles de resistencia a mustia. La nueva estrategia podría incluir una etapa de acumulación de genes de resistencia en la que se seleccionen y crucen materiales en ciclos de cultivo con precipitaciones que no inhiban la reacción de resistencia. Un tamizado, usando métodos de inoculación en

laboratorio o invernadero (8, 11), facilitaría este trabajo y complementarían las evaluaciones de campo.

El germoplasma seleccionado en la primera etapa se sometería a condiciones de estrés de mustia, característico de cada región o país (c.g. lluvia abundante), y se seleccionarían las líneas que muestren mejor nivel de resistencia en estas condiciones. En los viveros evaluados en este estudio, la reacción de resistencia de algunas variedades, como "MUS 37", fue completamente inhibida por una precipitación promedio de 134 mm/10 d, mientras que otras, como "Talamanca" y "RAB 79", mantuvieron cierto grado de resistencia aun con lluvia a razón de 168 mm/10 d (Cuadro 4). Variedades como Talamanca y RAB 79 pueden entonces cruzarse y su progenie tamizarse para mejorar la habilidad del germoplasma para expresar resistencia en condiciones de alta precipitación.

Finalmente, se evaluarían progenies de cruces entre las mejores variedades seleccionadas en la fase de acumulación de genes de resistencia y materiales mejorados bajo estrés de lluvia.

La mustia hilachosa redujo severamente la producción del VINTE, tanto en la siembra de mayo como en la de setiembre. Muchas de las variedades no inoculadas duplicaron el rendimiento de las variedades asperjadas con suspensiones de micelio de *R. solani* (Fig. 5).

El rendimiento ha sido usado como un criterio importante para la selección de materiales resistentes a mustia (4, 18). Los resultados de este estudio indican que, cuando la epidemia se inicia en etapas avanzadas de desarrollo del cultivo, este criterio de selección debe ser cuidadosamente aplicado, pues podría permitir la selección de materiales susceptibles. Por ejemplo, "Huctar" y "REV. 81" fueron muy susceptibles y presentaron rendimientos en las parcelas del VINTE inoculadas en mayo. Sin embargo, en las parcelas no inoculadas, en las que la epidemia se inició tardíamente, estas variedades fueron las más rendidoras (Fig. 5).

LITERATURA CITADA

1. ARAYA, R ; ZAMORA, A (COMPS) 1988. Problemática del frijol común en Costa Rica. San José. C R , Programa Nacional de Frijol Común 32 p
2. CARDOSO, J E ; NEWMAN, L. 1981. Avanços na paquíasa sobre a mela de feijocero no Estado de Acre. Rio Branco-AC, Brazil EMBRAPA, Unidade de Extensao de Pesquisa de Ambito Estadual Bolletim de Pesquisa no. 1. 29 p

3. CASTAÑO, M. 1986. Evaluación de germoplasma de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) para resistencia a mustia AS-COLFI Informa (Col) 8(4):37-38
4. CIAT (CENTRO INTERNACIONAL DE AGRICULTURA TROPICAL). 1987. Actividades colaborativas con la red. C. Africa, Proyecto Regional de Africa Oriental. In Informe anual Programa de Frijol 1987. Col. p. 311-325.
5. CONTRERAS, A. 1979. Incidencia de roya *Uromyces phaseoli* var. *Typica* Arth y de la mustia hilachosa *Thanatephorus cucumeris* (Frank-Donk) en frijol y su relación con los factores climáticos en la región de la Chontalpa, Tabasco. Tesis Ing. Agr. Cárdenas, Tabasco, Méx., Colegio Superior de Agricultura Tropical. 62 p.
6. FLORES, D.M. 1984. Evaluación de cultivares de frijol común tolerantes a la telaraña (*Thanatephorus cucumeris* (Frank) Donk-*Rhizoctonia solani* Khun) en Esparza y en Las Juntas del Pacuar de Pérez Zeledón. Tesis Ing. Agr. San José, C.R., Universidad de Costa Rica. 31 p.
7. FRIAS, G.A.; ROJAS, M.R. 1989a. Vivero Internacional de Mustia Hilachosa del Frijol 1988; Programa Cooperativo de Frijol para Centroamérica, México y El Caribe. San José, C.R., Centro Internacional de Agricultura Tropical.
8. FRIAS, G.A.; ROJAS, M.R. 1989b. Evaluación de resistencia a mustia hilachosa del frijol en laboratorio y campo. In Reunión Anual del PCCMCA (35) Resúmenes. San Pedro Sula, Hond.
9. GALVEZ, G.; MORA, B.; ROJAS, M. 1983. Vivero Internacional de Mustia Hilachosa del Frijol; Programa Frijol para Centroamérica y el Caribe. Centro Internacional de Agricultura Tropical, San José, Costa Rica. p. 50
10. GANGADIN, S. 1987. Differentiation of cultivars of sugar cane by their resistance reaction to *Puccinia melanocephala*. M.Sc Thesis Gainesville, Fl., University of Florida.
11. ISAAC, L. 1987. Desarrollo de un método de evaluación de resistencia de cultivares de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) a mustia hilachosa en invernadero y campo. Tesis Mag. Sc. Turrialba, C.R., Programa Universidad de Costa Rica/CATIE. 90 p.
12. LUKE, H.H.; BARNETT, R.D.; PFAHLE, P.L. 1984. Post-penetration development of *Puccinia coronata* avenae in slow-and fast-rusting cultivars of *Avena bizantina*. *Phytopathology* 74:899-903.
13. MORA, B.E.; GALVEZ, G.E. 1979. Evaluación de variedades promisorias de frijol (*P. vulgaris*) a la incidencia de mustia. In Reunión Anual del PCCMCA (25, 1979, Tegucigalpa, Hond.) p. L38/1-L38/5.
14. MORALES, A. 1986. Mustia hilachosa en Costa Rica: Avances de la investigación en mejoramiento genético del frijol común. p. 1-65.
Presentado en: Taller de Mustia Hilachosa (*Thanatephorus cucumeris*) (2., San José, C.R., 1988). Centro Internacional de Agricultura Tropical. p. 1-51.
15. RAJNAUTHA, G. 1987. Web blight: An important disease of bean and pack-choi in Trinidad. *Tropical Agriculture (Tri)* 64(4):356-358.
16. ROCHA, M.A.; CHAN, R.D. 1983. Comportamiento de 20 genótipos de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) a infecciones de la mustia hilachosa en el estado de Tabasco, Méx. Turrialba 33(4):405-408.
17. ROJAS, M.; MORA, B.; GALVEZ, G.; FERNANDEZ, O. 1987. Evaluación de dos sistemas de siembra sobre el desarrollo de mustia hilachosa *Thanatephorus cucumeris* en cultivares de frijol común. In Meeting of the American Phytopathological Society Caribbean Division (37., Gua.) Gua.
18. SOLERA, E. 1987. Evaluación de la reacción de cultivares de frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.) a *Thanatephorus cucumeris* Frank (Donk) = *Rhizoctonia solani* Kuhn en Esparza. Tesis Ing. Agr. San José, C.R., Universidad de Costa Rica. 27 p.

Imogolita en un Andisol de México¹

C. Hidalgo*, J. D. Etchevers** y P. Quantin***

ABSTRACT

The amorphous mineral fraction on three horizons of an Andisol in the Sierra Nevada of Mexico was studied by field qualitative methods (NaF 1N and toluidine test) and by laboratory procedures: Selective dissolution with acid ammonium oxalate, sodium pyrophosphate and citrate-dithionite-bicarbonate reagents; infrared spectroscopy; X-ray diffraction; and electron microscopy (transmission and scanning). The field qualitative test with NaF showed the presence of amorphous materials but the toluidine test was non-conclusive. Al/Si relationships as determined in selective dissolution assays showed the presence of amorphous allophane material in the upper horizons (0 to 50 cm, and 50 to 135 cm), and of imogolite at a depth lower than 135 cm. Occurrence of these materials was confirmed by infrared spectrograms and electromicroscopy studies.

INTRODUCCION

La presencia de imogolita ha sido reportada en suelos volcánicos de América, por ejemplo por Colinet-Daage *et al.* (8), en Nicaragua, y por Besoain (5), en Chile. En México, sin embargo, la ocurrencia de este mineral no ha sido estudiada en detalle, aun cuando se sospecha su existencia. Los suelos derivados de cenizas volcánicas en este último país ocupan una superficie de aproximadamente ocho

COMPENDIO

La fracción mineral amorfa de tres horizontes del perfil en un Andisol de la Sierra Nevada de México se estudió por métodos cualitativos de campo (NaF 1N y prueba de la toluidina) y por los siguientes procedimientos de laboratorio: (a) disolución selectiva con oxalato ácido de amonio, pirofosfato de sodio y ditionito-citrato-bicarbonato, (b) espectroscopía infrarroja, (c) difracción de rayos-X, y (d) microscopía electrónica de transmisión y barrido. La prueba cualitativa de campo con NaF mostró la presencia de materiales amorfos, en tanto que la reacción con toluidina no fue conclusiva. Las relaciones Al/Si, determinadas con las disoluciones selectivas, indican la presencia de material predominantemente alofánico en los horizontes superiores (0 cm a 50 cm y 50 cm a 135 cm) y de imogolita en la profundidad mayor de 135 centímetros. Dicha presencia fue confirmada por los espectrogramas infrarrojos y las imágenes fotomicroscópicas.

millones de hectáreas, las cuales se ubican a lo largo del eje neovolcánico en las inmediaciones del paralelo 19, que cruza gran parte del territorio mexicano. Los suelos que han recibido mayor atención desde el punto de vista mineralógico son los de la Sierra Nevada (13) en las inmediaciones de la ciudad de México y los de la Sierra Tarasca en el estado de Michoacán (2, 3, 4, 7, 10, 14, 20).

Mielhich (13) concentró su atención en la fracción de arena de los suelos de la Sierra Nevada, donde observó vidrios volcánicos claros de color café, en parte con cristobalita y sanidina, que constituyen los minerales más frecuentes. En la fracción 0.2 μm - 4 μm de los suelos de la Sierra Tarasca se ha reportado la presencia de alófano, gibbsita, caolinita y, en algunos casos, pequeñas cantidades de esmectita.

El presente trabajo tiene por objetivo documentar la presencia de imogolita en la fracción < 2 μm en un Andisol de la Sierra Nevada de México.

MATERIALES Y METODOS

Se recolectaron muestras de las profundidades 0 cm a 50 cm, 50 cm a 135 cm y 135 cm de un Andisol de la Sierra Nevada de México, ubicado en la localidad de

¹ Recibido para publicación el 24 de agosto de 1989. Trabajo parcialmente financiado por el Proyecto de Apoyo al Postgrado en Edafología, CONACYT, Colegio de Postgraduados, Méx. Los autores agradecen las valiosas contribuciones de las señoras A. Bouleau y G. Millot del Laboratorio de Office de la Recherche Scientifique Outre-Mer (ORSTOM) Bondy, y del M.Sc. Jorge Valdez y de la M.Sc. Elizabeth Cárdenas, del Colegio de Postgraduados, en la obtención de las fotografías con microscopio electrónico y de los difractogramas de rayos-X.

* Auxiliar en Investigación, Centro de Edafología, Colegio de Postgraduados, Chapingo, Méx.

** Profesor Investigador, Centro de Edafología, Colegio de Postgraduados, Chapingo, Méx.

*** Director de Investigación, Office de Recherche Scientifique Outre-Mer (ORSTOM), Bondy, Francia.

Felipe Neri El sitio se localiza a una altitud de 2400 msnm, con una pendiente de 10%; el paisaje corresponde a un lomerío o pic de monte; el clima se define como: C(W₂) (W) big, con una precipitación media anual de 1200 mm y régimen hídrico Udic; el suelo corresponde a un Andisol mólico o Mollic Vitrandept, formado a partir de tres capas de ceniza volcánica andesítica.

Las muestras ya secas se tamizaron con una malla de 2 milímetros. La determinación cualitativa en el campo del material amorfo y paracrystalino se hizo con toluidina (22) y con NaF 1N (17). La naturaleza de la fracción mineral se determinó por disolución selectiva y se emplearon tres técnicas: (a) oxalato ácido de amonio (6); (b) ditionito de sodio en una solución de citrato y bicarbonato (12) y (c) pirofosfato de sodio (21). Para la granulometría se eliminó la materia orgánica con agua oxigenada al 30% siguiendo el procedimiento sugerido por el ISRIC (15). Para dispersar el suelo se añadió, bajo agitación y gota a gota, NaOH 0.1 N (profundidades 0 cm a 50 cm y 50 cm a 135 cm) ó HCl 0.1 N (135 cm) hasta alcanzar la dispersión. La suspensión resultante se agitó mecánicamente durante 16 h, en un agitador de acción recíproca regulado a aproximadamente 1800 PM.

Se separaron las fracciones arena (< 2 mm pero 0.50 mm) y arcilla (< 0.002 mm), la primera utilizando un tamiz de malla 400 (0.050 mm) y la segunda mediante la técnica de centrifugación, propuesta por Jackson (11). Para el estudio por técnicas instrumentales se utilizó la fracción arcilla (< 0.002 mm). Para el análisis espectroscópico de IR se prepararon a presión discos de bromuro de potasio-arcilla (185/5 mg). Para el estudio de difracción de rayos-X se utilizó un aparato Siemens D 500. En la microscopía electrónica de barrido se emplearon muestras cubiertas con una laminilla de oro de aproximadamente 500 Å de espesor y las mediciones se hicieron con un microscopio de barrido Jeol 35-C a un voltaje de aceleración de 20 000 kJ y con aumentos que variaron de 540 X a 2400 X. Para las observaciones con microscopio de transmisión se utilizó un aparato Zeiss M-9 y también un Jeol 100. Se emplearon rejillas de cobre cubiertas con una membrana de "formvar" y una capa delgada de carbono.

Se usó una suspensión de polvo de arcilla (2 mg a 3 mg) en agua que contenía ácido o base en una relación de 10:1, la cual se agitó manualmente. Las fotografías fueron tomadas en el escalón correspondiente a 4900 X. El cálculo de alófono e imogolita se hizo de acuerdo con el procedimiento propuesto por Quantín (19), que se basa en el empleo de las fórmulas estructurales de alófono-haloisita o de imogolita, y en la composición química obtenida por la extracción con oxalato ácido

en la relación de los óxidos de silicio y aluminio con sus elementos.

RESULTADOS Y DISCUSION

Algunas de las características físicas, químicas y fisicoquímicas del perfil estudiado se muestran en el Cuadro 1.

Cuadro 1. Características físicas y químicas generales para el perfil Felipe Neri, Méx.

Determinación	Profundidad (cm)		
	0-50	50-135	> 135
pH H ₂ O	6.4	6.6	6.1
pH KC1	5.2	5.2	5.2
pH, NaF, 60 min	11.3	10.5	11.8
CIC (mEq/100 g)	28	30	21
PSB	29	72	17
P Bray-1 (ppm)	2.5	2.5	2.0
Materia orgánica (%)	5.4	5.8	5.2
P fijado (%)	83	80	86
Densidad aparente (g.cm ⁻³)	0.85	0.78	0.53
Humedad (0.3 bars) (%)	46.07	46.46	48.14
Humedad (6 bars) (%)	39.34	39.61	41.70

Extracción de alófono

En el Cuadro 2 se presentan los resultados de la disolución selectiva con oxalato ácido de amonio, pirofosfato de sodio y ditionito-citrato bicarbonato (deb); así como las relaciones molares para Al, Si y sus óxidos obtenidos a partir de la extracción de ambos elementos con oxalato-ácido.

Para los dos horizontes superiores del perfil (0 cm a 50 cm y 50 cm a 135 cm) los valores de las relaciones Al/Si y SiO₂/Al₂O₃ fueron cercanas a uno y alrededor de dos, respectivamente, mientras que para el tercer horizonte (135 cm) las relaciones anteriores fueron dos y uno, respectivamente; estos resultados hacen suponer, de acuerdo con Quantín (19), la presencia de alófono haloisita en los horizontes superficiales del perfil y de imogolita en el más profundo.

Espectroscopía de IR

Los espectros de IR que se muestran en la Fig. 1 corresponden a los tres horizontes estudiados; en el más

Cuadro 2. Resultados de la disolución selectiva en diferentes extractantes y relaciones molares entre Al, Si y sus sesquióxidos para el perfil Felipe Neri, Méx.

Profundidad cm	Oxalato-ácido			Pirofosfato-Na			dcb ^{1/}			Al/Si	SiO ₂ /Al ₂ O ₃	Alófono o imogolita (%)
	Al	Fe	Si	Al	Fe	Si	Al	Fe	Si			
0 - 50	1.70	1.40	1.52	0.90	0.30	4.33	1.35	1.72	---	1.06	1.52	7.23 ^{2/}
50 - 135	1.25	2.00	1.28	0.40	0.30	6.16	0.82	2.00	0.00	1.02	1.74	6.10 ^{2/}
> 135	3.50	1.30	2.30	1.20	0.24	4.33	1.65	1.32	0.83	1.59	1.12	16.97 ^{3/}

Notas:

- 1/ Ditionito-citrato-bicarbonato.
- 2/ Principalmente alófono.
- 3/ Imogolita

superficial (0 cm a 50 cm) se observaron bandas de absorción a 3680, 3650, 1100, 920, 700, 550, 470 y 340 cm⁻¹ y, además, las bandas de absorción de agua, características de la haloisita hidratada pero poco cristalizada.

Si se observan las bandas alrededor de 960 y 350 cm⁻¹, muestran claramente la presencia de imogolita.

El espectro correspondiente al segundo horizonte (50 cm a 135 cm) presenta características semejantes a las descritas con anterioridad; sin embargo, las bandas entre 3690 cm a 3620 cm en la región presentan mayor amplitud, lo que corresponde a una mayor cristalinidad del mineral. Para el tercer horizonte, el espectro correspondiente señala las siguientes bandas de absorción: 1110, 960, 570, 480, 430 y 350 cm⁻¹, a los cuales se añaden las bandas de absorción de agua de gran amplitud alrededor de 3400 a 3500 cm⁻¹ y a 1630 cm⁻¹.

Difracción de rayos-X

Los difractogramas de la fracción < 0.002 mm, correspondientes a las profundidades 0 cm a 50 cm y 50 cm a 135 cm (Fig. 2), señalan claramente la presencia de haloisita (7 Å) y rastros de plagioclasa, pero no revelan la existencia de micas o arcillas con espacio o 10-14 Å como en el estudio de microscopía. En el horizonte 50 cm a 135 cm también se observa haloisita (10 y 7 Å). La difracción con rayos-X del horizonte 135 cm revela la presencia de imogolita, alófono y trazas de haloisita (Fig. 2).

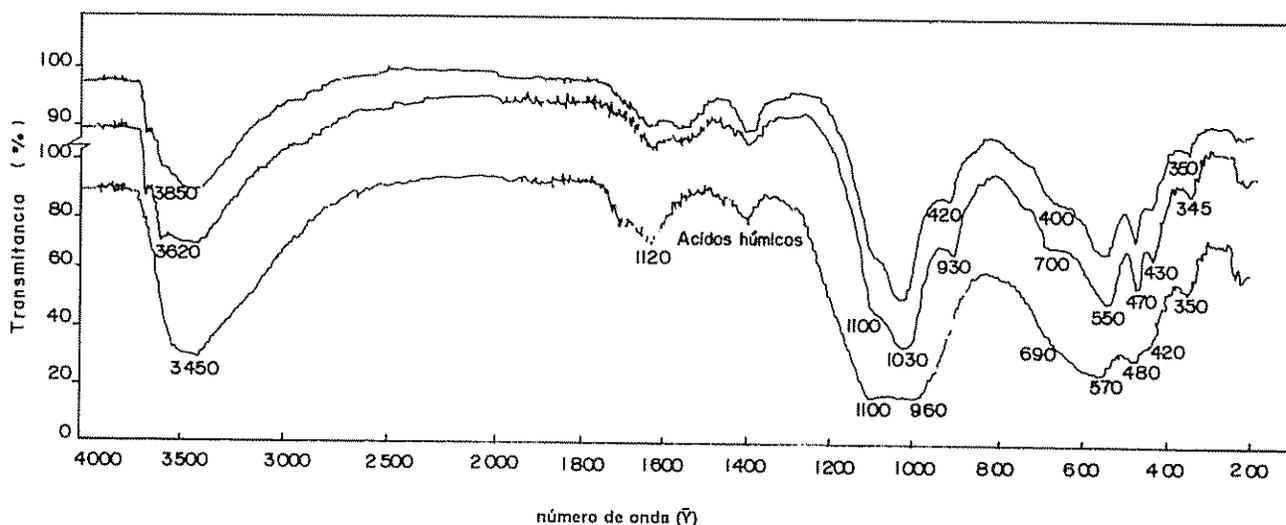


Fig. 1. Espectros IR en tres horizontes estudiados

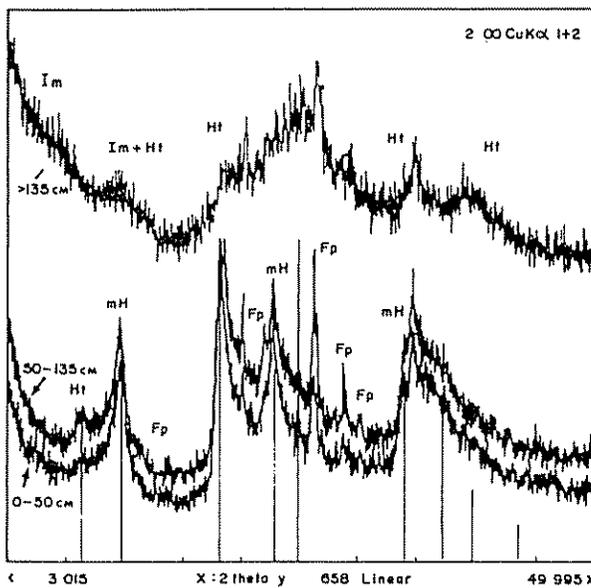


Fig. 2. Presencia de haloisita y de plagioclasa en difractograma de la fracción < 0.002 mm, correspondientes a las profundidades 0 cm a 50 cm y 50 cm a 135 centímetros.

Microscopía electrónica

La microscopía de barrido muestra la presencia de microlitos (vidrio, feldespatos, cuarzo, otros) y fitolitos en el primer horizonte (Fig. 3).



Fig. 3. Microscopía de barrido para el primer horizonte del perfil Felipe Neri (fracción < 0.002 mm).

La observación con microscopio electrónico de transmisión de la fracción < 0.002 mm, correspondiente a las profundidades 0 cm a 50 cm y 50 cm a 135 cm (Figs. 4 y 5), muestra la presencia de partículas enrolladas, forma particular de la haloisita esférica; también se observan alófono esférico (protohaloisita) y un poco de vidrio volcánico alterado y micas del tipo 2:1.

En el tercer horizonte (135 cm), que se muestra en las Figs. 6 y 7, se observan mayormente redes de imogolita, y un poco de haloisita esférica, de alófono esférico (protohaloisita) y de micas.



Fig. 4. Toma en microscopio electrónico de transmisión de la fracción < 0.002 mm para el horizonte 0 cm a 50 cm del perfil Felipe Neri, Méx. (Al: alófono).

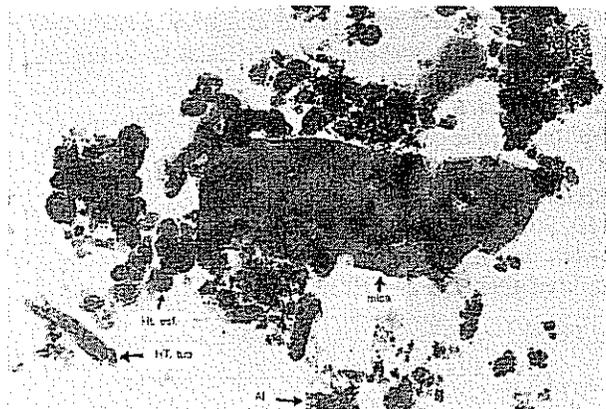


Fig. 5. Microscopía electrónica de transmisión para la fracción < 0.002 mm del horizonte 50 cm a 135 cm del perfil Felipe Neri, Méx. (Mi: mica, Al: alófono, Ht. esf.: haloisita esférica, Ht. tub.: haloisita tubular).

Es posible que el alófono que se observa en la fotografía, con microscopio electrónico de transmisión, sea en realidad una haloisita esférica muy fina, probablemente protohaloisita, lo cual está en concordancia con el análisis químico.

CONCLUSIONES

En el caso de los dos primeros horizontes, se observan las siguientes características del material menor de 0.002 mm: dispersión en medio alcalino, una

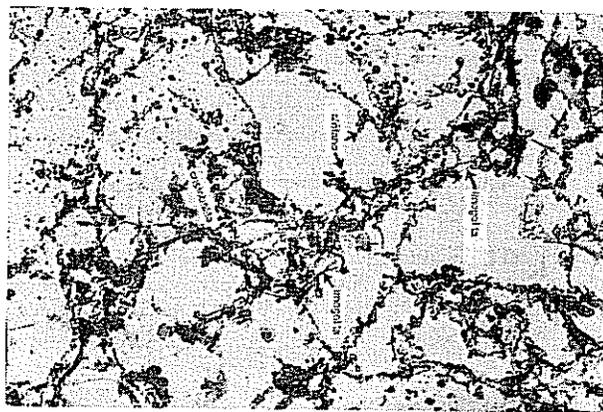


Fig 6. Alófono, imogolita y estructuras cristalinas, observadas con microscopios de transmisión en el horizonte 135 cm del perfil Felipe Neri, Méx. (Im: imogolita, Cr: cristobalita)

composición química que corresponde a relaciones Al/Si alrededor de uno y $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ cerca a dos y un espectro de IR, que corresponde al de una haloisita hidratada de baja cristalinidad, que probablemente es una mezcla de alófono y haloisita (o metahaloisita); la cristalinidad de la haloisita disminuye con el aumento de la profundidad en el perfil.

El comportamiento de suelo del tercer horizonte (135 cm) fue el siguiente: dispersión en medio ácido, relaciones Al/Si y $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ cercanas a uno y alrededor de dos, respectivamente; un espectro de IR correspondiente al de la imogolita, formas fibrosas que se observan por microscopía de transmisión que muestran la predominancia de imogolita mezclada con alófono, pero sin presencia importante de haloisita ni de otros minerales bien cristalizados.

En conclusión, es interesante notar que es la primera vez que la imogolita es reportada en andisoles mexicanos. El Andisol en cuestión está compuesto de al menos dos suelos superpuestos que presentaron una edafogénesis un poco distinta, ya que en la parte superior se desarrollan mayormente arcillas paracrystalinas del tipo haloisita esférica (10-7 Å) y alófono; mientras que la parte profunda está compuesta principalmente por imogolita.

Se puede decir que esta diferencia podría sugerir un comportamiento un poco diferente de la parte superior del suelo y de la parte inferior que se podría explicar de la manera siguiente: la formación de arcilla tipo haloisita y de alófono se debe a la edad más joven de la ceniza superficial y a un clima menos húmedo que el clima adecuado para el desarrollo de la imogolita, en la última profundidad de acuerdo con Aomine y Mizota (1). En el caso de la formación de la imogolita, es bien

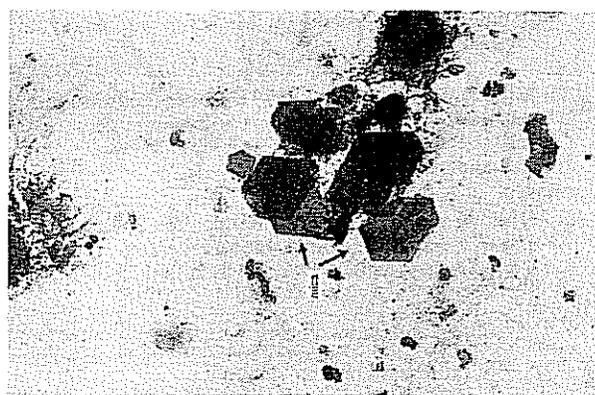


Fig 7. Estructuras de micas observadas con microscopio de transmisión en el horizonte 135 cm del perfil Felipe Neri, Méx

conocido que necesita un clima perhúmedo (16, 17, 18). Esta observación puede sugerir también un cambio climático, es decir una formación anterior en un ambiente más húmedo y con un proceso de alteración más avanzado.

LITERATURA CITADA

1. AOMINE, S.; MIZOTA, C. 1973. Distribution and genesis of imogolite in volcanic soils of Northern Kanto, Kanto, Japan. In Clay Confer. (1972, Madrid). Proceedings Madrid, Ed. Serratoza. p. 207-213
2. AGUILERA, H., N. 1963. Algunas consideraciones, características, génesis y clasificación de suelos de ando. In Congreso Nacional de la Ciencia del Suelo (1). Memoria. Chapingo, Méx., Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo. p. 233-247.
3. ALVAREZ V., V.H. 1982. Efecto de los factores calidad, intensidad y calidad amortiguadora de fósforo en la evaluación de fósforo disponible en suelos derivados de cenizas volcánicas de la Meseta Tarasca, Edo. Michoacán. Tesis Ph Sc. Chapingo, Méx., Colegio de Postgraduados
4. BAUS P., J. 1980. Efecto de la fertilización orgánica e inorgánica del fósforo en un suelo de ando. Tesis M Sc Chapingo, Méx., Colegio de Postgraduados
5. BESOAIN, M., E. 1968. Imogolite in volcanic soil of Chile. Geoderma: An International Journal of Soil Science 2:151-169.
6. BLACKEMORE, L.C.; SEARLE, P.L.; DALY, B.K. 1977. Soil Bureau Laboratory Methods: A method for chemical analysis of soils. N.Z. Soil Bureau Science Report

7. CERVANTES R. L.G. 1965. Génesis y clasificación de algunos suelos de la Meseta Tarasca. Tesis M.Sc. Chapingo, Méx., Estado de Michoacán, Colegio de Postgraduados
8. COLMEI-DAAGE, F. *et al* 1970. Caractéristiques de quelques sols dérivés de cendres volcaniques de la Côte Pacifique du Nicaragua. Cahiers ORSTOM: Série Pédologie 8(2):113-172.
9. FIELDS, M.; W. PERROT K. 1966. The nature of allophane in soils. III. Rapid test for laboratory and field for allophane. *Journal of Science (N.Z.)* 9:623-629
10. GUAJARDO, V., R. 1967. Caracterización de algunos suelos de ando de la Sierra Tarasca. Tesis M.Sc. Chapingo, Méx., Colegio de Postgraduados.
11. JACKSON, M. L. 1965. Soil chemical analysis: Advanced course. Madison, Wisconsin, University of Wisconsin, Department of Soil Science. p. 31-36
12. MEHRA, O. P.; JACKSON, M. L. 1960. Iron removal from soils and clays by a ditionite-citrate system buffered with sodium bicarbonate. *In Nat. Conference Clays and Clays Minerals (1958, Washington, D.C.)* v. 7. p. 317-327.
13. MELIHC, G. 1980. Los suelos de la Sierra Nevada de México. Méx., Fundación Alemana para la Investigación Científica. Suplemento Comunicaciones Proyecto Puebla Tlaxcala 7
14. MIRAMONTES, F., B. 1972. Efecto del carbonato de calcio y silicato de calcio sobre el rendimiento de sorgo y algunas propiedades químicas en tres suelos de México. Tesis M.Sc. Chapingo, Méx., Colegio de Postgraduados.
15. PLEUSIER, L. K. 1986. The laboratory methods and data exchange programme interim report on the exchange round 86-1. Wageningen, Holanda, International Soil Reference and Information Centre. Working Paper and Preprint 86/4.
16. QUANTIN, P. 1974. Hypothèse sur la genèse des andosols en climat tropical: Evolution de la "pédogenèse initiale" en milieu bien drainé-sur roches volcaniques. Cahiers ORSTOM. *Sérvice Pédologie* 12(1):3-12
17. QUANTIN, P.; BONDANT-TRAUI, D.; WEBER, F. 1975. Miocen evidence des minéraux secondaires, argiles et hydroxydes dans les andosols des Nouvelles Hébrides, apres déferrification pour la méthode de Endredy. *Bulletin Gr. Fr. Argiles* 27(1):51-87.
18. QUANTIN, P. 1987. Les Andosols. Paris, Cours DEA de Pédologie. 25 p.
19. QUANTIN, P. 1987. Curso: Mineralogía de los andosoles y de los suelos de origen volcánico. Montecillos, Méx., Colegio de Postgraduados. (Apuntes xerografiados).
20. RAMOS, M. H. 1972. Estudio del alófono y su efecto en la actividad metabólica de la flora microbiana en tres suelos: Vertisol, andosol y ranker alpino. Tesis M.Sc. Chapingo, Méx., Escuela Nacional de Agricultura
21. WADA, K.; GUNJIGAKE N. 1979. Active aluminum and iron and phosphate adsorption in Ando soils. *Soil Science* 128:331-336
22. WADA, K.; KAKUTO, Y. 1985. A spot test with toluidine blue for allophane and imogolite. *Soil Science Society of American Journal* 49:276-278

Potenciales Osmóticos y Tuberización *in Vitro* de Secciones de Brotes y Esquejes de Papa¹

L. Martínez*, V.L. de Stecco**, R. Tizio*

ABSTRACT

The work aimed at establishing whether sugars play a role through osmotic effect in the mechanism of potato tuberisation. The action of mannitol and its interaction with sucrose was studied. Decapitated sprout sections of potato (*Solanum tuberosum* L.) were cultured *in vitro* in White-Nitsch-Morel medium supplemented with different levels of sucrose and/or mannitol. The cultures were placed in a dark location at a temperature of 20°C - 22°C until the end of the experiment. Mannitol did not promote tuberisation. Combinations with sucrose having identical osmotic potentials caused delayed tuberisation and abnormal tuber growth. The effects of mannitol were also evident when the explants pretreated during different periods were transferred to media with sucrose. The same was true when the explants were cultured during four days in increasing levels of mannitol and then transferred to media with sugar. Steam cuttings treated with mannitol showed severe water stress followed by death. Cuttings treated with sucrose showed normal growth and tuberisation. Considering that identical osmotic potentials provoked varying delays in tuberisation, it is difficult to ascertain whether sugars act or not through an osmotic effect or whether they are in some way involved in the hormonal mechanism of potato tuberisation.

INTRODUCCION

El manitol ha sido utilizado para estudiar el efecto de los potenciales del agua sobre el crecimiento de tejidos y órganos, y sobre el desarrollo del estrés hídrico en células y tejidos. Ello se ha basado en la presunción de que este compuesto penetra muy len-

COMPENDIO

El objetivo de este trabajo fue determinar si los azúcares desempeñan algún papel, a través de un efecto osmótico, en el mecanismo de tuberización de la papa (*Solanum tuberosum* L.). Secciones de brotes se cultivaron *in vitro* en el medio de White-Nitsch-Morel, suplementado con diferentes niveles de sacarosa y, además o en su defecto, de manitol. Los cultivos se colocaron en la oscuridad a 20°C - 22°C hasta la finalización de los ensayos. Manitol no promovió tuberización. Diferentes combinaciones con sacarosa de iguales potenciales osmóticos provocaron retardos variables sobre la tuberización y alteraron el crecimiento normal de los tubérculos. Los efectos del manitol también se observaron cuando los explantos, pretratados en diferentes períodos, se repicaron en medios con sacarosa. Igual ocurrió cuando aquéllos fueron cultivados durante cuatro días en concentraciones crecientes de manitol y transferidos, luego, a medios con el azúcar. Esquejes foliosos tratados con manitol manifestaron severo estrés hídrico seguido de muerte. En medios con sacarosa crecieron y tuberizaron normalmente. Teniendo en cuenta que idénticos potenciales osmóticos provocaron retardos diferentes sobre la tuberización, es aún incierto establecer si los azúcares también actúan por efecto osmótico, o si están involucrados en el mecanismo hormonal de tuberización de la papa.

tamente dentro de las células sin interferir en el metabolismo celular (12, 13). Usando manitol, Lo *et al.* (7) estudiaron la posibilidad de que la tuberización de secciones de brotes de papa (*Solanum tuberosum* L.) cultivados *in vitro* podría deberse a bajos potenciales osmóticos (Ψ osm) en medios con altos niveles de sacarosa. Los autores determinaron que el manitol no promovía tuberización, y concluyeron que la sacarosa era efectiva como fuente hidrocarbonada y no a través de sus potenciales osmóticos.

Sin embargo, el manitol no sólo penetra dentro de ciertos tejidos modificando aquel parámetro, sino que también altera el metabolismo de las plantas tratadas (11, 16). En otras palabras, dicho compuesto es transportado desde las raíces hacia los ejes caulinares induciendo necrosis foliar (2, 4).

El objeto de este trabajo fue determinar si ciertos azúcares como la sacarosa pueden desempeñar algún papel, a través de un efecto osmótico, en el mecanismo

1 Recibido para publicación el 2 de noviembre de 1989. Trabajo realizado con subsidios PIDs 3028300 y 390721/85 del Consejo de Investigaciones de la Universidad Nacional de Cuyo. Los autores agradecen a C.B. Passera, por la medición de los potenciales osmóticos de los medios de cultivo, y a L. Martínez, receptora de becas de iniciación y perfeccionamiento del Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Tecnológicas (CONICET), Arg.

* Laboratorio de Fisiología Vegetal de la Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Cuyo (UNC), 5505 Chacras de Coria, Mendoza, Arg.

** Departamento de Ciencias Naturales, Universidad Nacional de Río Cuarto, 5800-Río Cuarto, Córdoba, Arg.

de tuberización de la papa. Con ese fin, se estudió la interacción del manitol con diferentes niveles de sacarosa sobre la tuberización de secciones de brotes de papa cultivadas *in vitro*. También se analizaron los efectos del manitol y la sacarosa usando esquejes foliosos de la misma especie.

MATERIALES Y METODOS

Tubérculos brotados de papa (*S. tuberosum* L.) de los cultivares Spunta y Bintje se colocaron en oscuridad continua a 20°C - 22°C durante 15 días, a fin de estimular el alargamiento de los brotes. A continuación fueron expuestos a luz natural difusa y a temperatura de laboratorio para estimular la diferenciación de los tejidos. Luego de la extracción de los brotes de primera brotación, los restantes fueron eliminados a fin de obtener secciones de segunda y aun de una tercera brotación en las condiciones descritas precedentemente.

Secciones de brotes de primera, segunda y tercera brotación, de 3 cm a 4 cm de longitud, con dos o tres yemas axilares, se esterilizaron con 75% de etanol durante 3 min y, luego, con una solución al 12% de hipoclorito de sodio comercial (80 g de cloro activo por decímetro cúbico) adicionada con 0.04% de Tween 20, durante 20 minutos.

Luego de tres enjuagues con agua bidestilada estéril, los explantos se cultivaron en tubos de ensayo con 25 ml de una mezcla de macronutrientes de White (17) y micronutrientes según Nitsch (9), adicionada con 0.75% de agar bacteriológico Difco, 10 mg/l de EDTA de Fe y diferentes concentraciones de sacarosa (0.25, 0.33, 0.42 y 0.5 M), acompañadas o no con manitol (0.08, 0.17 y 0.25 M). Luego del cultivo todos los tratamientos se expusieron a oscuridad continua a 20°C - 22°C hasta el final de los experimentos.

Los potenciales osmóticos de los testigos (sin sacarosa o manitol) se midieron con un conductímetro Aradel Mod 3 P en 36 tubos con el medio nutriente de White-Nitsch adicionado con 0.75% del agar y 10 ml/l de EDTA de hierro. Se midió un valor promedio de 1068.5 μ mhs a 2 cm de profundidad, que correspondió a un potencial osmótico de -0.38 atmósferas normales. Este valor (-0.4 atm) se adicionó a los potenciales osmóticos, calculados para las diferentes molaridades de sacarosa acompañada o no con manitol.

En el análisis estadístico se utilizó el test Tuckey de comparación múltiple. Los primeros dos ensayos (Cuadros 1 y 2) se llevaron a cabo usando un diseño completamente aleatorizado con diez repeticiones. Los restantes se realizaron en la misma forma, con siete repeticiones. Cada repetición consistió en seis tubos de cultivo que no presentaron signos de infección.

Cuadro 1. Efecto de diferentes concentraciones de sacarosa, manitol y combinaciones de ambos compuestos sobre la tuberización de secciones de brotes de papa del cv. Bintje, cultivadas *in vitro* (brotes de tubérculos de primera brotación).

Sacarosa (M)	Manitol (M) X	ψ osm (-atm)	Días para alcanzar 50% de explantos tuberizados	Tuberización luego de 76 días de cultivo (%)
0	0	0.4	>76	0
0.25	0	6.0	50bc	87
0.33	0	7.8	41ab	81
0.42	0	9.8	38a	89
0.50	0	11.6	39a	55
0.25	0.25	11.6	61	50
0.33	0.17	11.6	51c	67
0.42	0.08	11.6	41ab	70

HSD = α 0.05 = 9.17

CV = 17.81%

En el Cuadro 1 y en los siguientes, los valores medios acompañados por la misma letra no muestran diferencias significativas a nivel de Ψ 0.05 (Test Tuckey).

x = En todas las concentraciones utilizadas, el manitol solo no promueve tuberización.

Cuadro 2. Efecto de diferentes concentraciones de sacarosa, manitol y combinaciones de ambos compuestos sobre la tuberización de secciones de brotes de papa del cv. Spunta, cultivadas *in vitro* (brotes de tubérculos de segunda brotación).

Sacarosa (M)	Manitol (M) X	ψ osm (-atm)	Días para alcanzar 50% de explantos tuberizados	Tuberización luego de 65 días de cultivo (%)
0	0	0.4	>60b	0
0.25	0	6.0	30ac	100
0.33	0	7.8	27a	85
0.42	0	9.8	28a	83
0.50	0	11.6	44d	80
0.25	0.25	11.6	>60b	35
0.33	0.17	11.6	54	57
0.42	0.08	11.6	38cd	67

HSD = α 0.05 = 8.96

CV = 14.48%

x = En todas las concentraciones usadas, el manitol solo no promueve tuberización

Esquejes foliosos de 13 cm a 15 cm de longitud se extrajeron de plantas jóvenes, no tuberizadas, colocadas desde la brotación bajo luz continua. Quince esquejes con 2 ó 3 hojas apicales se sumergieron por sus bases, cortadas a bisel, dentro de diferentes concentraciones de manitol o sacarosa (0.17; 0.25; 0.33; 0.42 y 0.5 M) durante 16 horas. Luego de los tratamientos, se plantaron en macetas con vermiculita húmeda, periódicamente regada con solución de Knop diluida a la mitad. Aquellas se colocaron en un invernáculo, a 22°C - 44°C con un fotoperíodo de 14 horas.

RESULTADOS

Ensayos preliminares mostraron que el manitol, en cualquiera de las concentraciones utilizadas, fue completamente inefectivo en promover tuberización, como fuera anteriormente demostrado por Lo *et al.* (7). Asimismo, y en ausencia de sacarosa, la tuberización no tuvo lugar (Cuadros 1 al 6). Sin embargo, en ambos casos, se observó un moderado crecimiento de los tallitos estoloníferos formados a partir de las yemas de los explantos, que siempre terminaron por envejecer y secarse.

Cuadro 3. Efecto de períodos crecientes de cultivo en 0.25 M de manitol sobre la tuberización de secciones de brotes del cv. Bintje, cultivadas *in vitro*, luego de la transferencia a medios con 0.25 M de sacarosa (secciones de brotes de tubérculos de segunda brotación).

Días en 0.25 M de manitol	Número de días para alcanzar 50% de explantos tuberizados	Tuberización luego de 60 días de cultivo (%)
0	30	100
4	38a	71
8	40a	77
16	54	62
24	> 60	0

HSD = α 0.05

CV = 5.92%

En secciones del cv. Bintje se observó una correlación directa entre la concentración de sacarosa en el medio del cultivo y tuberización precoz (Cuadro 1). En el cv. Spunta tal correlación no se observó, ya que altos niveles de sacarosa (0.5 M) retardaron considerablemente la formación de tubérculos (Cuadro 2).

En ambos cultivares, las combinaciones de sacarosa y manitol con idénticos potenciales osmóticos (-11.6

Cuadro 4. Efecto de períodos crecientes de cultivo en 0.25 M de manitol sobre la tuberización de secciones de brotes del cv. Bintje, cultivadas *in vitro*, luego de la transferencia a medios con 0.25 M de sacarosa (secciones de brotes de tercera brotación).

Días en 0.25 M de manitol	Número de días para alcanzar 50% de explantos tuberizados	Tuberización luego de 56 días de cultivo (%)
0	12	100
4	22	100
8	35	100
16	46	52
24	> 56	0

HSD = α 0.05 = 9.70

CV = 16.02%

Cuadro 5. Efecto del cultivo, durante cuatro días, en diferentes molaridades de manitol, sobre la tuberización de secciones de brotes, cultivadas *in vitro*, del cv. Bintje, luego de la transferencia a medios con 0.25 M de sacarosa (brotes de tubérculos de segunda brotación).

Manitol (M)	Número de días para alcanzar 50% de explantos tuberizados	Tuberización luego de 65 días de cultivo (%)
0	29	95
0.25	39a	85
0.33	45a	82
0.42	> 65b	31
0.50	> 65b	10

HSD = α 0.05 = 9.17

CV = 11.61%

atm) (Cuadros 1 y 2) retrasaron considerablemente la tuberización y alteraron el crecimiento normal de los tubérculos que resultaron muy pequeños y deformados.

En otros ensayos (Cuadros 3 y 4) se observó una correlación directa entre el lapso, durante el cual los explantos permanecieron en 0.25 M de manitol, y los retardos observados en la tuberización, luego del repique de los mismos a medios que contenían 0.25 M de sacarosa. En estos casos se reiteró el efecto detrimental del manitol sobre el crecimiento de los tubérculos.

Cuando las secciones se cultivaron en concentraciones crecientes de manitol durante un mismo

Cuadro 6. Efecto del cultivo, durante cuatro días, en diferentes concentraciones de manitol sobre la tuberización de secciones, cultivadas *in vitro*, del cv. Bintje, luego de la transferencia a medios con 0.25 M de sacarosa (secciones de brotes de tubérculos de tercera brotación).

Manitol (M)	Número de días para alcanzar 50% de explantos tuberizados	Tuberización luego de 40 días de cultivo (%)
0	10	100
0.25	19a	100
0.33	18a	100
0.42	22a	100
0.50	33	57

HSD = α 0.05 = 7.69

CV = 9.93%

lapso (4 d), y luego fueron transferidas a medios con 0.25 M de sacarosa, la tuberización fue progresivamente retardada y aun completamente inhibida (Cuadros 5 y 6).

En los esquejes foliosos, previamente tratados con diferentes concentraciones de manitol, se manifestó una rápida y severa marchitez seguida de muerte del material. Esquejes tratados con iguales concentraciones de sacarosa, enraizaron, crecieron y tuberizaron normalmente, luego de 20 d a 25 d desde la plantación.

DISCUSION

De los resultados expuestos en los Cuadros 1 y 2, claramente, se demuestra que el manitol, en combinaciones con sacarosa de iguales valores de potenciales osmóticos (-11.6 atm), no sólo es el causante de los retardos observados en la tuberización sino también del crecimiento anormal de los tubérculos. Esto implica que dicho compuesto penetró dentro de las secciones, e incluso probablemente modificó los potenciales osmóticos de sus tejidos. También es evidente que, en ambos cultivares, el efecto retardador que puede atribuírsele al manitol aparece como una función de su molaridad. Ello significaría que en todas las experiencias realizadas, el potencial osmótico de los medios de cultivo, igual que para todas las combinaciones de manitol con sacarosa, no ha sido el factor que controló la formación de los tubérculos.

Teóricamente, se cree que si el manitol hubiera actuado sólo como agente osmótico, sería correcto

deducir que en todos los casos la tuberización hubiera tenido lugar aproximadamente al mismo tiempo, sin presentar diferencias significativas entre las diferentes variables. Ello teniendo también en cuenta que la menor concentración utilizada de sacarosa (0.25 M) corresponde a un 8.56% en el medio de cultivo, que resulta más que suficiente para provocar la formación de tubérculos *in vitro* (15).

Sin embargo, podría argüirse que el efecto retardante del manitol se relacionaría con la conversión de sacarosa a almidón. En ese sentido, Oparka y Wright (10) demostraron que la conversión, en discos de tubérculos de papa, incubados en un determinado rango de manitol, fue óptima a 300 mM, pero declinaba considerablemente por encima o por debajo de esa concentración.

En opinión de los autores de este artículo, el fenómeno descrito no puede asimilarse a lo ocurrido en este caso, ya que el manitol, asociado con sacarosa, ejerce su acción retardante sobre la tuberización antes de que ésta tenga lugar, es decir, antes de que comience a sintetizarse el almidón en los meristemas subapicales o yemas axilares de los tallos estoloníferos.

Los resultados confirman que el manitol no actúa como fuente hidrocarbonada para la expresión de la tuberización (7). Sin embargo, y teniendo en cuenta los resultados expuestos, no resulta correcto concluir que, por la ausencia de tuberización en medios con manitol, los azúcares como la sacarosa no actúen sobre el fenómeno por acción de sus potenciales osmóticos tal como lo afirman Lo *et al.* (7).

Los resultados del presente trabajo también ponen de manifiesto un hecho que invalida, en nuestra opinión, las conclusiones de Lo *et al.* (7): no tuvieron en cuenta que el manitol podría haber penetrado dentro de los explantos de papa, alterando a su vez sus potenciales osmóticos iniciales. Los resultados de los Cuadros 3 y 4 demuestran que efectivamente es así, no sólo retardando la tuberización provocada por la disponibilidad de sacarosa, sino también alterando el normal crecimiento de los tubérculos.

Los resultados de los Cuadros 5 y 6 demuestran que el efecto retardante del manitol sobre la tuberización constituye una función de su concentración en presencia de niveles suficientes del azúcar como para desencadenarla.

La acción anormal del manitol sobre el crecimiento de los tubérculos es también ejercida en tejidos y órganos de otras especies (6, 8, 11). En papa, dicha acción se ha corroborado al utilizarse estacas foliasas tratadas con aquel compuesto. Ese comportamiento

fue similar al observado en otras especies como centeno, girasol, maíz y haba, las que muestran un rápido y severo estrés hídrico seguido de muerte cuando son regadas con soluciones de manitol (4).

La falta de una estrecha correlación entre niveles crecientes de sacarosa y precocidad de tuberización en el cv. Spunta (Cuadro 2), plantea también dudas acerca de la acción de los azúcares a través del desarrollo de sus potenciales osmóticos.

Por último, la precoz tuberización manifestada por las secciones de brotes de tercera brotación (Cuadros 4, 5 y 6) podría atribuirse al grado de incubación, o edad fisiológica mayor, alcanzado por los tubérculos de los que los explantos fueron extraídos (14). Algunos autores postulan, sin aportar pruebas concluyentes, que los azúcares no participan en el mecanismo de tuberización de la papa, aunque consideran que son esenciales para la síntesis de almidón, ligada al crecimiento de los tubérculos (1, 5).

Los resultados expuestos por este trabajo demuestran que aún es incierto establecer si los azúcares también actúan por efecto osmótico, o si están involucrados, juntamente con otros reguladores endógenos del crecimiento (3, 15), en el mecanismo de tuberización de la papa.

LITERATURA CITADA

- GREGORY, L.E. 1956. Some factors for tuberization in the potato plant. *American Journal of Botany* 43:281-288
- GROENEWEGEN, H.; MILLS, J.A. 1960. Uptake of manitol into the shoot of intact barley plants. *Australian Journal of Biological Sciences* 31:1-4.
- GUIÑAZU, M.; ABDALA, G.; TIZIO, R. 1988. Effect of free and conjugated gibberellins on roots of potato cuttings treated with CCC (2-chloroethyl trimethylammonium chloride) in relation to tuber formation. *Journal of Plant Physiology* 132:725-730.
- KOZINKA, V.; KLENOWSKA, S. 1965. The uptake of mannitol by higher plants. *Biologia Plantarum* 7:285-292.
- LAWRENCE, C.H.; BARKER, W.G. 1963. A study of tuberization in the potato *Solanum tuberosum*. *American Potato Journal* 40:349-356.
- LEWIS, D.H.; SMITH, D.C. 1967. Sugar alcohols (polyols) in fungi and green plants. I. Distribution, physiology and metabolism. *New Phytologist* 66:143-184.
- LO, F.M.; IRVINE, B.R.; BARKER, W.G. 1972. *In vitro* tuberization of the common potato (*Solanum tuberosum*) is not a response to the osmotic concentration of the medium. *Canadian Journal of Botany* 50:603-605.
- MICHEL, B.E. 1970. Carbowax 6000 compared with mannitol as a suppressant of cucumber hypocotyl elongation. *Plant Physiology* 507-509.
- NITSCH, J.P. 1951. Growth and development *in vitro* of excised ovaries. *American Journal of Botany* 38:566-578.
- OPARKA, K.J.; WRIGHT, K.M. 1988. Osmotic regulation of starch synthesis in potato tubers? *Planta* 174:123-126.
- RIOV, J.; YANG, S.H.F. 1982. Stimulation of ethylene production in citrus leaf discs by mannitol. *Plant Physiology* 70:142-146.
- THIMANN, K.V. 1954. The physiology of growth in plant tissues. *American Scientist* 13:586-606.
- THIMANN, K.V.; LOSS, G.M.; SAMUEL, E.W. 1960. Penetration of mannitol into potato discs. *Plant Physiology* 35:848-853.
- TIZIO, R. 1979a. Effect de la lumière sur la tubérisation *in vitro* de germes de tubercules de pomme de terre (*Solanum tuberosum* L.) d'âges physiologiques différents. *Comptes Rendus Hebdomadaires des Séances de l'Académie des Sciences Série D: Sciences Naturelles* 289:275-277.
- TIZIO, R. 1979b. Contribution à l'étude du mécanisme hormonal de tubérisation de la pomme de terre (*Solanum tuberosum* L.). Thèse Dr. d'État. Paris 6, Université Pierre et Marie Curie.
- TRIP, P.; KROTKOV, G.; NELSON, O.D. 1964. Metabolism of mannitol in higher plants. *American Journal of Botany* 51:828-835.
- WHITE, P.R. 1943. *A handbook of plant tissue cultures*. Lancaster, Pa., The Jacques Cattell Press.

Estudio Preliminar sobre Insectos Polinizadores de Macadamia en Costa Rica¹

C.E. Masis*, H.J. Lezama**

ABSTRACT

A series of studies were carried out on *Macadamia integrifolia* trees and visiting insects on the Atirro Farm, Turrialba, Cartago Province. During a period from September through December, 1988, the major insect visitors, and probably pollinators, were: *Apis mellifera* (Apidae: Hymenoptera), *Trigona* spp. (Apidae: Hymenoptera) and *Ornidia obesa* (Syrphidae: Diptera). These insect species were recorded as follows: 79.49%, 14.88% and 6.35% respectively. Other insect species belonging to orders Coleoptera and Lepidoptera were also recorded (2.26%). It was found that the highest activity level of a given insect pollinator species never coincided with that of any other. This suggests the probability of competition by exclusion. Isolated inflorescences yielded 60% less fruit than those visited by insects.

COMPENDIO

Se estudió la interacción entre *Macadamia integrifolia* y sus insectos visitantes en la finca Atirro, Turrialba (prov. Cartago). Durante los meses de setiembre a diciembre de 1988, los principales insectos visitantes y posibles polinizadores fueron: *Apis mellifera* (Apídea: Hymenoptera), *Trigona* sp. (Apidae: Hymenoptera) y *Ornidia obesa* (Syrphidae: Diptera), y los porcentajes de visita de esos insectos fueron: 79.49%, 14.88% y 6.35%, respectivamente. Se observaron otros insectos de menor importancia, pertenecientes a los órdenes Coleóptera y Lepidóptera, en una frecuencia de 2.26 por ciento. En ningún caso, los períodos de mayor actividad de los insectos polinizadores ocurrieron al mismo tiempo; esto evidencia, probablemente, un ejemplo de la competencia o desplazamiento interespecífico. Inflorescencias del clon 344, aisladas de la acción de los insectos, presentaron una disminución numérica del 60% en la producción de frutos.

INTRODUCCION

La macadamia en Costa Rica ha experimentado, en los últimos años, un avance significativo en el campo de las exportaciones, pues se trata de un producto ampliamente aceptado en el mercado internacional. Sin embargo, debido a la falta de información técnica adaptada, no se ha llegado aún a niveles adecuados de rendimiento para este país, lo cual probablemente influye, directa o indirectamente, en el aumento del rendimiento por área.

Los estudios de polinización en macadamia representan un campo muy poco explorado, al punto de no existir en la literatura ningún trabajo realizado al respecto (2).

Las flores de *M. integrifolia* son de color blanco con un ovario biovulado, un estilo largo y un estigma terminal pequeño, que forma una proyección curvada en su sección mediana justo antes de la apertura floral (Fig. 1). El polen es liberado dentro de la flor uno o dos días antes de su apertura, sin embargo, una o dos horas antes de la antesis los sépalos se retraen exponiendo las anteras cerca de la extremidad del estilo. Las anteras se separan y, 5 min a 10 min más tarde, el estilo brota libre y erecto extendiéndose más allá de las mismas. El estigma se vuelve receptivo solamente después de la (s) antesis(s). Esta última observación sugiere que los insectos pueden recolectar el polen antes de que el estigma sea receptivo, polinizando más tarde otras flores con el material previamente recogido.

El objetivo de este trabajo es informar sobre las principales especies de insectos visitantes de las flores de macadamia (*M. integrifolia*) en Costa Rica, y su importancia como agentes polinizadores.

MATERIALES Y METODOS

Los estudios se llevaron a cabo en seis árboles de macadamia (clon 344), de ocho años de edad en la Finca

¹ Recibido para publicación el 21 de marzo de 1989

* Ing. M.Sc. Investigador del Convenio Cooperativo Universidad de Costa Rica (UCR)/Instituto del Café de Costa Rica (ICAFE)/Consejo Agroindustrial Agropecuario Privado (CAAP)/Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAG). Miembro del Programa Financiero de Apoyo a Investigadores del Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Tecnológicas (CONICIT); Costa Rica

** Museo de Insectos, Facultad de Agronomía, Universidad de Costa Rica, San José, C.R.

Atirro, a 630 msnm, Turrialba (prov. Cartago). Las observaciones se realizaron los días 28 y 29 de setiembre de 1988, durante la fase de mayor floración.

Por espacio de 24 h, y a intervalos de 30 min, se observó la frecuencia de todos los insectos visitantes de las inflorescencias. Solamente se consideraron como supuestos polinizadores a aquellos insectos en cuyo cuerpo se observaron granos de polen adheridos. Para determinar esta condición se procedió a efectuar comparaciones en el laboratorio, entre el polen recolectado de flores recién abiertas y aquél tomado de los cuerpos de insectos visitantes.

Para la determinación del efecto de la presencia de los insectos polinizadores en la producción de nuez en la macadamia, se escogieron 80 inflorescencias en botón, de tamaño uniforme y distribuidas en 28 árboles del clon 344 (octubre y noviembre de 1988). Cuarenta de estas inflorescencias fueron cubiertas con bolsas de Nylon para evitar la llegada de los insectos después de la apertura floral. Los racimos restantes se dejaron expuestos a la visita de los polinizadores.

Se realizaron dos evaluaciones a intervalos de 20 días, y se contó el número de frutos formados en cada tratamiento.

RESULTADOS Y DISCUSION

Los insectos visitantes más comúnmente encontrados fueron: *A. mellifera*, con un promedio de frecuencia de 76.49%, mientras que *Trigona* sp. y *O. obesa* presentaron valores del 14.88% y 6.35%, respectivamente. Se observaron, además, otros insectos pertenecientes a los órdenes: Coleóptera y Lepidóptera con una frecuencia de 2.26% (Fig.1).

Los datos obtenidos concuerdan con los de Urata (8), quien menciona a *A. mellifera* y a los sírfidos, *O. obesa*, *L. arvorum* y *L. aemea*, como los visitantes más frecuentes de las flores de macadamia en Hawaii.

Con respecto a la mayor frecuencia de visita observada en *A. mellifera* sobre los demás visitantes de la flor de macadamia, existe la posibilidad de que esto haya ocurrido debido a que sus poblaciones son más constantes y altas durante todo el año.

La Figura 2 muestra los diferentes períodos de actividad de *A. mellifera*, *Trigona* sp. y *O. obesa* durante el día. Se puede observar que la mayor frecuencia de visita de *A. mellifera* ocurrió a las 9:30, 12:30 y 17:00 horas. Sin embargo, con excepción de las 13:30 h, la actividad de estas abejas no desapareció totalmente durante el resto del período de horas-luz.

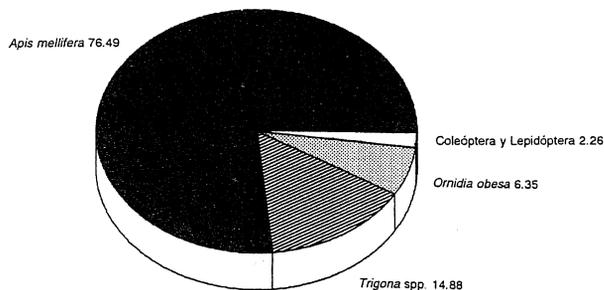


Fig. 1. Porcentaje de insectos visitantes de macadamia (clon 344), finca Atirro, Turrialba, C.R., 1988.

Con respecto a *Trigona* sp., se observaron tres períodos de mayor actividad a las 8:30, 13:00 y 15:00 h, con un cese total a las 7:30, 9:30 y 13:30 horas. *O. obesa* presentó su mayor frecuencia de visita a las 7:00 h y 10:30 h, y su actividad llegó a cero varias veces durante el día principalmente de las 15:00 h a las 16:00 horas.

Los períodos de máxima actividad a las 12:30 h (Fig. 2), para cada una de las especies no coinciden entre sí. Esto sugiere la posibilidad de que exista competencia interespecífica o que unas especies actúen como visitantes casuísticos u opcionales, ya que cuando una especie se encontraba en un período de mayor actividad, las otras se caracterizaron por mostrar niveles sumamente bajos.

Ejemplos similares de competencia interespecífica entre algunas especies de *Trigona* sp., se encuentran en Johnson y Hubbel (4), y Hedström (1).

La superioridad de *A. mellifera* como visitante y polinizador sobre otras abejas del género *Trigona* sp. estriba en: a) una mejor capacidad de comunicación, determinación de la distancia y sentido de dirección entre la colmena y la fuente de alimento; b) mayor tamaño corporal y c) colonias más numerosas (6).

Durante la noche no se observó actividad alguna por parte de abejas ni dípteros sírfidos, aunque sí hubo visita de coleópteros cantáridos del género *Chauliognathus* considerado como un consumidor de polen en el mango (3).

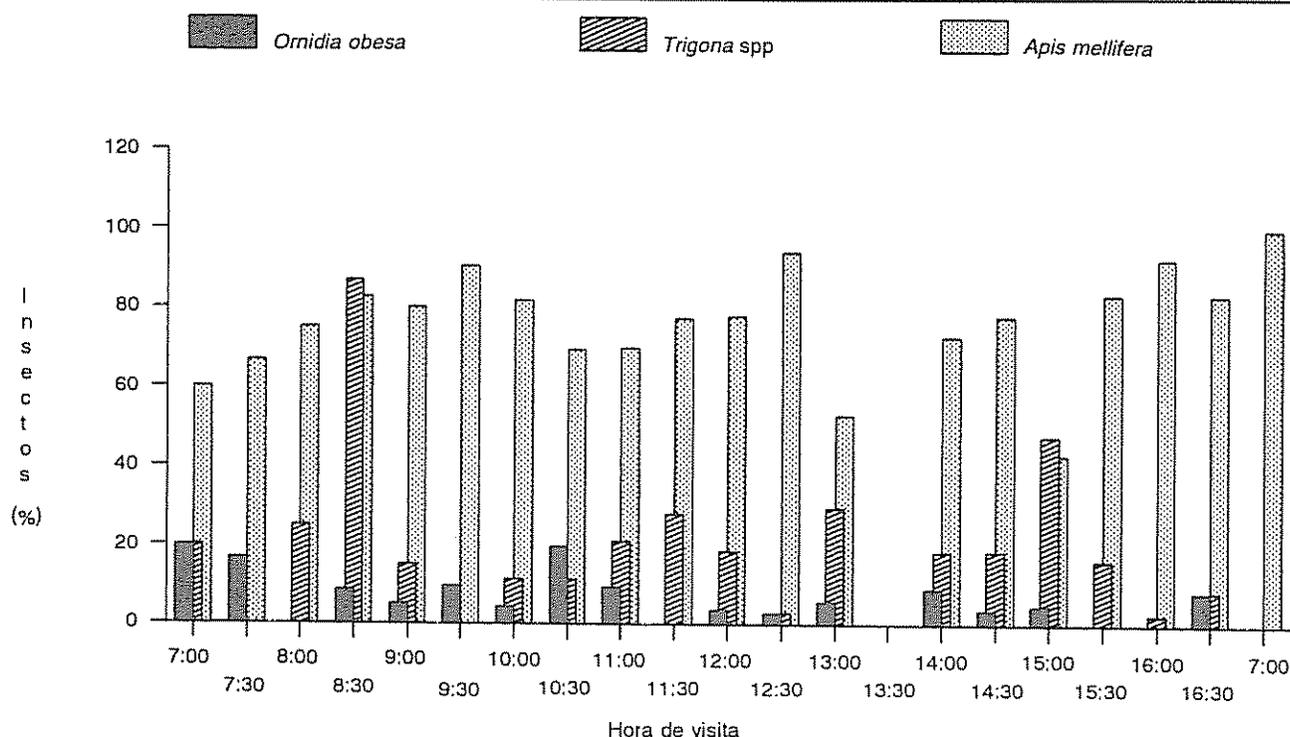


Fig 2 Actividad polinizadora de *A. mellifera*, *Trigona spp* y *O. obesa* en macadamia (clon 344), finca Atirro, Turrialba, C R., 1998.

Las inflorescencias protegidas con envolturas de Nylon presentaron un número menor de frutos formados cuando se compararon con las no cubiertas y totalmente accesibles a los insectos polinizadores. En este caso, la diferencia fue de un 60 por ciento.

Las dos evaluaciones realizadas a intervalos de 20 d en el clon 344 demostraron que existe un 37.74% de pérdidas de frutos. Estudios posteriores deberán ser realizados en otros clones, pues existe la posibilidad de que el porcentaje de aborto varíe de uno a otro, debido a factores como fertilización y condiciones ambientales adversas que puedan alterar los resultados obtenidos.

La alta diferencia en la formación de los frutos en el clon 344, en inflorescencias protegidas, refleja una baja autofecundación. El polen de la flor de macadamia es de textura pegajosa; Shroeder (7) cita a *A. mellifera* como el principal medio de polinización cruzada en la macadamia, señalando además que la existencia de clones diferentes favorece la formación de frutos.

CONCLUSIONES

Estudios preliminares hacen suponer que *A. mellifera* es el principal polinizador de la macadamia en Costa Rica, seguido por *Trigona sp.* y *O. obesa*. La presencia de granos de polen en las corbiculas de las

abejas y en el cuerpo del sirfido, así como los datos de fertilización y los frutos formados, luego de la cobertura de inflorescencias con bolsas de Nylon, confirman el papel que desempeñan estos insectos en este proceso.

La frecuencia de visitas a lo largo del día de las diferentes especies de insectos, permitió detectar una posible competencia interespecífica.

Hacen falta estudios más detallados de polinización por insectos en los clones de macadamia, comúnmente sembrados en Costa Rica, debido a que el porcentaje de fecundación es bajo. Además es importante estudiar el requerimiento de polinizadores y distribución de los mismos en la plantación, puesto que estos pueden variar de un clon a otro.

La dependencia de insectos polinizadores por parte de la macadamia, hace necesario un uso racional de los métodos de combate de plagas. Esto implica que la aplicación de insecticidas para este propósito, deba realizarse cuando sea estrictamente necesario y en las horas de menor actividad de los polinizadores. En aquellas plantaciones, en donde se busca favorecer la polinización a través de abejas, se sugiere alejar las colmenas de las áreas de aplicación o evitar su salida al campo en ese momento.

Estudios posteriores sobre la polinización de la macadamia deberán ser realizados a fin de obtener un manejo adecuado de las poblaciones de insectos asociados con este fenómeno.

LITERATURA CITADA

1. HEDSTRÖM, I. 1986. Pollen carriers of *Cocos nucifera* L. (Palmae) in Costa Rica and Ecuador (Neotropical region) *Revista de Biología Tropical* 34:297-301.
2. JIRON, L.F.; BARQUERO, M.E. 1983. Índice de publicaciones entomológicas de Costa Rica. San José, CONICIT-OTS. 308 p.
3. JIRON, L.F.; HEDSTRÖM, I. 1985. Pollination ecology of mango (*Mangifera indica* L.) (Anacardiaceae) in the Neotropic region. *Turrialba* 35:269-277.
4. JOHNSON, L.K., HUBBEL, S.P. 1974. Aggression and competition among stingless bees: Field studies *Ecology* 55:120-127.
5. MCGREGOR, S.E. 1976. Macadamia: Insect pollination of cultivated crop plants. Washington. Agriculture Handbook no 496 p. 251-253.
6. ROUBIK, D.W. 1980. Foraging behavior of competing Africanized honey bees and stingless bees *Ecology* 61:836-845.
7. SCHROEDER, C.A. 1959. Some observations on the pollination of macadamia in California. *California Macadamia Society Yearbook* 5:49-53.
8. URATA, U. 1954. Pollination requirements of macadamia Hawaii, Agriculture Experimental Station Technical Bulletin no 22. 40 p.

Goma Extraída de Vagens de *Parkia nitida* Miquel para Inoculação e Revestimento de Sementes de Leguminosas¹

F. M. S. Moreira*, A. A. Franco**

ABSTRACT

Pods of *Parkia nitida* Miquel, a native Amazon legume species, yielded on a dry weight basis 13.5% of a gum extracted using a home mixer. This gum was tested as a substitute for gum arabic in the inoculation and pelleting of legume seeds. The Amazon gum was compared with the gum arabic for adherence of CaCO₃ on seeds before and after mechanical shaking, for survival of rhizobia on seeds for up to six days after inoculation, and for nodulation and growth of the inoculated plants. No difference between the gums was detected. These results indicate the possibility of replacing gum arabic imported from Africa by a gum that is abundant in the Amazon region.

Keys words: Adhesive, pelletization.

RESUMO

Foi extraída uma goma de vagens de *Parkia nitida* Miquel, espécie nativa da Amazônia, por meios mecânicos, que apresentou um rendimento de 13.5% do peso total de vagens secas. Testes comparativos desta goma com a goma arábica tanto para aderência, com e sem agitação das sementes revestidas com CaCO₃, como para sobrevivência de rizóbio até 6 dias após a inoculação, não mostraram diferenças significativas. Estes resultados mostram a possibilidade de substituição da goma arábica, que é importada, pela goma amazônica na inoculação de sementes de leguminosas.

Termos de indexação: Adesivo, peletização.

INTRODUÇÃO

Um grande número de plantas produzem os complexos carboidratos conhecidos comercialmente como gomas (3). A mais importante espécie produtora de goma explorada comercialmente é a *Acacia senegal* (L.) Willd -uma leguminosa nativa de frica, adaptada a climas secos e quentes. Do seu tronco é extraída a "goma arábica" que tem aplicações em diversas áreas. Seu uso mais conhecido é na formulação de adesivos mas ela pode ainda ser utilizada, entre outros, nas indústrias alimentícias e de cosméticos.

A inoculação de sementes de leguminosas com bactérias fixadoras de nitrogênio atmosférico é uma técnica amplamente difundida que, para algumas culturas, substitui a adubação com fertilizantes nitrogenados. O inoculante é geralmente preparado com uma cultura líquida de rizóbio misturada com turfa. A goma arábica é empregada na inoculação com a função de fixar o inoculante à semente. O uso de adesivos permite também a aplicação de revestimentos à semente como, o calcário, fosfato de rocha, ou micronutrientes, que conferem maior sobrevivência o bactéria e adaptação a determinadas condições edáficas (5). Foi proposto por Salema *et al.* (4), que o adesivo "methocel" também pode proteger a bactéria durante o processo de dessecação.

1 Recebido para publicação em 18 de maio 1990.
Os autores agradecem ao suporte financeiro do Centro Nacional de Pesquisa (CNPq) durante a execução deste trabalho e ao Dr Sérgio Miana de Faria pela revisão do manuscrito.

* Pesquisador II, INPA/MCI, Manaus, Bra

** Pesquisador III, Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA)/CNPBS, km 47, Seropédica, Rio de Janeiro, Bra

Além da goma arábica e do methocel pode-se utilizar como adesivos outros produtos industrializados como o celofás (metil-etil-celulose) e o metofás (metil-hidroxipropil celulose), produtos comerciais estes, de difícil aquisição pelos agricultores. Por isso, têm sido realizados estudos visando a substituição desses adesivos por produtos mais acessíveis ao agricultor brasileiros. Faria *et al.* (1) compararam o polvilho de araruta, a farinha de trigo e o polvilho de mandioca com

a goma arábica, como adesivos na inoculação de sementes de leguminosas. Os adesivos alternativos mostraram-se tão eficientes quanto a goma arábica nos testes de aderência, mas ligeiramente inferiores à goma arábica na sobrevivência de rizóbio.

P. nitida Miquel (Syn. *P. oppositifolia* Benth.) é uma espécie nativa de Amazônia que produz grande quantidade de vagens com sementes revestidas por uma goma de fácil extração aparentemente igual a goma arábica. Neste trabalho estudou-se a possibilidade de substituição da goma arábica por esta goma, como adesivo na inoculação de sementes de leguminosas.

MATERIAL E METODOS

Extração da goma

Para a separação da goma das sementes de *P. nitida* Miquel, aqui denominada goma amazônica, foi usado um liquidificador caseiro com cada lâmina envolvida por um tubo de borracha revestido firmemente por uma camada de fio de arame. Após secagem ao ar as sementes foram interruptamente batidas no liquidificador acima descrito até a separação destas da goma.

Teste de aderência

A goma extraída de *P. nitida* Miquel foi testada nas seguintes concentrações em g/100 ml H₂O: 10, 20, 40 e 60, com 3 repetições. Para comparação foi usada a goma arábica com solução de 40 g/100 ml H₂O preparada segundo Vincent (5). A goma amazônica foi preparada colocando-se o produto seco em água e aquecendo-se em banho-maria. Após a dissolução completa, passou-se o material em uma peneira de plástico (coador doméstico comum) para remoção de resíduos de vagem e, principalmente, de tegumentos das sementes. Os revestimentos foram preparados colocando-se 100 g sementes de *Phaseolus vulgaris* cv. Capixaba precoce num saco plástico; em seguida adicionaram-se 4 ml das várias concentrações de goma amazônica e de solução da goma arábica agitando-se até completa uniformização.

Este procedimento foi realizado o mais rápido possível para evitar que as gomas secassem antes da aplicação de CaCO₃ p.a. (100 g/amostra de 100 g de sementes). Os sacos plásticos contendo o material foram agitados manualmente de forma rotativa, até se obter uma cobertura uniforme das sementes de CaCO₃, formando-se o chamado pelete ou revestimento. Após secagem à sombra, as sementes revestidas foram peneiradas para separação do material não aderido às mesmas, o qual foi pesado e subtraído do peso inicial

adicionado, estimando-se assim a quantidade aderida. Para verificação da estabilidade do revestimento aderido, às sementes revestidas com CaCO₃, obtidas como descrito anteriormente, foram colocadas em frascos cônicos (Erlenmeyer) de 500 ml, fixados em um vibrador Burrel ("Wrist action") a 328 vibrações por minuto durante 3 minutos. Após este tratamento o material desagregado foi peneirado e pesado.

Sobrevivência de rizóbio em sementes peletizadas com goma amazônica

A sobrevivência do rizóbio em sementes de feijão (mesma variedade usada no experimento anterior), com diferentes tipos de revestimentos, foi testada fazendo-se a contagem do número de bactérias viáveis aos 0, 1, 4 e 6 dias após inoculação. Juntamente com a inoculação das sementes foram usados os seguintes tratamentos: a) goma amazônica; b) goma amazônica + CaCO₃; c) goma amazônica + mineral; d) goma amazônica com pH corrigido para 5.2; e) goma arábica; f) goma arábica + CaCO₃ p.a.; g) goma arábica + calcário calcinado. O delineamento experimental foi de blocos ao acaso com 3 repetições.

Para cada amostra contendo 20 g de sementes foram adicionados: 0.75 ml de solução com 40 g de goma amazônica ou arábica/100 ml H₂O, 0.1 g de inoculante comercial (preparado no Centro Nacional de Pesquisa de Biologia de Solo, EMBRAPA), adicionado junto com as soluções de gomas, e quando pertinente, 4 g de calcário. As sementes foram desinfestadas superficialmente com HgCl₂ (0.1%) por 2 minutos depois lavadas 8 vezes em água esterilizada. As soluções de gomas, o calcário calcinado e o CaCO₃ p.a. foram esterilizados separadamente em autoclave. As contagens foram feitas adicionando-se dez sementes de cada amostra em 50 ml de solução de sais do meio 79 (2) diluída a 1/4 a feitas as diluições sucessivas e contagens segundo Vincent (5). Para elevação do pH da solução de goma amazônica, que inicialmente era de 4.3 usou-se uma solução tampão de KH₂PO₄ (20 mM) e K₂HPO₄ (7 mM) adicionando-se em seguida NaOH até elevar o pH de solução a 6.2 que, após autoclavagem, desceu para 5.2.

Efeito da goma amazônica na germinação das sementes, nodulação e crescimento de plantas de feijão

Este experimento foi conduzido em casa de vegetação usando inoculante comercial, e vasos contendo 500 g de solo classificado como Podzólico Vermelho Amarelo da série Itaguaí. O delineamento experimental utilizado foi o de blocos ao acaso, com 6

repetições, e os seguintes tratamentos: água; goma amazônica; goma amazônica + calcário; goma arábica; goma arábica + calcário. A proporção em peso das sementes, gomas e calcário foi a mesma do experimento anterior. Antes do plantio, misturou-se ao solo 1 g de calcário calcinado por vaso elevando o pH do solo para 6.0. Foram plantadas 15 sementes por vaso. Após a germinação anotou-se o número de sementes germinadas, deixando-se após o desbaste 2 plantas por vaso. Após o desbaste as plantas receberam uma adubação complementar de 1 ml KH_2PO_4 (10% p/v) por vaso. A colheita foi feita aos 25 dias após a germinação. Avaliou-se o número e peso dos nódulos secos e peso da parte aérea da planta seca.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

O rendimento da goma extraída de vagens de *P. nitida* Miquel foi de 78.5 g/20 vagens (Quadro 1). *P. nitida* é uma espécie arbórea de grande porte e frutificação abundante. Com base em uma amostra de 640 vagens coletadas em uma única planta, estimou-se uma produção de pelo menos 2.5 kg de goma/árvore/ano. Este resultado é bastante superior a produção de goma arábica por *A. senegal* que produz uma média anual de 250 g de goma/árvore(3).

Quadro 1. Rendimento da goma amazônica e peso de sementes em amostras de 20 vagens (média de 13 repetições).

	Peso (g)	Rendimento em relação ao peso de vagens (%)
20 vagens	582.4 ± 37.7 ¹	--
Sementes	213.4 ± 12.7	36.6
Goma extraída	78.5 ± 15.4	13.5

Notas:

1. desvio padrão

A aderência máxima de CaCO_3 em sementes de feijão foi obtida com a concentração de 40 g/100 ml H_2O de goma amazônica (Quadro 2). Este resultado não diferiu estatisticamente ao obtido com goma arábica na mesma concentração. Entretanto, a maior estabilidade do revestimento foi obtida com a goma amazônica a 60 g/100 ml igualando-se a goma arábica a 40 g/100 ml. A diminuição de aderência quando se aumentou a concentração de goma amazônica de 40 para 60 g/100 ml foi provavelmente devida ao aumento da viscosidade que propiciou uma distribuição mais

restrita do adesivo em volta das sementes. Em termos práticos a concentração de 40 g/100 ml pode ser usada se as sementes peletizadas não forem submetidas a grande agitação, caso contrário, seria recomendável usar um volume maior de solução de goma amazônica a 60 g/100 ml.

Quadro 2. Aderência de CaCO_3 com goma amazônica em diferentes concentrações e goma arábica com e sem agitação nas sementes de feijão.

Goma	Tratamentos ¹ Concentração (g/100 ml H_2O)	Quantidade de CaCO_3 aderida ²	
		Antes da agitação	Após agitação ³
Arábica	40	26.97a	20.27a
Amazônica	60	23.53b	18.50ab
Amazônica	40	27.70a	17.93b
Amazônica	20	21.73c	7.57c
Amazônica	10	11.57d	4.00d
C.V. (%)		3.33	8.00

Notas:

1. 100 g de sementes de feijão + 100 g de CaCO_3 p.a + 4 ml de solução de goma.
2. Valores na mesma coluna com letras diferentes diferem entre si pelo teste de Duncan ($p < 0.05$)
3. Em vibrador Burrel com 328 vibrações por minuto durante 3 minutos.

A goma amazônica tem pH bastante ácido (4.3) e inferior ao da goma arábica (5.1). Como o pH baixo afeta a sobrevivência de *Rhizobium* incluiu-se um tratamento onde o pH da goma amazônica foi elevado para 5.2. Em todos os tratamentos testados (Quadro 3) observou-se uma boa sobrevivência de *Rhizobium*: aproximadamente 10^3 células/semente até 6 dias após a inoculação, considerando que os inoculantes aplicados continham cerca de 3.5×10^7 células/g de inoculante (Quadro 3).

A elevação do pH da goma amazônica elevou o número de bactérias sobreviventes em relação ao número obtido no pH original. Mesmo sem elevação de pH, a goma amazônica mostrou-se plenamente satisfatória para inoculação de leguminosas quando usada juntamente com peletização com calcário calcinado ou CaCO_3 (Quadro 3). Observou-se ainda que a adição de calcário às duas gomas aumentou o número de células de *Rhizobium* sobreviventes. O tratamento com goma amazônica e calcário calcinado não diferiu estatisticamente do tratamento no qual a goma

Quadro 3. Efeito de alguns adesivos na sobrevivência de *Rhizobium* junto as sementes de feijão (média de 3 repetições).

Tratamento	Log do número de <i>Rhizobium</i> /semente, Dias após a inoculação				
	0	1	4	6	X
Goma amazônica + CaCO ₃	3.75	3.02	2.83	2.76	3.15d ¹
Goma arábica + CaCO ₃	4.11	3.84	2.90	2.91	3.54abc
Goma amazônica + mineral	4.02	3.88	3.26	3.10	3.70a
Goma arábica + mineral	4.11	3.85	3.36	3.22	3.67ab
Goma amazônica	3.87	3.20	2.97	2.80	3.32cd
Goma amazônica com pH elevado a 5.2	3.92	3.70	--	3.33	3.74a
Goma arábica	3.96	3.61	3.15	3.18	3.46bc
C.V. (%)	6.78				

Notas:

1. Valores seguidos de letras diferentes diferem entre si pelo teste de Duncan a p < 0.05

amazônica teve seu pH elevado para 5.2, sendo estes superiores ao tratamento com goma arábica.

A porcentagem de germinação das sementes de feijão utilizando como adesivos tanto a goma arábica como a goma amazônica foi de 100%. Os pesos da matéria seca da parte aérea das plantas cujas sementes foram revestidas com goma arábica e goma amazônica com e sem calcário não diferiram entre si mas foram superiores ao obtido no tratamento com inoculação simples (sem adesivo e sem revestimento) (Quadro 4).

Não houveram diferenças significativas em número e peso de matéria seca de nódulos entre todos os tratamentos, mas houve aumento do peso da parte aérea seca com a adição de adesivos ou calcário indicando que nestes tratamentos houve favorecimento da população de estirpes eficientes do inoculante. Estes resultados confirmam os do Quadro 4 onde se observa boa sobrevivência do rizóbio no dia de inoculação em todos os tratamentos em que foram usados adesivos.

CONCLUSÕES

A goma amazônica, extraída de vagens de *P. nitida* "in natura", pode substituir, com igual eficiência, a

Quadro 4. Efeito da inoculação das sementes, com diferentes adesivos e revestimentos, na nodulação e simbiose do feijão, *Rhizobium*, em vasos com solo podzólico vermelho-amarelo em casa de vegetação (média de seis repetições).

Tratamentos de inoculação	Matéria seca parte aérea ¹ (g)	Nódulos/planta	
		número	peso (g)
Água	1.265b	153	0.171
Goma amazônica	1.433a	113	0.163
Goma amazônica + calcário	1.50a	119	0.149
Goma arábica	1.382ab	115	0.160
Goma arábica + calcário	1.402ab	117	0.137
C.V. (%)	8.48	23.5	21.47

Notas:

1. Valores na mesma coluna seguidos de letras diferentes diferem entre si pelo teste de Duncan a p < 0.05

goma arábica como adesivo na inoculação de sementes de leguminosas com rizóbio, e, para revestimento com produtos como o fosfato de rocha e CaCO₃, entre outros.

A esterilização de ambas as gomas por autoclavagem aumentou a acidez destas, diminuindo a sobrevivência do rizóbio após a inoculação que pode ser corrigido pela neutralização da acidez das gomas pelo uso de peletização com calcário.

LITERATURA CITADA

1. FARIA, S.M. DE; DE-POLLI, H.; FRANCO, A.A. 1985. Adesivos para inoculação e revestimento de sementes de leguminosas. Pesquisa Agropecuária Brasileira. Série Agronomia 20(2):169-176.
2. FRED, F.B.; WAKSMAN, S.A. 1928. Laboratory manual of general microbiology. New York, McGraw-Hill. 145 p.
3. NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES. 1979. Tropical legumes: Resources for the future. Washington. p. 278-283.
4. SALEMA, M.P.; PARKER, C.A.; KIBDY, O.K. 1982. Death of rhizobia on inoculated seed. Soil Biology and Biochemistry. 14:13-14.
5. VINCENT, S.M. 1970. A manual for the practical study of root nodule. Oxford, IBP Handbook, Brockwell Scientific Publication. 164 p.

Efecto del Almacenamiento Hermético en la Calidad del Maíz para Tortillas¹

E. Moreno*, M.M. Reyes*, Z. Nieto**, J. Ramirez*

ABSTRACT

To ascertain the effect of high moisture content on the quality of hermetically stored maize for making "tortillas," as well as its effect on the development of grain storage fungi and insects, maize with a moisture content of 17% was stored in air-tight containers during 270 days at 26°C. The grain was infested with adults of the maize weevil *Sitophilus zeamais* Motschulsky. During the storage period the composition of the atmosphere was determined, as well as the moisture content of the grain, the seed germination, the development of fungi and insects and the quality of the "tortillas" thorough rheological, organoleptic and chemical tests. From the beginning of the storage period there was a striking change in the carbon dioxide and oxygen levels. At the first sampling, 15 days, the oxygen level dropped to 1.5% and the carbon dioxide increased to 53.9%; this atmosphere was lethal to insects and also inhibited the development of storage fungi. The seeds lost their germination capacity between 30 and 90 days of storage. According to quality tests, there were not significant differences between the "tortillas" made with maize stored under a normal atmosphere and maize with a low moisture content.

COMPENDIO

Para conocer el efecto de un alto contenido de humedad sobre la calidad de grano de maíz para tortillas, almacenado herméticamente, y sobre el desarrollo de insectos y hongos de almacén, se almacenó maíz en recipientes herméticos durante 270 d a 26°C, con un contenido de humedad del 17%, e infestado con insectos *Sitophilus zeamais* Motschulsky. Durante el experimento se determinó la composición de la atmósfera de almacenamiento, el contenido de humedad del grano, el porcentaje de germinación y la incidencia de insectos y hongos de almacén; y se evaluó la calidad de las tortillas mediante pruebas reológicas, organolépticas y químicas. A los 15 d, el oxígeno de la atmósfera de almacenamiento descendió hasta 1.5%, y el bióxido de carbono se incrementó en 53.9 por ciento. Esta atmósfera fue letal para los insectos e inhibió los hongos de almacén. El grano perdió completamente su germinación entre los 30 d y 90 d de almacenamiento. Al final del periodo de almacenamiento no se observaron diferencias significativas entre la calidad de las tortillas elaboradas con maíz almacenado herméticamente y de aquellas hechas con maíz almacenado, con un contenido bajo de humedad y en una atmósfera normal.

INTRODUCCION

Las pérdidas en postproducción de los granos alimenticios se clasifican en dos categorías: cuantitativas y cualitativas. Ambos tipos se deben al manejo inadecuado de los granos desde la cosecha hasta su destino final. Una de las causas de estas pérdidas son los hongos de almacén, especies de los géneros *Aspergillus* y *Penicillium* (3), que aceleran la pérdida de viabilidad de las semillas agrícolas; algunas especies son capaces de producir micotoxinas que atentan contra la salud humana y animal (4, 8).

El combate de las especies de *Aspergillus* y *Penicillium*, que atacan a los granos almacenados destinados a la alimentación del hombre y de sus animales domésticos, actualmente sólo se logra con el almacenamiento de los granos con bajos contenidos de humedad (5). En el caso de las semillas agrícolas, el combate de estos hongos puede lograrse mediante fungicidas, los que no pueden usarse en granos alimenticios por su toxicidad para el hombre y los animales domésticos (9, 10).

En las zonas rurales, sobre todo en cálidas y húmedas, la conservación del maíz para autoconsumo es más difícil, debido a la carencia de estructuras adecuadas de almacenamiento. Esto lo que permite que la alta humedad del ambiente esté en contacto con los granos, favoreciendo la proliferación de insectos y de hongos que demeritan la calidad nutricia y sanitaria del maíz almacenado. Para estas áreas rurales se requiere el desarrollo de tecnologías simples, pero efectivas, como alternativas para la conservación de los granos que constituyen la dieta básica de millones de mexicanos.

¹ Recibido para publicación el 8 de febrero de 1990. Proyecto financiado por el Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología PVT/AI/NAL/86/3623, Méx.

* Unidad de Investigación en Granos y Semillas, Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM)-Instituto Nacional de Investigaciones Forestales y Agropecuarias (INIFAP), Apartado Postal No. 20, Pabellón de Arteaga, Aguascaliente, Méx.

** Facultad de Química, UNAM, Méx.

Una de esas alternativas es el almacenamiento hermético, cuyo principio se basa en la eliminación del oxígeno requerido para la vida de los insectos y hongos de almacén, mediante la respiración conjunta de los hongos, los insectos y los granos. Este método de almacenamiento ha sido utilizado desde épocas antiguas hasta la actualidad (13). En México se ha usado desde la época precortesina y, actualmente, es utilizado en las costas del Pacífico y del Golfo de México, y es en el estado de Veracruz donde se ha difundido con mayor popularidad. En estos lugares se emplea en forma empírica, desconociéndose los límites de su uso, razón por la cual se han realizado investigaciones para definir las condiciones en las cuales se puede manejar con mayores ventajas para el usuario (11).

En la práctica del almacenamiento hermético se recomienda que el grano tenga un contenido de humedad de alrededor del 12%, para evitar la proliferación de microorganismos anaerobios que pueden ocasionar olores y sabores desagradables, propios de su metabolismo de fermentación; además, se recomienda el uso de insecticidas o fumigantes para eliminar los insectos provenientes del campo.

Tomando en cuenta que el contenido de humedad influye en la intensidad de la respiración de los granos, insectos y hongos, en este trabajo se almacenó grano con un contenido de humedad del 17%, con el fin de observar el efecto de la atmósfera del almacenamiento, que se genera con ese contenido de humedad, sobre el desarrollo de insectos y de hongos, así como en la calidad de la masa de maíz para la elaboración de tortillas.

MATERIALES Y METODOS

Se utilizó maíz de la variedad VS-525, cuyos contenidos de humedad y germinación fueron de 10.7% y 98%, respectivamente. El grano estaba internamente libre de hongos de almacén, lo cual se determinó sembrando granos superficialmente desinfectados, en un medio de cultivo, como más adelante se describe.

El contenido de humedad del grano se ajustó al 17% con adición de agua. El grano se almacenó en latas metálicas de 3 l de capacidad. En la tapa de la lata se colocó un tapón de hule para permitir el muestreo de la atmósfera con la jeringa del cromatógrafo de gases. La tapa y el tapón de goma se sellaron con silicón. Se utilizaron 15 latas para cinco muestreos, a los 15 d, 30 d, 90 d, 180 d y 270 d, con tres repeticiones de 2.3 kg cada una. En cada unidad experimental se colocaron 45 insectos adultos de la especie *S. zea* Motschulsky de la misma edad y sin sexar.

En cada muestreo se determinó la concentración de bióxido de carbono, oxígeno y nitrógeno en la atmósfera que rodeaba a los granos; también se determinó el contenido de humedad, germinación del grano, micoflora aeróbica, población de insectos y calidad de tortillas.

La determinación del bióxido de carbono y oxígeno se llevó a cabo con cromatografía de gases, con un equipo Perkin Elmer modelo "Sigma I", provisto de un detector de conductividad térmica. Se emplearon dos columnas: la (A) empacada con porapak Q de 1 m de longitud por 3 mm de diámetro de acero inoxidable; la (B) empacada con malla molecular de 5 Å de 1 m de longitud por 3 mm de diámetro de acero inoxidable. Las condiciones de operación, para las dos columnas, fueron: temperatura de inyector: 100°C, temperatura de detector: 100°C; y temperatura del horno: 90°C. Se utilizó helio como acarreador, con un flujo de 25 ml por minuto.

Se inyectó 0.1 ml de aire de cada una de las muestras en cada una de las columnas. De la inyección en la columna A se obtuvieron los porcentajes de las áreas correspondientes a la señal de la mezcla nitrógeno-oxígeno y la de oxígeno. De la inyección en la columna B se obtuvieron los porcentajes de las áreas de las señales correspondientes a nitrógeno y oxígeno. Con esta información se calcularon los porcentajes de bióxido de carbono y oxígeno en las atmósferas de almacenamiento.

El contenido de humedad de los granos se determinó mediante el método de secado en la estufa, a 103°C por 72 h, recomendado por el USDA (14). El contenido de humedad se expresó en porcentaje, con base en el peso húmedo de la muestra. La germinación se determinó con 300 semillas de cada repetición, utilizando el método entre papel: se colocaron las semillas entre toallas de papel húmedas, las que se enrollaron y pusieron en incubadoras a 25°C durante 7 d (6). Para determinar la micoflora, presente en el interior de los granos de cada repetición, se desinfectaron 25 granos en hipoclorito de sodio al 2.0% durante 2 min; los granos desinfectados fueron sembrados en malta-agar con el 6% de cloruro de sodio (MSA 6%). La temperatura de incubación fue de 25° centígrados.

Para la elaboración de las tortillas se usaron 2 kg de maíz de cada repetición. El proceso de "nixtamalización" se llevó a cabo en forma tradicional, con una concentración del 1% en peso de cal viva con respecto del peso del grano, con una relación agua-grano de 3:1 y llevando la temperatura a ebullición hasta el cambio de color y reblandecimiento del grano.

Para la elaboración de las tortillas se siguieron las indicaciones de Alarcón *et al.* (2). Las tortillas-testigo

se elaboraron con maíz almacenado con una humedad de 10.7% y a 4°C, desde su arribo al laboratorio. Después de la cocción de las tortillas, éstas se dejaron enfriar a temperatura del laboratorio y se almacenaron en bolsas de polietileno hasta por 72 h, tiempo necesario para realizar pruebas reológicas y organolépticas que indicaran, por medio de las tortillas, la calidad de la masa. Para tal efecto se realizaron en las tortillas las pruebas de ampolla, doblez, enrollado y corte.

Estas se ejecutaron en cuatro tiempos: inmediatamente después de la cocción de las tortillas, 1 h, 24 h y 72 h después de su cocción. Para estas pruebas se utilizaron diez tortillas tomadas al azar. La ampolla que se forma durante la cocción de la tortilla, indica que su masa fue homogénea y que su textura no favorece las fracturas de la tortilla. La prueba de doblez permite verificar si hay ruptura en la cara externa del doblez, opuesta a la cara de la ampolla; para ello las tortillas fueron dobladas en dos y en cuatro partes. La prueba de enrollado es también una forma indirecta de evaluar la textura de la masa, para lo cual las tortillas se enrollan en una barra de aluminio de 15 mm de diámetro, a manera de "taco", observando si se presenta alguna ruptura en la cara externa. La prueba de corte consiste en romper la tortilla por la parte central, estirándola con ambas manos hacia afuera, con el fin de apreciar si el corte se efectúa con facilidad sin presentar resistencia por dureza.

Para la evaluación organoléptica se realizaron las pruebas dúo-trío y la prueba de escala hedónica (12). Para ambas pruebas se integró un panel de ocho jueces, con personas de ambos sexos y diferentes edades.

Para la prueba dúo-trío se colocaron en una bandeja tres tortillas codificadas: dos iguales y una diferente. A cada juez se le proporcionó un formato en el que debería señalar su apreciación sobre las diferencias o similitudes entre las tortillas de la prueba. Esta prueba se realizó conjuntamente con las pruebas reológicas. La prueba de escala hedónica es de tipo discriminatorio, que parte del agrado al desagrado del producto para el paladar. Para esta prueba, a cada juez se le proporcionaron cuatro muestras diferentes codificadas, que correspondían a tres repeticiones y a un testigo en cada período de almacenamiento. Igualmente a cada juez se le proporcionó un formato para que anotara su apreciación al agrado o desagrado de las tortillas. Los resultados de ambas pruebas fueron sometidos a un análisis de variancia ($p = 0.05$), siguiendo la metodología señalada por Larmond (7) para este tipo de pruebas organolépticas.

Además de las pruebas, señaladas, se realizó un análisis químico proximal de harina proveniente de la molienda de tortillas desecadas. En él se determinaron el porcentaje de humedad, proteína cruda, grasa cruda, fibra cruda, cenizas y carbohidratos totales por diferencia, de acuerdo con métodos y técnicas de la AOAC (1).

RESULTADOS Y DISCUSION

El contenido de humedad inicial del 17.1% y tuvo un incremento hasta del 1.3 por ciento. Ese aumento se debió a la respiración del grano y de los microorganismos microaerófilos y anaeróbicos, que no fueron cuantificados ni identificados.

Cuadro 1. Contenido de humedad, composición de la atmósfera de almacenamiento, población de *Sitophilus zeamais* y germinación del grano.

Período de almacenamiento (D)	Contenido de humedad (%)	Atmósfera*			Insectos		Germinación (%)
		O ₂	CO ₂ (%)	N ₂	Vivos	Muertos	
0 (testigo)	17.1	23.8	0.07	78.0	45	0	98
15	17.1	1.5	53.90	44.5	0	45	95
30	18.0	1.5	68.60	28.7	0	45	78
90	18.4	1.4	81.70	16.80	0	45	0
180	17.8	—	—	—	0	45	0
270	17.8	2.2	70.40	27.0	0	45	0

Notas: En estas condiciones de almacenamiento no se detectaron hongos de almacén en ninguno de los muestreos.

* Promedio de seis mediciones, dos por repetición

— No se determinó

Cuadro 2. Pruebas reológicas en tortillas elaboradas con maíz almacenado en condiciones herméticas, a 26°C durante cinco periodos de almacenamiento.

Periodo de almacenamiento (d)	Tipo de prueba*	Análisis** (%)			
		1	2	3	4
0 (testigo)	A***	90			
	E	100	100	100	100
	D	100	100	100	100
	C	100	100	100	100
15	A	100			
	E	100	100	100	100
	E	100	100	100	100
	C	100	100	100	100
30	A	99			
	E	100	100	100	100
	D	100	100	100	100
	C	100	100	100	100
90	A	99			
	E	100	100	100	100
	D	100	100	100	100
	C	100	100	100	100
180	A	96			
	E	100	100	100	100
	D	100	100	100	100
	C	100	100	100	100
270	A	94			
	E	100	100	100	100
	D	100	100	100	100
	C	100	100	100	100

Notas:

- * Base 10 tortillas. A = Prueba de ampolla; E = Prueba de enrollado; D = Prueba de doblez y C = Prueba de corte.
- ** 1 = Análisis en el momento de la elaboración de las tortillas, 2 = Una hora después; 3 = 24 h después y 4 = 72 h después de la elaboración de las tortillas.
- *** La prueba de ampolla se realiza solamente al momento de la cocción

En cuanto a la composición de la atmósfera, a los 15 d de almacenamiento se observó un fuerte cambio en la concentración de oxígeno y bióxido de carbono, registrándose niveles del 1.5% y del 53.9%, respectiva-

mente. Estos cambios en la concentración de los gases se debió a la actividad metabólica del grano y de los microorganismos. A partir de los 15 d de almacenamiento, el oxígeno fluctuó del 1.5% al 2.2% y el bióxido de carbono del 53.9% al 81.7% (Cuadro 1), condiciones que no permitieron el desarrollo de *Aspergillus* y *Penicillium*, que común y vigorosamente se desarrollan en maíz con un contenido de humedad del 17 por ciento.

Los insectos con que inicialmente se infestó el grano no sobrevivieron a los 15 d de almacenamiento, ni posteriormente se registró el desarrollo de nuevas generaciones (Cuadro 1). La germinación del grano se mantuvo alta, 78% hasta los 30 d de almacenamiento, declinando drásticamente a partir de ese muestreo.

En lo que respecta a las pruebas reológicas, se observó que la formación de la ampolla en la tortilla, durante su cocción, se presentó en las tortillas de todos los periodos de almacenamiento en un rango del 94% al 100%; las tortillas-testigo la presentaron en un 90% (Cuadro 2); por lo tanto, no hubo diferencias entre las tortillas hechas con el maíz almacenado en forma hermética y las tortillas del maíz-testigo. No hubo formación de ampolla en las pruebas a 1 h, a 24 h y a 72 h después de la cocción, lo cual es normal, ya que la tortilla sólo forma ampolla al momento de la cocción y no cuando es calentada posteriormente.

En las pruebas de enrollado, doblez y corte tampoco se apreció ninguna alteración en las tortillas, debido al

Cuadro 3. Análisis de la prueba dúo-trío en tortillas de maíz almacenado herméticamente a 26°C durante cinco periodos de almacenamiento.

Periodo de almacenamiento (d)	Panelistas* con diferencia (núm)		Significancia de la diferencia (P = 0.05)
	Percibida	No Percibida	
(testigo)	4	4	no significativa
15	3	5	" "
30	4	4	" "
90	3	5	" "
180	5	3	" "
270	5	3	" "

Notas:

- * Promedio de 96 panelistas (los ocho panelistas por tiempo de prueba y para cada repetición del experimento).

Cuadro 4. Composición bromatológica* de tortillas de maíz almacenado herméticamente durante 270 días a 26° centígrados.

Período de almacenamiento	Humedad (%)	Proteína total	Grasa Fibra		Cenizas	Carbohidratos totales
			cruda (%)			
0 (testigo)	14.0	7.9	3.2	1.6	1.2	72.1
15	11.6	8.0	3.3	1.6	1.2	74.3
30	11.9	7.7	3.3	1.6	1.2	74.3
90	11.8	7.9	3.1	1.6	1.3	74.3
180	10.1	7.8	3.1	1.5	1.3	76.2
270	11.0	7.8	3.1	1.7	1.2	75.2

Notas:

* Base humedad; promedio de tres repeticiones.

almacenamiento hermético del maíz. El total de las tortillas, en todos los períodos de almacenamiento, pudieron enrollarse y doblarse sin presentar fractura en su cara externa; este porcentaje se mantuvo no solamente para la prueba al momento de la cocción, sino también en la prueba a 1 h, a 24 h y a 72 h (Cuadro 2). Esto indica que la textura de la masa de maíz no fue afectada por las condiciones de almacenamiento.

En lo referente a las pruebas organolépticas, el análisis de variancia de los datos de la prueba dúo-trío señaló que el número de panelistas que detectaron diferencias no fue significativo ($p = 0.05$). El número de panelistas que percibieron diferencias entre tortillas se mantuvo entre 3 y 5, al igual que los que no detectaron diferencias (Cuadro 3).

Con esto se puede decir que el período de almacenamiento no fue lo suficientemente prolongado como para detectar los efectos de procesos fermentativos de microorganismos microaerófilos o anaeróbicos, desarrollados en esas condiciones de almacenamiento, cuya presencia sólo fue reconocida por el olor característico de una fermentación.

Por otra parte, el análisis de variancia de los datos bromatológicos de las tortillas elaboradas con maíz almacenado herméticamente y las tortillas-testigo, no mostró diferencias significativas, $p = 0.05$ (Cuadro 4). Por lo tanto, se concluye que el almacenamiento hermético no tuvo efectos nocivos detectables sobre la composición química de las tortillas, teniendo en consideración los límites del análisis químico proximal.

Es importante señalar que a partir de los 90 d de almacenamiento se observó un ennegrecimiento del

embrión de los granos. Ello no afectó la calidad de las tortillas, ya que éstas tuvieron buena aceptación por los panelistas de las pruebas organolépticas y reológicas.

Por los resultados obtenidos en este trabajo, se puede decir que el almacenamiento hermético de maíz con humedad inicial del 17%, no afecta su calidad para la elaboración de tortillas; las cuales además de presentar sus propiedades físicas y químicas normales, fueron aceptadas por el paladar de los consumidores. Sin embargo se realizaron otros estudios para evaluar el efecto de la microbiota microaerófila y anaeróbica, que se desarrolla en estas condiciones de almacenamiento, sobre la calidad de las tortillas.

Por otra parte, es importante señalar que el contenido de humedad con que se almacenó el maíz en estos estudios favorece una rápida reducción del oxígeno y, a la vez, una generación elevada de bióxido de carbono, con lo que se eliminan los insectos de almacén *S. zeamais* y hongos aerobios como *A. flavus*, que crece vigorosamente en maíz con contenidos de humedad de 17 por ciento.

LITERATURA CITADA

1. AOAC (ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTS). 1970. Official methods of analysis 11 ed Washington, D.C., AOAC
2. ALARCON, A.; GUERRA, R L.; PEDROZA, R.; NIETO, Z.; DURAN, C. 1985. Mezclas nixtamalizadas de maíz y sorgo. Tecnol. Aliment. (Méx.) 20:6-11.
3. CHRISTENSEN, C.M.; KAUFMANN, H. 1976. Contaminación por hongos en granos almacenados. Méx., Editorial Pax. 189 p.

4. CHRISTENSEN, C.M. 1978. Storage fungi. In Food and beverage mycology. R.L. Beuchat (Ed.). Westport, Conn., Ari Pub. p. 173-190.
5. CHRISTENSEN, C.M.; SAUER, D. 1982. Microflora. In Storage of cereal grains and their products. 3 ed. C.M. Christensen (Ed.). St. Paul, Minn., American Association of Cereal Chemists. p. 219-240.
6. INTERNATIONAL SEED TESTING ASSOCIATION. 1976. International rules for seed testing: Rules 1976. Seed Science and Technology 4(1):177.
7. LARMOND, E. 1970. Methods for sensory evaluation of food. Ottawa, Food Research Institute, Central Exp. Farm. Publication 1284:385 p.
8. MORENO, M.E.; CHRISTENSEN, C.M. 1971. Differences among lines and varieties of maize susceptibility to damage by storage fungi. Phytopathology 81:1498-1500.
9. MORENO, M.E.; VIDAL, G. 1981. Preserving the viability of stored maize seed with fungicides. Plant Disease 65:280-281.
10. MORENO, M.E.; RAMIREZ, J. 1985. Protective effect of fungicides on corn seed stored with low and high moisture contents. Seed Science and Technology 13:285-290.
11. MORENO, M.E.; RAMIREZ, J. 1988. The influence of hermetic storage on the behavior of maize seed germination. Seed Science and Technology 16:427-434.
12. NIETO, V., DURAN, C.; LASO, F.; NUÑEZ, V. 1986. Calidad molinera de mezclas de maíz y sorgo perlado e integral. Tecnol. Aliment. (Méx.) 21:17-21.
13. SIGOUTI, F. 1980. Significance of underground storage in traditional systems of grain production. In Controlled atmosphere storage of grains. J. Shejbal (Ed.). Amsterdam, Elsevier. p. 3-13.
14. USDA (UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE). 1979. Grain equipment manual GR. 916-6. Kansas City, Mo., Federal Grain Inspection Service, Standardization Division. Richard-Geabauer AFB.

Natural Cross-Fertilization of Sesame Grown in Sonora, Mexico¹

G.L.C. Musa*, V.I. Padilla*

ABSTRACT

The extent of natural cross-fertilization of seven white seeded genotypes of sesame (*Sesamum indicum* L.) was studied under growing conditions in Sonora, Mexico. A line with black seed (a simply inherited dominant character) was used as control. The genotypes investigated showed significant differences in the extent of natural cross-fertilization. The percentages of natural cross fertilization ranged from 6.1% to 20.1% and averaged 12.8 ± 2.2 percent. Honey bees were observed as the most active pollinators. The results obtained indicated that a high degree of natural cross-fertilization occurs in sesame. Possible applications for sesame breeding are discussed.

COMPENDIO

Se estudió el grado de fecundación cruzada natural de siete genótipos de grano blanco de ajonjolí (*Sesamum indicum* L.), en las condiciones de crecimiento imperantes en Sonora, Méx. Una línea de grano negro (carácter dominante de herencia simple) fue utilizada como marcador genético. Los resultados indicaron diferencias significativas en el grado de fecundación cruzada natural, en los genótipos de ajonjolí evaluados. Los porcentajes de cruzamiento natural tuvieron un rango de 6.1% a 20.1%, con una media general de 12.8 ± 2.2 por ciento. Se observó que las abejas fueron las más activas polinizadoras. Los datos indican la presencia de un alto grado de fecundación cruzada natural en ajonjolí. En el presente trabajo se discuten las posibles aplicaciones de estos resultados en el mejoramiento genético de ajonjolí.

INTRODUCTION

Sesame (*Sesamum indicum* L.) is generally considered as a self-pollinated crop. However, 1% cross-fertilization was reported in experimental plots by Kinman and Martin (8). Collister (5) reported natural cross-fertilization values of 0.5% to 9.6 percent. Yermanos (22) found 68% natural cross-fertilization in Moreno, California, where sesame was the only blooming plant species in the midst of a semiarid area. Levels of 60% to 65% natural cross fertilization have also been reported in sesame (21).

Martinez and Quilantan (10) found natural cross fertilization to range from 3% to 15% for sesame grown in Iguuala, Mex., during the summer and winter. The values were dependent on the season and the frequency of insect pollinators. In India, natural cross fertilization values of 1% to 17% have been reported (1, 2, 19). Langham (9) reported 4.6% natural cross fertilization for sesame grown in Venezuela.

Rheenen (15) found natural cross-fertilization to range from 3.5% to 9.6% in Nigeria, the values depending on variety and experimental design. Similarly, Khidir (6) estimated the extent of natural cross fertilization in sesame grown in Sudan to range from 3.1% to 6.7% depending on location and planting pattern. Chaudhari and Zope (3) reported maximum cross fertilization in sesame cultivar UT-43 sown at 28 distances from 0.3 m to 16.2 m to be within 2.0%, the values being dependent on the direction. Using the dt45 (determinate) plants as marker gene, Brigham (2) found 10.2% natural cross fertilization in sesame plants grown at Lubbock, Texas. The range of natural cross fertilization in sesame is this very wide (1% - 65%), apparently being dependent on genotype and environmental conditions.

1 Received for publication 27 November 1989
The authors would like to thank Dr. R. D. Brigham for his helpful comments in reviewing an earlier draft of this manuscript. This study was partly supported by the Instituto Nacional de Investigaciones Forestales y Agropecuarias (INIFAP), and the Patronato para la Investigación y Experimentación Agrícola del Estado de Sonora (PIEAES), Mex.

* INIFAP-CIFAPSON, Yaqui Valley Agricultural Experiment Station, Apdo. Postal no 515, Cd. Obregon, Sonora, Mex.

In view of the sporadically high amounts of natural cross fertilization and high variation with various environmental factors, maintenance of purity of varietal characteristics is complicated. In order to avoid the occurrence of genetic shifts in a crop species, it is important that a breeder have an estimate of the degree of contamination of his advanced breeding lines due to natural cross fertilization. According to McVetty and Nugent-Rigby (11), knowledge of the estimate of natural cross fertilization in a crop species would ensure that significant genetic shifts occur in subsequent years of testing, or final years of seed increase of new varieties.

In Sonora, Mexico, no precise research exists on the extent of natural cross fertilization in sesame. Maintenance of genetic purity of the commercially grown varieties has been difficult. Since most of the sesame varieties are highly heterogeneous, it is imperative to obtain information on the extent of natural cross fertilization of sesame grown in Sonora, so as to formulate an effective breeding strategy for crop improvement. The sesame breeding program in Sonora employs the pedigree and bulk breeding methodologies.

The present study was thus conducted with the aim of determining the extent of natural cross fertilization for seven different genotypes of sesame under conditions in Sonora.

MATERIALS AND METHODS

Five commercial cultivars of sesame Ciang 16, Ciang 27, Yori 77, Teras 77, and Pachequeño and two advanced breeding lines, Liza 70 and Sinaioa 2, were studied for natural cross fertilization. All seven genotypes carry a recessive allele for white-colored seeds in a presumably homozygous condition.

The genotype M-T-B-3, from the sesame germplasm collection that carries a dominant allele for black seed, was used as a pollen donor in this study. The condition of black seeds is inherited in a monofactorial fashion, as previously reported by Sikka and Gupta (20).

In order to facilitate the occurrence of natural cross fertilization, the tested genotypes with seeds were each planted in alternate rows with "M-T-B-3" (black seeds) during the summer of 1986. Single row plots 6 m long and 75 cm between rows were used. Plant to plant distance was kept at 10 cm within the row. A randomized complete block experimental design with four replications was used. During the growing season, samples of the most prevalent insect populations were taken. Honey bees were observed as the most active and frequent insect pollinators.

In order to determine the extent of natural cross fertilization, seeds from individual plots of the white seeded genotype were harvested separately. These were grown out as FW1 plants during the summer of 1987. Due to lack of xenia in sesame, all of the harvested FW1 seed were white. The seed harvested from each plot of the white seeded genotype was used as a separate treatment. Two-row plots 6 m long and 75 cm between rows were planted in a randomized complete block experimental design with four replications.

In the F₂ generation, seed color segregates; this relation has been used in estimating the extent of natural cross fertilization in sesame (10, 18).

Seeds of the segregating F₂ generation were harvested from plants and bulked within each plot in 1987. This seed was used in determining the extent of natural cross fertilization in the seven genotypes under study. Data from each cultivar were combined using an analysis of variance approach as outlined by Cochran and Cox (4). Differences among means were determined using Duncan's multiple range test. The estimate of natural cross fertilization was made by calculating the percentage of black seeds (dominant) in the progeny of white seeded genotypes.

Since the amount of the harvested seed from the plot of the white seeded genotypes was large, a 10 cm³ sample of seeds (containing approximately 3000 seeds) was taken. Two samples were taken from each harvested plot. The F₁ seed harvested from each plot in 1986 was divided in four parts and grown out in each replication in 1987. The segregating F₂ seed used for determining natural cross fertilization represented 16 samples per genotype with white seed. The number of white, black and total seeds were determined. The percentage of black seeds which segregated and was observed in each white seeded genotype indicated the extent of natural cross fertilization as previously outlined by Martinez and Quilantan (10).

RESULTS AND DISCUSSION

The data in Table 1 show the percentage of natural cross fertilization in the seven genotypes of sesame grown in Sonora. The extent of natural outcrossing ranged from 6.1% to 20.1% and averaged $12.8 \pm 2.2\%$ natural cross fertilization.

Two genotypes, Ciano 27 and Pachequeño, presented low natural cross fertilization values of $6.1 \pm 0.8\%$ and $7.2 \pm 3.0\%$, respectively. These two genotypes are slightly later-flowering than the other materials tested. The low values obtained may have resulted from the short flowering period to which they

Table 1. Natural cross-fertilization in the progenies of seven white seeded genotypes of sesame grown in Sonora, Mex.

Genotype	Cross fertilization (%)	
	Mean ¹	Range
"Liza 70"	20.1 a ± 3.7	16.7 - 24.8
"Ciano 16"	16.5 b ± 1.7	14.8 - 18.9
"Sinaloa 2"	15.4 b ± 2.3	12.9 - 18.0
"Teras 77"	13.3 bc ± 2.0	11.5 - 16.1
"Yori 77"	11.3 c ± 1.8	8.6 - 12.5
"Pachequeño"	7.2 d ± 3.0	4.4 - 11.4
"Ciano 27"	6.1 d ± 0.8	5.0 - 6.7

Notas:

1. By the same letter are not significantly different at P = 5%, according to Duncan's multiple range test.

were exposed with the dominant tester (M-T-B-3). Three genotypes, Ciano 16, Liza 70 and Sinaloa 2, showed percentages of natural cross fertilization of over 15 per cent. The observed natural cross fertilization values were $15.4 \pm 2.3\%$, $16.5 \pm 1.7\%$ and $20.1 \pm 3.7\%$ for Sinaloa 2, Ciano 16 and Liza 70, respectively. Teras 77 and Yori 77 showed natural outcrossing values of $13.3 \pm 2.0\%$ and $11.3 \pm 1.8\%$, respectively. These two genotypes are not statistically different according to Duncan's multiple range test (Table 1).

Statistical analysis of the data indicate differential natural cross fertilization between genotypes. Liza 70, which registered the highest natural cross fertilization value, was significantly different from all the test genotypes (Table 1).

The data obtained in this study demonstrate the magnitude of natural cross fertilization in sesame grown under the conditions of Sonora. These results also confirm that sesame is predominantly a self-pollinated crop with a certain degree of natural outcrossing. The results reported here are similar to those reported by Martinez and Quilantan (10), Rheenen (15, 16) and Brigham (2).

Numerous insect pollinators were observed during the flowering period. In this study, honey bees were frequently observed visiting sesame flowers; Khidir and El Awad (7) reported them, rather than wind, as the most active pollinators in sesame. In general, the flower structure of sesame offers ample opportunities for cross-fertilization by insects. Similar observations were previously made by Rheenen (17).

From the data obtained in this study, it can be concluded that a high percentage of natural cross-fertilization can occur in sesame grown in Sonora. This obviously complicates the problem of maintenance of breeding lines and cultivars and requires isolation between them. This aspect is important in maintaining the purity of varietal characteristics.

Natural cross fertilization in sesame has been reported to vary from 1% to 65% (13). This phenomenon is dependent on genotype, environment and experimental design. It is important, therefore, that each breeding program in a given area determine the extent of natural cross fertilization of this crop. This information would facilitate the identification of an appropriate breeding methodology.

The range of natural cross-fertilization reported in sesame is similar to that reported in faba beans (*Vicia faba* L.) by McVetty and Nugent-Rigby (11). These authors reported a range of 1% - 79% in faba beans, and mentioned that at the lower end of the reported range (1% - 65% for sesame) the species could be handled as a self-pollinated crop, using a pedigree approach. At the upper end of the range, the crop could probably be handled quite satisfactorily as a cross-pollinated species using a recurrent breeding approach to produce improved populations and/or synthetics. Similar observations were made by Rheenen (16). Rajan (14) suggested the development of synthetics or composites in sesame as a means of exploiting the high degree of vicinism observed in this crop.

In Sonora, the data indicate that the populations could be handled with the pedigree, bulk and backcross breeding approach. However, in order to avoid genetic shifts in advanced breeding populations, it is necessary to grow sesame populations in isolation. Rheenen (16) and Khidir (6) recommended the use of controlled self-pollination for maintenance of germplasm collections. This can be achieved by covering the upper part of the stem before flowering, which would help reduce natural cross-fertilization in sesame and ensure the maintenance of genetic purity.

LITERATURE CITED

1. ALLI, M.; ADAM, Z. 1933 Types of (*Sesamum indicum*) D.C. in the Punjab. Indian Journal of Agricultural Science 3:897-911.
2. BRIGHAM, R D. 1986 Determinate sesame (*Sesamum indicum* L.), a promising new phenotype. Proceedings of the American Association for the Advancement of Science 62:26.

3. CHAUDHARI, P.N.; ZOPE, R.E. 1977. Studies on vicinism in sesamum (*Sesamum indicum* L.). J. Mahastra Agric. University 2(3):233-235.
4. COCHRAN, W.C.; COX, G.M. 1957. Experimental designs. New York, John Wiley. p. 106-114.
5. COLLISTER, E.H. 1955. Improvement of sesame. Renner, Tex., Texas Research Foundation Bulletin no. 4. 42 p.
6. KHIDIR, M.O. 1972. Natural cross pollination in sesame under Sudan conditions. Experimental Agriculture 8:55-59.
7. KHIDIR, M.O.; EL AWAD S.H. 1972. Studies on floral biology in sesame. Sudan Agric. Journal 7:17-26.
8. KINMAN, M.L.; MARTIN, J.A. 1954. Present status of sesame breeding in the United States. Agronomy Journal 46:24-27.
9. LANGHAM, D.C. 1944. Natural and controlled pollination in sesame. Journal of Heredity 35:255-256.
10. MARTINEZ, H.A.; QUILANTAN, V.L. 1964. Percentage of natural cross pollination of sesame in Iguala. Agric. Tex. Mex. 2:175-177.
11. McVETTY, P.B.E.; NUGENT-RIGBY, J. 1984. Natural cross pollination of faba beans (*Vicia faba* L.) grown in Manitoba. Canadian Journal of Plant Science 64(1):43-46.
12. MUHAMMED, S.V.N.; SRIVASALN, N.; SHANDRASEKALON, N.R.; SUNDARAN, N.; SIVASUBRAMANIAN, P. 1965. Studies on natural cross pollination in *Sesamum orientale* L. Madras Agric. Journal 52:452.
13. OSMAN, H.E. 1985. Studies in sesame: Hybridization and related techniques. In Sesame and safflower: Status and potentials. A. Ashri (Ed.). Rome, FAO, Plant Production and Protection. Paper no. 66. p. 145-156.
14. RAJAN, S. 1981. Sesame breeding material and methods. In Sesame: Status and improvement. A. Ashri (Ed.) Rome, FAO, Plant Production and Protection. Paper no. 29. p. 138-140.
15. RHEENEN, H.A. VAN. 1968. Natural cross fertilization in sesame (*Sesamum indicum* L.). Tropical Agriculture (Tri) 45:147-153.
16. RHEENEN, H.A. VAN. 1968. Natural cross fertilization in sesame (*Sesamum indicum* L.). Tropical Agriculture (Tri) 45:147-153.
17. RHEENEN, H.A. VAN. 1980. Aspects of natural cross-fertilization in sesame (*Sesamum indicum* L.). Tropical Agriculture (Tri) 57:57-53.
18. RHEENEN, H.A. VAN. 1981. Time of crossing and capsule set in sesame (*Sesamum indicum* L.). In Sesame: Status and improvement. A. Ashri (Ed.). Rome, FAO, Plant Production and Protection. Paper no. 29. p. 151-153.
19. ROBLES, S.R. 1985. Producción de oleaginosas y textiles 2 ed. Limusa, México, D.F. p. 87-88.
20. SIKKA, S.M.; GUPTA, N.A. 1949. Pollination studies in (*Sesamum orientale* L.). Indian Journal of Genetics and Plant Breeding 7:35-42.
21. UZO, J. 1976. Expression of hybrid vigor in sesame (*Sesamum indicum* L.). Ph.D. dissertation. Riverside, University of California.
22. YERMANOS, D.M. 1980. Sesame. In Hybridization of crop plants. W.R. Fehr, H.H. Hadley (Eds.). Madison, Wisconsin, ASA. p. 549-563.

Propagación Vegetativa *in vitro* del Chayote (*Sechium edule* (Jacq.) Sw.). Fase de Establecimiento¹

G. Somarribas*; J. Sandoval**, L. Müller**

ABSTRACT

By meristem, apex and shoot segment cultures, which contained an axillary bud, possibilities for obtaining rapid *in vitro* propagation in chayote (*Sechium edule* (Jacq.) Sw.) was explored. It became apparent that there existed a strong tendency to form callus indistinctly between the types of explant employed. It was found that shoot apices showed the best growth response. Complete plantlets were regenerated in Murashige and Skoog medium, supplemented with 1 mg $.01^{-1}$ ANA, 0.3 mg $.01^{-1}$ BA and 0.2 mg $.01^{-1}$ K. The morphogenic responses were studied histologically.

Keys words: *Sechium edule*, micropropagation.

COMPENDIO

Mediante el cultivo de meristemas, ápices y segmentos de tallo con una yema axilar, se exploró la posibilidad de lograr una multiplicación rápida *in vitro* del chayote (*Sechium edule* (Jacq.) Sw.). Se observó una fuerte tendencia a la formación de callo, indistintamente del tipo de explante utilizado. Se determinó que los ápices fueron los explantes que mostraron mayor respuesta al crecimiento. Se obtuvieron plantas completas en medio Murashige y Skoog suplementado con 1 mg $.01^{-1}$ ANA, 0.3 mg $.01^{-1}$ BA and 0.2 mg $.01^{-1}$ K. Los patrones de morfogénesis observados fueron estudiados histológicamente.

Palabras clave: *Sechium edule*, micropropagación

INTRODUCCION

El chayote es un producto no tradicional de exportación de Costa Rica, apetecido en mercados internacionales. Los países compradores poseen normas rigurosas para la calidad de los productos que importan. Desde este punto de vista, el chayote no es la excepción y los problemas fitosanitarios son con frecuencia una limitante a su exportación. En consecuencia, es prioritario un trabajo de mejoramiento genético, mediante el cual se puedan seleccionar tipos más productivos y de mejor calidad; sin embargo, la investigación en esta área es incipiente.

El chayote pertenece a la familia de las cucurbitáceas y es una planta alógama, que causa la producción de descendencias heterogéneas. Poblaciones homogéneas, previamente seleccionadas, pueden obtenerse mediante propagación asexual. La experimentación del uso de esquejes en este aspecto es escasa. Una alternativa sería establecer una metodología para la micropropagación del chayote, utilizando varias partes de la planta como explante, para poder obtener su multiplicación asexual rápida.

Otros representantes de esta familia han sido estudiados y cultivados *in vitro* (17, 18). Así, por ejemplo, Jelaska (8, 10) informó sobre la inducción de callo y la diferenciación de embrioides a partir de segmentos de hipocótilo en *Cucurbita pepo*, obtenidos de plántulas germinadas *in vitro*. Jelaska (8) también logró la formación de embrioides en *C. pepo* por medio del cultivo de secciones de un cotiledón. Este autor, en la mayoría de sus experimentos, utilizó el medio de Murashige y Skoog.

Nadolska y Malepszy (14) usaron como explantes secciones de hojas de *Cucumis sativus* y obtuvieron plantas enteras al inocular los explantes en medio de Murashige y Skoog más 0.1 mg $.01^{-1}$ de ANA y cinetina. Otros autores (11) han informado la inducción de callo en varias cucurbitáceas, usando como explantes, en la mayoría de los casos, los cotiledones o el hipocótilo.

Coutts y Wood (4) aislaron protoplastos de *C. sativus* y, luego, obtuvieron respuesta organogénica al observar la regeneración de raíces. Recientemente, Alvarenga y Villalobos (1) propusieron la metodología *in vitro* como una alternativa para la conservación de germoplasma de *S. edule*. Al igual que otros miembros de importancia económica de la familia Cucurbitaceae, el chayote no ha sido investigado *in vitro*. Según Jelaska (9, 11), es posible lograr éxito en cucurbitáceas después de una adecuada selección y manipulación de

¹ Recibido para publicación el 20 de marzo de 1990.

* Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAG), San José, C.R.

** Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE), Turrialba, C.R.

explantes y apropiadas condiciones de cultivo. Tomando esta sugerencias en consideración, en este trabajo, se trató de investigar las bases para establecer una adecuada metodología para una micropropagación rápida y eficiente de esta verdura.

MATERIALES Y METODOS

Los explantes utilizados (meristemas, ápices, segmentos de tallos con yema axilar), provenían de plantas establecidas en el campo en el área de colecciones vivas del CATIE (Cabiria). Para cada serie experimental se muestreó una sola planta, con el propósito de minimizar el error debido a la heterogeneidad del material. Una vez escogidas las plantas, donadoras de explantes, fueron atomizadas cada cinco días durante dos meses con una mezcla de fungicidas con base en Benlate (Du Pont® Benomyl = Metil-1-(butilcarbomil)-2-benzimidazol-carbamato) y Ridomil (Ciba-Geigy® N-(2,6-Dimetilfenil)-N-(metoxiacetil)-alanina metil éster) en dosis de $1 \text{ g} \cdot 0 \text{ l}^{-1}$ y $2 \text{ g} \cdot 0 \text{ l}^{-1}$, respectivamente. A esta mezcla se le agregó $1.5 \text{ ml} \cdot 0 \text{ l}^{-1}$ de Triton (Rohm and Hass® surfactante) como adherente. Simultáneamente se aplicó el insecticida metilparatió en dosis de 3 ml^{-1} .

Luego, en laboratorio, se practicaron cuatro tratamientos desinfectantes con 50 repeticiones cada uno:

- ápices y segmentos de tallo se colocaron durante 15 min en solución acuosa de Savlon 0.5% (Imperial Chemical Industries® Cetrimida 15%, gluconato de clorhexidina 1.5%). Posteriormente, el material permaneció 1 h en solución de Benlate $1.5 \text{ g} \cdot 0 \text{ l}^{-1}$, Ridomil $1.5 \text{ g} \cdot 0 \text{ l}^{-1}$ más Triton $2 \text{ ml} \cdot 0 \text{ l}^{-1}$. Después se lavó tres veces con agua destilada estéril;
- material se sumergió en Savlon al 0.05% durante 20 min, se lavó con agua y se transfirió a la mezcla de Benlate $0.05 \text{ g} \cdot 0 \text{ l}^{-1}$, Ridomil $0.05 \text{ g} \cdot 0 \text{ l}^{-1}$ y Triton $2 \text{ ml} \cdot 0 \text{ l}^{-1}$ por espacio de 15 min;
- porciones de tallo con su yema axilar se colocaron en una solución de hipoclorito de calcio al 5% durante 15 minutos. Después fueron lavados tres veces con agua destilada estéril. Este tratamiento se practicó únicamente para segmentos de tallo de 1.5 cm de longitud;
- material fue sumergido en alcohol de 70% por espacio de 10 segundos. Luego fue puesto en solución de bicloruro de mercurio (HgCl₂) al 0.1% durante un minuto; inmediatamente se lavó el material tres veces con agua destilada estéril y se sumergió en hipoclorito de sodio (blanqueador comercial "Ajax cloro" diluido 1:1) (2.5%), más tres

gotas de Tween 20, durante 10 minutos. Por último se lavó el material tres veces con agua destilada estéril.

En condiciones asépticas, en una campana de flujo laminar, se inocularon los explantes en el respectivo medio de cultivo. Se utilizaron tubos de vidrio de 100 mm x 23 mm que contenían alícuotas de 10 ml de medio cada uno. Se usó el medio basal de Murashige y Skoog (13), más inositol $100 \text{ mg} \cdot 0 \text{ l}^{-1}$, glicina $2 \text{ mg} \cdot 0 \text{ l}^{-1}$, ácido nicotínico $0.5 \text{ mg} \cdot 0 \text{ l}^{-1}$, piridoxina $0.5 \text{ mg} \cdot 0 \text{ l}^{-1}$, tiamina $0.1 \text{ mg} \cdot 0 \text{ l}^{-1}$, riboflavina $0.1 \text{ mg} \cdot 0 \text{ l}^{-1}$, sacarosa $30 \text{ 000 mg} \cdot 0 \text{ l}^{-1}$, y los reguladores de crecimiento AIA, ANA, BA, GA₃, desde $0.1 \text{ mg} \cdot 0 \text{ l}^{-1}$ hasta $5 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$ solos y en combinaciones. La consistencia semisólida del medio se logró con la adición de $7000 \text{ mg} \cdot 0 \text{ l}^{-1}$ de Bacto-Agar (Difco). El pH se ajustó a 5.8 y luego el medio fue esterilizado en autoclave durante 15 min a 1.5 kg de presión por cm^2 (121°C).

Después de su inoculación, los explantes fueron incubados en un ambiente controlado: 27°C durante el día, 25°C durante la noche, fotoperíodo de 16/8 h, iluminancia de 3000 lux al nivel de los cultivos y humedad relativa del 80 por ciento.

Durante la incubación de los cultivos se determinó el desarrollo, brotación y enraizamiento de yemas axilares; el crecimiento de meristemas y ápices; formación de callo; porcentaje de supervivencia del material, de contaminación de los explantes, y del grado de oxidación del material. Además, para estudiar histológicamente las respuestas observadas en el material cultivado *in vitro*, se practicó el método usual de infiltración en parafina, corte con micrótopo y microscopía de luz (15).

RESULTADOS Y DISCUSION

El alto porcentaje de contaminación endógena del material escogido y tratado como explante (Cuadros 1 y 2) limitó el establecimiento de las metodologías de micropropagación de *S. edule* en este experimento. Constantine (3) manifestó que la contaminación ocurre usualmente por una inadecuada manera de trabajar en condiciones asépticas, por el uso de una insuficiente desinfección superficial del explante y por la presencia de microorganismos endógenos. En este experimento el porcentaje de contaminación aumentó conforme se incrementó el tamaño del explante utilizado. El principal problema fue la aparición de bacterias endofíticas que causaron contaminaciones blanquecinas o rojizas; luego ocurrió la muerte de los explantes. Resultados similares fueron obtenidos por Alvarenga y Villalobos (datos sin publicar, 1988), al trabajar con cultivo de ápices para el establecimiento de un banco de germoplasma *in vitro*.

Cuadro 1. Resultados de la contaminación *in vitro* después de diferentes intervalos de incubación, en explantes tratados y no tratados con fungicidas sistémicos en el campo.

Tratamiento	Material	Días de incubación	Contaminación (%)
Sin tratamiento en el campo	Apices y meristemas	6	47
		15	65
		30	82
	Yemas laterales	6	71
		15	75
		30	83
Con tratamiento en el campo	Apices y meristemas	6	38
		15	62
		30	70
	Yemas laterales	6	52
		15	70
		30	75

En cuanto al cultivo de meristemas, éstos se desarrollaron lentamente y no se logró observar diferenciación de un vástago completo. Fue muy evidente la tendencia a la formación de callo con los tratamientos: a) $5 \text{ mg} \cdot 0 \text{ l}^{-1}$ AIA; b) $2 \text{ mg} \cdot 0 \text{ l}^{-1}$ AIA; + $0.5 \text{ mg} \cdot 0 \text{ l}^{-1}$ ANA + $1 \text{ mg} \cdot 0 \text{ l}^{-1}$ K; c) $5 \text{ mg} \cdot 0 \text{ l}^{-1}$ AIA + $2 \text{ mg} \cdot 0 \text{ l}^{-1}$ K y d) $0.5 \text{ mg} \cdot 0 \text{ l}^{-1}$ ANA + $1 \text{ mg} \cdot 0 \text{ l}^{-1}$ K. Resultados similares han sido informados por otros autores (7, 12) con otros representantes de la familia Cucurbitaceae.

Los ápices de aproximadamente 5 mm de tamaño, crecieron lentamente debido, posiblemente, a la interferencia por contaminación. Se notó también una tendencia hacia la formación de callo y algunos explantes desarrollaron raíces cuando el medio fue enriquecido con auxinas, especialmente ANA. Se logró un crecimiento relativo de 3 cm en dos meses de cultivo, en un medio Murashige y Skoog, suplementado con $1 \text{ mg} \cdot 0 \text{ l}^{-1}$ ANA + $0.3 \text{ mg} \cdot 0 \text{ l}^{-1}$ BA + $0.2 \text{ mg} \cdot 0 \text{ l}^{-1}$ K + $0.5 \text{ g} \cdot 0 \text{ l}^{-1}$ de carbón activado; no se observó rizogénesis. En algunos cultivos (22%) se notó una pérdida de coloración verde en hojas y tallos, los que se tornaron amarillentos, luego blanquecinos y traslúcidos (vitricación) y posteriormente necróticos.

En el cultivo de segmentos de tallo con la yema axilar, fue evidente la formación de raíces alimenticias

Cuadro 2. Efecto de varios tratamientos desinfectantes en explantes de chayote (*Sechium edule* (Jacq.) Sw.) cultivados *in vitro* (N = 50).

Tratamiento	Explante	Tiempo de cultivo (d)	Contaminación (%)	Explantes limpios (%)
A*	ápices y segmentos de tallo con yema axilar	15	75	25
B**	ápices y segmentos de tallo con yema axilar	15	73	27
C***	Segmentos de tallo con yema axilar	15	85	15
D****	ápices y segmentos de tallo con yema axilar	15	82	18

Notas:

- * Savlon (Cetrimida 15%, gluconato de clorohexidina 1.5%) 0.5% durante 15 min; más permanencia durante una hora en solución de Benlate $1.5 \text{ g} \cdot \text{l}^{-1}$, Ridomil $1.5 \text{ g} \cdot \text{l}^{-1}$, Triton $2 \text{ ml} \cdot \text{l}^{-1}$; más tres lavados con agua estéril.
- ** Savlon al 0.05% durante 20 min; más dos lavados con agua estéril; más tratamiento con la mezcla Benlate 0.05 $\text{g} \cdot \text{l}^{-1}$, Ridomil 0.05 $\text{g} \cdot \text{l}^{-1}$ y Tritón $2 \text{ ml} \cdot \text{l}^{-1}$ por espacio de 15 min; más dos lavados con agua estéril.
- *** Hipoclorito de calcio al 5% durante 15 min; más tres lavados con agua estéril.
- **** Inmersión en alcohol de 70% por espacio de 10 s; más permanencia en solución de bicloruro de mercurio (HgCl_2) al 0.1% durante un minuto; más tres lavados con agua estéril; más inmersión de 10 min en hipoclorito de sodio 2.5%; más tres lavados con agua estéril.

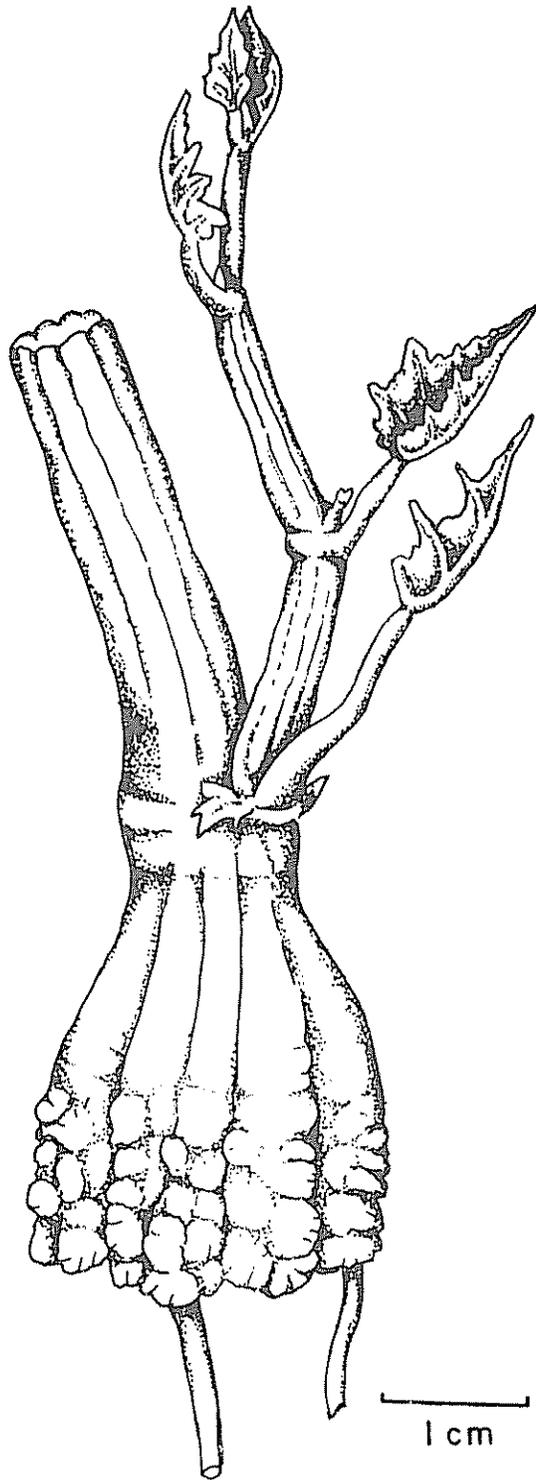
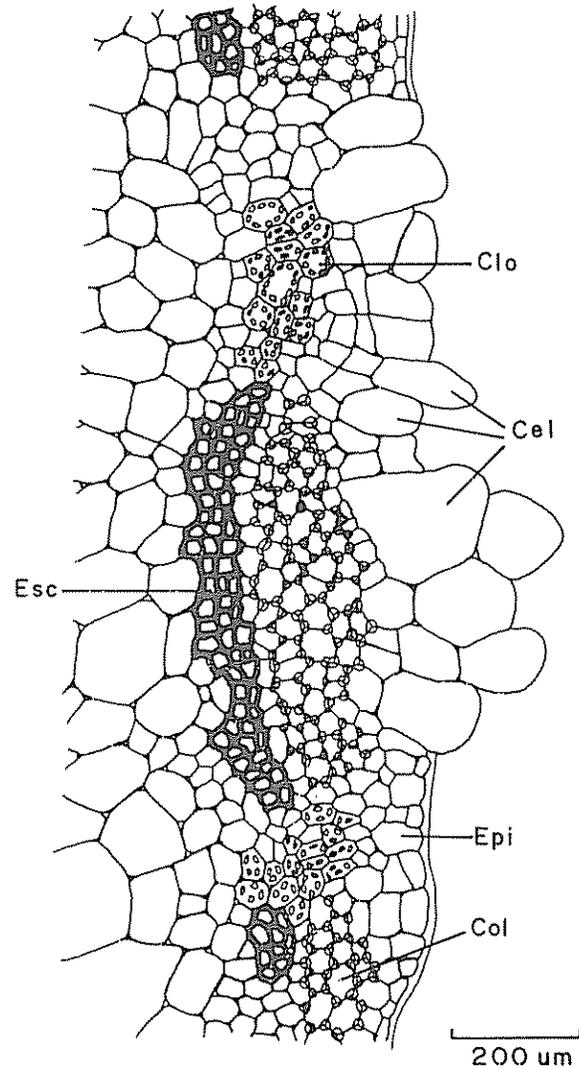


Fig. 1. Explante de *S. edule* constituido por un segmento de tallo con yema axilar, después de dos meses de cultivo. La yema se transforma en un brote, se inician raíces en la base, en que se nota hinchamiento y formación de callosidades.

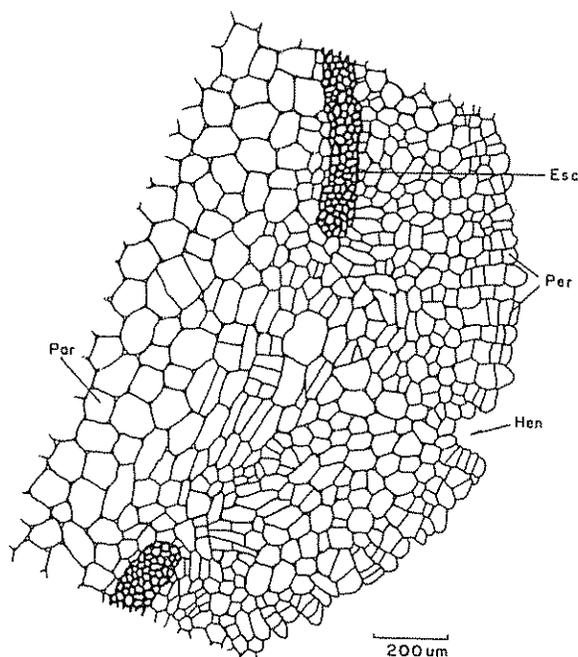
y la aparición de callo en la base del explante (Fig. 1). Exámenes histológicos demostraron que este callo se inicia en células epidérmicas y subepidérmicas (Fig. 2). Al dividirse éstas, se forman células con dimensiones muy superiores a las células madres. En un estado más avanzado (Fig. 3) se aprecia que la parte externa de callo es morfológicamente similar a la del súber. La posición en serie de las células hijas, especialmente cerca de la superficie, confirma este hecho.



Leyenda:

- Cel: células epidérmicas y subepidérmicas modificadas (iniciales de callo).
- Clo: clorénquima
- Col: colénquima angular.
- Epi: epidermis
- Esc: esclerenquima lignificado.

Fig 2 Corte transversal del tallo de *S. edule* in vitro. el cual muestra el inicio de la formación de callo.

**Leyenda:**

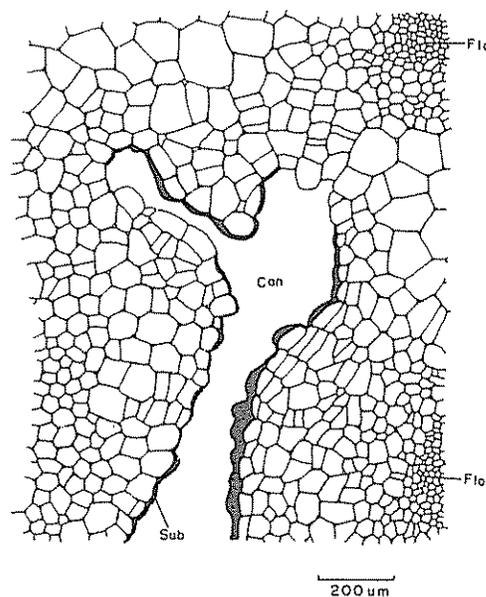
Esc: esclerenquima lignificado
 Hen: hendidura.
 Par: parénquima medular.
 Per: peridermis en formación.

Fig. 3. Corte transversal del tallo de *S. edule in vitro* en que se nota formación avanzada de callo.

En la Fig. 3 aparece una hendidura en la superficie del callo. Tales hendiduras, que corresponden a los surcos del tallo, pueden transformarse en canales profundos en un estado más avanzado del callo. En dichos canales (Fig. 4) las células expuestas al aire son derivadas típicamente de células cambiales del tipo felógeno, con amplia capa de suberina en la pared externa; estos cambios no se observan en un tallo crecido en el campo (Fig. 5).

En caso de una raíz joven producida en medio de cultivo (Fig. 6), ésta muestra poca diferenciación. Al envejecer (Fig. 7) se diferencia la estructura tetraarca. Sin embargo, no se distinguen bien la endodermis y el periciclo, como ocurre en una raíz desarrollada en suelo (Fig. 8). Pero la mayor diferencia entre una raíz *in vitro* y una formada en el campo, la constituyen los pelos radicales cortos y exageradamente inflados y deformados.

Se estudió también la anatomía de la hoja de un explante con 25 d de permanencia en cultivo *in vitro*

**Leyenda:**

Can: hendidura en forma de canal
 Flo: floema
 Sub: suberización

Fig. 4. Corte transversal del tallo de *S. edule in vitro*. Se aprecia la presencia de hendiduras en forma de canales profundos y suberización en las células superficiales del callo.

(Fig. 9). Al hacer la comparación con una hoja desarrollada en condiciones naturales (Fig. 10), y del mismo estado de madurez, se aprecia en la primera que la superficie adaxial muestra mayor densidad de tricomas, lo que se debe a la superficie de la lámina muy reducida. Los parénquimas no se diferenciaron bien y mostraron hipertrofia. El mesófilo parece parénquima fundamental, sin espacios aeríferos grandes y pocos cloroplastos; y no se observaron estomas (Fig. 9).

Las anteriores observaciones concuerdan con los resultados de otros autores (2, 5, 6, 16), los cuales han encontrado que condiciones *in vitro* favorecen cambios anatómicos y morfológicos en los explantes.

CONCLUSIONES

En esta investigación los explantes que presentaron una mayor capacidad de morfogénesis, y que posibilitarían la micropropagación del *S. edule*, fueron los ápices y segmentos de tallo con una yema axilar. Sin embargo, su desinfección superficial resultó difícil, incluso después del tratamiento repetido de la planta madre con fungicidas sistémicos antes de la excisión, o después de un tratamiento de sumersión en estos fungicidas.

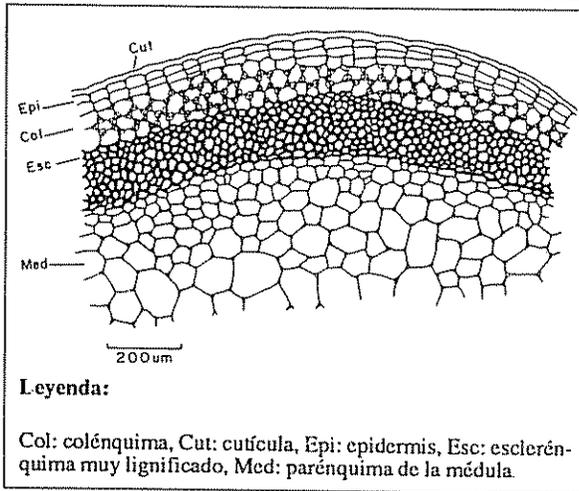


Fig. 5 Corte transversal del tallo de *S. edule* crecido en el campo.

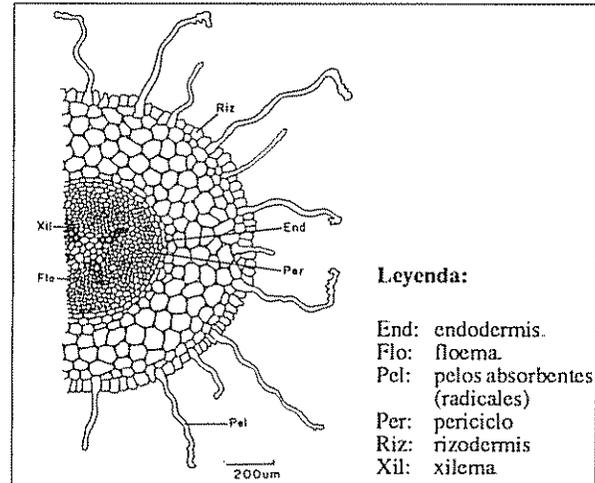


Fig. 8 Corte transversal de una raíz adulta de *S. edule* crecida en el campo.

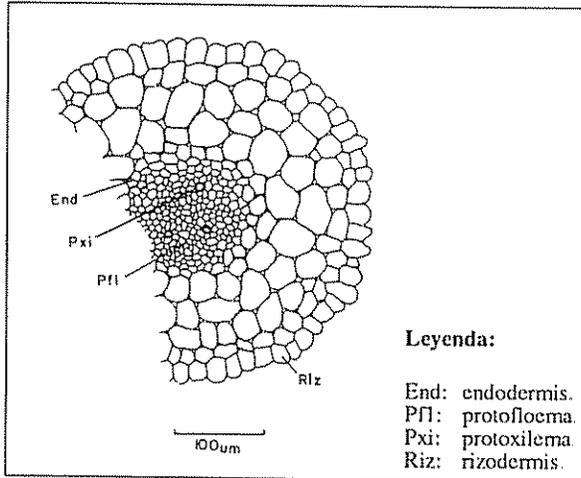


Fig. 6 Corte transversal de una raíz *in vitro* muy joven de *S. edule*.

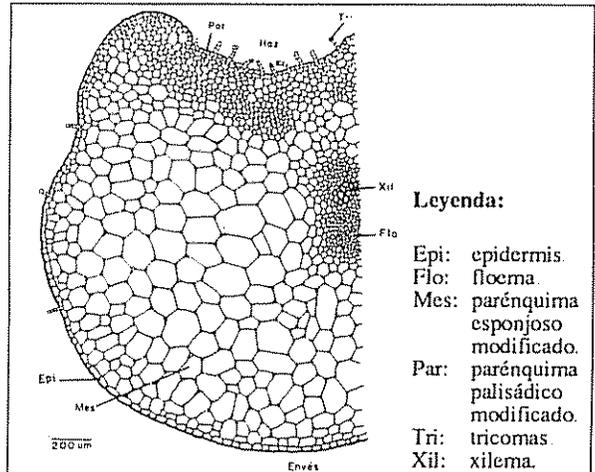


Fig. 9 Corte transversal de una hoja adulta de explante *in vitro* de *S. edule*.

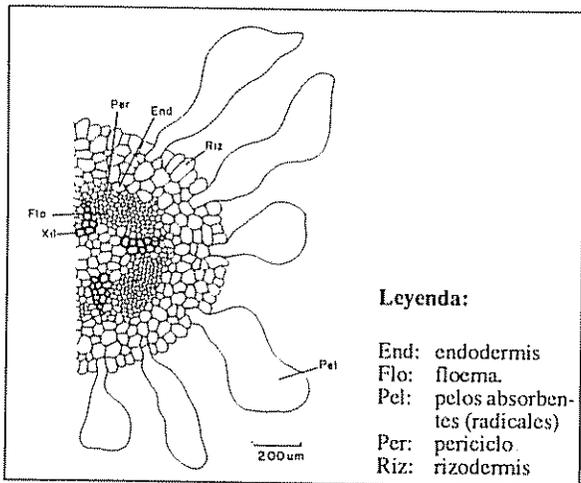


Fig. 7. Corte transversal de una raíz *in vitro* vieja de *S. edule*

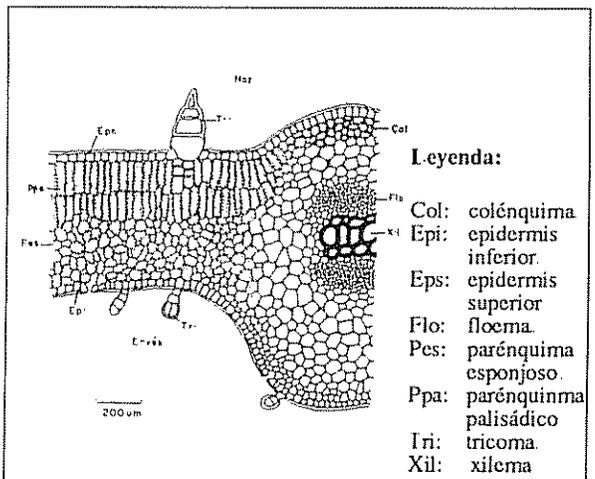


Fig. 10 Corte transversal de una hoja adulta crecida en campo de *S. edule*

El efecto de la adición de reguladores de crecimiento al medio debe ser críticamente observado para evitar la tendencia hacia la formación de callo, la cual limitaría la obtención de una multiplicación clonal. Se encontró que, a menor tamaño de explante utilizado, menores fueron los problemas de contaminación, pero resultó en una deficiente respuesta morfogénica. No hubo presencia o interferencia en el desarrollo de los explantes causada por liberación y oxidación de polifenoles.

El menor crecimiento se produjo en el medio sin reguladores de crecimiento, lo cual sugiere que los reguladores exógenos son necesarios para un rápido desarrollo *in vitro* del ápice del chayote.

LITERATURA CITADA

1. ALVARENGA, S.; VILLALOBOS, V. 1988. Estudio morfogénico de chayote (*Sechium edule*). In Reunión del Programa Cooperativo Centroamericano para el Mejoramiento de Cultivos Alimenticios (34., 1988) Resúmenes. San José, C.R. 112 p.
2. BONNEL, E.; DEMARLY, Y.; ESSAD, S. 1983. Evolution anatomique des tissus foliaires de canne à sucre (*Saccharum* sp.) cultivés *in vitro*. Canadian Journal of Botany 61:830-836.
3. CONSTANTINE, D. 1986. Micropropagation in the commercial environment. In Plant tissue culture and its agricultural applications. Withers L., Alderson, P. Butterworths (Eds.) London. p. 175-186.
4. COUTTS, R.; WOOD, K. 1975. The isolation and culture of cucumber mesophyll protoplasts. Plant Science Letters 4:189-193.
5. DONNELLY, D.; VIDAVER, W.; LEE, K. 1985. The anatomy of tissue cultured red raspberry prior to and after transfer to soil. Plant Cell, Tissue, Organ Culture 4:43-50.
6. GROUI, B.; ASTON, M. 1978. Modified leaf anatomy of cauliflower plantlets regenerated from meristem culture. Annals of Botany 42:993-995.
7. HANDLEY, L. W.; CHAMBLISS, O. 1979. *In vitro* propagation of *Cucumis sativus* L. HortScience 14(1):22-23.
8. JELASKA, S. 1972. Embryoid formation by fragments of cotyledons and hypocotyls in *Cucurbita pepo*. Planta 103:278-280.
9. JELASKA, S. 1974. Embryogenesis and organogenesis in pumpkin explants. Physiologia Plantarum 31:257-261.
10. JELASKA, S. 1980. Growth and embryoid formation in *Cucurbita pepo* callus culture. In Réunion Eucarpia: Application de la culture *in vitro* à l'amélioration des plantes potagères. Doré C. (Ed.) Versailles, INRA, Section Legumes. p. 172-178.
11. JELASKA, S. 1986. Cucurbits. In Biotechnology in agriculture and forestry: Crops. Y.P.S. Bajaj (Ed.). Berlin, Heidelberg, Springer Verlag v. 23. p. 371-386.
12. LAZARTE, J. E.; SASSER, C. 1982. Asexual embryogenesis and plantlet development in anther culture of *Cucumis sativus* L. HortScience 17(1):88.
13. MURASHIGE, T.; SKOOG, F. 1962. A revised medium for rapid growth and bioassays with tobacco tissue cultures. Physiologia Plantarum 15(3):473-497.
14. NADOLSKA; MALEPSZY 1984. *In vitro* culture of *Cucumis sativus*. II. Histological aspects of plant differentiation. In International Symposium Plant Improvement. Proceedings. F. Novak, L. Havel, J. Dolezel. Prague, Czechoslovakia, Institute of Experimental Botany. p. 187-188.
15. SASS, J. E. 1958. Botanical microtechnique. 3 ed. Iowa State College Press, Ames. 228 p.
16. SUTTER, E.; LANGHANS, R. 1979. Epicuticular wax formation on carnation plantlets regenerated from shoot tip culture. Journal of the American Society for Horticultural Science 104:493-496.
17. VAJRANABHAI, S.; MEHTA, A. 1977. Effects of kinetin on growth and nucleic acid metabolism in suspension cultures of *Cucumis melo* L. Annals of Botany 41:483-491.
18. WEHNER, R.; LOCY, R. 1981. *In vitro* adventitious shoot and root formation of cultivars and lines of *Cucumis sativus* L. HortScience 16(6):759-760.

Efecto de Algunos Caracteres Agronómicos de *Bothriochloa ischaemun* en la Producción de Forraje Verde y Seco¹

H.A. Paccapelo*, H.O. Lorda*;
L. Anton de Ferramola**

ABSTRACT

A population of *Bothriochloa ischaemun* var. *ischaemun* cv. Ww-Spar planted in 1985 at the Agronomy Faculty of the University of La Pampa was analyzed for agronomic characters and their contribution to summer green forage yield and autumn dry matter yield. These characters were: plant vigor, height, number of ears, ear length, leaf/stalk ratio, crown area, crown diameter and stubble volume. The methodology employed the path coefficient which divides the correlation coefficient into direct and indirect effects. Green forage yield showed important effects in plant volume, crown area, and vigor. The dry matter yield recognized stubble volume, number of ears and crown diameter. The characters under study explained about 80% of green forage and dry matter yield.

COMPENDIO

Se analiza una población de *Bothriochloa ischaemun* var. *ischaemun* cv. Ww-Spar, sembrada en 1985 en la Facultad de Agronomía de la Universidad Nacional de La Pampa, en cuanto a la contribución de algunas características agronómicas sobre el rendimiento de forraje verde estival y materia seca otoñal. Las características analizadas fueron: vigor de la planta, altura, área y diámetro de corona, volumen de planta, número de espigas por planta, longitud de espiga y relación entre hoja y tallo. La metodología empleada fue el coeficiente de paso, que divide el coeficiente de correlación en efectos directos e indirectos. El rendimiento de forraje verde se relaciona con efectos importantes del volumen de la planta, área de corona y vigor. El rendimiento de materia seca otoñal, por su parte, con el volumen de la planta, número de espigas y diámetro de corona. Las características consideradas explican aproximadamente un 80% de la producción de forraje verde y de materia seca.

INTRODUCCION

Las características agroecológicas de la región semiárida pampeana de Argentina permiten una mejor adaptación de las gramíneas forrajeras perennes estivales con respecto de las invernales.

El pionero, dentro de las especies estivales, fue el pasto llorón (*Eragrostis curvula* L.), el cual se extendió ampliamente en la región. La disminución rápida de su calidad, principalmente en la época de invierno, motivó la incorporación de nuevas especies que complementen el pasto llorón y lo reemplacen en épocas críticas durante el año.

Entre las especies promisorias para ser introducidas se encuentran las del género *Bothriochloa*, originarias del Viejo Mundo y, por tal motivo, se las conoce genéricamente como "Old World bluestems". Fueron introducidas originalmente a Estados Unidos de América (EE.UU.) entre 1940 y 1950; y las primeras evaluaciones fueron realizadas por Harlan *et al.* (1). Ellos determinaron que se comportaban como plantas de una sucesión secundaria.

Su origen es euroasiático, aunque su hábitat natural varía desde lugares ecológicamente restringidos, como ocurre con *Caucasian bluestem* (*B. caucasica* Trin) (2), hasta lugares relativamente cosmopolitas como ocurre con *B. ischaemun* y *B. intermedia* (= *B. bladii*). Estas últimas son producto de la mezcla de diferente germoplasma. Presentan una amplia distribución geográfica desde las costas atlánticas del oeste de Europa hasta la costa pacífica de China y Taiwán.

Harlan, Richardson y De Wet (3) iniciaron en 1964 la selección de líneas promisorias de *Bothriochloa*, incluyendo cruzamientos entre líneas, ya que la apomixia facultativa que presentan estas especies, puede generar plantas genéticamente homogéneas y, de esta forma, más susceptibles a enfermedades y a variaciones climáticas.

¹ Recibido para publicación el 14 de agosto de 1989.

* Docentes de la Cátedra de Mejoramiento Genético de Plantas y Animales; Facultad de Agronomía, Universidad Nacional de La Pampa, Santa Rosa, La Pampa, Arg.

** Docente de la Cátedra de Estadística y Diseño Experimental; Universidad Nacional de La Pampa, Santa Rosa, La Pampa, Arg

En 1972, en EE.UU., fue liberado el cv. Ww-Spar a partir de "Plains". Ambos presentan resistencia invernal, tolerancia a la sequía y producción de forraje aceptable.

MATERIALES Y METODOS

El experimento se realizó en la Facultad de Agronomía de la Universidad Nacional de La Pampa. Su objetivo fue determinar la interacción genotípica entre caracteres agronómicos, estableciendo los efectos sobre la producción de forraje verde y seco.

A partir de 1985 se evaluaron tres cultivares de *B. ischaemum* var. *ischaemum*; *B. caucasica* cv. *caucasica*) y *B. bladii* cv. Ww-857, en lo referente a su producción de forraje, calidad, persistencia y producción de semilla. Se utilizó como testigo el pasto llorón, cuyo comportamiento es conocido en la zona.

En la pastura de *B. ischaemum* cv. Spar, sembrada al voleo con una densidad aproximada de 20 plantas/m², se analizaron individualmente 101 plantas en el corte estival, y de éstas, 76 en el rebrote otoñal de 1989.

Las características agronómicas evaluadas fueron las siguientes:

	designación
Vigor general mediante escala de 1 a 5 (1= muy malo 5= muy vigoroso)	V
Altura de la planta en plena floración	A
Número total de espigas	NE
Longitud promedio de espigas (sobre la base de diez espigas escogidas al azar)	LE
Relación hoja/tallo (sobre cinco tallos seleccionados al azar)	H/T
Area de corona	AC
Diámetro de corona	DC
Volumen de la planta (AC x A)	VP
Rendimiento de forraje verde (verano)	R
Rendimiento de forraje seco (otoño)	MS

Mediante la partición del coeficiente de correlación, coeficiente de sendero, se analizó la influencia directa e indirecta de las características mencionadas (4) en el

rendimiento de forraje verde en verano y de materia seca en otoño. En el primer caso los efectos directos se obtuvieron por la resolución de la siguiente matriz:

$$\begin{aligned}
 P_1 + 0.380 P_2 + 0.600 P_3 + 0.069 P_4 + 0.034 P_5 + 0.508 P_6 + 0.646 P_8 &= 0.842 \\
 0.380 P_1 + P_2 + 0.464 P_3 - 0.063 P_4 + 0.086 P_5 + 0.327 P_6 + 0.391 P_8 &= 0.402 \\
 0.600 P_1 + 0.464 P_2 + P_3 - 0.050 P_4 + 0.098 P_5 + 0.449 P_6 + 0.556 P_8 &= 0.695 \\
 0.069 P_1 - 0.063 P_2 - 0.050 P_3 + P_4 + 0.073 P_5 + 0.016 P_6 + 0.002 P_8 &= 0.065 \\
 0.034 P_1 - 0.086 P_2 + 0.098 P_3 + 0.073 P_4 + P_5 + 0.152 P_6 + 0.107 P_8 &= 0.015 \\
 0.508 P_1 + 0.327 P_2 + 0.449 P_3 - 0.016 P_4 - 0.152 P_5 + P_6 + 0.948 P_8 &= 0.598 \\
 0.646 P_1 + 0.391 P_2 + 0.556 P_3 + 0.002 P_4 - 0.107 P_5 + 0.948 P_6 + P_8 &= 0.766
 \end{aligned}$$

Los coeficientes de cada término son los coeficientes de correlación intracaracteres.

De igual manera se obtuvieron los efectos directos de las características agronómicas consideradas en el rendimiento de materia seca. La matriz utilizada fue:

$$\begin{aligned}
 P_1 + 0.546 P_2 + 0.068 P_3 - 0.047 P_4 + 0.386 P_5 + 0.492 P_6 + 0.766 P_7 &= 0.676 \\
 0.546 P_1 + P_2 + 0.542 P_3 + 0.144 P_4 + 0.124 P_5 + 0.199 P_6 + 0.570 P_7 &= 0.489 \\
 0.068 P_1 + 0.542 P_2 + P_3 + 0.467 P_4 - 0.181 P_5 - 0.680 P_6 + 0.270 P_7 &= 0.051 \\
 -0.05 P_1 + 0.144 P_2 + 0.467 P_3 + P_4 - 0.045 P_5 - 0.082 P_6 - 0.115 P_7 &= -0.032 \\
 0.386 P_1 + 0.124 P_2 - 0.181 P_3 - 0.045 P_4 + P_5 + 0.949 P_6 + 0.542 P_7 &= 0.606 \\
 0.492 P_1 + 0.199 P_2 - 0.168 P_3 - 0.082 P_4 + 0.949 P_5 + P_6 + 0.608 P_7 &= 0.709 \\
 0.766 P_1 + 0.570 P_2 - 0.027 P_3 - 0.115 P_4 + 0.542 P_5 + 0.608 P_6 + P_7 &= 0.830
 \end{aligned}$$

El coeficiente de determinación (R²) del rendimiento de forraje verde (Y), a partir de las características consideradas, se efectuó mediante la fórmula:

$$r^2 = r_{VY} \cdot P_{VY} + r_{AY} \cdot P_{AY} + r_{NEY} \cdot P_{NE} + r_{LEY} \cdot P_{LEY} + r_{HTY} \cdot P_{HTY} + r_{ACY} \cdot P_{ACY} + r_{VVPY} \cdot P_{VVPY}$$

El efecto residual, P_n, de los efectos no considerados se calculó como:

$$P_{n2} = 1 - R^2 \quad (5)$$

De la misma manera se calculó el coeficiente de determinación para el rendimiento de materia seca y su correspondiente efecto residual.

RESULTADOS Y DISCUSION

Rendimiento de forraje verde en época estival

En el Cuadro 1 se observa que la población analizada presenta gran variabilidad en algunas de las características agronómicas. Para el volumen de la planta y el rendimiento de forraje, el coeficiente de variación fue superior al 50%; para el vigor y el diámetro de corona fue del 20 por ciento.

Cuadro 1. Promedio y coeficiente de variación (CV) de las características agronómicas analizadas en plantas de *B. ischaemun* var. *ischaemun* cv. Ww-Spar.

	Corte estival		Corte otoñal	
	promedio	CV (%)	promedio	CV (%)
Vigor (V)	2.61	38.62	3.64	28.58
altura de la planta (A) (cm)	83.39	12.16	73.92	23.93
longitud de la espiga (LE) (cm)	8.84	9.12	5.16	28.74
diámetro de la corona (DC) (cm ²)	10.75	24.70	13.26	24.53
volumen de la planta (VP) (cm ³)	3.49	58.61	4.55	62.28
número de espigas (NE)	9.56	1.08	46.56	60.69
relación hoja/tallo (H/T)	0.42	15.52	0.46	15.59
rendimiento de forraje verde (R) (gs/planta)	69.57	51.68	—	—
rendimiento de materia seca (MS) (gs/pl)	—	—	—	—

A excepción de la longitud de espiga y la relación entre hoja y tallo, los demás caracteres estuvieron altamente asociados con el rendimiento de follaje verde (Cuadro 2). Los que más influyeron en el rendimiento de forraje verde fueron: vigor, volumen de la planta y número de espigas. La longitud de la espiga y la relación entre hoja y tallo no se relacionan estadísticamente con ninguna característica agronómica.

Para desarrollar el coeficiente de paso se introdujeron como variables todas las características

descritas, a excepción del diámetro de corona debido a su dependencia con el área de la misma. En el Cuadro 3, se muestran los efectos directos e indirectos de cada una de ellas.

Determinación del sistema

$$R^2 = (0.393 * 0.842) + (-0.028 * 0.402) + (0.185 * 0.695) + (0.032 * 0.065) + (-0.013 * 0.015) + (-0.730 * 0.598) + (1.110 * 0.766) = 0.88315$$

$$P_{n2} = 1 - 0.88315 = 0.11685$$

Cuadro 2. Coeficiente de correlación entre características y rendimiento de forraje verde en plantas de *B. ischaemun* var. *ischaemun* cv. Ww-Spar.

Característica	V	A	NE	1x	H/T	AC	DC	VP
V								
A	0.380***							
E	0.600***	0.464***						
LE	0.069	-0.063	-0.050					
H/T	0.034	-0.086	0.098	0.073				
AC	0.508***	0.327***	0.449**	-0.016	-0.152			
DC	0.529***	0.321***	0.418***	0.011	-0.148	0.991***		
VP	0.646***	0.391***	0.556***	0.002	-0.107	0.948***	0.931***	
R	0.842***	0.402***	0.695***	0.065	0.015	0.598***	0.587***	0.766*

n = 101

*p = 0.05-0.01

**p = 0.01-0.001

*** p = 0.001

Cuadro 3. Efectos directos e indirectos en la determinación del rendimiento en forraje verde en *B. ischaemun* var. *ischaemun* cv. Ww-Spar en época estival.

Efectos sobre rendimiento	V	A	NE	LE	H/T	AC	VP
Directos/indirectos	0.393	-0.028	0.185	0.032	-0.013	-0.73	1.110
V		0.149	0.235	0.025	0.013	0.199	0.254
A	-0.010		-0.013	0.003	0.030	-0.008	-0.010
E	0.110	0.086		-0.009	0.018	0.083	0.103
LE	0.002	-0.002	-0.001		0.002	—	—
H/T	—	0.001	-0.001	—		—	0.001
AC	-0.370	-0.238	-0.327	0.012	0.110		-0.692
VP	0.717	0.434	0.617	0.001	-0.118	1.054	
	0.842***	0.402***	0.695***	0.065	0.015	0.598***	0.766***

La alta asociación entre el vigor y el rendimiento (0.842) proviene de un escaso efecto directo (0.393) y una importante participación negativa, vía indirecta, de área de la corona.

La altura está asociada con el rendimiento (0.402) casi exclusivamente a través del volumen de la planta (0.434). Lo mismo ocurre con el número de espigas (0.617).

La longitud de la espiga y la relación H/T no se asociaron con el rendimiento de forraje verde.

El área de corona de la planta está altamente relacionada con el rendimiento (0.598), a pesar de un efecto directo negativo muy importante; este resultado surge de un efecto indirecto positivo del volumen de la planta.

El volumen de la planta es un carácter complejo, resultante del producto del área de la corona de la planta y la altura del follaje. Tiene un efecto directo de 1.11

en el rendimiento y una influencia negativa del área de la corona (-0.692), lo que supone una contribución significativa de la altura del follaje para determinar mayores rendimientos.

De lo anterior se deduce que, además del vigor, es necesario considerar el volumen de la planta como atributo importante para la selección en *B. ischaemun*.

Martín *et al.* (6), al analizar una población de pasto cesposo (*Trichloris pluriflora* Fourn), encontraron que los componentes más importantes para predecir la capacidad productiva fueron el volumen de la planta, el vigor general y el área de la corona, con un efecto residual de alrededor del 40 por ciento.

En esta investigación, se determinaron los efectos de los caracteres medidos sobre el vigor; se encontró que el volumen de la planta es muy importante en su determinación (75.5%). Cuando se analizó de la misma manera la incidencia sobre el volumen de la planta y el área de la corona (Cuadros 4), se encontró la interdependencia recíproca entre ellos.

Cuadro 4. Efectos directos de las características sobre el volumen de la planta (VP), área de corona (AC) y vigor de la planta (V) en el corte estival de *B. ischaemun*.

Característica	Valor de P						
	V	A	NE	LE	H/T	AC	VP
VP	0.115	0.010	0.031	0.009	0.037	0.994	
AC	-0.149	-0.016	-0.049	-0.009	-0.027	—	1.075
V	—	0.062	0.279	0.085	0.041	-0.305	0.755

Rendimiento de materia seca en la época de otoño

En la época de otoño se analizaron, en 76 plantas incluidas en las observaciones estivales, los mismos caracteres que en época estival.

En el Cuadro 1 se muestra que el promedio en el número de espigas por planta se elevó en casi cinco veces, aunque el coeficiente de variación resultó muy alto. En este grupo de especies, la mayor fructificación se produce durante el otoño. La escasa variabilidad estival se traduce en una amplia variación otoñal (1.08% a 60.69%). En menor grado aumentó la variabilidad de longitud de espiga y altura de planta.

En el Cuadro 5 se muestra un comportamiento similar a la producción de forraje del corte estival, en cuanto a los caracteres evaluados. A excepción de la longitud de espiga y la relación entre hoja y tallo, los demás presentaron correlación significativa con el rendimiento de materia seca.

Los efectos directos e indirectos de los caracteres analizados en el rendimiento de materia seca (Cuadro 6) indican que el volumen de la planta es nuevamente importante (0.798), seguidos por el número de espigas por planta (0.593) y el diámetro de corona (-0.462). El coeficiente de determinación (R²) explica un 77.64% y el efecto residual asciende al 22.35 por ciento.

Cuadro 5. Coeficientes de correlación entre características y rendimiento individual de materia seca de *B. ischaemun* var. *ischaemun* cv. Ww-Spar en otoño.

Carácter	V	A	LE	H/T	DC	VP	NE
A	0.546***						
LE	0.069	0.542***					
H/T	-0.047	0.144	0.467***				
DC	0.386***	0.124	-0.181	-0.045			
VP	0.492***	0.199	-0.168	-0.082	0.949***		
NE	0.766***	0.570***	0.027	-0.115	0.542***	0.608***	
R	0.676***	0.489***	0.051	-0.032	0.606***	0.709***	0.830***

Notas:

n = 76

* p = 0.05-0.01

** p = 0.01-0.001

*** p >= 0.001

Cuadro 6. Efectos directos e indirectos de las características en la producción de materia seca de plantas de *B. ischaemun* var. *ischaemun* cv. Ww-Spar.

Tipo de efecto	Características						
	V	A	LE	H/T	DC	VP	NE
Directos/indirectos	-0.00104	0.01351	0.05286	0.05417	-0.46209	0.79804	0.59314
V		-0.00056	-0.00008	0.00004	-0.00040	-0.00005	-0.00079
A	0.00737		0.00732	0.00194	0.00167	0.00268	0.00770
LE	0.00454	0.02865		0.02468	-0.00956	-0.00888	0.00142
H/T	-0.00254	0.00780	0.02529		-0.00243	-0.00444	0.00622
DC	-0.17836	-0.05729	0.08364	0.02079		-0.43852	-0.25045
VP	0.39263	0.15881	-0.13406	-0.06543	0.75734		0.48520
NE	0.45434	0.33809	0.01602	-0.06821	0.32148	0.36063	
	0.676***	0.489***	0.050	-0.032	0.606***	0.709***	0.842***

Determinación del sistema

$$R^2 = (-0.00104 * 0.676) + (0.01351 * 0.489) + (0.05286 * 0.0509) + (0.5417 * -0.032) + (0.46209 * 0.606) + (0.79804 * 0.709) + (0.59314 * 0.842) = 0.77648$$

$$P_{n2} = 1 - 0.77648 = 0.22352$$

CONCLUSIONES

De los resultados obtenidos en este experimento preliminar, que incluye únicamente un corte en época estival y uno en otoño, permite llegar a las siguientes conclusiones:

- La población analizada presenta una amplia variabilidad morfológica en algunas características agronómicas tanto dentro como entre épocas. El caso extremo lo constituye el número de espigas por planta.
- El rendimiento de forraje verde en época estival dependería de los efectos que ejercen el volumen de la planta, el área de la corona y el vigor.
- El rendimiento de materia seca en otoño se relaciona con el volumen de la planta, número de espigas y diámetro de corona.

- Si bien se eligieron dos situaciones de análisis: rendimiento de forraje verde en época estival y de materia seca en época de otoño, los diferentes caracteres medidos tuvieron comportamientos semejantes. En el primer caso el orden de importancia fue: volumen de planta, área de la corona y vigor. En el segundo, volumen de la planta, número de espigas y diámetro de corona.

LITERATURA CITADA

1. HARLAN, J.R.; CELARIER, R.P.; RICHARDSON, W.L.; BROOKS, M.H.; MEKA, K.L. 1958. Studies on Old World bluestem. II. Technical Bulletin. Oklahoma Agricultural Experiment Station no T-72. 23 p.
2. HARLAN, J.R.; CHHEDA, H.R. 1963. Studies on the origin of Caucasian bluestem (*Bothriochloa caucasica* (Trin) C.E. Hubbard). Crop Science 3:37-49.
3. HARLAN, J.R.; RICHARDSON, W.L.; DE WEI, J.M.J. 1964. Improving Old World bluestems for the South. In Progress Report 1963. Processed Service P-480. 27 p.
4. LI, C.C. 1964. The concept of path-coefficient and its impacts on population genetics. Biometrics 12:190-210.
5. MARIOTTI, J.A. 1986. Fundamentos de genética biométrica: Aplicaciones al mejoramiento genético vegetal. Washington, D.C., OEA. Monografía no 32. 152 p.
6. MARTIN, G.O.; SALVIOLI, L.A.; GUYOT, N.H.; ROVELLA, C.A. 1971. Interacción de una población de pasto crespo (*Trichloris pluriflora* Fourn.) Revista Agronómica del Noroeste Argentino 9(2):215-240.

Composición Química y Contenido Energético de la Biomasa de Malezas en Arrozales de Chile Central¹

C. Ramírez*, J. San Martín**,
C. San Martín*, D. Contreras*

ABSTRACT

The coverage, biomass, chemical composition and energetic content of 10 weeds in a rice field of Central Chile were determined. Rice was the pattern of comparison used for the study. According to their life forms, the species were classified into five therophytes, four hemicryptophytes and two cryptophytes. The organs (root, stem, leaves and fruit) of each species were analyzed separately. Material for the analysis were taken after the cultivation of the rice from five 1 m² plots located in an area excluded from weed control. Rice had a 36% coverage while weeds had 100%, distributed in different layers. The total biomass of the cultivation was 4117 g/m², rice contributing only 48% of it. Cryptophytes dominated in cover and biomass. In all the plants studied, production of organic matter and ash were quite similar. The water plants presented a greater ash content than did the plants with a terrestrial habitat. The hemicryptophytes presented a higher caloric values than the therophytes. This indicated that the latter was low for all species, while the crude fiber content was high. Non-nitrogen extract was also high. These were great variations in the chemical components of the different forms of life and of the plant organs. Ash was found in greater quantities in the roots and leaves and lesser amounts in the stems and fruits. The inverse was true for organic matter. The highest caloric values were found in the fruits and the lowest in the leaves. The results indicate the need for weed control in the rice fields of Central Chile. *Echinochloa crusgalli* was the most efficient of the weeds, surpassing, in many aspects, even rice. The possibility of using this weed as forage is put forward.

COMPENDIO

Se estudiaron la cobertura, biomasa, composición química y contenido energético de diez malezas en un arrozal de Chile Central, usando el arroz como patrón de comparación. Las especies se clasificaron según su forma de vida en cinco terófitos, cuatro hemicriptófitos y dos criptófitos. Los órganos de cada especie (raíz, tallo, hojas y frutos) fueron analizados por separado. El material para los análisis se recolectó al final del cultivo, en cinco parcelas de metro cuadrado cada una, en un área excluida del control de malezas. El arroz alcanzó un 36% de cobertura y las malezas un 100%, disponiéndose en distintos estratos. La biomasa total del cultivo fue de 4117 g/m², y el arroz sólo contribuyó con un 48% de ella. Los terófitos dominaron en cobertura y biomasa. La producción de materia orgánica y ceniza fue bastante similar en las plantas estudiadas. Las especies dependientes del agua presentaron mayor contenido de ceniza que aquellas con hábito terrestre. Los hemicriptófitos mostraron mayores valores calóricos que los terófitos, lo que indica una mejor adaptación al cultivo de los últimos. El contenido proteínico fue bajo en todas las especies, mientras que el de fibra cruda fue alto, igual que el del extracto no nitrogenado. Se constataron grandes variaciones de esta composición química en las distintas formas de vida y órganos vegetales. La ceniza fue mayor en raíces y hojas, y menor en tallos y frutos. Los mayores valores calóricos se presentaron en los frutos y los menores en las hojas. Los resultados señalan la necesidad de controlar las malezas en los arrozales de Chile Central y muestran que *Echinochloa crusgalli* es la más eficiente de ellas, ya que incluso supera al arroz en muchos aspectos. Se propone un posible uso como forraje para esta maleza.

INTRODUCCION

En la depresión intermedia de la Zona Central de Chile, entre las ciudades de Santiago y Chillán, se cultiva la variedad Oro de *Oryza sativa* L. (31). Como esta región es de clima mediterráneo, el anegamiento del cultivo se realiza con agua de riego. Esto hace que el nivel del agua en las áreas sembradas presente grandes oscilaciones, favoreciendo el enmalezamiento. Hasta la fecha se ha constatado la presencia de más de un centenar de especies de malezas en estos arrozales de Chile Central, algunas de las cuales suelen provocar grandes problemas al cultivo, malogrando la cosecha (28). De estas malezas, importantes por su agresividad, se han realizado estudios taxonómicos, ecológicos y fenológicos (12, 20, 27, 28, 29).

1 Recibido para publicación el 17 de marzo de 1989. Financiado parcialmente por la Dirección de Investigación y Desarrollo de la Universidad Austral de Chile (Proyecto S-88-22).

* Instituto de Botánica, Universidad Austral de Chile, Valdivia, Chile.

** Pontificia Universidad Católica de Chile, Sede de Talca, Chile.

El presente trabajo da cuenta de los resultados de un estudio realizado en arroz y en diez especies de malezas asociadas a él, sobre la composición química y el contenido energético de los distintos órganos, para determinar su eficiencia ecológica (17).

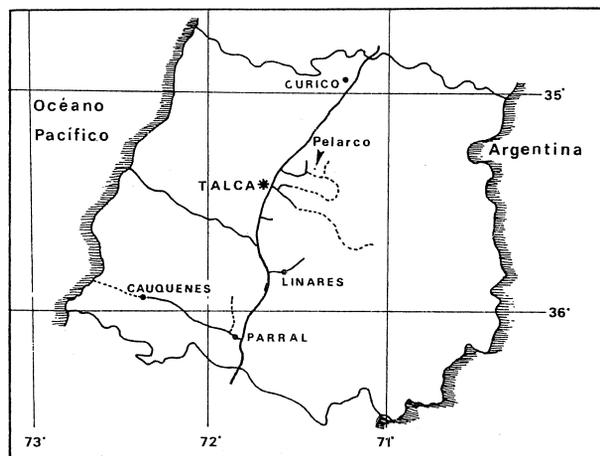


Fig. 1. Ubicación del estudio en la Séptima Región del Maule, Chile.

El estudio se realizó en el predio arrocero denominado "San Francisco", situado a 3 km al norte del poblado de Pelarco (35° 21' 48" de latitud Sur y 71° 52' 54" de longitud Oeste) en la provincia de Talca, Séptima Región del Maule, Chile (Fig. 1). En ese lugar, la rotura del terreno para el cultivo se realiza a fines de agosto o inicios de setiembre, según las condiciones climáticas. En la segunda quincena de setiembre se nivela el terreno y se confeccionan los pretilos (diques) que separan las superficies de cultivo. A fines de octubre se inundan éstas y en el mes de noviembre se siembra la semilla del arroz, que previamente se ha hecho germinar al sumergir los sacos que la contienen

en canales de regadíos. El cultivo se cosecha a fines de marzo, drenándolo una semana antes de iniciar la cosecha (Fig. 2).

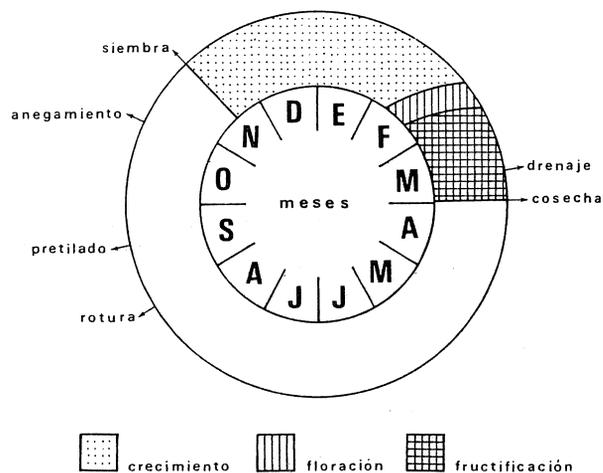


Fig. 2. Fases del cultivo y fenología del arroz en Chile Central.

MATERIALES Y METODOS

Se trabajó con diez malezas y arroz, el que se usó como patrón de comparación (Cuadro 1). La forma de vida de las especies fue determinada en la clave de Ellenberg y Mueller-Dombois (11), y la nomenclatura usada se basa en el catálogo de Marticorena y Quezada (19). Se trabajó sólo con especies herbáceas: cinco terófitos (plantas anuales, capaces de completar su ciclo de vida en una estación), cuatro hemicriptófitos (hierbas perennes, con yemas de renuevo a nivel del suelo y que pierden parte de su biomasa aérea en la época desfavorable) y dos criptófitos (un helófito o planta palustre y un hidrófito o planta acuática, hierbas con

Cuadro 1. Caracterización botánica de las especies investigadas.

Especie	Autor	Familia	Nombre común	Forma de vida
<i>A. lanceolatum</i>	L.	Alismataceae	Hualtata	Hemicriptófito
<i>A. coccinea</i>	Roth.	Lythraceae	No conocido	Terófito
<i>C. canescens</i>	L.	Cyperaceae	Cortadera	Hemicriptófito
<i>C. haspan</i>	(Nees.) Kük.	Cyperaceae	Cortadera	Terófito
<i>E. crusgalli</i>	(L.) Beauv.	Poaceae	Hualcacho	Terófito
<i>E. macrostachya</i>	Britton	Cyperaceae	Quilmén	Hemicriptófito
<i>L. peploides</i>	(H.B.K.) Raven	Onagraceae	Clavito de agua	Hidrófito
<i>O. sativa</i>	L.	Poaceae	Arroz	Terófito
<i>P. distichum</i>	L.	Poaceae	Chépica	Hemicriptófito
<i>P. persicaria</i>	L.	Polygonaceae	Duraznillo	Terófito
<i>T. angustifolia</i>	L.	Typhaceae	Vatro	Helófito

yemas protegidas en el fango o bajo el agua). El primero con un rizoma reservante y el segundo, con hojas natantes (Cuadro 1).

El lugar de muestreo correspondió a una superficie de 162 m² (18 m x 9 m), separada del resto del arrozal por pretilos y alimentado directamente por un canal de regadío. Esta superficie fue sembrada simultáneamente con el resto del predio y sometida al mismo manejo que el agricultor dio a todo el cultivo, y sólo fue excluida del control químico de malezas, aplicado a fines de diciembre.

El período de cultivo se extendió entre agosto de 1982 y marzo de 1983, mes en que se efectuó la cosecha. Durante la cosecha se realizó el siguiente trabajo en el área experimental: Primero se determinó la cobertura de las especies en cinco parcelas de 1 m² cada una; para ello se apreció a simple vista el cubrimiento de los individuos de cada especie, expresando el resultado del porcentaje (16). Esta cobertura se determinó por separado en los distintos estratos, por lo que la suma de ella supera el 100 por ciento. Posteriormente se procedió a cosechar la parte aérea y subterránea de las plantas que crecían en las parcelas. En el laboratorio se sortearon las especies y se lavaron con agua corriente. El material obtenido, y separado por órganos, se colocó en bolsas de papel y fue secado a 80°C durante 5 d, en una estufa con circulación de aire. Después de ser enfriado se determinó su peso seco.

Este mismo material vegetal fue luego pulverizado en un molinillo de martillos, teniendo la precaución de limpiar el instrumento entre las moliendas de los distintos órganos y especies. El material molido se guardó en bolsas selladas de polietileno, para usarlo en análisis posteriores. El valor calórico de este material fue determinado quemándolo en un calorímetro adiabático, siguiendo las instrucciones de Long (18), Lieth y Pflanz (17) y Runge (26).

Para cada muestra se hicieron dos determinaciones y sólo cuando la diferencia entre ellas superaba las 20 cal, se procedió a realizar una tercera. Los valores calóricos presentados en este trabajo corresponden a promedios de esas mediciones y se expresan en calorías por gramo de peso seco, incluida la ceniza. Aunque hoy se tiende a usar otras medidas (35), se ha preferido usar ésta por ser más conocida. De la misma manera, se incluyó la ceniza por ser un factor importante en plantas acuáticas, alcanzando generalmente valores muy altos (25). De la misma determinación calorimétrica se obtuvo el contenido de ceniza total y, por diferencia, el porcentaje de materia orgánica de la muestra (26).

Muestras del material vegetal pulverizado fueron enviadas al Laboratorio de Nutrición Animal del Instituto de Producción Animal de la Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad Austral de Chile (Valdivia), para efectuar los siguientes análisis: determinación de proteína cruda, fibra cruda, extracto etéreo y extracto no nitrogenado, usando las técnicas tradicionales (32). Por la gran cantidad de muestras, sólo se realizaron dos determinaciones para cada una, siendo los valores presentados en este trabajo, los correspondientes promedios. El material de algunas muestras no fue suficiente para practicar los análisis, y en otros casos no se contó con él, como sucedió, por ejemplo, con los frutos de *T. angustifolia*, ya que esta planta no alcanzó a florecer en el corto período que duró el cultivo (29).

RESULTADOS

Cobertura

Las cinco especies de terófitos presentaron un 101.6% de cobertura en promedio total. El mayor valor se encontró en *E. crusgalli* (52%), que superó la cobertura del arroz en un 16 por ciento. Los otros terófitos presentaron valores bajos de cobertura, reuniendo un total de 13.6% (Cuadro 2).

Cuadro 2. Cobertura y biomasa de las especies estudiadas.

Forma de vida y especie	Cobertura (%)	Biomasa (g/m ²)
Terófitos:		
<i>P. persicaria</i>	4.30	46.00
<i>C. haspan</i>	4.00	334.00
<i>A. coccinea</i>	5.30	98.40
<i>O. sativa</i>	36.00	1 998.00
<i>E. crusgalli</i>	52.00	1 120.00
Hemicriptófitos:		
<i>E. macrostachya</i>	3.00	57.00
<i>A. lanceolatum</i>	18.00	39.25
<i>C. canescens</i>	4.30	37.20
<i>P. distichum</i>	3.30	282.00
Helófito:		
<i>T. angustifolia</i>	3.60	62.00
Hidrófito:		
<i>L. peploides</i>	2.30	43.00
Total	136.10	4 116.85

Los hemicriptófitos sólo alcanzaron a cubrir un 28.6% del cultivo, ocupando los estratos más bajos. De éstos, el mayor valor lo presentó *Alisma lanceolatum* con un 18 por ciento. Los dos criptófitos reunieron en total un 5.9% de cobertura.

La cobertura total del cultivo con malezas alcanzó a 136%, lo que indica que las diferentes formas de vida se disponen ocupando distintos estratos. El arroz, es decir, la planta cultivada, sólo presentó un 36% de cobertura, mientras que las malezas ocupaban el 100 por ciento.

Biomasa

La mayor productividad en biomasa correspondió también a las plantas anuales, pero en este caso el mayor peso seco por unidad de superficie fue presentado por el arroz (1998 g/m²). Los otros tres terófitos tenían bajos valores y entre ellos sólo destaca *Cyperus haspan*, con 334 g/m² de peso seco. En este caso, el arroz superó la productividad de *E. crusgalli*, que la había superado en cobertura (Cuadro 2).

Los hemicriptófitos mostraron baja productividad (415 g/m², en conjunto), y de ellos únicamente *Paspalum distichum* tuvo un valor destacado (282 g/m²). El peso seco de *A. lanceolatum* fue uno de los más bajos en esta forma de vida, a pesar de que su cobertura fue alta, lo cual señala un gran contenido de agua en sus órganos. Los dos criptófitos (*T. angustifolia* y *L. peploides*) presentaron bajos valores de biomasa.

La productividad total del área cultivada fue de 4117 g/m²; de esta biomasa, al arroz sólo le correspondieron 1998 g/m², es decir, un 48% del total.

Materia orgánica

Los terófitos presentaron un promedio de 83.13% de materia orgánica, con un valor máximo de 88.45% en *E. crusgalli* y uno mínimo del 79.03% en *C. haspan* (Cuadro 3). El valor del arroz es muy cercano al de *E. crusgalli*, mientras que el de *Ammannia coccinea* se aproxima más al de *C. haspan*. *Polygonum persicaria* presentó un valor intermedio, entre ambos extremos.

Los hemicriptófitos presentaron un promedio de 86.95% de materia orgánica, superando a los terófitos. La variación de los valores fue mínima en las diferentes especies, presentando *A. lanceolatum* el valor mínimo (84.32%) y *P. distichum* el más alto (88.71%). Los criptófitos exhibieron el valor promedio más bajo de materia orgánica (83.43%).

Considerando todas las especies investigadas, el mayor porcentaje de materia orgánica se presentó en *P.*

distichum (88.72%) y el menor en *A. coccinea* (80.20%).

En general, se puede afirmar que la producción de materia orgánica no presentó grandes diferencias entre las plantas estudiadas, y que la especie cultivada se ubicó entre aquellas que poseían el mayor porcentaje.

Contenido en ceniza

Los valores de ceniza son inversamente proporcionales a la materia orgánica y pueden observarse en el Cuadro 3. Los más altos aparecieron en los criptófitos, mientras que los más bajos en los terófitos.

Cuadro 3. Composición de la materia seca y valores calóricos de las especies trabajadas.

Forma de vida y especie	Materia orgánica (%)	Ceniza total (%)	Valor calórico (cal/g)
Terófitos:			
<i>P. persicaria</i>	84.65	14.82	3 655
<i>C. haspan</i>	79.03	20.97	3 596
<i>A. coccinea</i>	80.20	19.80	3 562
<i>O. sativa</i>	87.36	12.63	3 727
<i>E. crusgalli</i>	88.45	11.55	3 790
Hemicriptófitos:			
<i>E. macrostachya</i>	86.33	13.63	3 700
<i>A. lanceolatum</i>	84.32	15.68	3 862
<i>C. canescens</i>	88.48	11.51	3 982
<i>P. distichum</i>	88.71	11.28	3 806
Helófito:			
<i>T. angustifolia</i>	82.68	17.31	3 613
Hidrófito:			
<i>L. peploides</i>	84.25	15.75	3 636

Esto está de acuerdo con el grado de adaptación de las plantas al medio acuático; en efecto, las especies más dependientes del agua presentaron altos valores de ceniza, y aquéllas con carácter terrestre los más bajos.

Valores calóricos

Los valores calóricos guardan estrecha relación con el contenido en materia orgánica de cada forma de vida. Los hemicriptófitos presentaron el mayor valor promedio, 3837 cal/g (Cuadro 3). Dentro de ellos, el más alto correspondió a *Carex canescens* (3982 cal/g), y el más bajo a *E. macrostachya* (3700 cal/g).

En los terófitos el valor calórico promedio descendió a 3666 cal/g, con una variación parecida a la de la forma de vida anterior. El mayor valor se midió en *E. crusgalli* (3790 cal/g), y el menor en *A. coccinea* (3562 cal/g). En esta forma de vida, sólo *E. crusgalli* superó el valor calórico del arroz, que alcanzó a 3727 cal por gramo. Los criptófitos presentaron los menores valores calóricos, con un promedio de 3624 cal por gramo.

Sólo cuatro de las diez malezas trabajadas superaron el contenido energético del arroz: *E. crusgalli*, *A. lanceolatum*, *P. distichum* y *C. canescens*. Casi todas, también, presentaron altos valores de cobertura y biomasa, lo que indica una alta agresividad y capacidad de competencia.

Variación en los órganos

Los contenidos en materia orgánica, ceniza y energía presentaron fuertes variaciones en los distintos órganos de las plantas, en todas las formas de vida. En general, la materia orgánica aumentó de las raíces al tallo, para luego descender nuevamente en las hojas (Fig. 3). En los frutos se incrementó nuevamente, superando los valores de las hojas en los terófitos, con la única excepción de *A. coccinea*. En *I. angustifolia*, los valores del tallo y las hojas fueron muy parecidos. Las mayores variaciones se presentaron en *L. peploides*.

El contenido de ceniza tuvo un comportamiento similar, aunque inverso, presentando valores altos en las raíces y más bajos en los tallos, para luego subir y alcanzar su valor máximo en las hojas y bajar nuevamente en los frutos (Fig. 4).

En general, el contenido energético fue mayor en tallos y frutos, y menor en raíces y hojas (Fig. 5). Esta diferencia fue mucho más marcada en los terófitos. En esta misma forma de vida se encontró una gran similitud en las variaciones del valor calórico en los distintos órganos del arroz y de *E. crusgalli*, maleza perfectamente adaptada al cultivo, y que, a menudo, malogra las cosechas.

Composición química por forma de vida

La proteína cruda fue mayor en los hemipterófitos (6.38%), y menor en los terófitos (5.01%), ocupando los criptófitos una posición intermedia (5.8%). El arroz y *E. crusgalli* presentaron valores bajos, mientras que *L. peploides* y *A. lanceolatum*, los mayores. En general, el contenido proteínico de todas las plantas estudiadas fue reducido, alcanzando un promedio de sólo 5.65% (Cuadro 4).

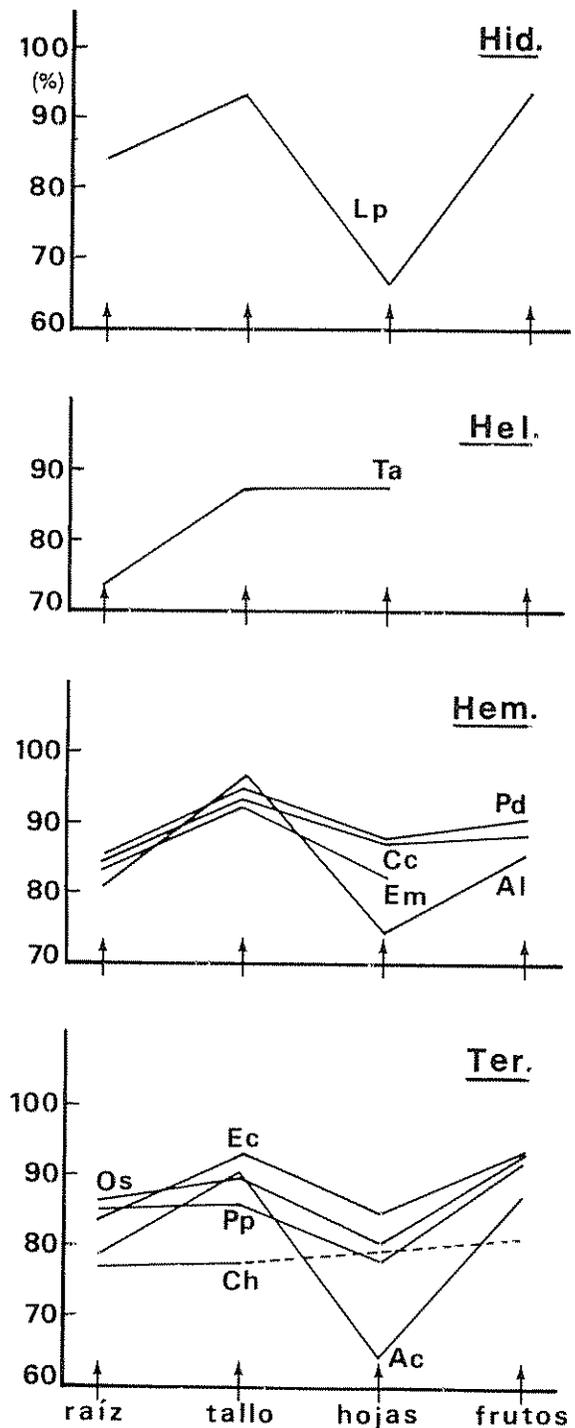


Fig. 3. Porcentaje de materia orgánica en el peso seco de los distintos órganos de *A. coccinea* (Ac), *C. haspan* (Ch), *P. persicaria* (Pp), *O. sativa*, *E. crusgalli* (Ec), *A. lanceolatum* (Al), *E. macrostachya* (Em), *C. canescens* (Cc), *P. distichum* (Pd), *T. angustifolia* (Ta) y *L. peploides* (Lp), agrupadas en las siguientes formas de vida: terófitos (Ter), hemipterófitos (Hem.) e hidrófitos (Hid.).

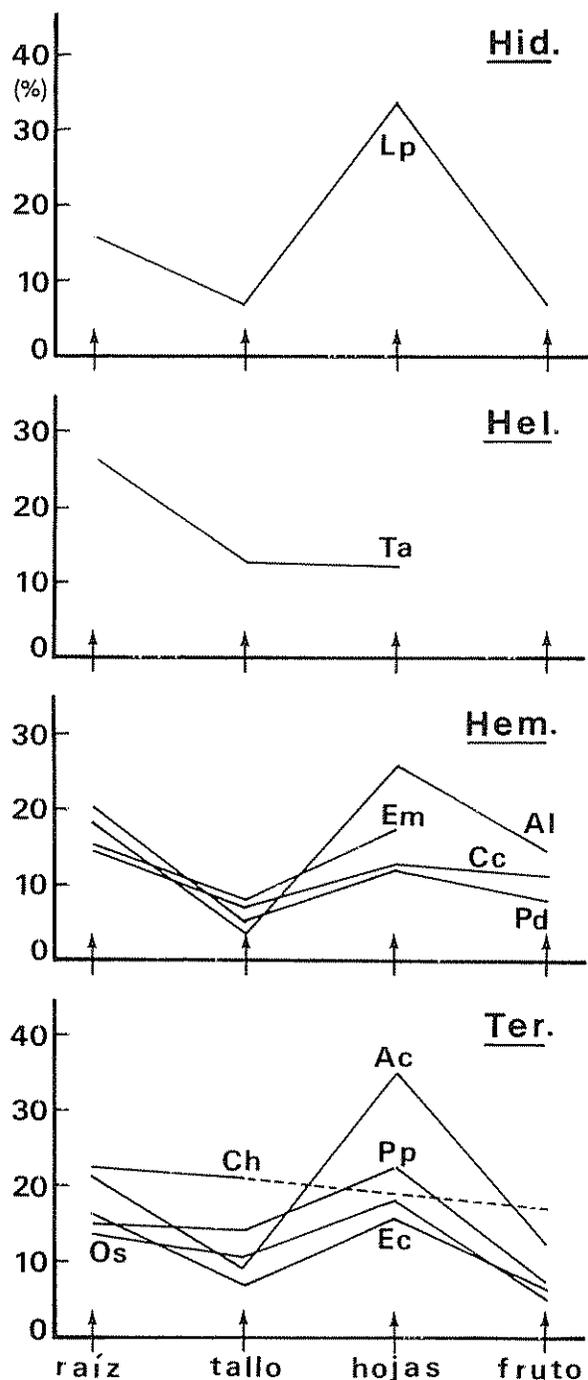


Fig. 4. Porcentaje de ceniza en el peso seco de los órganos de plantas de arrozales de Chile Central, agrupadas por formas de vida (véanse abreviaturas en Fig. 3).

El extracto etéreo ofreció bajos valores en todas las plantas, y sin diferencias significativas entre ellos, aunque el arroz y *E. crusgalli*, presentaron los más altos. El promedio de todas las especies fue del 1.06 por ciento.

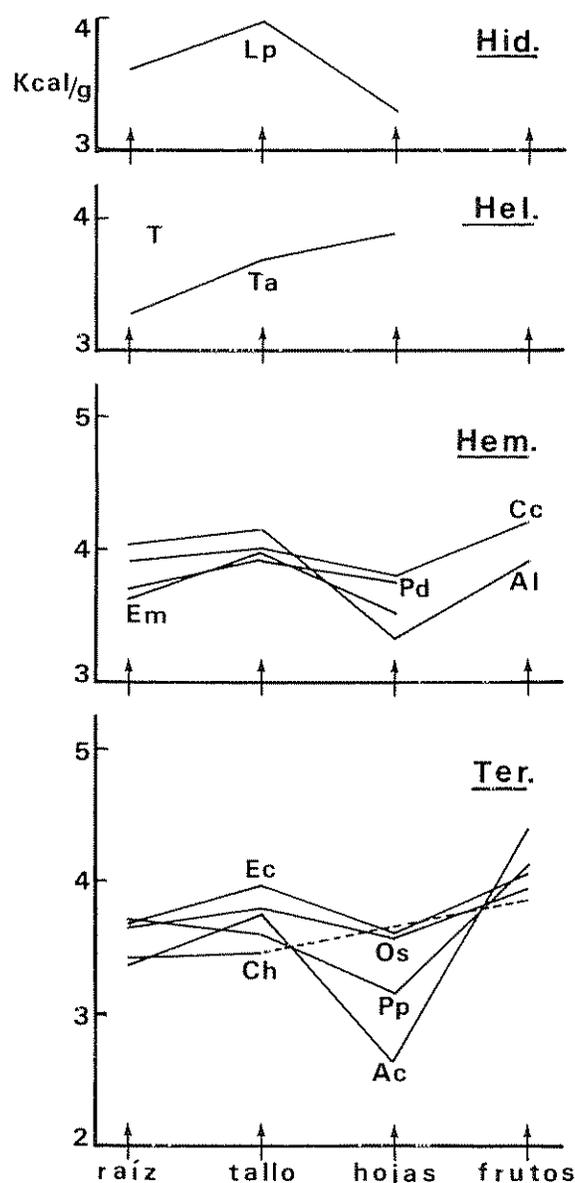


Fig. 5. Valor calórico en kilos de calorías por gramo de peso seco de los órganos de plantas de arrozales de Chile Central, agrupadas por formas de vida (véanse abreviaturas en Fig. 3).

La fibra cruda acusó valores altos en todas las plantas, con un promedio del 24.52% y sin grandes oscilaciones. El grupo con mayor cantidad de fibra cruda fue el de los terófitos (25.64%), y el con menor cantidad, el de los criptófitos (22.29%), ocupando los hemicriptófitos la posición intermedia (24.23%). El valor más alto recayó en *E. crusgalli* y el menor, en *L. peplodes*. Esto último está de acuerdo con el carácter de hidrófito natante de esta especie.

Cuadro 4. Composición química (%) de la materia orgánica de las especies investigadas.

Forma de vida y especie	Proteína cruda	Extracto etéreo	Fibra cruda	Extracto no nitrogenado
Terófitos:				
<i>P. persicaria</i>	6.66	0.87	23.12	54.40
<i>C. haspan</i>	5.06	0.98	24.46	48.52
<i>A. coccinea</i>	5.16	1.20	25.31	48.52
<i>O. sativa</i>	4.75	1.25	24.50	56.86
<i>E. crusgalli</i>	3.44	1.40	30.81	52.80
Hemicriptófitos:				
<i>E. macrostachya</i>	5.53	1.25	23.28	56.23
<i>A. lanceolatum</i>	9.56	1.26	23.28	50.21
<i>C. canescens</i>	5.90	0.49	22.62	59.47
<i>P. distichum</i>	4.54	0.99	27.75	55.43
Helófito:				
<i>T. angustifolia</i>	4.60	0.95	23.68	53.45
Hidrófito:				
<i>L. peplodes</i>	7.01	1.02	20.91	55.30

El extracto no nitrogenado representó el mayor porcentaje de la materia orgánica en todas las plantas investigadas, alcanzando su promedio a 53.74%, con un valor máximo del 59.47% en *C. canescens* y, uno mínimo, de 48.52%, en *C. haspan* y *A. coccinea*. En este caso, los mayores valores se presentaron en los hemicriptófitos (55.33%) y los menores, en los terófitos (52.22%). El de los criptófitos estuvo más cerca del valor superior. El extracto no nitrogenado del arroz (56.85%) superó al de *E. crusgalli* (52.8%).

Composición química por órganos

Los contenidos promedios descritos presentaron grandes variaciones en los diferentes órganos de las plantas. En los terófitos, el contenido en proteína bajó de la raíz al tallo, y, luego, volvió a subir en las hojas, alcanzando el máximo valor en los frutos (Fig. 6). En los hemicriptófitos sólo dos especies presentaron un comportamiento similar al descrito, y en las otras el valor más alto se presentó en el tallo. Las curvas de *T. angustifolia* y de *L. peplodes* presentaron un recorrido similar al de los terófitos.

El contenido en lípidos (extracto etéreo) tuvo un comportamiento bastante errático en las distintas especies y formas de vida (Fig. 7). Los mayores valores se presentaron en el tallo de *C. haspan*, en las hojas de arroz y de *A. coccinea*, y en los frutos de *E. crusgalli* y de *P. persicaria*. En los hemicriptófitos, la raíz

presentó siempre el valor más bajo, y los otros órganos, los más altos.

Las curvas de los contenidos de fibra cruda en los distintos órganos, presentan recorridos similares según forma de vida. Así en los terófitos, los mayores valores se presentaron en el tallo, y los menores, en las hojas o en los frutos (Fig. 8). En los hemicriptófitos, los valores más pequeños aparecieron en las hojas y los más altos, en las raíces, hojas y frutos. Un comportamiento parecido presentó el helófito *T. angustifolia*; mientras que la curva de *L. peplodes* coincidió mejor con la de los terófitos.

Los contenidos en hidratos de carbono (extracto no nitrogenado) fueron más altos en los frutos de los terófitos, y en el tallo de los hemicriptófitos (Fig. 9). Esto está de acuerdo con la necesidad de almacenar reservas en las semillas en el primer caso, y en órganos caulinares, en el segundo. El cuerpo vegetativo de los terófitos desaparece junto con el arroz, mientras que en las otras formas de vida, durante la época de rezago del terreno, permanece en el suelo de los paños y pretiles.

Comparación entre órganos

En las plantas de los arrozales, las hojas y las raíces muestran los más bajos porcentajes de materia orgánica, mientras que el tallo y los frutos los más altos (Cuadro 5). La ceniza tiene un comportamiento inverso, con los mayores valores en las hojas y raíces, y los

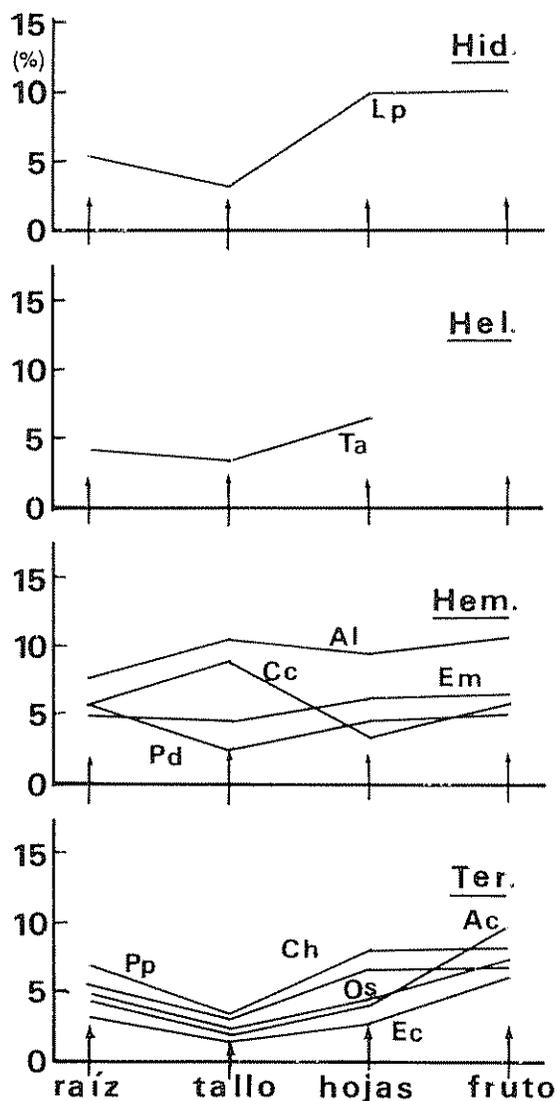


Fig. 6. Variación del porcentaje de proteína cruda en los órganos de las plantas estudiadas, agrupadas por formas de vida (véanse abreviaturas en Fig. 3)

menores, en el tallo y los frutos. Los mayores valores calóricos medidos corresponden a los frutos, seguidos por el tallo y la raíz. El menor contenido energético se presentó en las hojas.

La proteína cruda fue alta en los frutos y baja en los tallos; raíces y hojas presentaron valores intermedios. La fibra cruda exhibió poca variación entre los distintos órganos, oscilando entre un 27.23% como valor más alto, en el tallo, y un 24.15% como valor más bajo, en las hojas. El extracto etéreo presentó, en general, valores muy bajos, pero siempre mayores en hojas y frutos.

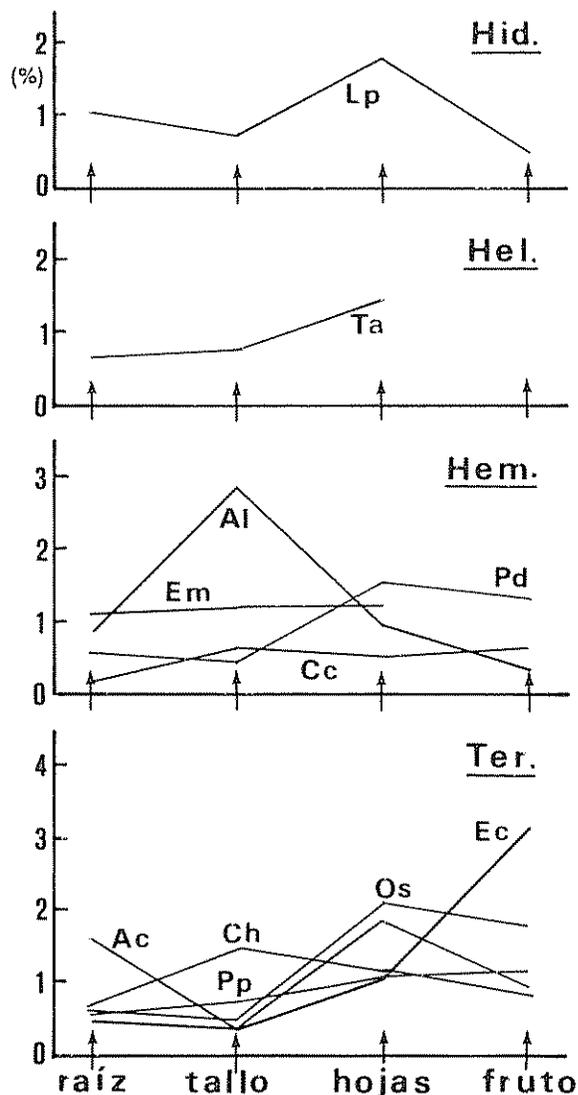


Fig. 7. Variación del porcentaje del extracto etéreo en los órganos de las plantas estudiadas, agrupadas por formas de vida (véanse abreviaturas en Fig. 3)

El extracto no nitrogenado tuvo su mayor valor en los tallos (incluyendo rizomas reservantes) y en los frutos. Las hojas presentaron el menor contenido en hidratos de carbono, lo que está de acuerdo con la época de cosecha, realizada cuando los productos de reserva se depositan en los rizomas y semillas, que son órganos perdurantes, con yemas de renuevo. En el tallo se incluyeron aquellos aéreos normales, rizomas subterráneos y escapos florales, cuyos contenidos químicos y, por ende, energéticos, son muy variables, como lo muestra el Cuadro 6. Aunque el porcentaje de materia orgánica no presentó mucha variación, fue superior en los rizomas. El contenido de ceniza fue alto

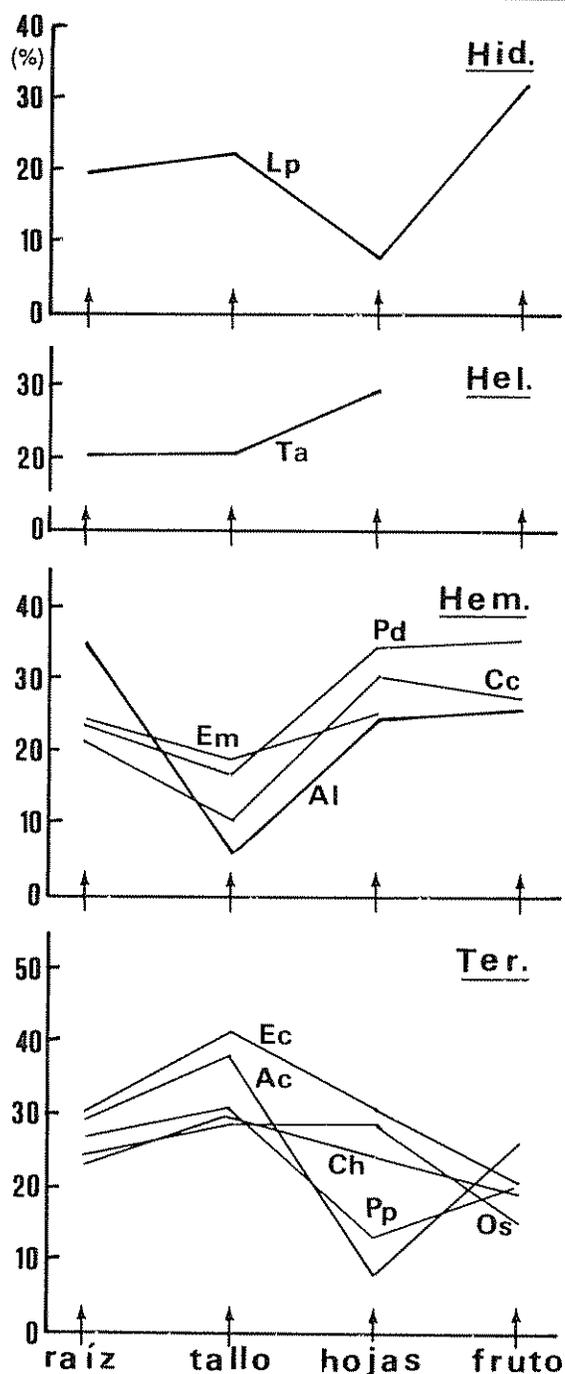


Fig. 8 Variación del porcentaje de la fibra cruda en los órganos de las plantas estudiadas, agrupadas por formas de vida (véanse abreviaturas en Fig. 3).

en los tallos normales y muy bajo en los rizomas. El contenido energético fue superior en los escapos, aunque este valor sólo se obtuvo de *A. anceolatum*. Los rizomas presentaron un valor cercano, y los tallos normales valores más bajos.

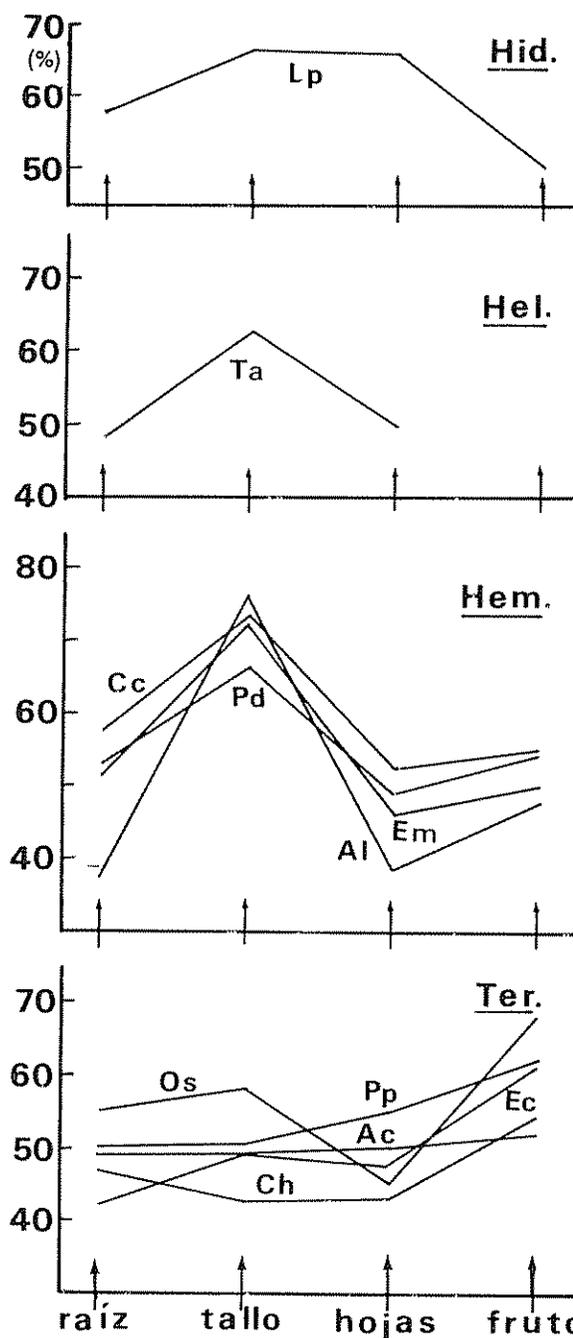


Fig. 9 Variación del porcentaje de extracto no nitrogenado en los órganos de las plantas estudiadas, agrupadas por formas de vida (véanse abreviaturas en la Fig. 3).

La proteína cruda fue alta en los rizomas y más baja en los otros tipos de tallos. La fibra cruda presentó grandes variaciones, alcanzando su valor más alto en los escapos y el más bajo en los rizomas. Los tallos normales ocupan una posición intermedia, pero

Cuadro 5. Composición química (%) y valor calórico (cal/g) de los diferentes órganos en las plantas de arrozales de Chile Central.

Variable/Organo	Raíz	(n=11)	Tallo	(n=15)	Hojas	(n=11)	Frutos	(n=9)
Materia orgánica	81.78±	3.67	89.56±	4.78	79.21±	7.74	89.59±	3.83
Ceniza total	18.21±	3.67	10.64±	4.78	20.78±	7.74	10.46±	3.83
Valor calórico	3 635.45±	204.99	3 830.55±	198.08	3 416.00±	335.72	4 052.50±	177.32
Proteína cruda	5.35±	1.18	4.22±	2.44	5.73±	2.35	7.72±	1.84
Fibra cruda	25.68±	4.48	27.23±	11.57	24.15±	9.09	24.78±	6.05
Extracto etéreo	0.77±	0.37	0.89±	0.60	1.41±	0.43	1.14±	0.83
Extracto no nitrogenado	49.97±	5.83	56.97±	12.18	47.90±	4.32	55.82±	6.71

Nota: Se agrega la desviación estándar.

Cuadro 6. Composición química (%) y valor calórico (cal/g) de los diferentes tipos de tallos presentes en las plantas de arrozales de Chile Central.

Variable/Organo	Rizoma	(n=4)	Tallo	(n=10)	Escapo (n=1)
Materia orgánica	92.08±	3.14	88.12±	4.76	90.85
Ceniza total	7.91±	3.14	11.88±	4.76	9.15
Valor calórico	3 942.50±	169.00	3 756.00±	179.44	4 045.16
Proteína cruda	6.87±	2.85	3.11±	1.28	4.75
Fibra cruda	14.22±	6.26	29.80±	6.45	53.55
Extracto etéreo	1.37±	0.88	0.71±	0.34	0.85
Extracto no nitrogenado	69.62±	5.66	54.44±	8.70	31.70

Nota: Se agrega desviación estándar.

siempre con un valor alto. El extracto etéreo fue en general muy bajo y su representatividad más alta apareció en los rizomas. El extracto no nitrogenado tuvo grandes variaciones, con un valor muy alto en los rizomas y otro muy bajo en los escapos florales, ocupando los tallos normales la posición intermedia.

DISCUSION

Los terófitos, es decir las plantas anuales, dominaron en cobertura y biomasa en el cultivo de arroz. Esto era de esperar, porque en esta forma de vida se incluye la planta cultivada, y porque las malezas anuales adaptan fácilmente sus fenofases al laboreo del cultivo y al ciclo de vida del arroz (29). La cobertura y biomasa de las malezas superaron las del arroz, lo cual indica que consumen más de la mitad del potencial productivo del suelo, y pone de relieve la importancia de un adecuado control de ellas en los arrozales de Chile Central, como lo plantearon San Martín y Ramírez (28).

Los contenidos en materia orgánica y ceniza fueron muy semejantes en todas las especies. La ceniza presentó valores altos en comparación con las plantas terrestres leñosas, lo que corresponde a lo planteado en la literatura (25, 34). Se encontró que las especies más

dependientes del agua tenían mayores contenidos de ceniza que aquéllas con carácter terrestre.

El valor calórico promedio de todas las especies investigadas alcanzó a 3720 cal/g, bastante superior a los presentados por hidrófitos y helófitos de zonas templadas (34). Además del clima mediterráneo, que puede inducir este valor más alto, en el cultivo estudiado dominan hemicriptófitos y terófitos, que no son plantas hidrófilas estrictas (24), y, como lo demostraron San Martín y Ramírez (28), ellas colonizan preferentemente los pretilos y no las superficies inundadas.

El valor calórico promedio más alto correspondió a los hemicriptófitos, hierbas perennes que crecen, preferentemente, en los perfiles. Estas hierbas tienen un ciclo de vida más largo y necesitan acumular mayor cantidad de energía, sobre todo cuando se ven sometidas al brusco cambio de su hábitat por la denudación del suelo en cada temporada. El menor valor calórico promedio de los terófitos indica que están mejor adaptados a las condiciones del cultivo. Las especies más eficientes resultaron ser el arroz y *E. crusgalli*, incluso esta última supera a la planta cultivada. Los valores calóricos más bajos los presentaron *A. coccinea* y *T. angustifolia*. La primera es un neófito de vida muy corta y de reciente introducción al país, y la segunda,

una planta de vida larga que requiere una mayor estabilidad del hábitat y un bajo nivel de anegamiento para completar su ciclo de vida (23). Esta especie sólo prosperó en forma vegetativa en el cultivo, sin llegar a florecer (29).

Dada la gran productividad y eficiencia de *E. crusgalli*, sería interesante buscar una aplicación práctica para esta maleza, como se ha hecho en otros lugares para otras plantas (2, 8, 14). Podría ser útil en la fabricación de alimentos concentrados para animales, ya que los grandes problemas para el uso de las plantas acuáticas como forraje, como son los altos contenidos en agua y ceniza, parecen no tener mayor relevancia en *E. crusgalli*, que casi se comporta como una planta terrestre. De hecho crece mejor cuando baja el nivel del agua en los paños (29). El uso de *E. crusgalli* como alimento para animales está respaldado por las observaciones de Drouilly *et al.* (9), quienes demostraron que los patos silvestres consumen arroz y esta maleza en grandes cantidades, durante los primeros meses del cultivo.

Los valores de proteína encontrados son menores que los indicados en la literatura para plantas acuáticas (7, 21). En todo caso, los valores de la literatura incluyen plantas acuáticas sumergidas y flotantes libres, que en los arrozales de Chile Central no tienen mayor importancia. Los bajos valores proteínicos pueden también tener su explicación en el alto contenido de cenizas, como lo demostraron Jabbar *et al.* (15).

Los terófitos presentaron los mayores valores calóricos en los frutos. Como el cuerpo vegetativo de estas plantas muere anualmente, la mayoría de los productos de la fotosíntesis se destinan a la formación de semillas y frutos, para asegurar la permanencia de la especie en el arrozal. Algunas incluso producen dos fructificaciones, antes de que se coseche el arroz (29). Los hemicriptófitos investigados, a pesar de ser plantas perennes, muestran una tendencia semejante a la de los terófitos, desviando sus esfuerzos hacia la formación de semillas. Este comportamiento no es normal para una hierba perenne y, seguramente, refleja cierto grado de adaptación a la poca duración del cultivo y al laboreo del suelo, que dificulta la supervivencia del cuerpo vegetativo.

Con excepción de *T. angustifolia*, todas las otras malezas estudiadas tienden a tener un mayor valor calórico en los frutos y semillas. El rizoma de *T. angustifolia* presentó un alto valor energético, y como esta planta invirtió sus fotosintatos en ello, no alcanzó a formar frutos en el período de cultivo del arroz. Esto podría indicar condiciones poco favorables para esta planta en el cultivo estudiado (3).

Los contenidos de ceniza fueron siempre altos en las raíces, lo cual es un comportamiento común en las especies palustres y acuáticas. Altos contenidos de ceniza en raíces y hojas de plantas acuáticas han sido expuestas por Barrera (1) y planteados como una desventaja para el aprovechamiento de ellas por la Academia Nacional de Ciencias de Estados Unidos de América (21). Esto se debe a que la absorción de minerales es más eficiente en el agua que en el suelo, donde hay fijación de ellos (30).

El alto contenido energético de los frutos corresponde a la época del año en que se recolectó el material. En efecto, el valor calórico de los órganos reproductivos aumenta hacia el verano y es máximo en otoño (5, 6), mientras que en las hojas este punto máximo se presenta en primavera. La composición química y los valores calóricos de las plantas varían con la época de recolección, el lugar, la edad de la planta, el clima y las condiciones nutricias del medio (10). Todos estos factores eran similares para las especies trabajadas y, por lo tanto, los resultados encontrados reflejan el grado de adaptación y de eficiencia ecológica de cada una de ellas en el cultivo (4).

Los mayores valores calóricos de las semillas y los menores de las hojas, corresponden a los citados en la literatura para plantas terrestres (13). Sin embargo, a nivel de tallos y raíces existe una discrepancia, ya que en las plantas acuáticas y palustres estudiadas, el mayor valor calórico se presentó en el tallo y no en las raíces. Seguramente este resultado se debe a que, generalmente, los valores calóricos citados en la literatura no incluyen la ceniza, que sí se tomó en cuenta en este trabajo. Steubing *et al.* (34) sostienen que un alto contenido en ceniza reduce el valor calórico; eso es lo

Cuadro 7. Valores calóricos promedios (cal/g) de las especies investigadas, incluyendo y excluyendo el contenido en ceniza.

Especie	Con ceniza	Sin ceniza	Diferencia
<i>P. persicaria</i>	3 655	4 318	663
<i>C. haspan</i>	3 596	4 550	954
<i>A. coccinea</i>	3 562	4 441	879
<i>O. sativa</i>	3 727	4 266	539
<i>E. crusgalli</i>	3 790	4 285	495
<i>E. macrostachya</i>	3 700	4 286	586
<i>A. lanceolatum</i>	3 862	4 580	718
<i>P. distichum</i>	3 806	4 290	484
<i>T. angustifolia</i>	3 613	4 370	757
<i>L. peploides</i>	3 636	4 316	680
Promedio	3 720.81	4 382.00	661.18

que sucede en los vegetales acuáticos, donde el porcentaje de ceniza es muy alto, precisamente en las raíces (25). Por otro lado, las plantas anuales, que dominan entre las trabajadas, tienen un valor calórico menor que las perennes, pero producen mayor biomasa en el mismo período de tiempo (33).

El Cuadro 7 muestra que al considerar sólo la materia orgánica, excluyendo la ceniza, los valores calóricos de todas las plantas se elevan en un promedio de 661 cal/g, con un mínimo de 484 cal/g y un máximo de 954 cal por gramo. De manera que todos los valores calóricos se sitúan ahora sobre 4000 cal/g, demostrando que, al considerar la ceniza, se reducen las diferencias en los contenidos energéticos entre especies y formas de vida (34). Sin embargo, hay que tomar en cuenta que aunque para el cálculo no se considere la ceniza, ella estará siempre presente en el material vegetal, dificultando su aprovechamiento como alimento para el ganado (22).

LITERATURA CITADA

1. BARRERA, J. 1986. Autocología de *Aponogeton distachyon* L. f. (Aponogetonaceae, Liliatae) en la laguna de Santo Domingo (Valdivia, Chile). Tesis Valdivia, Universidad Austral de Chile, Escuela de Biología y Química. 116 p.
2. BATES, R.; HENIGES, J. 1976. Aquatic weeds: Eradicate or cultivate? *Economic Botany* 30(1):39-50.
3. BLISS, L. C. 1962. Caloric and lipid content in Alpine tundra plants. *Ecology* 43:753-757.
4. BOYD, C. E. 1970. Amino acid, protein and caloric content of vascular aquatic macrophytes. *Ecology* 52:902-906.
5. BRZOSKA, W. 1971. Energiegehalte verschiedener Organe von nivalen Sprosspflanzen in Laufe einer Vegetationsperiode. *Photosynthetica* 5(3):183-189.
6. BRZOSKA, W. 1973. Stoffproduktion und Energiehaushalt von Nivalpflanzen. *Oekosystemforschung* 1:225-233.
7. CUMMINS, K. W.; WUYCHECK, J. C. 1971. Caloric equivalents for investigations in ecological energetics. *Mitt. Int. Verein. Limnol.* 18:1-153.
8. DATTA, S. C.; BANERJEE, A. K. 1978. Useful weeds of west Bengal rice fields. *Economic Botany* 32:297-310.
9. DROUILLY, P.; MONTECINOS, R.; MUÑOZ, C. 1979. Acción depredadora de aves silvestres en cultivos de arroz de la provincia de Talca. Santiago, Museo Nacional de Historia Natural. v. 28. p. 3-11.
10. DYKYJOVA, D.; PRIBIL, S. 1975. Energy content in the biomass of emergent macrophytes and their ecological efficiency. *Arch. Hydrobiol.* 75(1):90-108.
11. ELLENBERG, H.; MUELLER-DOMBOIS, D. 1966. A key to Raunkiaer plant life forms with revised subdivisions. Berlin, Geobot. Inst. ETH, Stiftung Rübli Zürich. v. 37. p. 56-73.
12. FINOT, L.; BRAVO, J. 1985. Clave para identificar las malezas gramíneas (Poaceae) de la provincia de Ñuble (Chile). *Agro-Ciencia* 1(2):161-170.
13. GOLLEY, F. B. 1961. Energy values of ecological materials. *Ecology* 42:581-584.
14. GOPAL, B.; SHARMA, K. P. 1979. Aquatic weed control versus utilisation. *Economic Botany* 33(3):340-346.
15. JABBAR, A.; SLINGER, S. J.; BURTON, H. 1978. Chemical composition of aquatic macrophytes. I. Investigation of organic constituents and nutritional potential. *Canadian Journal of Plant Science* 58:829-841.
16. KNAPP, R. 1984. Sampling methods and taxon analysis in vegetation science. La Haya, W. Junk Pub. 370 p.
17. LIETH, H.; PFLANZ, B. 1968. The measurement of caloric values of biological material and the determination of ecological efficiency. UNESCO, Nat. Resource Symp. Ser. v. 5. p. 233-242.
18. LONG, F. L. 1934. Application of calorimetric methods of ecological research. *Plant Physiology* 9:323-337.
19. MARTICORENA, C.; QUEZADA, M. 1985. Catálogo de la flora vascular de Chile. *Gayana Botánica* 42(1-2):5-157.
20. MATTHEI, O. 1963. Manual ilustrado de las malezas de la provincia de Ñuble. Tesis. Chillán, Escuela de Agronomía, Universidad de Concepción. 115 p.
21. NATIONAL ACADEMY OF SCIENCE. 1976. Making aquatic weeds useful: Some perspectives for developing countries. Washington. 174 p.
22. RAMIREZ, C.; BECK, S. 1981. Makrophytische Vegetation und Flora in Gewässern der Umgebung von La Paz, Bolivien. *Archiv für Hydrobiologie* 91(1):82-100.
23. RAMIREZ, C.; STEGMAIER, E. 1982. Formas de vida en hidrófitos chilenos. *Medio Ambiente* 6(1):43-54.
24. RAMIREZ, C.; SAN MARTIN, J. 1984. Hydrophilous vegetation of a coastal lagoon in Central Chile. *International Journal Ecol. Environ. Science* 10:93-110.
25. RAMIREZ, C.; STEUBING, L. 1984. Composición química y aptitud forrajera de plantas acuáticas valdivianas. *Arch. Med. Vet. No. Ext.* 4:137.
26. RUNGE, M. 1973. Energieumsätze in den Biozöosen terrestrischer Ökosysteme. *Scripta Geobotanica* 4:1-77.
27. SAN MARTIN, J. 1983. Influencias recíprocas entre malezas y arroz en cultivos de Chile Central. Tesis. Valdivia, Universidad Austral de Chile, Escuela de Graduados. 181 p.
28. SAN MARTIN, J.; RAMIREZ, C. 1983. Flora de malezas en arrozales de Chile Central. *Ciencia e Investigación Agraria* 10(3):207-222.

29. SAN MARTIN, J.; CONTRERAS, D.; RAMIREZ, C. 1988. Estudios fenológicos en malezas de arrozales de Chile Central. *Turrialba* 38(1):23-30.
30. SCHWABE, G. H. 1968. Das Binnengewässer als Glied der Landschaft. *Natur und Landschaft* 43(7):160-166.
31. SIMS, G.; ALVARADO, R. 1972. Manual del arroz. Instituto Agropecuario de Chile, Servicio Agrícola y Ganadero (SAG), División Técnica. Boletín Técnico no. 54.
32. STEUBING, L. 1965. Pflanzenökologisches Praktikum. Hamburg, Paul Parey. 262 p.
33. STEUBING, L.; RAMIREZ, C.; ALBERDI, M. 1979. Artenzusammensetzung, Lichtgenuss und Energiegehalt der Krautschicht des valdivianischen Regenwaldes bei St. Martín. *Vegetatio* 39:25-33.
34. STEUBING, L.; RAMIREZ, C.; ALBERDI, M. 1980. Energy content of water- and bog-plant associations in the region of Valdivia (Chile). *Vegetatio* 43:153-161.
35. STEUBING, L.; SCHWANTES, H.O. 1987. Oekologische Botanik. Heidelberg, Quelle & Meyer. 408 p.

Biología Poblacional del Gramón. III. Bases Genéticas y Ambientales de la Productividad y Arquitectura¹

R. Sarandon*

ABSTRACT

An experiment was performed with the aim of studying the genetic and environmental components of productivity and architecture of Bermuda grass (*Cynodon dactylon*) (L.) Pers., Gramineae) in the Pampean area. The response of five populations, geographically isolated, growing in six different environmental conditions, in a factor design of two climatic and three edaphic conditions, was tested. The results show that: 1) Climatic and edaphic conditions significantly influenced biomass production and allocation to aerial, subterranean and reproductive tissues; 2) the populations responded differently to similar environmental conditions, indicating genetic differences among them; 3) differences among populations are related to climatic and edaphic conditions at the original sites; 4) populations showed a different norm of reaction and a clear population-environment interaction; 5) the dependent variables with a high variation among population showed also high heretability values. This suggest that the source of genetic variability for productivity and architecture is large at the population level and, consequently, that Bermuda grass, in the Pampean area, has a high potential for response to selection.

Key words: *Cynodon dactylon*, ecology, genetics, heretability, productivity.

COMPENDIO

Con el objeto de determinar las bases genéticas y ambientales de la productividad y arquitectura del gramón, *Cynodon dactylon* (L.) Pers., Gramineae, en las poblaciones del área pampeana, se evaluó la respuesta de cinco poblaciones, separadas geográficamente, creciendo en seis condiciones ambientales distintas, en un diseño factorial (dos condiciones climáticas x tres edáficas). Los resultados indican que: 1) tanto las condiciones climáticas como edáficas modificaron significativamente la producción y la asignación de biomasa a los tejidos aéreos, subterráneos o reproductivos; 2) las poblaciones respondieron en forma diferente ante condiciones ambientales similares; 3) las diferencias entre las poblaciones están relacionadas con las condiciones edáficas y climáticas de sus localidades de origen; 4) las poblaciones mostraron una norma de reacción distinta y una interacción poblacional ambiente marcada; 5) los caracteres que más variaron entre poblaciones denotaron altos valores de hereditabilidad, lo que indica que, a nivel poblacional, la reserva de variabilidad genética para la productividad y la arquitectura es grande. Por lo tanto, el gramón, en el área pampeana, tiene aún una gran capacidad de respuesta a la selección.

Palabras claves: *Cynodon dactylon*, ecología, genética, hereditabilidad, productividad.

1 Recibido para publicación el 22 de mayo de 1990. Parte de la tesis presentada en la Facultad de Ciencias Naturales y Museo de La Plata, Universidad Nacional de la Plata, para optar al título de Doctor en Ciencias Naturales con Orientación a la Ecología.

Se agradece al Ing. Agr. A. von de Pahlen y al Dr. J. Crisci su dirección y asesoramiento en el proyecto de tesis doctoral; al personal de la Estación Experimental Regional Agropecuaria, Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA), de Pergamino, el apoyo en los viajes de campaña y el análisis de las muestras de suelo; al Dr. J. L. Frangi, el uso de las facilidades del laboratorio de ecología; al Ing. Agr. M. Arturi, en el análisis de los resultados; al Ministerio de Asuntos Agrarios (MAA), Provincia de Buenos Aires, las facilidades en la Estación Experimental de Gorina; al Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Tecnológicas (CONICET) y a la Comisión de Investigaciones Científicas (CIC), Provincia de Buenos Aires, por las becas otorgadas; y A.V.H. Calvetti, la confección de las figuras.

* Laboratorio de Sistemática y Biología Evolutiva, Museo de La Plata, La Plata, Arg.

INTRODUCCION

En un estudio extensivo sobre el patrón de variación intraespecífica en la morfología, abundancia y arquitectura del gramón, *C. dactylon* (L.) Pers., en relación con las características ambientales presentes en el área pampeana, se identificaron ciertas correlaciones entre variables morfológicas y fisiológicas con variables climáticas y, además, o en su defecto, edáficas (18, 19). Sin embargo, el patrón de variación intraespecífico no podía ser explicado totalmente por el patrón de heterogeneidad ambiental (climática, edáfica) de la región. Se proponía, entonces, que las poblaciones deberían presentar respuestas genéticas diferentes a condiciones ambientales similares. Siguiendo las premisas de Turesson (9), una vez determinada la existencia de variación correlacionada con el ambiente, quedan por analizar sus causas.

La variación de un carácter (cualitativo o cuantitativo) puede deberse a causas genéticas o ambientales. La magnitud relativa de una u otra causa es importante para caracterizar las propiedades genéticas de la población o especie y entender, así, su adaptación al medio (5, 10). La técnica usual, para determinar la magnitud relativa de una u otra causa, consiste en hacer crecer las plantas en condiciones uniformes (3, 9). Debido a que las normas de reacción pueden ser diferentes para cada genotipo o población, y que esto puede ocasionar distintos resultados, según el ambiente en que se realice la prueba, conviene utilizar una serie de condiciones ambientales diferentes que permitan tener un conocimiento más claro del patrón de respuesta de la población (10, 20).

En este trabajo se presentan los resultados de un experimento en que se evalúa la respuesta de cinco poblaciones, separadas geográficamente, creciendo en seis condiciones ambientales distintas provistas en un diseño factorial. El análisis de la respuesta se ha centrado en el crecimiento o producción de biomasa y en la asignación de recursos a distintos compartimientos, debido a que estas características son importantes componentes de la estrategia adaptativa de una planta (6, 21) y de la agresividad de una maleza (1), sintetizando, además, la interacción planta-ambiente (24).

MATERIALES Y METODOS

Se recolectó material vivo (rizomas y estolones) en cinco de las poblaciones de gramón del área pampeana argentina. Las características generadas de cada localidad se presentan en el Cuadro I. (La población 5 es originaria de Pergamino (núm. 1), trasplantada en 1982 a la localidad de La Plata, por lo que no se incluye en el Cuadro I).

Las cinco poblaciones citadas se cultivaron en la Chacra Experimental de Gorina (La Plata, Arg.), en dos condiciones climáticas y tres edáficas siguiendo un diseño experimental de tipo factorial (12). Las condiciones climáticas fueron: 1) aire libre (AL) y 2) invernáculo (I) (condiciones más cálidas y secas). Las edáficas fueron: 1) testigo (T): con suelo de la estación experimental (primeros 20 cm); 2) fertilizado (F): suelo testigo con urea al 26% en una cantidad de 100 kg/ha (50 mg de urea en 100 ml de agua en cada maceta), aplicada 30 d después de haberse iniciado el experimento; y 3) textura gruesa (G): suelo testigo mezclado con un tercio de arena.

Se utilizaron macetas de aproximadamente 50 cm² de superficie y 4 l de capacidad. En cada maceta se colocaron tres trozos de rizomas de tres nudos cada uno. Se realizaron cuatro repeticiones por tratamiento,

haciendo un total de 120 macetas (factorial de cinco poblaciones x dos condiciones climáticas x tres edáficas x cuatro repeticiones = 120 macetas). El experimento fue visitado periódicamente hasta su finalización (150 d de crecimiento).

Al finalizar el experimento se obtuvo el peso seco (80°C, 48 h) de cada uno de los compartimientos (subterráneo, aéreo y reproductivo) presentes en cada maceta expresados en gramos por metro cuadrado. Con estos datos se calcularon el peso seco total, los porcentajes relativos correspondientes y la relación aérea/subterránea. También se midieron la altura de las inflorescencias (antes del corte) y el número de escapos florales en cada maceta. El análisis de los datos se realizó mediante un ANOVA de tres factores (12, 22). El análisis estadístico se efectuó sobre las variables con y sin transformación logarítmica (para las biomásas) o angular (para los porcentajes), dando los mismos resultados en ambos casos, por lo que se presentan los resultados sin transformación.

Para cada una de las variables se estimó la importancia relativa del componente genético y ambiental mediante el cálculo de la heredabilidad *sensu lato* (2, 5, 10). Para cada carácter se estimó:

$$h^2 = \tau g / \tau f = Vg / (Vg + Ve) \quad \text{Fórmula (1)}$$

utilizándose, como estimadores de las τ , las variancias respectivas:

$$Vg = (CM1 - CM8) / rsc \quad \text{y} \quad Ve = CM8 / rsc \quad \text{Fórmula (2)}$$

donde:

- h^2 = heredabilidad.
- τg = variancia genética.
- τf = variancia fenotípica.
- Ve = variancia ambiental.
- CM1 = cuadrado medio población en ANOVA.
- CM8 = cuadrado medio error en ANOVA.
- r = número de repeticiones (cuatro).
- s = número de condiciones edáficas (suelo = tres).
- c = número de condiciones climáticas (clima = dos).

RESULTADOS

Las macetas sometidas a condiciones de invernáculo (I) no llegaron a reproducirse, debido fundamentalmente a las condiciones de sequedad en que crecieron: elevada temperatura ambiente y bajo suministro de agua. Aquellas al aire libre (AL) crecieron mejor tanto en biomasa vegetativa como en reproductiva –todas llegaron a reproducirse.

Cuadro 1. Características generales de las localidades de origen de las poblaciones utilizadas. Biomasa del gramón en cada una de ellas, según muestreo realizado en enero de 1983.

Variable	Población			
	Pergamino	Junín	Rufino	Vdo. Tuerto
Clima				
Temperatura promedio	16.2	16.0	16.33	16.25
Precipitación	895	920.5	848.67	858
Suelo				
pH (1)	6.3	6.9	4.7	6.0
Materia orgánica (%) (2)	3.8	4.9	3.81	4.3
Nitrógeno (%) (3)	0.169	0.261	0.191	0.187
Sales (4)	3.8	2.25	0.01	1.50
Fósforo (5)	70	140	24.3	47.1
Arena (%)	14.9	18.5	44.9	41.8
Limo grueso (%)	41.3	24.6	28.8	26.9
Limo fino (%)	23.5	30.2	13.7	15.1
Arcillas (%)	20.3	26.7	12.6	16.2
Biomasa (g/m²)				
Total	3 552.95	2 854.99	4 049.02	2 669.59
Aérea	1 286.94	823.93	1 227.2	949.2
Subterránea	2 264.18	1 952.39	2 751.75	1 629.82
Reproductiva	1 834	78.67	70.07	90.57
Observaciones				
Usos	Pastura	Cultivo	Descanso	Pastoreo
Altura (cm)	5-10/30-40	30	30 - 40	5 - 10
Hábito	postrado/erecto	erecto	erecto	postrado
Distribución	agrupada	agrupada	uniforme	uniforme

Notas:

- (1) Potenciómetro 1:2.5
(2) Walkley & Black I
(3) Semimicrokjeldal
(4) mmhos/cm, en pasta
(5) ppm, Bray & Kurtz I

Todos los factores (variables independientes o fuentes de variación) influenciaron en uno u otro de los caracteres (o variables dependientes) considerados en el experimento, excepto en el número de inflorescencias o escapos florales (Cuadro 2). El clima fue, en general, el que más influyó en todo el conjunto y sobre todos los caracteres considerados en el experimento (Cuadro 2). La producción total de biomasa vegetativa fue significativamente menor en las macetas dentro del invernáculo (promedio de 447.19 g/m²) que al aire libre (779.42 g/m²). Lo mismo sucedió con la biomasa aérea (291.69 g/m² en I, contra 413.07 g/m² en AL) y la subterránea (154.55 en I contra 245.88 g/m² en AL), mientras que sólo llegaron a

reproducirse las crecidas al aire libre (promedio 17.09 g/m²).

Las poblaciones mostraron una marcada similitud en la cantidad de biomasa aérea absoluta producida (promedio 352.38 g/m²), aunque mostraron diferencias significativas en la biomasa total, variando desde 516.65 g/m² hasta 690.11 g/m², debido a una diferente producción de biomasa subterránea que varió entre 209.33 g/m² y 317.73 g/m² (Fig. 1). Las poblaciones mostraron, además, diferencias en las proporciones relativas de biomasa en cada compartimento, indicando así una diferente estrategia general de asignación de recursos (Cuadro 2). La relación entre biomasa

Cuadro 2. Resumen ANOVA para cada variable dependiente del experimento factorial.

Fuente variación	Aéreo	Subte.	Repro.	Total	Aéreo (%)	Subte. (%)	Repro. (%)	Ae/Sub	Alt.	N.Inf
Población (P)	1.94 N.S.	6.06 ***	6.17 ***	4.135 ***	2.92 *	2.83 *	3.55 *	1.08 N.S.	14.61 ***	2.41 N.S.
Suelo (S)	5.36 **	1.84 N.S.	3.86 *	3.844 *	7.28 **	7.37 **	0.30 N.S.	6.74 **	5.26 **	3.10 N.S.
Clima (C)	28.74 ***	140.90 ***	—	107.37 ***	47.60 ***	29.75 ***	—	35.30 ***	—	—
Interacciones dobles										
P x S	1.00 N.S.	0.94 N.S.	0.47 N.S.	0.753 N.S.	1.47 N.S.	1.53 N.S.	0.726 N.S.	1.58 N.S.	3.97 **	0.84 N.S.
P x C	2.49 *	0.54 N.S.	—	0.756 N.S.	3.03 *	2.82 *	—	1.45 N.S.	—	—
S x C	1.30 N.S.	3.42 *	—	2.579 N.S.	3.72 *	3.42 *	—	3.38 *	—	—
Interacciones triples										
P x S x C	0.58 N.S.	1.00 N.S.	—	1.00 N.S.	0.82 N.S.	0.78 N.S.	—	0.96 N.S.	—	—

Notas:

Valores de P y su significancia (N.S.: no significativo; * P < 0.05; ** P < 0.01 y *** P < 0.001).

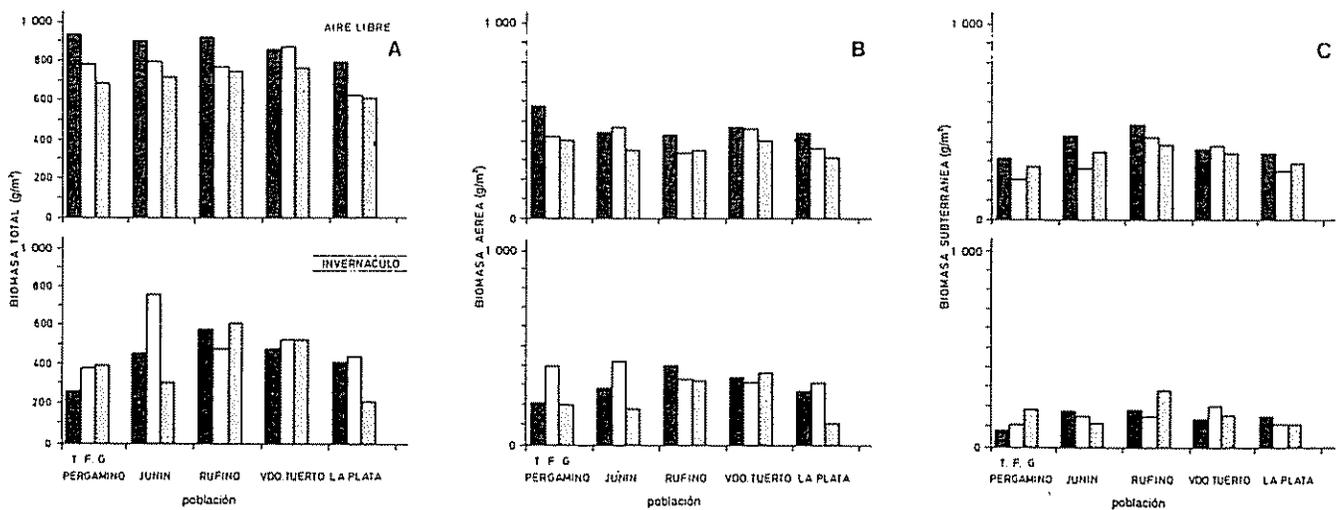


Fig. 1 a) Biomasa total; b) aérea; y c) subterránea producida (g/m^2) por cada población al aire libre e invernáculo, con suelo testigo (T), fertilizado (F) y de textura gruesa (G).

aérea:subterránea, sin embargo, no alcanzó a mostrar diferencias significativas entre poblaciones (promedio general A:S = 1.71). Hubo diferencias significativas entre poblaciones en la biomasa reproductiva (de 11.01 g/m^2 a 23.89 g/m^2) y en la altura de los escapos florales (de 18.92 cm a 25.33 cm). El número de inflorescencias, sin embargo, se mantuvo constante (promedio de 16.79 por maceta) (Cuadro 2, Fig. 2).

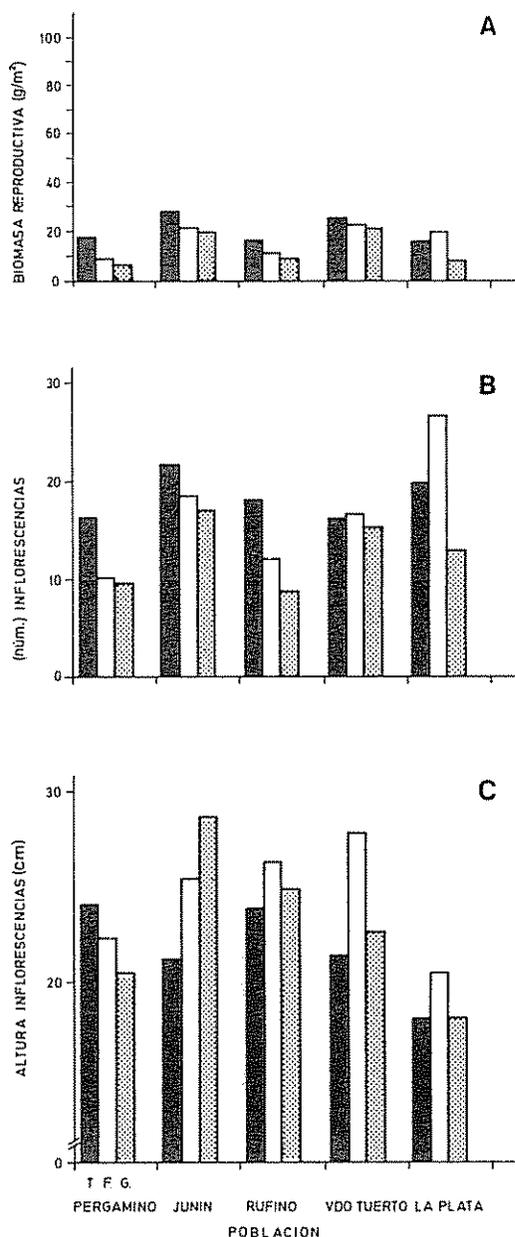


Fig. 2. a) Biomasa reproductiva (g/m^2); b) número de escapos florales; y c) altura de las inflorescencias (cm) de cada población por condición experimental (véanse referencias en Fig. 1)

El suelo (testigo, fertilizado o de textura gruesa) influyó significativamente en la biomasa aérea, variando desde 385.38 (T), 371.15 (F) y 300.61 (G) g/m^2 ; en la biomasa reproductiva, variando desde 20.78 (T), 17.19 (F) y 13.30 (G) g/m^2 ; y en la total, variando de 666.67 (T), 615.40 (F) y 557.85 (G) g por metro cuadrado. También fueron influenciados significativamente el porcentaje de biomasa aérea, el de biomasa subterránea, el cociente aéreo: subterráneo y la altura de las inflorescencias (Cuadro 2). No hubo diferencias significativas en la cantidad de biomasa subterránea producida (promedio general: 250.22 g/m^2), en el porcentaje de biomasa reproductiva (2.28%) ni en el número de escapos florales (17.56 inflorescencias por maceta) bajo las distintas condiciones edáficas (Figs. 1 y 2).

En general, hubo una disminución (7.69%) en la biomasa total acumulada en condiciones de suelo fertilizado respecto del suelo testigo, independiente de la población o del clima. Esto pudo deberse a que la fertilización se realizó únicamente al inicio del experimento, generando un desbalance en la relación fuente-destino que afectó negativamente la producción de biomasa al final del ciclo. También, se notó un aumento de la biomasa aérea porcentual, una disminución de la biomasa subterránea porcentual y un consiguiente aumento de la relación aérea:subterránea en las condiciones de suelo fertilizado con respecto al suelo testigo. Se observó una tendencia a la disminución de la biomasa producida bajo condiciones de suelo, desde la condición de testigo a fertilizado y, por último, a la de textura gruesa.

El Cuadro 3 resume los valores de heredabilidad *sensu lato*, calculados para cada uno de los diez caracteres estudiados. La mayoría de los caracteres muestra valores altos de h^2 (cerca de 1), que coinciden con diferencias significativas entre poblaciones según el ANOVA respectivo entre poblaciones. Los caracteres que mostraron valores bajos de h^2 (cerca de 1) coinciden con diferencias significativas entre poblaciones, según el ANOVA respectivo entre poblaciones. Los caracteres que mostraron valores bajos de h^2 fueron: número de inflorescencias, biomasa aérea y relación biomasa aérea/subterránea (diferencias entre poblaciones no significativas en el ANOVA).

DISCUSION Y CONCLUSIONES

Los resultados de la correlación biomasa-ambiente (19) indican que la textura y la fertilidad del suelo, así como las condiciones climáticas (temperatura y humedad) del sitio, se correlacionan positivamente con la biomasa presente en un lugar y con las proporciones relativas en cada compartimiento. En este experimento

Cuadro 3. Estimaciones de hereditabilidad "sensu lato". Significancia del ANOVA entre poblaciones (ver Cuadro 2).

Carácter	Vg	Ve	n ²	Sign. (ANOVA)
Biomasa total	3.97	1.267	0.758	***
B. aérea	0.59	0.630	0.484	N.S.
B. subterránea	1.62	0.319	0.835	***
B. reproductiva	0.514	0.006	0.988	***
B. aérea (%)	6.757	3.525	0.657	*
B. subterránea (%)	6.622	3.614	0.647	*
B. reproductiva (%)	0.314	0.123	0.720	*
B. aérea/subterráneo	0.002	0.026	0.072	N.S.
Núm. inflorescencia	7.808	5.534	0.585	N.S.
Altura	6.368	0.468	0.939	***

se variaron artificialmente las condiciones edáficas y climáticas, a fin de estimar su efecto en la respuesta de cada población. El objetivo del mismo ha sido cuantificar si las poblaciones responden de manera diferente a las mismas. Los resultados generales del análisis de los datos indican que:

- Tanto las condiciones climáticas como edáficas modificaron o influenciaron significativamente la producción y la asignación de biomasa. Esto indica que el rango de variabilidad ambiental del experimento fue suficientemente amplio como para poner en evidencia las diferencias genéticas entre poblaciones. Se encontraron mayores diferencias en las condiciones climáticas que en las edáficas, así ninguna población floreció en el ambiente de mayor estrés hídrico (invernáculo).
- Las poblaciones respondieron de forma distinta ante las mismas condiciones ambientales, lo que indica diferencias genéticas entre ellas. Algunas poblaciones produjeron de un 20% a un 30% más de biomasa total que otras, hecho que pone de manifiesto que las diferencias estadísticas tienen, también, un importante valor biológico.
- Las diferencias entre poblaciones parecieran estar relacionadas con las condiciones edáficas y climáticas de sus localidades de origen. Por ejemplo, las poblaciones originarias de ambientes de suelos con texturas gruesas: Pergamino, Rufino y Venado Tuerto (Cuadro 1), respondieron mejor a las condiciones de textura gruesa que a las otras dos condiciones (Fig. 1). Lo mismo sucedió con respecto al suelo fertilizado, ya que las poblaciones de Junín (núm. 2), Pergamino (núm. 1) y La Plata (núm. 5), originarias de condiciones de alta fertilidad

(mayor cantidad de materia orgánica, nitrógeno, fósforo y pH más neutro) en sus localidades de origen (Cuadro 1), respondieron positivamente al tratamiento con urea, aumentando su biomasa en relación con la condición de suelo-testigo.

- Las poblaciones respondieron, además, en forma diferente ante distintas condiciones ambientales, lo que indica una norma de reacción distinta y una interacción población ambiente marcada. Por ejemplo, la población de Junín (núm. 2) sufrió más las condiciones de sequedad que la de Rufino (núm. 3), al mismo tiempo que respondió mejor a las condiciones de fertilización que ésta última, proveniente de condiciones más secas (suelo de textura más gruesa y menores precipitaciones) y menos fértiles que aquella (Cuadro 1).

Estos resultados permiten inferir que las poblaciones presentes en cada localidad poseen una norma de reacción diferente unas de otras (al menos en cuanto a su productividad o tasa de crecimiento y a la asignación de biomasa), que puede relacionarse con las condiciones reinantes en sus respectivas localidades. Estos resultados coinciden con los hallados por otros autores que han trabajado con *C. dactylon*. Rochecouste (16, 17) realizó experiencias con "biotipos" de *Cynodon* caracterizados por una peculiar distribución de pelos en la lámina y vaina foliar, encontrando diferencias en el crecimiento, la fenología y la arquitectura. Las poblaciones mostraban además diferencias en el número de cromosomas (2:2n y 2:4n). Maroder *et al.* (11) reportan resultados similares para tres biotipos (con un número de cromosomas diferente) de *C. affinis*. Ramakrishnan y Singh (13, 14) trabajaron con "ecotipos edáficos", provenientes de

poblaciones ubicadas en ambientes que presentan valores extremos de Ca en el suelo, encontrando que la productividad y la respuesta a la competencia interespecifica de los mismos eran afectadas por las condiciones experimentales en relación con las condiciones edáficas de sus localidades de origen.

En este caso, también, existe variación en el contenido de nitrógeno, materia orgánica, sales y fósforo entre las localidades de origen de las poblaciones (Cuadro 1). Si bien se ha encontrado correlación biomasa:ambiente, y las diferencias en la respuesta de las poblaciones con las condiciones probadas (climáticas o edáficas) parecieran corresponder a las características de sus localidades de origen, cualquier interpretación del valor adaptativo de dichas características podría tener algún grado de especulación (7, 8). Una forma de comprobar si estas diferencias en la productividad y arquitectura son una respuesta adaptativa (producto de la selección natural) es a través de un experimento de trasplante recíproco a campo (2, 15). Idealmente debería evaluarse la respuesta a lo largo de varios ciclos de crecimiento. Esto resulta técnicamente muy difícil en especies con propagación vegetativa como el gramón, ya que podría producir resultados dudosos (15).

A pesar de existir un gradiente climático de mayor a menor "oceanidad" desde el NE al SE (4), el patrón de distribución espacial de los ambientes en el área pampeana está muy influenciado por el uso de la tierra (agricultura, ganadería, otros). Esto no permite visualizar tendencias claras de variación en la morfología, arquitectura y productividad (18). La habilidad del gramón para responder plásticamente a las condiciones ambientales, impide, en parte, la observación de discontinuidades en la respuesta de cada población. No parece que existan ecótipos de gramón en el área pampeana, ya que las poblaciones muestran, aparentemente, un continuo de situaciones intermedias (18).

En este contexto, es interesante destacar el trabajo de Wu y Antonovics (25) en cuanto a la respuesta de las plantas a la presencia de metales pesados en el suelo. A tal fin se compararon dos especies (*C. dactylon* y *Plantago lanceolata*) presentes en la misma localidad caracterizada por presentar un gradiente de condiciones de un bajo a un alto contenido de Cu en el suelo. Wu y Antonovics (25) hallaron que genótipos de *P. lanceolata*, provenientes de zonas de alta y baja contaminación con metales pesados, respondían diferencialmente a la presencia de ellos en condiciones experimentales: los genótipos provenientes de las áreas más contaminadas presentaban mayor resistencia a una alta concentración de metales pesados (Cu) en el medio

de cultivo. Sin embargo, no sucedía lo mismo con los genótipos de *C. dactylon* de una y otra zona, ya que ambos crecían normalmente en las condiciones de alto contenido de Cu en el suelo. Es decir, a pesar de que las condiciones edáficas eran lo suficientemente diferentes como para producir diferenciación en el caso de *P. lanceolata*, los genótipos de *C. dactylon* podían sobrevivir y crecer normalmente en ambos gracias a su comportamiento más plástico.

- Los caracteres que más variaron entre poblaciones mostraron altos valores de hereditabilidad *sensu lato*. Este valor mide la contribución de los factores genéticos al valor de un carácter en la población, en relación con el resto de los factores o causas de variación (5, 10). Debe quedar claro que la h^2 es una propiedad no sólo del carácter en sí, sino también de la población y de las circunstancias ambientales a que están sujetos los individuos, pues h^2 depende de las magnitudes relativas de unas y otras causas de variación. La magnitud de la variancia ambiental dependerá, por ejemplo, de las condiciones experimentales; condiciones más variables la aumentan y condiciones experimentales más uniformes la disminuyen (5, 10). Valores típicos de h^2 para distintos caracteres en animales domésticos indican que aquellos caracteres seleccionados (artificialmente) por los productores, presentan bajos valores de h^2 (cerca de cero), mientras que las características que nada tienen que ver con la supervivencia o reproducción muestran valores de h^2 cercanos a 1 (5:167). Puede interpretarse, en consecuencia, que la h indica la cantidad de variación genética disponible para la selección natural: a mayor h de un carácter, mayor es su potencialidad para cambiar por efecto o en respuesta a la selección natural (2, 5, 23).

En este sentido, llama la atención que variables relacionadas estrechamente con la productividad (como la biomasa total acumulada y su patrón de asignación) exhiban valores tan altos de h^2 . Indica que la reserva de variabilidad genética para estos caracteres es grande a nivel poblacional y que, por lo tanto, el gramón en el área pampeana tiene aún una gran capacidad de respuesta a la selección. Los valores de h^2 *sensu lato*, obtenidos en este trabajo, confunden en realidad los efectos aditivos (V_a), de dominancia (V_d) y epistáticos (V_i) (3, 5), que determinan la variancia genética total ($V_g = V_a + V_d + V_i$). El cálculo de h^2 *sensu stricto* se basa en el cociente V_a/V_f . Si los efectos de dominancia (V_d) y, además, o en su defecto, epistáticos (V_i) son importantes, los valores de h^2 obtenidos en este trabajo pueden estar sobrevaluando el efecto aditivo y, en consecuencia, la potencialidad para responder a la selección natural puede que sea mucho menor que la indicada.

LITERATURA CITADA

1. BAKER, H.G. 1965. Characteristics and modes of origin of weeds. In The genetics of colonizing species. H.G. Baker, G.L. Stebbins (Eds.). New York. Academic Press. p. 147-168.
2. BRADSHAW, A.D. 1984a. The importance of evolutionary ideas in ecology and vice versa. In Symposium of the British Ecological Society: Evolutionary Ecology (23) B. Sharrocks (Ed.) Oxford, Blackwell. p. 1-25
3. BRADSHAW, A.D. 1984b. Ecological significance of genetic variation between populations. In Perspectives on plant population ecology. R. Dirzo, J. Sarukhán (Eds.). Massachusetts, Sinauer Ass. p. 213-228.
4. BURGOS, J.J. 1968. El clima de la provincia de Buenos Aires en relación con la vegetación natural y el suelo. In Flora de la Provincia de Buenos Aires. A.L. Cabrera (Ed.). Buenos Aires. Colección Científica INTA. Tomo 4, pt. 1a., p. 33-39.
5. FALCONER, D.S. 1960. Introduction to quantitative genetics. New York, The Ronald Press.
6. GOULD, S.J.; LEWONTIN, R.C. 1979. The spondyls of San Marco and the Panglossian paradigm: A critique of the adaptationist programme. Proceedings of the Royal Society of London. Series B: Biological Sciences 205:581-598.
7. GRIME, J.P. 1979. Plan strategies and vegetation processes. New York, John Wiley. 222 p.
8. HARPER, J.L. 1982. After description. In The plant community and a working mechanism. E.I. Newman (Ed.). Blackwell, Oxford, British Ecological Society. Special Publication No. 1.
9. HESLOP-HARRISON, J. 1964. Forty years of geneecology. In Advances in ecological research. J.B. Cragg (Ed.). New York, Academic Press. v. 2 p. 159-247.
10. MARIOTTI, J.A. 1986. Fundamentos de genética biométrica: Aplicaciones al mejoramiento genético vegetal. Monografías de la OEA. Serie Biológica no. 32.
11. MARODER, H.L.; PETETIN, C.A.; PREGO, I.A.; CAIROLI, M.A. & SUAREZ, E. 1985. Características de biotipos de *Cynodon affinis*: Diferencias en el comportamiento de herbicidas. In Reunión Nacional de Fisiología Vegetal (16, La Plata, Arg.). Resúmenes no. 20.
12. PIMENTEL GOMES, F. 1978. Estadística experimental. Buenos Aires, Hemisferio Sur.
13. RAMAKRISHNAN, P.S.; SING, V.K. 1966. Differential response of the edaphic ecotypes in *Cynodon dactylon* (L.) Pers. to soil calcium. New Phytologist 65:100-108.
14. RAMAKRISHNAN, P.S.; GUPTA, U. 1972. Ecotypic differences in *Cynodon dactylon* (L.) Pers. related to weed-crop interference. Journal of Applied Ecology 9:333-339.
15. RAPSON, G.L.; WILSON, J.B. 1988. Non-adaptation in *Agrostis capillaris* L. (Poaceae). Functional Ecology 2:479-490.
16. ROCHECOUSTE, E. 1962a. Studies on the biotypes of *Cynodon dactylon* (L.) Pers. I. Botanical investigation. Weed Research 2:1-23.
17. ROCHECOUSTE, E. 1962b. Studies on the biotypes of *Cynodon dactylon* (L.) Pers. II. Growth response to trichloroacetic and 2-2-dichloropropionic acid. Weed Research 2:136-145.
18. SARANDON, R. 1988. Biología poblacional del gramón. I. Variabilidad morfológica y ambiente. Revista de la Facultad de Agronomía de la Plata 64. (En prensa).
19. SARANDON, R. 1989. Biología poblacional del gramón. II. Biomasa: Asignación de recursos y ambiente. Revista de la Facultad de Agronomía de La Plata. Tomo 65 (En prensa).
20. SCHLICHTING, C.D. 1986. The evolution of phenotypic plasticity in plants. Annual Review of Ecology and Systematic 17:667-693.
21. SCHULZE, E.D.; CHAPIN, F.S. 1987. Plant specialization to environments of different resource availability. In E.D. Schulze, H. Zwolfer (Eds.). Ecological Studies 61:120-148.
22. SOKAL, R.R.; ROHLF, F.J. 1969. Biometría. Madrid, Blume.
23. SOLBRIG, O.I.; SOLBRIG, D.J. 1979. Introduction to population biology and evolution. Massachusetts. Addison-Wesley.
24. TOWNSEND, C.R.; CALOW, P. 1981. Physiological ecology: An evolutionary approach to resource uses. Massachusetts, Sinauer Ass.
25. WU, I.; ANTONOVICS, J. 1976. Experimental genetics in *Plantago lanceolata* and *Cynodon dactylon* from a roadside. Ecology 57:205-208.

Evaluación de Cacao Híbrido Bajo Dos Sistemas de Sombra en Turrialba, Costa Rica¹

I. Morera*, A. Mora*

ABSTRACT

Two shade systems for higher yield in cocoa hybrids were compared: poro (*Erythrina poeppigiana*) and laurel (*Cordia alliodora*). After eleven years of data for cocoa yield had been completed with each shade system, three cocoa hybrids were evaluated for some traits. No significant differences between the treatments were noted for the eleven-year average. Although there were no significant differences between the shade systems; the poro system resulted in slightly improved yields of cocoa compared with the laurel system, which was inferior in yield by 10.7 kg/ha. These results and others previously reported for both systems suggest that the poro system is apparently more effective for improving cocoa yield and other traits.

COMPENDIO

Con el propósito de medir el rendimiento y otras características de híbridos de cacao, se compararon dos sistemas de sombra: poró (*Erythrina poeppigiana*) y laurel (*Cordia alliodora*). Después de 11 años de tomar datos en cada sistema de sombra, fueron evaluadas algunas características de tres híbridos de cacao. No hubo diferencias significativas entre los tratamientos para el promedio de 11 años. Sin embargo, aunque no existió diferencias significativas entre los sistemas de sombra, en poró hubo un ligero incremento de 10.7 kg/ha en rendimiento de cacao comparado con el sistema de laurel. Estos resultados, y otros reportados, para ambos sistemas sugieren que el sistema de poró es un poco más efectivo para incrementar el rendimiento y otras características del cacao.

INTRODUCCION

En Centroamérica y el Caribe, los agricultores tradicionalmente han manejado el cultivo de cacao en forma muy variada, utilizando diversos modelos y/o sistemas ecológicos de gran sostenibilidad.

El hábitat natural del cacao corresponde a las zonas en que predominan los bosques tropicales bajos. En estas condiciones vive en asociación biológica con otras especies como palmeras, árboles y arbustos pequeños; por esta razón se dice que el cultivo de cacao es umbrófilo, por lo que se establece tradicionalmente bajo sombra (3, 9).

El cultivo de cacao sin sombra puede presentar varios problemas. Dependiendo de la fertilidad natural del suelo, la creciente extracción de nutrimentos conduce con el tiempo a una disminución de la producción y a la senescencia temprana de los árboles (2). Se menciona que la eliminación completa de la sombra en cacaotales en producción produce un rápido incremento del rendimiento, pero pronto se deteriora la plantación con la muerte regresiva por enfermedades, ataque de insectos y, finalmente, la muerte de los árboles (12).

Una sola especie arborea rara vez reúne todas las características deseables que debería tener el árbol ideal de sombra del cacao. Sin embargo, se debe tratar de seleccionar aquella(s) especie(s) con mejores cualidades (7, 8, 10).

La utilización de algunas especies para sombra varía ampliamente dentro de regiones y entre países (9). Por ejemplo, Vinha y Mattos (11) describen 131 especies de árboles nativos recomendados como sombra permanente para cacao, en el estado de Bahía y norte del estado de Espíritu Santo en Brasil.

Entre las especies recomendadas como sombra permanente se mencionan frutales (cítricos; anonáceas,

¹ Recibido para publicación el 24 de agosto de 1990
Los autores agradecen la colaboración de Eddie Salazar en la recolección de datos

* Programa de Mejoramiento de Cultivos Tropicales, Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE), Turrialba, C.R.

Anacardium occidentale, *Calocarpum mammosum* y otros; leguminosas, principalmente de los géneros *Gliricidia*, *Inga* y *Erythrina*; árboles maderables como *Cedrela toona* (cedro rojo) y *Cordia alliodora* (laurel); palmáceas y otras especies, como *Cocos nucifera* y *Hevea brasiliensis* (5, 7, 8).

Las leguminosas presentan la ventaja de incorporar nitrógeno al suelo, y algunas producen madera para leña (5, 11).

Se menciona que la especie *E. poeppigiana* incorpora alrededor de 224 kg/ha de sulfato de amonio por año, y se reproduce fácilmente por medio de estacas y semillas (9).

En el caso de *C. alliodora* (laurel), se considera especie prometedora como árbol de sombra por su rápido crecimiento, fuste recto y sistema radical aparentemente profundo; la copa, que ocupa poco espacio, presenta una alta producción de hojas y se autopoda. Además, su madera tiene mucha demanda para la construcción de pisos, cielo rasos, puertas, ventanas y gabinetes (9).

Alpizar *et al.* (1) estudiaron en el CATIE, Costa Rica, dos sistemas agroforestales: cacao bajo laurel (*C. alliodora*) y cacao bajo poró (*E. poeppigiana*). No se presentaron diferencias en el cacao con respecto a la acumulación de nitrógeno, fósforo y calcio, pero el potasio y el magnesio fueron superiores bajo sombra de laurel. La biomasa total fue más alta en el sistema con *C. alliodora* y, prácticamente, no hubo diferencia en la producción de biomasa aérea de cacao bajo los dos sistemas de sombra.

Heuvelodop *et al.* (6) compararon los sistemas anteriores y encontraron que la producción de almendras de cacao y cáscara fue ligeramente superior bajo sombra de *Erythrina*. La producción natural de residuos vegetales bajo *E. poeppigiana* fue de 8.91 t · ha⁻¹ · a⁻¹ más que bajo *C. alliodora* (7.07 t · ha⁻¹ · a⁻¹). Fassbender *et al.* (4) estudiaron modelos de los ciclos de materia orgánica y nutrimentos (N, P, K, Ca, Mg) para estos sistemas agroforestales.

Los objetivos del presente trabajo fueron: comparar dos sistemas de sombra para el cultivo de cacao y evaluar la respuesta en rendimiento y de algunos factores inherentes al cultivo.

MATERIALES Y METODOS

El experimento fue sembrado en 1977 en el CATIE en Turrialba, Costa Rica, a una altura de 602 msnm, 83° 38' de longitud Oeste y 9° 53' de latitud Norte. La

temperatura promedio anual es de 21.5°C con una máxima en promedio de 26.5°C, y una precipitación promedio anual de 2630 mm con una humedad relativa de 87 por ciento.

Los tratamientos por comparar incluyen sombra de poró (*E. poeppigiana*) y laurel (*C. alliodora*) y el híbrido de cacao.

La siembra de los dos sistemas de sombra se hizo a 6 m x 6 m entre plantas y se analizó como un diseño irrestricto al azar con dos repeticiones. El cacao se sembró a 3 m x 3 metros. La unidad experimental ("Catongo" x "Pound 12") estuvo formada por 32 plantas de cacao de un total de 72 por parcela.

Se discuten los datos para el cultivo de cacao que comprendió tres híbridos: UF 29 x IMC 67, EET 400 y SCA 12 y Catongo x Pound 12. Los dos primeros cruces fueron sembrados como borde de la parcela neta y como donadores de polen; sin embargo, también, se incluyen con el objeto de compararlos, debido a que se conoce su identificación bajo los sistemas de sombra.

El manejo de las parcelas en los dos sistemas de sombra ha sido uniforme. El poró se poda dos veces al año: La primera, cerca del 100%, en mayo (al inicio de las lluvias) y la segunda, cerca del 50%, en noviembre.

El suelo es de textura franca y de buena profundidad; el pH osciló entre 5 y 6.

Al momento de la siembra se aplicaron 100 g por planta de la fórmula 10-30-10, o el equivalente de 111.1 kg por hectárea. Posteriormente se usó una fertilización de 666.6 kg/ha de la fórmula 18-10-6-5, a razón de 600 g por planta, en cuatro aplicaciones por año. A partir del cuarto año, la fertilización se repartió desigualmente en cuanto al número de aplicaciones y el tipo de fórmula disponible en el mercado.

Para el control de malezas se aplicó glifosato al momento de la siembra, y luego se dio mantenimiento a la plantación experimental mediante "chapias" manuales.

A los diez meses de haberse sembrado el cacao, se inició la poda de formación, la cual se prolongó durante un año hasta que se logró la arquitectura adecuada de las plantas de cacao.

Cuando aparecieron las primeras mazorcas, se inició el registro quincenal de producción hasta completar once años de cosechas continuas. Con excepción de 1981, por espacio de seis meses, fue suspendida la toma de datos y tan sólo se contó el número de mazorcas por árbol, de los cuales se estimó la producción para ese período.

Las variables evaluadas en este estudio incluyen el rendimiento promedio de cacao seco en kilogramos por hectárea, el número de mazorcas promedio por árbol, el número de mazorca con Cherville Wilt y el número de chupones por árbol. También se calculó el índice de mazorca para cada híbrido y año en particular. Una vez analizada la información, se determinó la diferencia entre medias mediante la prueba de Duncan.

RESULTADOS Y DISCUSION

El análisis para el promedio de los once años no presentó diferencias entre los tratamientos de sombra evaluados (Cuadro 1); sin embargo, el análisis estadístico para cada año indicó que existen diferencias significativas entre tratamientos para algunos años.

No se estudiaron los datos de monoliasis y mazorca negra debido a que prácticamente hubo ausencia de enfermedades en el experimento. Este se encuentra localizado en un área relativamente aislada de plantaciones de cacao, por lo que no existen fuentes de inóculo cercanas que infecten el ensayo.

La producción y el registro de datos se inició en 1979, o sea a los dos años de la siembra. Durante este año el rendimiento para el híbrido Catongo x Pound 12 fue bajo, ya que con laurel se obtuvieron 97 kg/ha de cacao seco y 71.2 kg/ha con poró (Fig. 1). La producción aumentó en 1980 hasta 421.3 kg/ha con sombra de laurel y 477.4 kg/ha con el sistema de poró.

Durante 1985 el rendimiento fue de 469.4 kg/ha y 422.2 kg/ha para laurel y poró respectivamente, promedio que corresponde únicamente al primer semestre del año, ya que el resto de los datos por falta de mano de obra durante el segundo semestre fue descontinuado. Se supone que, para este año, la producción estaría entre 700 kg/ha y 900 kg/ha, de acuerdo con la observación del resto de años.

Cuadro 1. Promedios por año y coeficiente de variación (C.V.) de las variables analizadas para el híbrido Catongo x Pound 12 bajo dos sistemas de sombra (Turrialba, C.R.).

Tratamiento (sombra)	Peso seco (kg/ha)	Mazorca/árbol		Chupones/árbol
		Sanas	Cherville Wilt	
Laurel	742.1a	16.71a	5.61a	14.29a
Poró	758.8a	16.61a	6.66a	11.29a
C.V. (%)	13.8	13.2	36.8	22.2

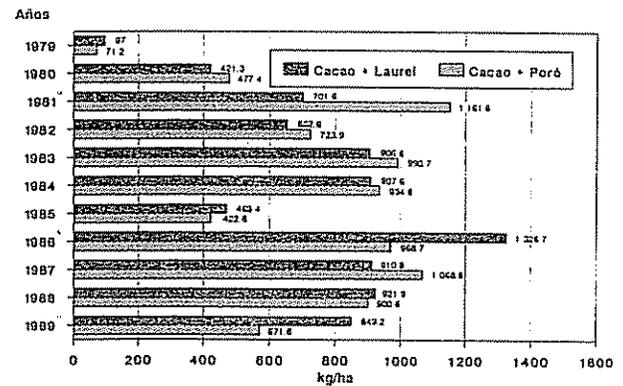


Fig. 1. Cantidad de cacao seco (kg/ha) del híbrido Catongo x Pound-12 evaluado según dos sistemas de sombra (Turrialba, C.R., 1979-1989).

Nota: * = diferencia estadística al 5 por ciento.

En 1989, los rendimientos del híbrido Catongo x Pound 12 disminuyeron en ambos sistemas, sobre todo con sombra de poró, donde se obtuvieron 571.5 kg/ha de cacao seco. Esto posiblemente se debe a una baja fertilización durante los dos últimos años y a un mal manejo de la sombra del poró. De 1986 a 1988 los rendimientos se mantuvieron arriba de 900 kg/ha de cacao seco.

Aunque el promedio anual no mostró significado para el peso seco por hectárea, en 1981, 1986 y 1989 si se presentaron diferencias estadísticas significativas entre las sombras. En 1981, la producción fue mayor con la sombra de poró, pero en 1986 y 1989 fue superior con la de laurel (Fig. 1). Posiblemente un manejo irregular de la sombra del poró, las diferencias climáticas y la fertilización inadecuada incrementaron la producción bajo sombra de laurel en el último año.

En seis de los once años los rendimientos bajo sombra de poró fueron ligeramente superiores que bajo laurel, lo que se refleja en el promedio por año, donde

la diferencia es de 10.7 kg/ha más alto con poró. Existe la posibilidad de que esta diferencia haya sido mayor debido a que, en algunos años, no se manejó apropiadamente la sombra de los árboles de poró, por lo que hubo un exceso de sombra.

Los híbridos UF 29 x IMC 67 y EET 400 x SCA 12 presentaron una mayor producción que "Catongo" x "Pound 12", debido a que la mayoría de los árboles son de bordes y no tenían competencia completa. El comportamiento de estos híbridos a través de los años es similar a "Catongo" x "Pound 12", y el promedio de cacao seco de once años también fue ligeramente superior en el sistema con poró, con una diferencia de 141.5 kg por hectárea.

El promedio de mazorcas sanas por año fue prácticamente igual en ambos sistemas de sombra; sin embargo, existió significancia estadística en 1989, año en que se obtuvieron 6.6 mazorcas más con sombra de laurel (Fig. 2).

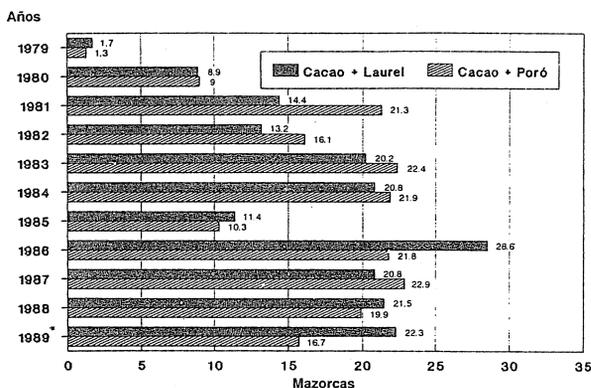


Fig. 2. Número promedio de mazorcas sanas por árbol de cacao bajo dos sistemas de sombra (Turrialba, C.R., 1979-1989).

Nota: * = Diferencia estadística significativa al 5 por ciento.

El número promedio de mazorcas sanas fue superior para la combinación o suma de los híbridos UF 29 x IMC 67 y EET 400 x SCA 12 con respecto a "Catongo" x "Pound 12", lo cual repercute de la misma manera en la producción en peso seco. Esto es de esperar pues varios investigadores (3, 12) han mencionado una correlación positiva entre estas variables. La variación en el número de mazorcas sanas a través de los once años es similar a la variación presentada por la variable "cacao seco".

La variable "mazorcas afectadas con Cherelle Wilt" únicamente mostró diferencia estadística significativa en 1987. El mayor número de mazorcas se observó en el sistema con sombra de poró; sin embargo, los valores

son relativamente bajos en ambos sistemas en relación con otros años (Fig. 3).

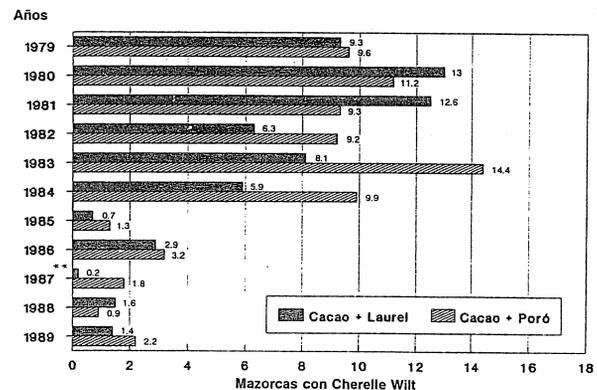


Fig. 3. Número de mazorcas por árbol de cacao con Cherelle Wilt en dos sistemas de sombra (Turrialba, C.R. 1979-1989).

Nota: ** = Diferencia estadística al 1 por ciento.

La variable "Cherelle Wilt" muestra más diferencia entre años en comparación con las características anteriores: en el sistema cacao ("Catongo" x "Pound 12") con laurel varió de 13 mazorcas afectadas por árbol en 1980 hasta 0.2 mazorcas en 1987. Los valores más altos se observan en el sistema de cacao con poró, lo cual se manifiesta en los promedios, especialmente con los híbridos UF 29 x IMC 67 y EET 400 x SCA 12, donde la diferencia en promedio en relación con el sistema con laurel es de 3.5 mazorcas (Fig. 3). Estas variaciones se pueden explicar con base en la condición fisiológica de los árboles de cacao, la cual está muy influenciada por las condiciones ambientales. Diferencias climáticas y una fertilización desuniforme de un año a otro, posiblemente, ocasionaron las variaciones observadas.

En los primeros cinco años de producción los valores de mazorcas con Cherelle Wilt son altos y más bajos en los años siguientes. Esto se debe a que los árboles en los primeros años no han alcanzado su desarrollo completo, por lo que presentan una adecuada condición fisiológica para soportar un alto número de mazorcas hasta su madurez; en consecuencia abortan por marchitamiento prematuro.

En relación con el número de chupones se presentó un promedio más alto con la sombra de laurel y con diferencias significativas en 1984 y 1985 (Fig. 4).

El tipo de sombra de los árboles de poró y el exceso de sombra por mal manejo en algunos años, probablemente disminuyó la cantidad de luz y, por lo tanto,

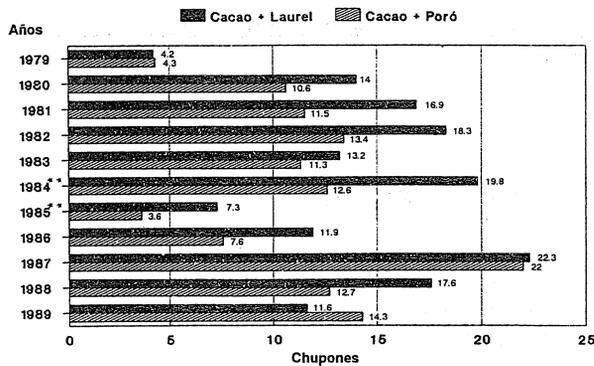


Fig. 4. Número de chupones por árbol de cacao en dos sistemas de sombra (Turrialba, C.R. 1979-1989).

Nota: * = diferencia estadística significativa al uno por ciento.

el estímulo a la producción de chupones fue menor en el sistema con poró. El efecto de la luz se confirma cuando se comparan híbridos: la combinación de los híbridos UF 29 x IMC 67 y EET 400 x SCA 12 superó en 15 chupones al híbrido Catongo x Pound 12 bajo sombra de laurel y en 21.3 chupones bajo poró. Esta situación puede deberse a diferencias genéticas entre los materiales evaluados, pero es importante considerar que los híbridos de borde estuvieron más estimulados a la producción de chupones por recibir mayor luminosidad que el híbrido Catongo x Pound 12, el cual tenía competencia completa por luz y otros factores.

El índice de mazorca no se analizó estadísticamente; no obstante, se observa muy poca diferencia entre sistemas para un mismo año y el promedio por año es similar en ambos sistemas, especialmente para "Catongo" x "Pound 12" (Fig. 5).

El sistema de cacao con laurel presentó el índice de mazorca más bajo de 18.4, en 1979, y el más alto de

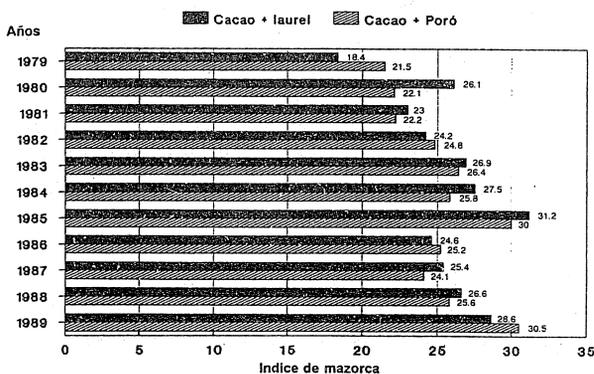


Fig. 5. Índice de mazorca por año del híbrido Catongo x Pound 12, evaluado bajo dos sistemas de sombra (Turrialba, C.R. 1979-1989).

31.2, en 1985. Lo anterior significa que, para ese último año, se necesitan 12.8 mazorcas más para obtener un kilogramo de cacao seco. Desde el punto de vista de selección los valores bajos en el índice de mazorca son los adecuados.

Se observa variación de un año a otro en el índice de mazorca, lo que parece indicar cierta influencia ambiental y nutricional sobre el tamaño de la mazorca y otros factores relacionados con el índice. Esta variación también se puede originar por la segregación observada entre árboles dentro de un mismo híbrido. Sería conveniente evaluar este sistema con genótipos de cacao propagados vegetativamente, a fin de lograr mayor uniformidad en la población y, así, poder obtener mayor información sobre el comportamiento de cacao bajo sombra de laurel y poró.

LITERATURA CITADA

- ALPIZAR, L.; FASSBENDER, H. W.; HEUVELDOP, J.; FOLSTER, H.; ENRQUEZ, G. 1986. Modelling agroforestry systems of cacao (*Theobroma cacao*) with *Cordia alliodora* and *Erythrina poeppigiana* in Costa Rica. I. Inventory of organic matter and nutrients. *Agroforestry Systems* 4:175-189.
- DOMINGUEZ, M.A. 1985. Efectos de grados de luminosidad y fertilizantes en la producción de cacao (*Theobroma cacao* L.) en cuatro años acumulados. In Conferencia Internacional de Investigación en Cacao (9., 1984, Lomé, Togo). Actas. Lagos, Nigeria, Cocoa Producers Alliance. p. 177-182.
- ENRIQUEZ, G.A. 1985. Curso sobre el cultivo del cacao. Turrialba, C.R., Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza. 240 p.
- FASSBENDER, H. W.; ALPIZAR, L.; HEUVELDOP, J.; FOLSTER, H.; ENRIQUEZ, G. 1988. Modelling agroforestry systems of cacao (*Theobroma cacao*) with laurel (*Cordia alliodora*) and poro (*Erythrina poeppigiana*) in Costa Rica. III. Cycles of organic matter and nutrients. *Agroforestry Systems* 6:49-62.
- GUTIERREZ, Z.G.; SOTO, B. 1976. Árboles usados como sombra en café y cacao. *Revista Cafetalera* (Gua.) 159:27-32.
- HEUVELDOP, J.; FASSBENDER, H.W.; ALPIZAR, L.; ENRIQUEZ, G; FOLSTER, H. 1988. Modelling agroforestry systems of cacao (*Theobroma cacao*) with laurel (*Cordia alliodora*) and poro (*Erythrina poeppigiana*) in Costa Rica. II. Cacao and wood production, litter production and decomposition. *Agroforestry Systems* 6:37-48.
- JIMENEZ V., G. 1980. El sombreado del cacao. Turrialba, C.R., CATIE. 26 p.
- MANUAL DE CULTIVO DE CACAO. 1987. Carmen Suárez C. (Ed.). Quevedo, Ec., Estación Experimental Tropical "Pichilingüe". 109 p.

9. MARTINEZ, A.; ENRIQUEZ, G. 1984. La sombra para el cacao: Revisión de literatura y bibliografía anotada. Turrialba. C.R., CATIE. 64 p.
10. SANTOS, O M.; VIERIA P., D.E. 1982. Sombreamiento definitivo do cacauceiro. Bahia, Bra.. Centro de Pesquisas do Cacau, CEPLAC. 136 p.
11. VINHA, S G.; MATTOS S., L.A. 1982. Arvores aproveitadas como sombreadoras de cacauceiros no sul da Bahia e norte do Espirito Santo. Bahia, Bra.. Centro de Pesquisas do Cacau, CEPLAC. 136 p.
12. WOOD, G A R.; LASS, R A. 1985. Cocoa. 4 ed. London. Longman. 620 p (Tropical Agriculture Series)

RESEÑA DE LIBROS

BOLLAG, J.M.; STOTZKY, Y G. (EDS.). 1990. Soil biochemistry. New York, Dekker, v. 6. 565 p.

Este volumen da continuidad, después de casi diez años, a una serie muy valiosa. A cargo de veinte especialistas europeos y estadounidenses se discuten once tópicos de gran actualidad en el campo de la biología del suelo. Ellos están dedicados a problemas actuales y de documentación, esta última difícil de obtener. Todos los capítulos tienen amplias biblio-grafías que permiten al lector interesado profundizar los tópicos discutidos.

El primer capítulo estudia las interacciones de enzimas con arcillas y de complejos de arcillas con materia orgánica. Se examinan las interacciones entre las enzimas y la gran variedad de ecosistemas en el suelo, tanto referente a mecanismos básicos, como su aplicación en sistemas normales y contaminados.

El papel que desempeñan los minerales en el suelo y que influyen sobre las transformaciones en las sustancias orgánicas naturales o artificiales, es el tópico del segundo capítulo. Este tema ha sido más estudiado en cuanto a los procesos de descomposición como de síntesis de las sustancias orgánicas, en función de las propiedades de los componentes inorgánicos.

El tercer capítulo se dedica al examen de las transformaciones microbianas anaeróbicas de compuestos orgánicos no-oxigenados aromáticos y alicíclicos en suelos, subsuelos y sedimentos de agua dulce. Estos procesos son importantes porque el grupo de sustancias, antes indicadas, incluyen muchos contaminantes potenciales especialmente entre los productos de petróleo y varios plaguicidas de uso común.

La producción microbiana de citocininas es el tema del cuarto capítulo, donde se examinan las considerables dificultades en el estudio de estos problemas. Se analizó también la importancia de estas hormonas en el crecimiento de plantas y microorganismos.

El quinto capítulo estudia las pseudomonas como enemigas de los patógenos vegetales en el suelo. Se dedica atención tanto al modo de acción de ellos como a su genética, ya experimentaciones recientes indican su considerable potencial para reducir enfermedades de muchos cultivos. Este capítulo es de gran interés para los microbiólogos de suelo y los fitopatólogos.

El sexto capítulo se dedica al examen de la importancia ecológica de la actividad biológica del suelo. Este enfoque importante y novedoso permite una introducción a este campo. La biografía recoge mucha información proveniente de Europa, y que no es de fácil acceso.

El significado de la estimación de la biomasa bacteriana en suelo es el tópico del séptimo capítulo. Se examinan las técnicas para estimar la biomasa y sus limitaciones. Se estudian los flujos de nutrimentos y de energía en estos sistemas.

El capítulo octavo estudia los lípidos en suelos. Se examinan el origen, la naturaleza, el contenido y la descomposición de estos compuestos y su efecto sobre las propiedades físicas del suelo. Este es uno de los capítulos más cortos, pero aun así ofrece una introducción a este campo poco analizado.

En el noveno capítulo se estudian las interacciones entre las comunidades microbianas del suelo y los compuestos organometálicos; así como los procesos que llevan a la formación y degradación de compuestos organometálicos y las respuestas de los microorganismos en el suelo ante la presencia de derivados organometálicos, y el manejo de estos derivados.

En el décimo capítulo se analiza el efecto de los microorganismos sobre la movilidad de sustancias radiactivas. Se examina aquí la adsorción y el movimiento de sustancias radiactivas libres y como partes de complejos orgánicos.

Los virus en el ambiente del suelo son el tópico del último y más breve capítulo. Se estudian su detección, adsorción, transporte y persistencia en suelos y, también, su comportamiento en aguas subterráneas.

El volumen es una obra de referencia de alto nivel para la actualización de los investigadores en los diferentes tópicos discutidos. Se resume una vasta y valiosa de información, y por ello este el volumen debe estar en las bibliotecas de ciencias agrícolas y ambientales.

EL EMER BORNEMISZA, PH D
UNIVERSIDAD DE COSTA RICA

Comparación de 56 Cruces Interclonales de Cacao en Pococí, Costa Rica¹

J. Morera*, A. Mora*

ABSTRACT

Fifty-six crosses of cacao (*Theobroma cacao* L.) were evaluated to obtain additional information on the effectiveness of hybrid selection for production. Dry weight, healthy pod number and pods affected by diseases were the main selection criteria. After one year of evaluation for yield with each of the 56 crosses, 16 hybrids were selected. Significant differences among hybrids and replications were noted. The 'EET 376' x 'Pound 7' were the highest yielding (estimated value 1451 kg/ha); followed by the 'CC 210' x 'PA 169' (estimated value 1423 kg/ha). The 'UF 29' x 'UF 613' (estimated value 470 kg/ha) produced the lowest yielding cross. These results and others previously reported for cocoa hybrid selection suggest that 'Pound 7' and some other clones are effective for improving general as well as specific combining ability, and that it is possible to include such clones in a cocoa breeding program. Selection by precocity is of great relevance in perennial crops because it enables faster recovery of invested capital by the farmer.

INTRODUCCION

En los últimos cuatro años se ha distribuido gran cantidad de semilla de cruces interclonales de cacao en zonas de Costa Rica, ecológicamente aptas para este cultivo. Sin embargo, pocos trabajos se han presentado recientemente sobre nuevos materiales mejorados.

1 Recibido para publicación el 22 de abril de 1992. Los autores agradecen el financiamiento otorgado por el Proyecto Red Regional de Generación y Transferencia de Tecnología en Cacao (PROCACAO), para la ejecución de este estudio; al Ing. Jorge H. Echeverri por brindar su finca para el establecimiento del ensayo; a los señores Juan Granados y Carlos Castillo por su ayuda en el mantenimiento y registro de datos; y a la Srta. Lilliam Tortós por el apoyo mecanográfico.

* Programa de Mejoramiento de Cultivos Tropicales, Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE), Turrialba, C.R.

COMPENDIO

Se evaluaron 56 cruces interclonales de cacao (*Theobroma cacao* L.) de alto rendimiento con el objeto de obtener información adicional sobre la efectividad de su selección. Los principales criterios de selección en este ensayo fueron el peso seco y el número de mazorcas sanas y enfermas. Después nueve meses de evaluación del rendimiento y otras características, 16 de los 56 cruces alcanzaron más de 1000 kg de cacao seco por hectárea. Diferencias significativas entre cruces y repeticiones fueron anotadas durante el período de evaluación. El cruce 'EET 376' x 'Pound 7' alcanzó el rendimiento más alto, seguido del cruce 'CC 210' x 'PA 169'; el cruce 'UF 29' x 'UF 613' obtuvo el menor rendimiento de cacao. Estos resultados y otros, reportados en la literatura sobre selección de cruces interclonales de cacao, sugieren que los clones Pound 7, CC 210 y PA 169 son efectivos para mejorar la habilidad combinatoria, general y específica, y que es posible incluir tales clones en un programa de mejoramiento genético de cacao. En el caso anterior, lo más deseable sería seleccionar los árboles promisorios dentro de los mejores cruces para aislarlos como clones y promover nuevas posibilidades de cruzamiento. Se observó que la precocidad que muestran algunos cruces puede tener gran relevancia para el agricultor, ya que iniciar la cosecha en forma temprana significa comenzar a recuperar el capital invertido más rápidamente.

La evaluación de nuevos cruces interclonales en zonas aptas se justifica por la necesidad de los agricultores de nuevos materiales genéticos con mejor adaptación y comportamiento (resistencia a enfermedades) en las regiones de cultivo.

La gran aceptación de los cruces interclonales en varios países se debe a su precocidad y alta producción (1, 7).

La alta producción de cruces híbridos interclonales se relaciona con la presencia de un buen porcentaje de individuos de alta producción desde temprana edad; para lo cual existe una gran variabilidad en la plantación como resultado de que uno o ambos cultivares padres son bastantes heterocigotos para los factores genéticos que controlan la producción (1).

Esta variabilidad es muy importante para la selección de germoplasma de alta precocidad y producción, el cual podría utilizar el agricultor para mejorar la capacidad productiva y su rentabilidad.

En la región de Bahía, Brasil, se evaluaron varios cruces en diferentes experimentos. Se presentaron altos rendimientos, pero las diferencias halladas en el material local fueron pequeñas, hecho que confirma la hipótesis de que las poblaciones cacaoteras en el sur de Bahía presentan una variabilidad restringida debido a su estrecha base genética (4).

Los resultados de un estudio comparativo de seis cruces de cacao en la zona de Urabá, Colombia, indicaron que el cruce 'PA 46' x 'IMC 67' fue el mejor en cuanto a producción y tolerancia a enfermedades. El cruce de mejor producción, pero de menor tolerancia a *Moniliophthora roreri*, fue 'Pound 7' x 'ICS 6', mientras que los cruces con influencia de Scavina mostraron ser los de menor rendimiento (5).

Batista (1) evaluó seis cruces en República Dominicana durante dos años consecutivos. El cruce triple de más alta producción en peso seco promedio fue el 'SHB-3', ('IMC-67' x 'SCA-6') x 'SB' (Selección Barranca) con 1356 kg/ha, y el de más baja producción fue el 'SHB-4', ('TSA-644' x 'IMC 67') x 'SB' con 874 kg por hectárea. El testigo, una selección local, alcanzó un promedio de 143.1 kg por hectárea.

Esquivel y Soria (2) mostraron datos sobre varios cruces interclonales. Aseguran que la producción está relacionada principalmente con el número de mazorcas por árbol.

Varias pruebas realizadas en Ghana indican que los rendimientos de los cruces varían mucho de un sitio a otro y de un año a otro (3).

El objetivo de este experimento consistió en evaluar y comparar el comportamiento de 56 cruces interclonales en las condiciones de la zona atlántica de Costa Rica, y realizar una selección preliminar de los mejores genotipos con base en el rendimiento.

MATERIALES Y METODOS

La evaluación se llevó a cabo durante 1989 en un experimento de cacao de tres años en la finca Dulce localizada en la población de San Luis de Anita Grande, Cantón de Pococí, Limón. La zona está incluida dentro de la formación ecológica Bosque Tropical Muy Húmedo a 100 metros sobre el nivel del mar.

La estación meteorológica más cercana se encuentra localizada a tres kilómetros de la finca a una latitud de 10° 13' y longitud 83° 46'. Registros de la temperatura durante 20 años indican una media de 23.7°C en los meses de noviembre, diciembre, enero y febrero y de 25.3°C, para los meses de mayo, junio y setiembre.

Datos registrados durante 30 años muestran un promedio de precipitación anual de 4421.6 milímetros. El promedio anual de brillo solar es de aproximadamente 1500 horas de luz y la humedad relativa alcanza al 89 por ciento.

El ensayo se sembró bajo un diseño de bloques al azar con 56 tratamientos y 40 repeticiones, y una planta por repetición sembrada a 3 m x 2 metros. La sombra temporal estuvo constituida por plátano sembrado a 8 m x 8 m; como sombra permanente se usó poró (*Erythrina poeppigiana*) a 12 m x 12 metros.

El factor de conversión utilizado de cacao húmedo a cacao seco fue de 0.40, y para el cálculo de rendimiento por hectárea se usó el número 1666; es decir el número de plantas por hectárea a una distancia de 3 m x 2 metros.

La evaluación de este material se realizó con base en los siguientes parámetros: número de mazorcas, peso seco por hectárea, índice de mazorca y número de mazorcas enfermas.

Las labores realizadas en el ensayo han sido las recomendadas para una plantación comercial de cacao, con excepción de la aplicación del fungicida benomil, empleado con mucha frecuencia para el control de la antracnosis.

RESULTADOS Y DISCUSION

El análisis de variancia para el número de mazorcas sanas y el peso seco indicó que existen diferencias altamente significativas entre los cruces y las repeticiones. No se realizó análisis para el número de mazorcas con monilia o mazorca negra, debido a que la incidencia de estas enfermedades fue muy baja durante el estudio.

El mayor peso seco en promedio en todas las repeticiones fue del cruce 'EET 376' x 'Pound 7' con 1451.0 kg/ha de cacao seco, mostrando diferencia altamente significativa en relación con 38 cruces de los estudiados. El rendimiento promedio más bajo fue el híbrido UF 29 x UF 613 con 470 kg/ha (Fig. 1).

Es probable que los cruzamientos (Fig. 1) con el clon Pound 7 resulten en descendencias de mejores rendimientos, debido a que cuatro de los ocho cruces, utilizando este padre, se encuentran entre los primeros diez lugares, y el más bajo ocupó la posición trigésima ('UF 654' x 'Pound 7'). También se presentaron cuatro cruces con 'UF 613', pero éstos dieron producciones muy bajas, incluyendo los últimos dos lugares ('UF 613' x 'UF 713' y 'UF 29' x 'UF 613').

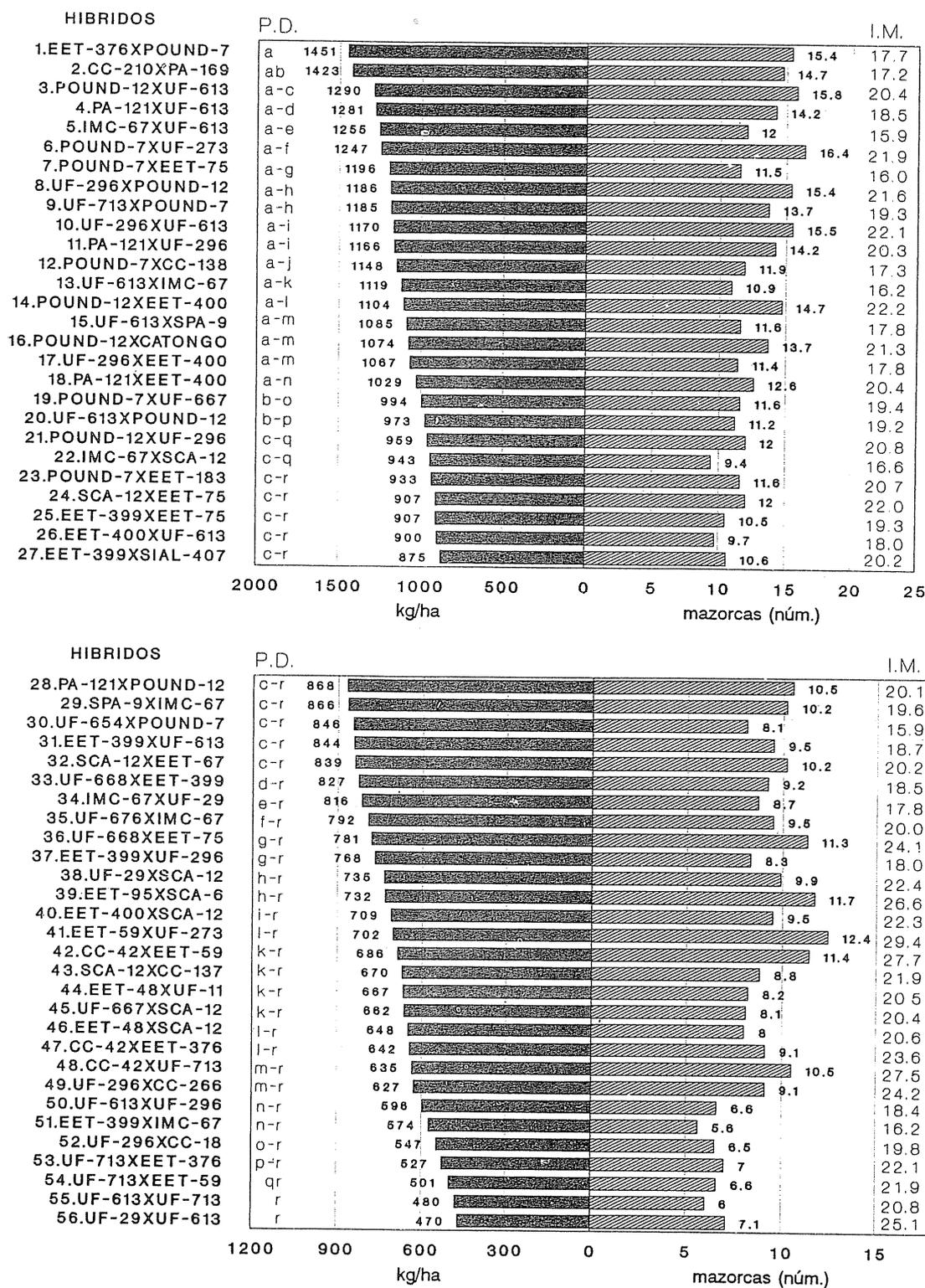


Fig. 1. Comparación de las variables peso seco por hectárea y número de mazorcas por árbol en 56 híbridos de cacao, evaluados en la zona de Pococí, Limón, C.R. (1992).

Nota: P.D. = Prueba de Duncan (P = 0.05)
I.M. = Índice de mazorca.

El más alto promedio de mazorcas por árbol correspondió al cruce 'Pound 7' x 'UF 273', seguido de 'Pound 12' x 'UF 613'. La última posición fue para 'EET 399' x 'IMC 67' con un promedio de 5.6 mazorcas, una diferencia de 10.8 mazorcas en relación con el primer lugar.

Los cruces 'IMC 67' x 'UF 613', 'Pound 7' x 'EET 75' y 'UF 654' x 'Pound 7' ocuparon posiciones intermedias respecto al número de mazorcas, a pesar de estar entre los primeros en cuanto a la producción de peso seco. Esto se explica por los bajos índices de mazorca que presentaron. El valor más alto de 29 mazorcas correspondió al híbrido EET 59 x UF 273.

Se puede observar, en los resultados de la Fig. 1, que los mayores pesos secos correspondieron a los cruces con mayor número de mazorcas, lo mismo que para los valores inferiores. Esto concuerda con varios investigadores que han encontrado correlación positiva entre estas variables.

La correlación entre peso seco y número de mazorcas es de gran valor para el agricultor, ya que le permitiría estimar, con base en el número de mazorcas en las primeras cosechas, árboles sobresalientes para la injertación de otros árboles con menor capacidad de producción.

Un examen cuidadoso de algunos cruces recíprocos mostraron diferencias entre ellos para el peso seco:

'Pound 12' x 'UF 613' ocupó la tercera posición; el recíproco 'UF 613' x 'Pound 12' se ubicó en el vigésimo lugar; el cruce 'UF 296' x 'Pound 12' fue octavo y el 'Pound 12' x 'UF 296' fue vigésimo primero. Además, el cruce 'UF 296' x 'UF 613' presentó diferencia estadística significativa para peso seco y número de mazorcas con respecto a su recíproco. Esto sugiere que uno de los progenitores puede tener mayor influencia en el comportamiento de la progenie sobre una o varias características.

Los árboles de mayor productividad de cacao seco se presentan en el Cuadro 1. Entre ellos, seis de los árboles son progenies con 'Pound 7'. El árbol más productivo fue el número 1775 ('PA 121' x 'EET 400') que produjo 4.32 kg de cacao seco; sin embargo, presentó el inconveniente de mostrar dos mazorcas con monilia. El cruce 'CC 210' x 'PA 169' parece ser muy promisorio, ya que además de ubicarse en el segundo lugar en peso seco promedio, dos de sus árboles estuvieron entre los 16 mejores con rendimientos superiores a los 2.5 kg de cacao seco.

El desarrollo de cultivares precoces es esencial en cultivos perennes (6), pues facilitan rápida y eficazmente el rescate del capital invertido, de tal manera que el agricultor pueda cumplir con los compromisos bancarios originados de la actividad.

La Figura 2 muestra la frecuencia de producción de los 1846 árboles del experimento. De ellos, la mitad

Cuadro 1. Rendimiento y número de mazorcas sanas y con monilia de árboles con peso seco superior a 2.0 kg (Limón, C.R.).

Número de árbol	Cruce	Peso seco (kg)	Mazorcas	
			Sanas	Monilia
1 775	'PA 121' x 'EET 400'	4.32	83	2
194	'CC 210' x 'PA 169'	3.34	47	0
381	'EET 399' x 'UF 296'	2.74	60	0
245	'CC 210' x 'PA 169'	2.70	39	0
1 980	'POUND 7' x 'CC 138'	2.54	33	0
1 326	'POUND 12' x 'EET 400'	2.48	66	0
1 497	'EET 399' x 'EET 75'	2.42	43	0
389	'SPA 9' x 'IMC 67'	2.42	43	0
156	'UF 296' x 'EET 400'	2.38	31	0
1 323	'POUND 7' x 'CC 138'	2.26	36	1
462	'IMC 67' x 'UF 613'	2.23	30	0
1 426	'POUND 7' x 'EET 75'	2.20	34	0
1 102	'UF 713' x 'POUND 7'	2.16	51	0
493	'POUND 12' x 'UF 613'	2.07	44	0
1 228	'POUND 7' x 'UF 667'	2.06	38	0
324	'POUND 7' x 'UF 273'	2.03	37	1

(47.7%), a los tres años de cultivo, no habían alcanzado producciones arriba de los 0.4 kg/árbol. Esta distribución indica la precocidad de algunos de estos cruces, algunos con diferencias significativas sobre el resto.

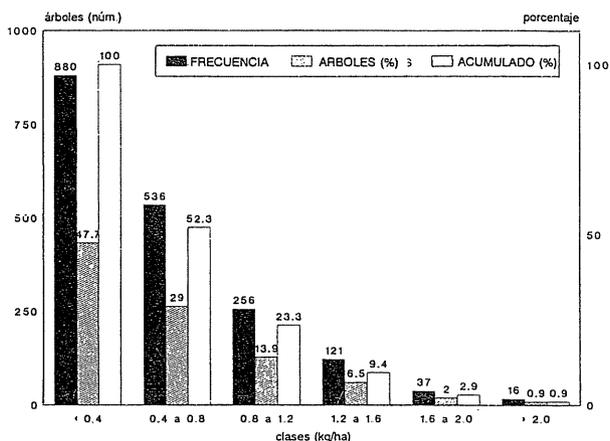


Fig. 2. Distribución de frecuencias para cacao seco por árbol (1846 árboles), (Limón, C.R., 1992).

En una plantación de cruces interclonales es posible observar un 15% de árboles con muy escasa producción. Este número de árboles improductivos dependerá de la mezcla de cruces en la plantación. Hoy es posible reemplazar estos árboles improductivos a través de injertos (yemas vegetativas) de clones debidamente probados y validados y además, o en su defecto, mediante resiembras.

El mayor peso seco fue del cruce 'EET 376' x 'Pound 7' con 1451 kg/ha, y el menor peso correspondió al cruce 'UF 29' x 'UF 613' con 470 kg/ha, que indica una alta variabilidad genética en la población estudiada. Dentro de los cruces también hubo alta variabilidad; así, por ejemplo, el cruce 'CC 210' x 'PA 169' mostró árboles con producciones desde 60 g hasta 3340 g de cacao seco.

Esta gran heterogeneidad de los descendientes indicó la necesidad de someter a prueba un gran número de cruces para buscar mejores posibilidades de habilidad combinatoria. Gran variación en el ren-

dimiento fue observada entre árboles de un mismo cruce. Esto permitirá la selección e injertación de genótipos mejor adaptados a la zona en estudio.

Algunos cruces recíprocos mostraron diferencias entre ellos para peso seco. Esto sugiere que uno de los progenitores pudo tener mayor influencia en el comportamiento de la progenie sobre una o varias características.

En resumen, es recomendable continuar la evaluación de los árboles de los mejores cruces para comprobar la estabilidad en el rendimiento y otros caracteres de interés agronómico.

LITERATURA CITADA

- BATISTA, L.P. 1982. Evaluación de la capacidad productiva de 6 híbridos de cacao en República Dominicana. In Conferencia Internacional de Investigación en Cacao (8., 1981, Col.). Actas. Lagos, Nigeria, Cocoa Producers Alliance. p. 713-717.
- ESQUIVEL, O.; SORIA V.J. 1967. Algunos datos sobre la variabilidad de algunos componentes del rendimiento en poblaciones de híbridos interclonales de cacao. Cacao (C.R.) 12(4):1-8.
- LOCKWOOD, G. 1977. Reflections on yields from hybrid cocoa varieties in Ghana. Cocoa Growers Bulletin 26:4-10
- MARIANO, A.H.; BARTLEY, B.G. 1981. Comportamento das selecoes baianas na producao de híbridos de investigación en cacao (7., 1979, Douala, Cameroun). Actas. Lagos, Nigeria, Cocoa Producers Alliance. p. 527-533.
- MEJIA P., V.E.; RONDON C., J.G. 1982. Estudio comparativo de seis híbridos de cacao en la zona de Uraba-Colombia. In Conferencia Internacional de Investigación en Cacao (8., 1981, Col.). Actas. Lagos, Nigeria, Cocoa Producers Alliance. p. 689-693.
- SORIA V.; J., ESQUIVEL, O. 1970. Relationship between precocity, growth and yield in cacao. Turrialba 20(2):193-197.
- WOOD, G.A.R.; LASS, R.A. 1985. Cocoa. 4 ed. London, Longman. 620 p. (Tropical Agriculture Series).

Caracterización de una Población de Cacao "Nacional" en el CATIE, Costa Rica¹

J. Morera*, A. Mora*, A. Paredes*

ABSTRACT

The typical "Nacional" cacao tree is generally taller than either the "Criollo" or the "Trinitario" tree. "Nacional" is the name given to the Ecuadorian traditional cacao cultivar. This study was carried out using data on the principal pod and bean characteristics of 50 trees from a population conserved at the Tropical Agriculture Research and Training Center (CATIE) collection. The recorded variables were: pod weight, length and width, pod wall thickness at ridge and at the secondary furrow, number of beans per pod, and seed and pod index. The results showed that the largest or heaviest pod weight came from "Nacional 4" group, while the smallest come from "Nacional 2." The greatest mean number of pods was found in "Nacional 1" with 122.5 pods. "Nacional 4" group had the smallest pod index with 17.5. The least variable measurement was the seed index; however the "Nacional 3" had 1.3 g in mean weight. The variables studied may be useful in distinguishing genotypes within a given population.

COMPENDIO

El nombre "Nacional" es dado al cacao tradicional del Ecuador, de aroma muy agradable. El árbol típico de este cacao, por lo general, es más alto que el "Criollo" o "Trinitario". Este estudio se realizó usando registros de las características de la mazorca y de la semilla de una población de 50 árboles de cacao "Nacional", conservados en la colección del Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE). Las variables registradas fueron: peso de mazorca, longitud y diámetro de mazorca, grosor máximo y mínimo de mazorca, número de semillas por mazorca e índice de semilla y mazorca. Los resultados mostraron que el mayor peso de mazorca correspondió al grupo "Nacional 4", mientras que el menor al grupo "Nacional 2". El promedio más alto en número de mazorcas fue de 122.5 en el "Nacional 1". El grupo "Nacional 4" obtuvo un índice de 17.5 mazorcas necesarias para producir un kilogramo de cacao seco. El índice de semilla mostró poca variación; sin embargo, el "Nacional 3" alcanzó 1.3 g en peso promedio. Las variables estudiadas pueden ser útiles para distinguir genotipos dentro de una población particular.

ANTECEDENTES

En 1928, James B. Rorer, a través de la *United Fruit Company*, introdujo en Costa Rica varias mazorcas de cacao "Nacional" procedentes del Ecuador, específicamente del cantón Quevedo en la provincia de Los Ríos (George F. Bowman, Centro Interamericano del Cacao, comunicación personal).

El fin primordial de la *United Fruit Company* en ese entonces era introducir cacao con sabor y aroma adecuados para chocolate de primera calidad y agregar estas cualidades al cacao de Costa Rica. Científicos residentes en el CATIE, interesados en la calidad de estos materiales, han enviado semillas frescas a Montpellier, Francia, para evaluar el sabor y el aroma que caracterizan al cacao "Nacional" de Ecuador (Marc Berthouly, comunicación personal). La calidad, en sentido amplio, es un conjunto de diversas características que pueden ser identificadas de conformidad con sus aspectos físicos, químicos y organolépticos, incluidos el sabor y el aroma (1).

1 Recibido para publicación el 22 de abril de 1992. Los autores expresan su agradecimiento a la Red Regional de Generación y Transferencia de Tecnología en Cacao (PROCACAO) por su apoyo económico; a los señores Luis Vega, Miguel Cerdas, Carlos Castillo, por su colaboración en la toma de datos respectivos; y a Lilliam Tortós, por su trabajo mecanográfico.

* Programa de Mejoramiento Cultivos Tropicales, Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE), Turrialba, C.R.

En 1966, Soria introdujo mazorcas de cacao "Nacional" sembrado en Bataán, para continuar con los estudios de observación y selección en el CATIE, Turrialba, Costa Rica.

En ese momento, la *United Fruit Company* había seleccionado dentro de la población establecida en Bataán el clon UF-29. Además, en el CATIE se habían

identificado y seleccionado otros árboles de la población con los nombres de clones CC-258, CC-259, CC-260, CC-261, CC-262 y CC-263.

En 1978-1979, el rendimiento de los clones CC-260 y CC-261 fue de 1550 kg/ha y 1529 kg/ha de cacao seco. Los árboles madres que dieron origen a los seis clones mencionados tenían crecimiento normal, parecido al del cacao "Matina" de Costa Rica.

INTRODUCCION

El cacao "Nacional", descrito por varios autores como el cacao "Arriba", es un tipo Forastero Amazónico, pero con sabor y aroma especiales que lo colocan en primer lugar en cuanto a calidad, según los manufactureros de chocolate (2).

En 1964 se obtuvo autorización de la *United Fruit Company* para hacer nuevas selecciones en la plantación de cacao "Nacional" de Bataán, Limón, Costa Rica, para luego transferirlas al Centro de Cacao de Turrialba, Costa Rica, y continuar con experimentos en genética vegetal.

A partir de 1950, las plantaciones de Ecuador se han establecido con base en cruces entre clones amazónicos y clones locales con genes de "Nacional". Los clones obtenidos en la población "Nacional", cuando crecen en áreas sin Escoba de Bruja (*Crinipellis perniciosus*), han mostrado mucho vigor, altas producciones y alguna resistencia a *Phytophthora palmivora* (4).

Durante la segunda década de este siglo, los doctores Harlan y Pound del Colegio Imperial de Trinidad realizaron expediciones para recolectar cacao silvestre en la Cuenca del Amazonas y en las riberas de los ríos tributarios. Al finalizar sus expediciones, concluyeron que el centro que mostraba mayor variabilidad en características morfológicas, especialmente relacionadas con el fruto y la semilla, estaba en el triángulo formado entre los ríos Caquetá, Putumayo y Napo. También propusieron que esta región constituía el posible centro de origen de la especie, pues allí encontraron los más diversos tipos de frutos: algunos parecidos al "Criollo", llamado Criollo de montaña; amelonados grandes como el "Nacional" ecuatoriano; angoletas parecidos a los clones Parinaris y otros tipos de amelonados. El cacao "Nacional" pudo haber pasado del Amazonas a la costa oeste de Ecuador cuando era ya un negocio sembrar cacao, lo más probable es que se origine de frutos traídos de Gualaquiza o Méndez, transferidos por Loja o Cuenca, respectivamente. Allí se encuentran tipos silvestres similares al cacao "Nacional" (4).

Quedan pocas plantaciones de cacao "Nacional" en estado puro: sólo las que están localizadas en las provincias de Guayas y Los Ríos en la costa occidental del Ecuador. La mayoría del actual cacao calificado como "Arriba" procede de plantaciones híbridas de "Nacional" y "Trinitario".

La variedad Nacional pertenece a los forasteros amazónicos con las siguientes características físicas: mazorcas amelonadas, grandes, casi ovales, con un ligero estrangulamiento en el cuello; cáscara gruesa, verde, con surcos profundos y notoriamente rugosa; punta roma; semillas de medianas a gruesas y de color violeta o morado; árboles altos y robustos, con troncos gruesos y hojas grandes; flores con el pedicelo del estambre rosado.

Esta variedad aparentemente proviene de los declives orientales de la cordillera de los Andes en la hoya amazónica del Ecuador. Soria (3) ha observado el mismo tipo de mazorcas y semillas en plantas nativas de las regiones de Tena, Archidona y Macas. El cacao "Nacional" comenzó a cultivarse en la costa oeste de Ecuador a principios del siglo XVIII; es muy posible que sus frutos fueron transportados de un lado a otro de los Andes en el mismo país, originando de pocas mazorcas la nueva variedad, que hasta 1930 tuvo un lugar prominente en el mercado mundial debido a su calidad. Su susceptibilidad a la Escoba de Bruja ha hecho que esté su cultivo en camino de extinción (3).

Los objetivos de este estudio fueron: caracterizar una población de cacao "Nacional", medir su potencial para realizar selecciones clonales y usarla como fuente progenitora de futuros cruces entre y dentro de poblaciones de cacao.

MATERIALES Y METODOS

La presente caracterización se realizó en el CATIE, ubicado en Turrialba, Costa Rica, a 602 msnm, 83° 38' longitud Oeste y 9° 53' latitud Norte. Esta zona se caracteriza por presentar un clima tropical húmedo con una temperatura promedio anual de 21.5°C y una precipitación de 2630 milímetros.

El material experimental consistió en una población de 50 árboles de cacao sembrados originalmente por medio de semillas, las cuales procedían de cuatro mazorcas que identificaban cuatro genotipos de cacao "Nacional" denominados Nacional 1, 2, 3, y 4.

La población se sembró en hileras al azar. Cada hilera representó cada grupo particular. La distancia de siembra fue de 3 x 3 m entre plantas.

La caracterización de los frutos y semillas de cada planta se realizó cada 15 días durante tres años (octubre 1984 a noviembre 1987). Se evaluaron todas las mazorcas producidas por cada árbol durante los tres años de estudio.

Las variables utilizadas en esta caracterización fueron: número total y peso de mazorcas, longitud y diámetro de mazorca, grosor máximo y mínimo de mazorca y número/peso seco promedio de las semillas por mazorca. De los datos de los frutos analizados de cada planta también se obtuvieron el índice de mazorca y el índice de semilla para cada árbol.

RESULTADOS

Las características generales de los 50 árboles estudiados se presentan en el Cuadro 1. Las variables que presentaron mayor variación fueron el total de mazorcas, el peso de mazorca y el peso seco de almendras por mazorca.

Con base en los valores mínimos y máximos, se observa que un árbol produjo sólo una mazorca en los tres años de evaluación y otro árbol, un total de 268 mazorcas. El peso de mazorca fluctúa entre 375 g (mínimo) y 787.9 g (máximo).

En el Cuadro 2 se muestran las características estudiadas para cada grupo evaluado. El mejor total de mazorcas fue para los árboles del grupo "Nacional 1" con un promedio de 122.5 mazorcas, y el menor total correspondió al "Nacional 4" con 20.4 mazorcas promedio por árbol. En este último caso el árbol con mayor número de mazorcas produjo 45 de ellas durante los tres años del estudio. Esta característica presentó la mayor variación, ya que los promedios del resto de las características fueron muy similares entre los grupos (Cuadro 2).

El peso de mazorca presentó variación entre grupos; el mayor peso lo obtuvo el "Nacional 4" y el menor el "Nacional 2". El peso seco de almendras por mazorca fue casi igual en los cuatro grupos, excepto para el "Nacional 2" que tuvo el menor peso (34.0 g).

El índice de mazorca más alto fue para el "Nacional 2" con un promedio de 29.9 mazorcas, aunque el valor más alto fue de 38 mazorcas (máximo) en el "Nacional 4", que también mostró el índice más bajo (mínimo valor) de 17.5 mazorcas necesarias para obtener un kilogramo de cacao seco y fermentado.

El índice de semilla presentó poca variación, pero sí fue importante porque existen árboles con menos de un gramo, lo cual se considera un tamaño pequeño que disminuye la calidad. El mejor promedio fue del grupo

Cuadro 1. Resumen de promedios, desviaciones estándar, observaciones mínima y máxima, rango y coeficiente de variabilidad de las características estudiadas de 50 árboles de cacao "Nacional", CATIE (1992).

Características	Promedio por árbol	Desviación estándar	Observaciones		Rango	Coeficiente de variabilidad entre árboles
			mín.	máx.		
Total mazorcas	70.0	64.1	1.0	268.0	267.0	91.6
Longitud mazorca (cm)	15.7	1.2	13.2	18.2	5.0	7.6
Diámetro mazorca (cm)	8.6	0.6	7.1	10.1	3.0	7.1
Peso mazorca (g)	526.3	99.3	375.0	789.9	412.9	18.9
Grosor máximo cáscara (cm)	1.7	0.2	1.4	2.2	0.8	11.3
Grosor mínimo cáscara (cm)	1.3	0.1	1.1	1.7	0.6	11.2
Número semillas por mazorca	32.5	2.6	27.8	39.0	11.2	8.1
Peso seco almendras/mazorca (g)	38.3	6.7	26.5	57.0	30.5	17.4
Índice mazorca	26.8	4.6	17.5	38.0	20.5	17.3
Índice semilla	1.2	0.2	0.8	1.5	0.7	14.4

Cuadro 2. Resumen de promedios, desviaciones estándar, observaciones mínima y máxima, rango y coeficiente de variabilidad de las características de árboles de cacao "Nacional 1", "Nacional 2", "Nacional 3" y "Nacional 4", CATIE (1992).

Características	Promedio por árbol	Desviación estándar	Observaciones		Rango	Coeficiente de variabilidad entre árboles
			mín.	máx.		
Total mazorcas						
Nacional 1	39.6	27.0	4	99	95	68.3
Nacional 2	94.0	70.0	6	268	262	74.4
Nacional 3	122.5	66.6	45	261	216	54.3
Nacional 4	20.4	14.1	1	45	44	69.3
Longitud de mazorca (cm)						
Nacional 1	15.8	1.8	13.2	18.2	5.0	11.1
Nacional 2	15.7	0.6	14.5	16.5	2.0	3.8
Nacional 3	15.2	0.8	13.3	16.3	3.0	5.2
Nacional 4	16.0	1.2	13.7	17.4	3.7	7.4
Diámetro mazorca (cm)						
Nacional 1	8.4	0.6	7.1	9.5	2.4	7.5
Nacional 2	8.3	0.2	7.7	8.6	0.9	3.1
Nacional 3	8.6	0.5	7.8	9.4	1.6	5.4
Nacional 4	9.1	0.7	7.7	10.1	2.4	7.3
Peso mazorca (g)						
Nacional 1	512.0	98.4	375.0	712.5	337.5	19.2
Nacional 2	477.6	47.0	378.0	546.6	167.7	9.8
Nacional 3	499.2	57.5	412.7	607.3	194.6	11.5
Nacional 4	629.7	116.3	378.3	787.9	409.6	18.5
Grosor máximo de cáscara (cm)						
Nacional 1	1.7	0.1	1.4	1.9	0.5	8.8
Nacional 2	1.7	0.1	1.5	1.8	0.3	5.3
Nacional 3	1.6	0.1	1.5	1.8	0.3	6.6
Nacional 4	1.9	0.2	1.6	2.2	0.6	9.5
Grosor mínimo de la cáscara (cm)						
Nacional 1	1.3	0.1	1.1	1.4	0.3	6.0
Nacional 2	1.2	0.1	1.1	1.3	0.2	6.3
Nacional 3	1.2	0.1	1.1	1.3	0.2	8.1
Nacional 4	1.4	0.2	1.1	1.7	0.6	14.3
Número semillas por mazorca						
Nacional 1	32.4	2.4	27.8	36.4	8.6	7.5
Nacional 2	32.3	2.3	28.5	36.7	8.2	7.1
Nacional 3	32.0	2.3	27.9	36.4	8.5	7.1
Nacional 4	33.4	3.6	28.4	39.0	10.6	10.8
Peso seco almendras (g)						
Nacional 1	39.2	6.6	29.8	50.1	20.2	16.9
Nacional 2	34.1	4.7	28.2	42.8	14.7	14.0
Nacional 3	40.4	3.7	33.9	46.3	12.4	9.3
Nacional 4	40.0	9.4	26.5	57.0	30.5	23.8

Continuación del Cuadro 2.

Características	Promedio por árbol	Desviación estándar	Observación		Rango	Coeficiente de variabilidad entre árboles
			mín.	máx.		
Índice de mazorca						
Nacional 1	26.2	4.4	20.0	33.7	13.7	16.9
Nacional 2	29.9	4.1	23.4	35.8	12.4	13.6
Nacional 3	25.1	2.3	21.7	29.6	7.9	9.4
Nacional 4	26.4	6.2	17.5	38.0	20.5	23.5
Índice de semilla						
Nacional 1	1.2	0.2	0.9	1.5	0.6	13.4
Nacional 2	1.0	0.1	0.8	1.3	0.5	10.4
Nacional 3	1.3	0.1	1.1	1.5	0.4	9.8
Nacional 4	1.2	0.2	0.8	1.5	0.7	18.2

Nota:

Nacional 1 = 14 árboles

Nacional 2 = 12 árboles

Nacional 3 = 13 árboles

Nacional 4 = 11 árboles

"Nacional 3" (1.3 g), en que todos los árboles superaron el gramo.

En la Figura 1 se observa que 23 árboles produjeron menos de 45 mazorcas. La mayoría de los árboles se encuentran en las clases de menor número total de mazorcas; dos árboles se clasificaron con más de 226 mazorcas en los tres años de evaluación, o sea 75.3 mazorcas por año.

Respecto del peso de mazorcas, el mayor número de árboles (19) se ubicó entre 445 g a 513 g de peso. Solamente dos árboles superaron los 720 g de peso de mazorca (Fig. 1).

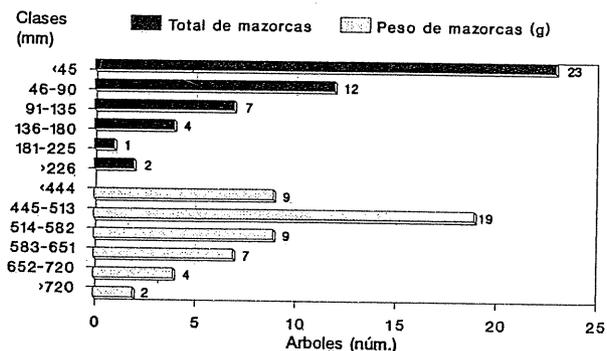


Fig. 1. Distribución de frecuencias para el número total y el peso de las mazorcas.

En cuanto a la longitud y diámetro de mazorca (Fig. 2), la mayoría de los árboles se ubican en las clases intermedias. La mayor parte de los árboles superaron los 150 mm de longitud de la mazorca; seis árboles resultaron con mazorcas pequeñas (menos de 141 mm) y otros seis, con mazorcas que superaron los 172 milímetros. El diámetro de mazorca presentó una distribución similar a la variable anterior: tres árboles con diámetro inferior a 76 mm; cuatro árboles con diámetro arriba de 95 mm; el resto de los árboles ocupó las clases intermedias (Fig. 2).

El grosor de la cáscara, tanto máximo como mínimo, mostró que la mayoría de los árboles están en las clases más bajas, o sea de menor grosor (Fig. 3).

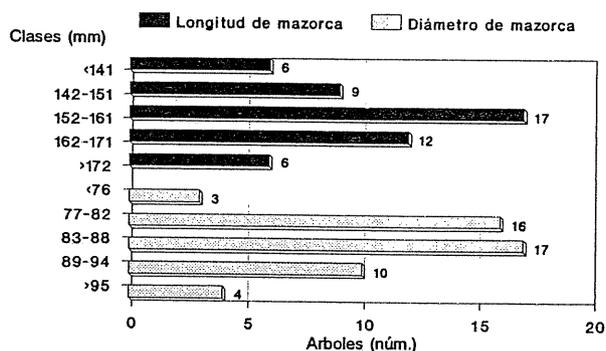


Fig. 2. Distribución de frecuencias para la longitud y el diámetro de mazorcas.

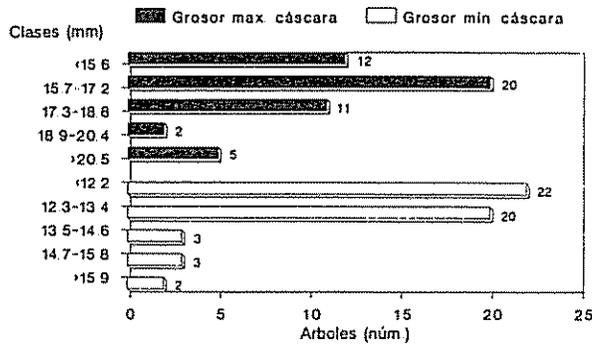


Fig 3. Distribución de frecuencias para el grosor máximo y grosor mínimo de cáscara.

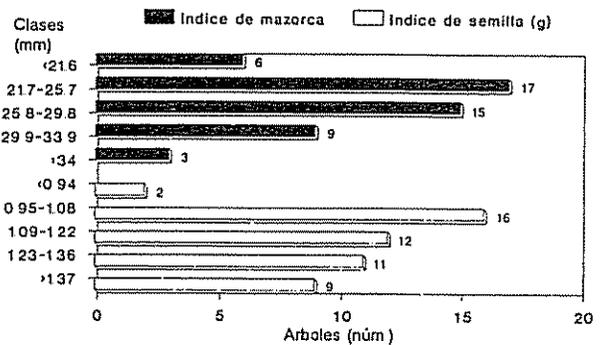


Fig 5. Distribución de frecuencias para el índice de mazorca y de semilla.

En la Figura 4 se presenta el número de semillas y peso seco de las almendras por mazorca; solamente dos árboles, en ambos casos, superaron las 36.9 semillas y los 51 g, respectivamente.

La mayoría de los árboles presentaron índices de mazorca relativamente altos; solamente seis árboles mostraron un índice inferior a 21.6. En relación con el tamaño de la semilla, 32 árboles superaron el peso de un gramo y nueve árboles tuvieron un peso superior a 1.37 g (Fig. 5).

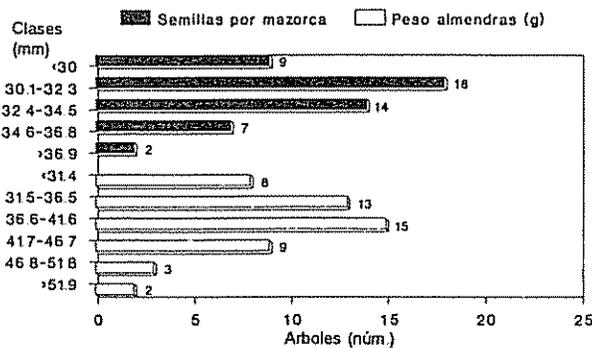


Fig 4. Distribución de frecuencias para el número de semillas y el peso seco de las almendras por mazorca

Esto significa que es posible, dentro de la población estudiada, seleccionar algunos genótipos con alto índice de semilla.

LITERATURA CITADA

- 1 BARTLEY, B. 1990. La calidad en el mejoramiento genético del cacao. In Seminario Manejo de Germoplasma de Cacao (1989, Turrialba, C.R.). J. A. Morera, A. Paredes (Eds.). Memoria San José, C.R., IICA/PROCACAO-CATIE. p.1-30.
- 2 RUSSELL, C ; MEURSING, E. H. 1982. Chocolate production and use. New York, Harcourt Brace Jovanovich p. 28-50.
- 3 SORIA, J. 1967. Notas sobre las principales variedades de cacao cultivadas en América Tropical. In Conferencia Internacional de Cacao (1965, Abidjan) París, Jouve. p. 247-253
- 4 SORIA, J. 1987. Informes sobre los hallazgos de plantas de cacao silvestre en la Amazonía y cacao criollo en Centroamérica y México. In Foro Interamericano de Cacao (1., 1987, San José, C.R.). Informe final. FUPAD, IICA, CATIE, ACRI(USAID/ROCAP) p. 1-6.

Efecto de Coberturas en la Base del Arbol de Cacao en la Diseminación de *Phytophthora*¹

V.H. Porras*. J.A. Sánchez**

ABSTRACT

The effect of five treatments on the incidence of *Phytophthora* on the pods was evaluated on three cocoa farms in the department of Atlántida, Honduras during the summer of 1989 and the winter of 1989-1990. The treatments at the base of the trunk were: rice husk mulch, cocoa leaves, sawdust, free of vegetable matter and the control. With the exception of the control, a sticky insect band was attached to the base of the tree trunks. The information differed at levels below and above 1.5 m from soil level. The highest incidence of *Phytophthora* occurred in winter (up to 40%, with an average of 10%). There was practically no significant pathological difference between the treatments. The first level (below 1.5 m) presented a greater pod loss (8% more than the second). The farms which presented a greater incidence of the fungus were La Unión and Montevideo, and in third place, Orotina.

COMPENDIO

En tres fincas cacaoteras del departamento de Atlántida, Honduras, se evaluó el efecto de cinco tratamientos sobre la incidencia de *Phytophthora* en las mazorcas, durante el verano de 1989 y el invierno de 1989-1990. Los tratamientos fueron: cobertura ("mulch") en la base del tronco con granza de arroz; con hojas de cacao; con aserrín; árbol libre de materia vegetal; y testigo normal. A excepción del testigo, los árboles fueron cubiertos en la base del tronco con un adherente para insectos. La información se diferenció en los niveles menor y mayor a 1.5 m desde el ras del suelo. La mayor incidencia de *Phytophthora* ocurrió en invierno (hasta 40%, con un promedio del 10%). Prácticamente no hubo diferencia de significancia patológica entre los tratamientos. El primer nivel (menor de 1.5 m) presentó más pérdida de mazorcas (8% más que el segundo). La finca que presentó mayor incidencia del hongo fue La Unión, Montevideo, y, en tercer lugar, Orotina, Atlántida; sucedió lo contrario cuando existió un manejo agronómico adecuado.

INTRODUCCION

Desde 1956 las pérdidas por el hongo *Phytophthora palmivora*, en los frutos de cacao, son del orden del 10% de la producción mundial. Para ese entonces, se desconocía la existencia de otras especies y los daños causados a otros órganos del árbol (2).

En Costa Rica (1), investigaciones llevadas a cabo en algunos cultivares de cacao en la finca "La Lola" han determinado que el complejo de hongos de *Phytophthora* puede ser responsable hasta de un 22% de la pérdida de mazorcas, y que, en ocasiones extremas, ciertos cultivares han presentado infecciones, durante algunos años, en sus mazorcas que sobrepasan el 80 por ciento.

En algunas fincas del departamento de Atlántida, Honduras, en el bienio 1986-1987, la FHIA (5) registró una incidencia de *Phytophthora* del 24 por ciento.

En Brasil, Medeiros, citado por Rodríguez (6), indica que existen zonas dentro de la plantación de cacao, denominadas "áreas-foco", que, por su humedad y poca circulación de aire, son inicialmente susceptibles al desarrollo de la enfermedad.

También se tienen informes de que el hongo puede diseminarse hasta un metro de altura por salpique del agua de lluvia (3). Además de ser el principal medio para la diseminación del hongo, el agua es requerida para la formación de esporas (zoosporas), la cual se da más eficientemente con temperaturas bajas. Estos factores climáticos deben considerarse al planear el combate contra la enfermedad (3).

Por lo general, la *Phytophthora* no es un hongo con buena capacidad saprofítica. En 1965, Turner encontró que *P. palmivora* tiene un crecimiento limitado desde su fuente de alimentación hacia el resto del suelo, fuese estéril o no (7).

En suelos con cacao hay mucha competencia entre saprófitos, ya que la condición de "bosque" (rico en

¹ Recibido para publicación el 22 de abril de 1992. Trabajo auspiciado por la Red Regional de Generación y Transferencia de Tecnología en Cacao (PROCACAO). San José, C.R.

* Investigador Asociado, Programa de Cacao, Fundación Hondureña de Investigación Agrícola (FHIA), San Pedro Sula, Hond.

** Líder del Programa de Cacao, FHIA, San Pedro Sula, Hond.

materia orgánica en descomposición) en que se desarrolla el cultivo, permite la proliferación de diversos organismos animales y vegetales. "La fase epidémica de la enfermedad está condicionada también por cantidad de frutos dentro de la plantación y con el grado de susceptibilidad o resistencia del material" (6).

En las plantaciones de Honduras, el material de cacao es susceptible y produce frutos prácticamente todo el año. La enfermedad es endémica, influyendo en la producción a consecuencia de las condiciones climáticas. Como actualmente se desarrollan plantaciones de cacao con base en material híbrido, debido a su mayor capacidad de producir frutos, siempre se tendrá la presencia de tejido susceptible, y serán inevitables algunas pérdidas por *Phytophthora*, sobre todo, en áreas con largos períodos de humedad (4).

Los objetivos de esta investigación son los siguientes:

- Determinar la eficacia de diferentes materiales usados como "mulch" para evitar la diseminación de *Phytophthora*.

- Cuantificar la diseminación de la enfermedad (mazorca negra) en dos épocas de clima diferente y en fincas de cacao con distinto manejo agronómico.
- Determinar la efectividad de un adherente (Stikem) para insectos en la diseminación de *Phytophthora*.

MATERIALES Y METODOS

Localización y clima

El trabajo de investigación se llevó a cabo en tres fincas de cacao ubicadas en los sectores de Orotina, La Unión y Montevideo, en el departamento de Atlántida, Honduras (Fig. 1), lat. 16° Norte, long. 87° Oeste, elevación 15-20 metros sobre el nivel del mar.

Para La Masica, sector cercano a los anteriores, se tienen los siguientes datos de clima: 25.5°C en promedio y 3240 mm de lluvia anual.

En el sector de La Unión, y para un registro durante 16 años, la precipitación en promedio asciende a 2926 mm por año (Cuadro 1).

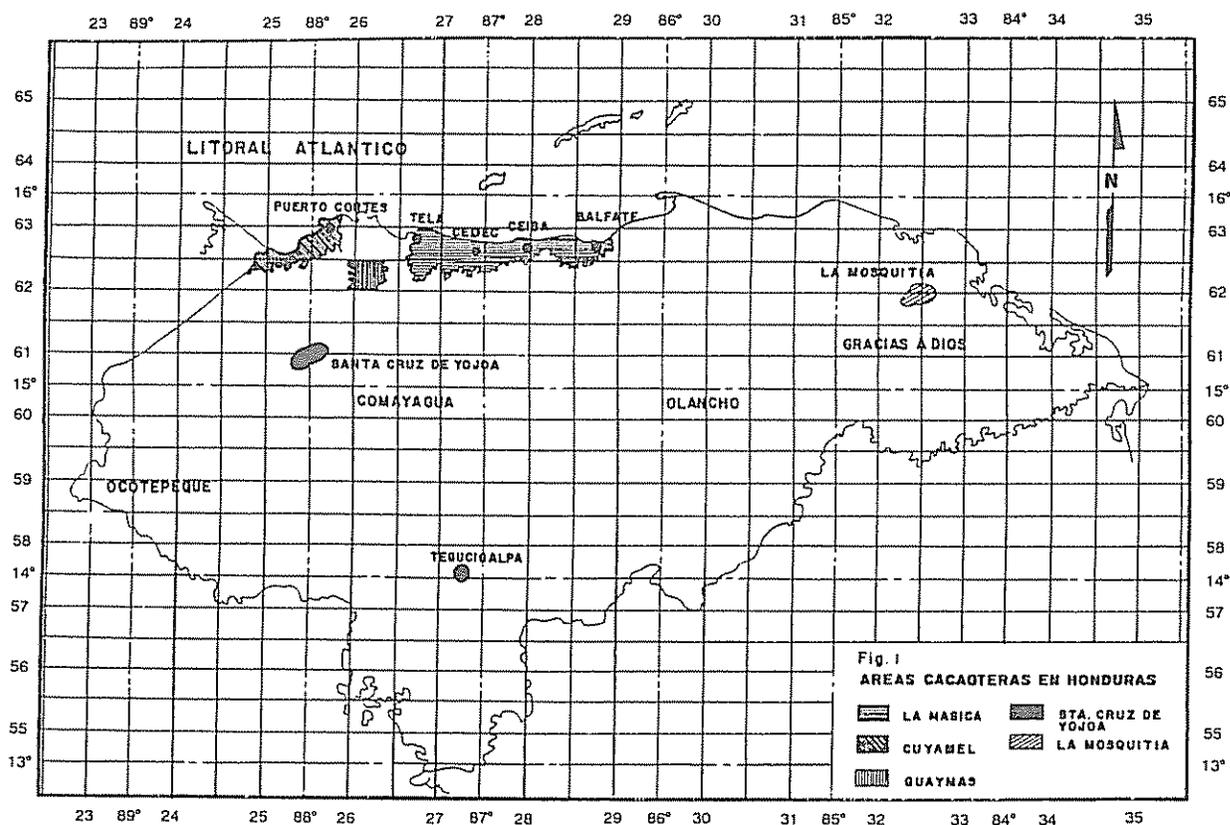


Fig 1 Áreas cacaoteras en Honduras

Fuente: Sánchez 1990

Cuadro 1. Registro de lluvias mensuales en la zona de La Unión, Atlántida (1972-1987).

Años Meses	Años																X
	1972	1973	1974	1975	1976	1977	1978	1979	1980	1981	1982	1983	1984	1985	1986	1987	
Enero	68	286	22	0	616	91	561	287	125	158	154	266	369	448	339	203	250
Febrero	265	330	298	151	200	400	527	532	104	321	55	143	586	368	70	26	274
Marzo	30	85	12	5	0	43	656	930	17	113	256	13	153	105	317	101	177
Abril	88	99	74	0	106	569	38	98	—	81	61	164	183	80	63	61	118
Mayo	80	80	91	6	153	156	420	125	4	69	78	6	195	48	110	10	102
Junio	165	127	199	86	298	558	562	—	100	160	162	146	29	27	89	106	188
Julio	142	85	41	42	68	763	546	—	68	100	178	203	327	82	33	76	184
Agosto	150	222	61	89	26	397	453	—	52	125	165	322	132	51	52	130	162
Setiembre	123	168	731	176	29	499	609	264	547	435	213	117	211	133	74	49	274
Octubre	240	311	694	414	792	398	1 501	366	541	464	299	332	155	—	411	427	490
Noviembre	28	184	114	358	1 135	990	583	254	332	441	390	309	340	240	99	290	380
Diciembre	—	239	—	—	501	518	595	265	343	510	210	411	112	414	213	247	327
Total		2 216	2 337		3 924	5 382	7 051		2 977	2 221	2 432	2 792		1 870	1 726	2 926	

Fuente: Ministerio de Recursos Naturales, C.R.

Tiempo de estudio

El trabajo se inició en diciembre de 1988 con la búsqueda de las fincas. En enero de 1989 se comenzaron a instalar los tratamientos y a tomar los datos respectivos.

El primer período de trabajo fue de febrero a mayo de 1989 (verano), el segundo lo fue de noviembre de 1989 a enero de 1990 (invierno).

Material de cacao utilizado

En todas las fincas (3) se trabajó con cacao híbrido, en su mayoría proveniente del Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE) en Turrialba, Costa Rica, y algunos de procedencia nacional.

La edad de los árboles osciló entre los siete y nueve años. Requisito indispensable para seleccionar el árbol fue que tuviese mazorcas mayores de tres meses en la base del tronco y en las ramas.

Procedimiento y aplicación

En cada tratamiento se ocuparon 13 árboles de las fincas de La Unión y de Orotina y 10 de la finca Montevideo, ubicados al azar dentro de las fincas durante el verano. Para el invierno se emplearon 20 árboles por tratamiento en cada finca.

Durante el mes de diciembre de 1988, previo al establecimiento del tratamiento, se deshieron en forma manual los alrededores de los árboles escogidos (menos el testigo), se podaron y se removieron todos los frutos enfermos. Se colocó "pasta cicatrizante", hecha con base en cobre, en los respectivos cortes de poda. Los árboles vecinos más inmediatos también fueron podados y se limpió el área de malezas.

Los árboles escogidos fueron fertilizados con 200 g cada uno, de la fórmula 18-9-18. Todo lo anterior se repitió en octubre para la época de invierno; para ese entonces se usaron otros árboles pues su elección se basó en la presencia de mazorcas. Para esta época se usó 15-15-15 como fertilizante.

Tratamientos en estudio

Tratamiento 1: Granza de arroz más adherente para insectos

En la base del tronco de cada árbol se aplicó un adherente para insectos (Fig. 2), desde 3 cm a 5 cm del nivel del suelo hasta una altura de 30 cm alrededor del tronco.

Luego se adicionó granza de arroz como cobertura o "mulch", en un radio de 0.7 m alrededor del árbol (Fig. 2). Fue colocada con un grosor tal que no permitiera ver la tierra (0.5 a 1 cm). Antes de colocar la granza, se limpiaron los residuos de hojas de cacao del suelo.

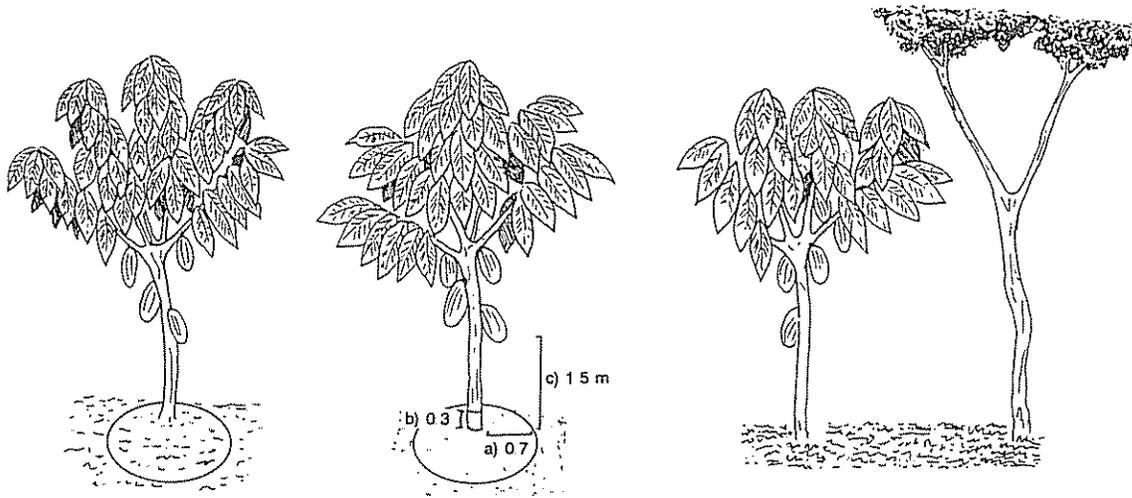


Fig. 2. Esquema representativo de las distancias de colocación de los tratamientos de mulch (a) y adherente (b), para insectos en el árbol de cacao; nivel de evaluación (c).

Después, y durante períodos de una semana, se removieron y cuantificaron de cada árbol de cacao las mazorcas enfermas por *Phytophthora* y las sanas maduras (cosecha). Se suspendieron las lecturas y el mantenimiento del tratamiento, una vez que el total de mazorcas con que se inició el mismo estaba listo para la cosecha.

La información diferenció dos estratos o niveles de árbol, uno de 0 m a 1.5 m sobre el ras del suelo y el otro a partir de 1.5 m (resto del árbol) (Fig. 2).

Tratamiento 2: Hojas de cacao más adherente para insectos

El procedimiento fue el mismo que se describió para el Tratamiento 1, con la diferencia de que en lugar de colocar granza de arroz, se usaron hojas de cacao como "mulch". Estas se obtuvieron del mismo cacao, ya fuesen caídas o removidas a propósito del árbol.

Tratamiento 3: Aserrín más adherente para insectos

Este tipo de "mulch" fue evaluado solamente durante la época de invierno. La aplicación del aserrín es similar a la anotada para el primer tratamiento.

Tratamiento 4: Sólo adherente para insectos y suelo limpio

Se empleó una metodología similar al Tratamiento 1, pero no se adicionó ningún tipo de "mulch", y la zona inmediata al tronco del árbol (radio de 70 cm) se mantuvo libre de material vegetal.

Tratamiento 5: Testigo

Como testigo se empleó un número igual de árboles que en los tratamientos anteriores y no se hizo ninguna modificación a la forma en que los tenía el agricultor. Los árboles-testigo variaron de una época a la otra. Las mazorcas fueron removidas en períodos quincenales.

RESULTADOS Y DISCUSION

Epoca de verano (enero a mayo 1989)

En 1989, la época de verano se caracterizó por su baja precipitación. A excepción de enero, en los demás meses llovió menos que el promedio obtenido en los últimos 16 años (Fig. 3 y Cuadros 1 al 3).

Lo anterior desfavorece el desarrollo del hongo *Phytophthora*, de manera que paulatinamente la presión del inóculo se va reduciendo.

En consideración con la humedad relativa, ésta se mantuvo relativamente alta (80%, Fig. 3), y el promedio de temperatura mínima fue 18.5°C; sin embargo, no fueron suficientes para ayudar al hongo, pues éste necesita agua líquida, factor escaso para la temporada en mención.

Epoca de invierno (noviembre 1989 a enero 1990)

Durante esos tres meses llovió un total de 1224 mm, valor mayor al que necesita el cacao en todo el año. La humedad relativa mínima en promedio bajó a tan sólo

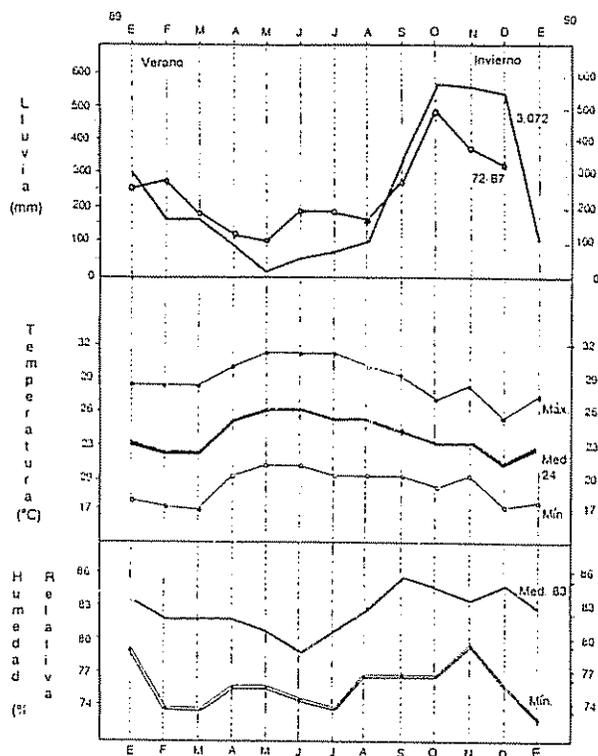


Fig. 3. Representación de los elementos de clima registrados en CEDEC, La Masica, Atlántida de enero 89 a enero 90.

un 76% y la temperatura media fue de 22° centígrados. Estos datos son características de la temporada de invierno (Fig. 2, Cuadros 2 y 3).

Según se explicó arriba, el clima de invierno para el bienio 1989-1990 fue favorable para la enfermedad. También existió tejido susceptible para dicha temporada. Sin embargo, la presión del inóculo de *Phytophthora* fue de normal a baja, pues predecía una época seca o de verano muy prolongada.

Como puede observarse en la Fig. 3 y Cuadros 1 y 2, de abril a agosto de 1989, sólo hubo 369 mm de lluvia, prácticamente la mitad de lo llovido en los últimos 16 años en los mismos meses. De manera que, para esas condiciones climáticas, el inóculo primario se reduce a niveles de supervivencia y para incrementarse de nuevo (época de invierno) se requiere un período largo, pero esto no ocurrió; y aunque hubo 1244 mm en tres meses, la lluvia no fue suficiente.

Finca "La Unión" - Verano

Al observar la Fig. 4 es evidente la diferencia significativa que ocurrió en la incidencia de *Phytophthora* que aparece para el nivel inferior (m) y para el superior. Sin establecer diferencia entre tratamientos, la primera supera a la otra en un 8 por ciento.

El testigo prácticamente no se diferenció en los respectivos niveles, el promedio general del árbol fue

Cuadro 2. Registro de los elementos de clima en el CEDEC, La Masica - Atlántida (enero 1989 a enero 1990).

	Lluvia (mm)	Humedad relativa (%)		Temperatura (°C)		
		Mín.	X	Mín.	Media	Máx.
Enero 1989	312	79	84	18.2	22.7	28.0
Febrero	172	74	82	17.5	22.2	27.6
Marzo	172	74	82	17.0	22.2	27.5
Abril	100	76	82	19.9	24.7	29.9
Mayo	20	76	81	21.1	25.8	31.0
Junio	62	75	79	20.8	25.7	31.1
Julio	78	74	81	20.3	25.2	30.8
Agosto	109	77	83	20.5	25.0	30.4
Setiembre	348	77	86	20.4	24.0	29.0
Octubre	579	77	85	19.0	22.7	27.4
Noviembre	566	80	84	19.6	23.2	27.9
Diciembre	554	76	85	17.1	20.6	24.8
Enero 1990	109	73	83	17.4	22.1	27.2
Suma	3 181					
X	245	76	83	19.1	23.5	27.9

Cuadro 3. Registro de los elementos de clima en Finca Thelma, Orotina, Atlántida (julio 1989 a enero 1990).

Meses	Lluvia (mm)	Humedad relativa (%) X	Temperatura (°C)		
			Mín.	Media	Máx.
Julio		88	20.3	24.7	29.6
Agosto	219	88	22.3	26.4	31.9
Setiembre	169	89	21.8	25.2	29.7
Octubre	486	88	21.6	23.8	28.5
Noviembre	465	88	20.2	23.8	28.5
Diciembre	784	88	18.5	21.5	24.8
Enero 1990	294	90	19.0	23.1	27.8
Suma	2 417				
X	403	88	20.5	24.1	28.5

del 14% de incidencia, valor que debe considerarse pues supera el 10% que, normalmente, se asigna a las pérdidas mundiales por *Phytophthora*; y aún más al ser ésta la época en que se espera una menor incidencia. En relación con el testigo y el manejo promedio del cacao en Honduras, éste ofrece un nicho favorable al hongo.

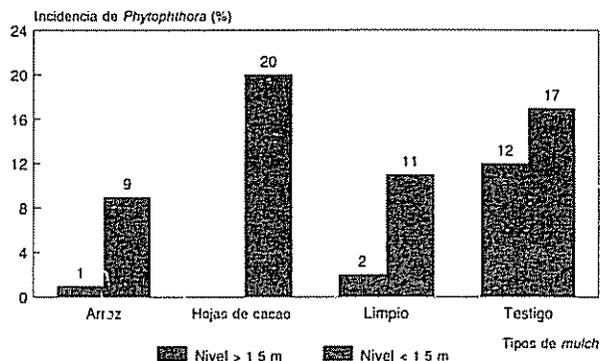


Fig. 4. Incidencia de *Phytophthora* según tipo de "mulch" y estrato de evaluación (nivel), en finca La Unión (enero a mayo de 1989)

Para el estrato (1.5 m) no hay diferencia patológica que considerar según tratamiento. En el caso del estrato inferior, el "mulch" del arroz fue el que menos pérdidas presentó (9%), pero su valor no fue favorable para el agricultor (un 17% en el testigo).

La incidencia tan alta en el tratamiento de las hojas de cacao (20%), para su primer nivel, no tiene explicación científica; posiblemente fue un caso fortuito que hubiese variado, al aumentar las unidades de observación. Cabe anotar que las hojas empleadas como "mulch" eran material sano a la vista.

Finca "Orotina" - Verano

En esta finca, en el verano, la incidencia de la enfermedad fue baja. En el tratamiento de arroz llegó a un máximo del 5% (Fig. 5) y se presentó un testigo sin enfermedad alguna.

De las tres fincas, ésta es la que ofrecía el mejor manejo agronómico del cultivo, el cual ayudó a una menor ocurrencia del hongo en el medio.

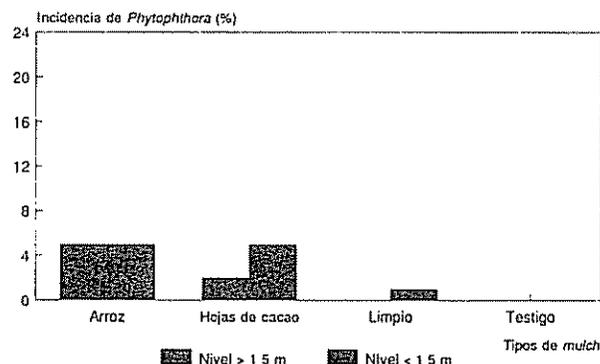


Fig. 5. Incidencia de *Phytophthora* según tipo de "mulch" y estrato de evaluación (nivel), finca Orotina (enero a mayo de 1989)

Prácticamente no hay diferencia de importancia entre los niveles evaluados; esto lleva a suponer que el suelo de esta finca estaba bastante libre de microorganismos.

En hipótesis se esperaba una incidencia ascendente del tratamiento arroz-hojas de cacao-"limpio"-testigo. Sin embargo, en esta situación, ocurrió lo opuesto.

Finca "Montevideo" - Verano

En esta finca, aparentemente, tuvieron un mejor efecto aquellos tratamientos que contenían el uso de algún tipo de cobertura sobre los otros.

Aunque el testigo no presentó ningún rastro de *Phytophthora* a más 1.5 m, su nivel inferior se vió atacado en un 10 por ciento. Luego le siguió en pérdida, el cacao "limpio" con un 4%, siempre en el nivel inferior (Fig. 6).

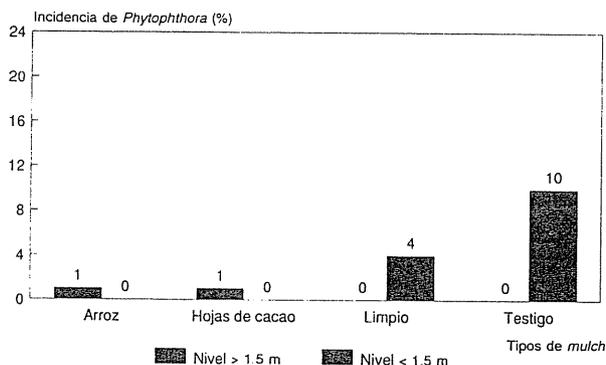


Fig. 6. Incidencia de *Phytophthora* según tipo de "mulch" y estrato de evaluación (nivel) en finca Montevideo (enero a mayo de 1989).

Se consideró que la finca ubicada en Montevideo tenía un manejo agronómico regular. Está situada en las "faldas" de una montaña, por lo que su microclima es favorable a la enfermedad. También es muy común el que cuando llueve, a través del cacaotal, se formen diferentes corrientes de agua a favor de la pendiente.

En consideración de lo anterior puede suponerse que constantemente, durante los momentos de precipitación, viaja el inóculo de *Phytophthora*, de ahí el posible buen efecto del uso del "mulch" sobre los otros tratamientos que no lo tuvieron.

Comparación entre las tres fincas (verano)

El mal, regular y aceptable manejo agronómico de las fincas, con que fueron clasificadas y seleccionadas al principio, les ubica así:

La Unión - Montevideo y Orotina

En cuanto a los resultados obtenidos en verano, La Unión presentó la mayor incidencia del hongo (9%) en general, mientras que las otras fincas alcanzaron como máximo un promedio del dos por ciento.

Al inicio del trabajo, el estado ecológico de la finca de La Unión fue muy favorable para el establecimiento y desarrollo de la "mazorca negra". A su vez, aunque existía tejido susceptible, lo que desfavoreció a la enfermedad fue la merma en la frecuencia y cantidad de lluvia.

Entre los tratamientos no se presentó una consistente diferencia que permitiera favorecer a alguno de ellos. Es posible que hiciera falta un mayor número de unidades de observación. Dadas las exigencias del experimento en sí, sólo se pudo contar con 10 y 13 unidades por tratamiento.

Como promedio general, los testigos alcanzaron un valor del 5% de incidencia y los tratamientos un cuatro por ciento. Ambos valores son menores al 10% mundial.

La diferencia más "fuerte" al "confundir" los tratamientos y compararlos con el testigo, radicó en el manejo agronómico que se hizo a cada árbol en los tratamientos. De manera que, para la época de verano y según la información del año 1989, no habría mayor necesidad de aplicar "mulch" al suelo del cacaotal y sí un mejor manejo técnico para desfavorecer ligeramente al hongo *Phytophthora*.

El uso del adherente para insectos a partir de sólo la observación en el campo, no dio mayores beneficios. El objetivo de aplicarlo consistió en evitar el acceso y ascenso de los insectos al árbol de cacao, sobre todo de las hormigas que acarrean partículas de suelo y que, posiblemente, transportan esporas de *Phytophthora*.

Una vez que el producto fue aplicado, se observó la adherencia de fracciones vegetales con suma facilidad por acción del viento, y la formación de una especie de puente que facilitaba el paso de los insectos.

Finca Montevideo - Invierno

En invierno fue muy evidente la presencia de *Phytophthora* en la finca "Montevideo". Todos los casos en estudio (incluyendo el testigo) sobrepasaron el 10% de incidencia en su primer nivel de árbol (Fig. 7).

Estos resultados permiten aseverar sobre la presencia del inóculo que contiene el suelo. Al observar los resultados del tratamiento "limpio", en el cual el suelo se expone y ante la magnitud de la precipitación de la temporada, alcanzó un 41% de pérdidas (Fig. 7).

Debido a la ubicación de esta finca, el sotavento del invierno facilita la dispersión de la enfermedad tanto en

sentido vertical como horizontal; esto permite justificar la incidencia relativamente "alta" en el segundo estrato del árbol a más de 1.5 m de altura (Fig. 7).

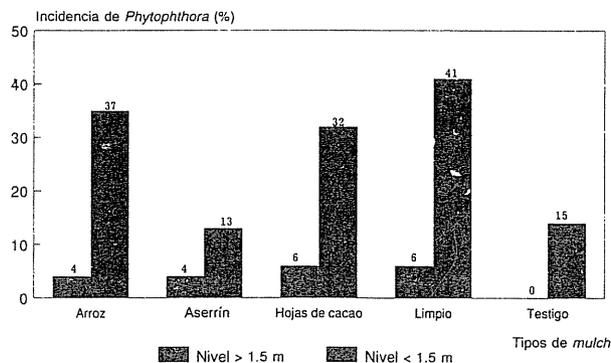


Fig. 7. Incidencia de *Phytophthora* según tipo de "mulch" y estrato de evaluación (nivel) en finca Montevideo (noviembre a diciembre de 1989-1990).

Los resultados del testigo son fortuitos y se esperaría lo contrario. Un indicio importante es la escasa producción de fruta en esos árboles; hubiese sido recomendable la observación de un mayor número de individuos.

Finca Orotina - Invierno

Consistentemente con los tratamientos evaluados, la incidencia de *Phytophthora* fue mayor en el primer estrato o nivel (m), (Fig. 8).

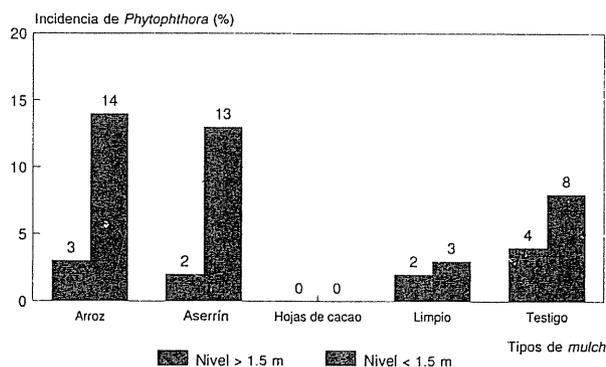


Fig. 8. Incidencia de *Phytophthora* según tipo de "mulch" y estrato de evaluación (nivel), finca Orotina (noviembre a diciembre de 1989-1990).

Para esta época de invierno, tanto el "mulch" de arroz como el de aserrín no tuvieron mayor efecto sobre el hongo. Cabe anotar que la fragilidad de ambos

materiales permite su arrastre por medio del agua de lluvia por efectos de escorrentía, perdiéndose así fácilmente su efecto.

Las incidencias ocurridas en los testigos son del 8% y el 4% según estrato (Fig. 8), valores éstos por debajo del 10% internacional.

Era de esperar que en el Tratamiento 4 ("limpio") en la época de invierno, dada la exposición del suelo, que aumentaran las pérdidas por efecto del salpique. Sin embargo, no fue así y es muy posible que en el suelo hubiese un inóculo primario casi nulo debido a los efectos del período prolongado de verano ya anotado.

Comparación entre las dos fincas

Se hace evidente, al observar las Figuras 7 y 8, una mayor incidencia de *Phytophthora* en la finca ubicada en Montevideo, a consecuencia de más de 1000 mm de lluvia ocurrida en la temporada. Esto produjo el incremento del inóculo que permanecía en el suelo a tal grado que no hubo "mulch" entre los evaluados que redujera la incidencia a un valor menor que el 10% (primer nivel).

En Orotina tanto los tratamientos con "mulch" de hojas de cacao como en el "limpio" muestran una menor incidencia, incluso en aquellos con "mulch" de arroz y aserrín. En consideración de eso, la finca de Orotina tiene un suelo que en esta temporada mostró una baja presencia de *Phytophthora*.

En promedio, y por similitud entre tratamientos, tanto el testigo, el "limpio" y con hojas de cacao, sin considerar su nivel, la incidencia de la enfermedad en Montevideo fue de un 17%; mientras que en Orotina apenas alcanzó el tres por ciento.

Consideraciones generales de los tratamientos

Ante los resultados en el campo, no es funcional ni práctico el uso del adherente en la base del árbol de cacao. Una razón es que durante el invierno, y después de dos meses de aplicado, el producto inicia su degradación. Asimismo, al considerar la labor mecánica que implica su aplicación y las condiciones de cultivo del cacaotero promedio, se estima que no hay ninguna compatibilidad. También ocurrió la muerte de algunos frutos menores de dos meses al hacer contacto el adherente con el pedúnculo de los mismos.

En relación con el "mulch" de arroz, se tiene el inconveniente de que en algunas granzas persiste el

grano, el cual tiende a germinar y, con ello, la aparición de una nueva maleza.

El mantener limpia la superficie alrededor del árbol de cacao, no es una práctica agronómica adecuada, ya que se exponen las raíces, se altera la convivencia microbiana y la degradación de la materia orgánica.

El uso de las hojas de cacao, "como mulch" de menor costo, prácticamente no fue determinante para superar al testigo.

Según los testigos, y sin considerar el nivel y el promedio de *Phytophthora* durante la época de invierno -período de mayor incidencia-, la incidencia del hongo fue del 7%, valor que se modifica al dar a los árboles un manejo agronómico adecuado.

El uso de algún tipo de "mulch" en cacao para reducir la incidencia de *Phytophthora*, prácticamente, no beneficia grandemente al agricultor de cacao en el litoral del Atlántico de Honduras.

LITERATURA CITADA

1. ENRIQUEZ, G A. 1987. Manual del cacao para agricultores. San José, C.R., EUNED. p. 66-67.
2. ERWIN, D C; BARTMICKI, S; TSAO, P H. 1983. *Phytophthora*: Its biology, taxonomy, ecology and pathological society. St. Paul, Minnesota, USA. 392 p.
3. HARDY, F. 1963. Manual de cacao. Turrialba, C.R., IICA. 395 p.
4. LASS, R A. 1987. *Phytophthora* pod rot: Diseases. In Cocoa. 4 ed. Singapore, Longman. p. 267-282.
5. RIVERA, J M. 1988. Enfermedades causadas por *Phytophthora* spp. en el cultivo de cacao: Informe interno. San Pedro Sula, Hond., Fundación Hondureña de Investigación Agrícola. 11 p. (Mimeo).
6. RODRIGUEZ, G. 1983. Herencia de la reacción del cacao (*Theobroma cacao* L.) a la pudrición de la mazorca causada por *Phytophthora palmivora* (Butl.) Butl. Tesis Mag. Sc. Turrialba, C.R., Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza. 79 p.
7. ZENIMYER, G A; ERWIN, D.C. 1970. Development and reproduction of *Phytophthora*. *Phytopathology* 60:1120-1127.

O Papel da Chuva no Fornecimento e Reciclagem de Nutrientes num Agrossistema de Cacau do Sul da Bahia, Brasil¹

A.C. da Gama*; R.A. Calheiros*

ABSTRACT

The importance of rainfall as source and factor in the nutrient redistribution were evaluated in a plantation of "Catongo" cacaos shaded by *Erythrina fusca* in Centro de Pesquisas do Cacau (CEPEC) soil (characteristic Tropudalf), during a period of twelve months. The water regim was studied in four compartments: incident precipitation, under shade trees precipitation, *throughfall* and *stemflow*. The incident precipitation contributed as 5.74, 3.18, 5.73, 25.58, 19.88, 0.25, 0.59 e 2.88 kg ha⁻¹ ano⁻¹ of Ca, Mg, K, Na, N, P, Cu and Zn, respectively. Under shade trees precipitation contributed as 17.00, 6.50, 19.52, 32.30, 20.71, 1.90, 1.23 and 9.50 kg ha⁻¹ ano⁻¹ of Ca, Mg, K, Na, N, P, Cu and Zn, respectively. Cacao *throughfall* contributed as 22.10, 12.07, 34.48, 32.30, 18.05, 2.73, 1.02 and 4.35 kg ha⁻¹ ano⁻¹ of Ca, Mg, K, Na, N, P, Cu and Zn, respectively. Cacao *stemflow* contributed approachment as 0.41, 0.30, 0.98, 0.40, 0.38, 0.07, 0.03 and 0.07 kg ha⁻¹ ano⁻¹ of Ca, Mg, K, Na, N, P, Cu and Zn, respectively.

RESUMO

A importância da precipitação pluvial como fonte e fator de redistribuição de nutrientes foi avaliada numa plantação de cacau Catongo sombreado com *Erythrina fusca*, em solo Typic Tropudalf, durante doze meses. O regime hídrico foi estudado em quatro compartimentos: precipitação incidente, precipitação abaixo da eritrina, *throughfall* e *stemflow* do cacau. A precipitação incidente contribuiu com 5.74, 3.18, 5.73, 25.58, 19.88, 0.25, 0.59 e 2.88 kg ha⁻¹ ano⁻¹ de Ca, Mg, K, Na, N, P, Cu e Zn respectivamente. A precipitação abaixo da eritrina contribuiu com 17.00, 6.50, 19.52; 32.30; 20.71; 1.90; 1.23 e 9.50 kg ha⁻¹ ano⁻¹ de Ca, Mg, K, Na, N, P, Cu e Zn, respectivamente. O *throughfall* do cacau contribuiu com 22.10, 12.07, 34.48, 32.30, 18.05, 2.73, 1.02 e 4.35 kg ha⁻¹ ano⁻¹ de Ca, Mg, K, Na, N, P, Cu e Zn, respectivamente. O *stemflow* do cacau contribuiu aproximadamente com 0.41, 0.30, 0.98, 0.40, 0.38, 0.07, 0.03 e 0.07 kg ha⁻¹ ano⁻¹ de Ca, Mg, K, Na, N, P, Cu e Zn, respectivamente.

INTRODUÇÃO

A precipitação pluvial é uma fonte de nutrientes relativamente importante às plantas num ecossistema florestal (24). A chuva também contribui na reciclagem de nutrientes através da remoção de minerais oriundos das folhas, ramos, frutos e musgos (8). Essa reciclagem se faz através das gotas que penetram diretamente pelos espaços no interior das copas (*throughfall*) e pelo escoamento superficial ao longo de tronco (*stemflow*). O *throughfall* e o *stemflow* são, portanto, importantes compartimentos na dinâmica interna de nutrientes num ecossistema florestal (24), onde os nutrientes estão dissolvidos e prontamente disponíveis para serem reabsorvidos pelas raízes (28).

A intensidade, a distribuição e o volume de precipitação influem na quantidade de nutrientes a serem incorporados ao solo via precipitação incidente, *throughfall* e *stemflow* (2, 13, 3). Em estudos de modelagem de transferência de nutrientes, Fassbender (9) enfatiza a importância de se caracterizar o ciclo hidrológico dos ecossistemas florestais dos trópicos.

Miranda (20, 21) avaliando o regime hídrico de um agrossistema de cacau (*Theobroma cacao* L.) sombreado parcialmente com *Erythrina fusca* encontrou que do total precipitado, em média, 83% chegaram ao solo via *throughfall* e 2% via *stemflow*, e que as perdas sazonais de água de chuva por interceptação variam em função de eventos fenológicos e fatores climáticos dependendo do período do ano e o manejo implementado. O *throughfall*, individualmente, é responsável pela grande variação da quantidade de nutrientes incorporados ao solo num agrossistema de cacau (4, 16, 26). A influência do *throughfall* proveniente do dossel das árvores de sombra, especialmente a *E. fusca*, sobre a quantidade de nutrientes removidos da planta de cacau via *throughfall* e *stemflow* não foi ainda devidamente estudado.

1 Recebido para publicação em 16 de janeiro de 1990
Agradecimentos aos Drs. Luiz Ferreira da Silva, Paulo de Tarso Alvim, Raul René Valle e Antônio Avílio Franco, pela ajuda na revisão e sugestões apresentadas na elaboração do presente trabalho.

* Centro de Pesquisas de Cacau CEPEC/CEPLAC, Itabuna, Bahia, Brasil.

O objetivo deste trabalho foi avaliar os compartimentos do ciclo hidrológico de um agrossistema de cacau-eritrina como fontes adicionais de nutrientes para o solo e, conseqüentemente, para a planta de cacau.

MATERIAL E MÉTODOS

Em área experimental constituída de 0.5 ha, ocupada por cacaueiros Catongo da 10 anos de idade, plantados em espaçamento 3 m x 3 m, em solo Typic Tropudalf, e parcialmente sombreados com *E. fusca* em espaçamento 24 m x 24 m, foram quantificados por 1 ano (Jun/87 a Jun/88) e analisados os nutrientes da vegetação removidos através da chuva.

Caracterização do ciclo hidrológico

No agrossistema de cacau (Fig 1), foram feitas coletas semanais do total de chuva precipitada sobre as árvores de sombra, da chuva abaixo da copa de eritrina, do total precipitado que atinge o solo através de folhagem (i.e. *throughfall*) e do escoamento superficial a longo do tronco (i.e. *stemflow*).

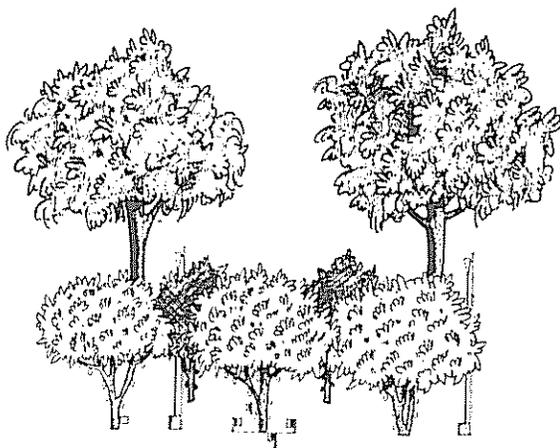


Fig 1. Distribuição de pluviômetros no agrossistema cacau-eritrina.

A chuva incidindo sobre o agrossistema, foi medida na estação agroclimatológica do CEPEC, distante 200 m da área experimental.

O total precipitado que chega acima da copa do cacaueiro, foi coletado por um conjunto de funis PVC (12.7 cm de diâmetro) instalados aproximadamente 80 cm acima da copa, distribuídos aleatoriamente sob a projeção da copa de 10 árvores de eritrina.

Sob a copa de dois cacaueiros, distribuíram-se 4 pluviômetros de PVC (19) posicionados ortogonalmente a uma distância fixa de 90 cm do tronco e 70 cm acima da superfície do solo. Na amostragem do *throughfall* o reposicionamento semanal dos pluviômetros foi aleatório, a fim de observar as variações causadas pela distorção irregular da cobertura foliar no interior do agrossistema apontadas por Miranda (21).

Na quantidade da chuva percolada pelo tronco (i.e. *stemflow*), usou-se coletores fixados com uma espiral ao redor do tronco de 10 cacaueiros. O contato tronco-coletor e canaleta interna de escoamento do coletor, foram ambas vedadas e recobertas por massa plástica à base de polietileno. A água coletada foi recolhida em vasos plásticos.

Após aferição do volume de água uma sub-amostra foi recolhida e filtrada para a determinação de N-total pelo método de Kjeldahl, do P por colorimetria, do K e Na por fotômetro de chama, do Ca, Mg, Cu e Zn por espectrofotômetro de absorção atômica (25).

Em todos os recipientes coletores da água de chuva foram colocadas 10 gotas de tolueno, antes de cada coleta, para reduzir o desenvolvimento de microorganismos.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Ciclo hidrológico

A análise do regime pluvial na área experimental, baseada na precipitação incidente, durante os últimos 15 anos, mostra que a precipitação média para o local foi em torno de 1800 mm, com desvio padrão de 338 mm. O regime pluvial anual se caracterizou por chuvas intermitentes ao longo do ano, apresentando pequenas máximas em fevereiro e junho e mínimas em agosto e dezembro para o número de dias com chuvas (18). Os totais mensais de chuva são variáveis ano a ano. Cada mês, independentemente do período do ano pode, ocasionalmente, apresentar fortes desvios positivos e negativos em relação aos valores médios mensais.

Na Quadro 1 são apresentados os resultados da precipitação incidente, precipitação abaixo de eritrina, *throughfall* e *stemflow* e perdas por interceptação em cada compartimento que compõe a fitomassa do agrossistema de cacau. A precipitação incidente, se caracteriza pela inerente variabilidade espacial e temporal. Sob as copas, as variações de ponto contribuem para a distribuição irregular da chuva (20).

Quadro 1. Quantidade da precipitação de diferentes compartimentos do ciclo hidrológico do agrossistema cacau - eritrina.

Tipo de precipitação	Jul.	Ago.	Set.	Out.	Nov.	Dez. (mm)	Jan.	Fev.	Mar.	Abr.	Mai.	Jun.	Total do ano
Precipitação incidente	137.6	13.5	118.4	43.6	100.9	288.6	130.0	37.0	247.0	91.1	133.0	44.4	1 385.1
Precipitação abaixo da eritrina	121.1	11.9	104.2	38.4	88.8	254.0	114.3	32.5	217.4	80.2	117.0	39.1	1 218.9
<i>Throughfall</i>	105.3	9.9	81.2	27.9	77.4	220.6	102.3	29.2	182.6	68.4	100.1	34.0	1 038.9
<i>Stemflow</i>	1.2	0.2	1.0	0.7	0.9	2.5	1.1	0.3	2.2	0.8	1.3	0.4	12.6
Diferença ¹	-16.5	-1.6	-14.2	-5.2	-12.1	-34.6	-15.7	-4.5	-29.6	-10.9	-16.0	-5.3	-166.2
Diferença ²	-14.6	-1.8	-22.0	-9.8	-10.5	-30.9	-10.9	-3.0	-32.6	-11.0	-15.6	-4.7	-167.4

1 (Precipitação abaixo do eritrina) - (Precipitação incidente)

2 (*Throughfall* + *stemflow*) - (Precipitação abaixo da eritrina).

Influências temporais, que se manifestam principalmente através das alterações estacionais na cobertura foliar e, nas variações meteorológicas (intensidades, duração e recorrência das precipitações) representam possíveis variações sazonais das perdas por interceptação (21). Nas árvores de sombra, os valores médios mensais interceptados foram similares, ficando em torno de 12%. Entretanto, o cacau apresentou índices diferenciados de retenção pluviométrica, tendo, em média, o *throughfall* contribuído com cerca de 85% da precipitação sob a copa, enquanto que o *stemflow* apresentou valores em torno de 1% (Quadro 1).

Ciclo de nutrientes

Precipitação incidente

A concentração média mensal dos nutrientes está apresentada nas Figuras 2a e 3a. As concentrações de Ca, K, Na, Cu e Zn tiveram uma alta variação durante o período experimental, enquanto que a concentração de Mg foi relativamente constante no período de dezembro a abril. A concentração de N foi também relativamente constante no período de setembro a novembro, havendo no mês de julho uma concentração de 3.36 mg/l e nos meses de agosto e junho valores de

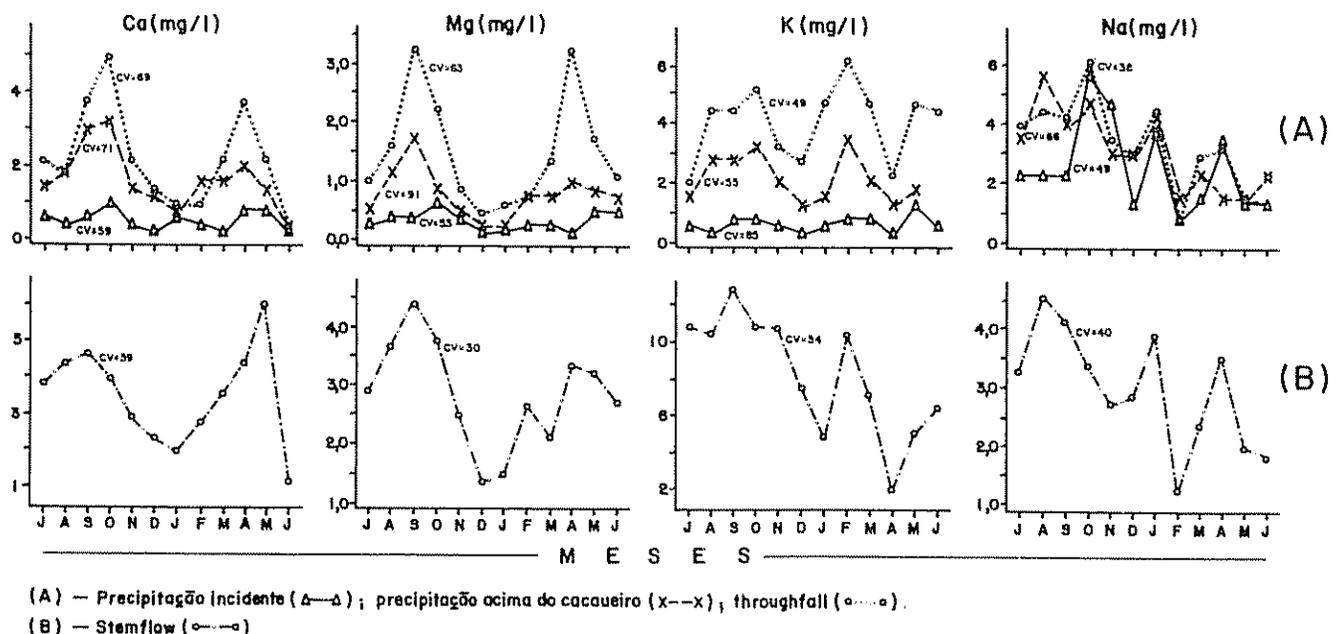


Fig. 2 Concentração média mensal de Ca, Mg, K e Na de diferentes compartimentos de ciclo hidrológico do agrossistema cacau-eritrina.

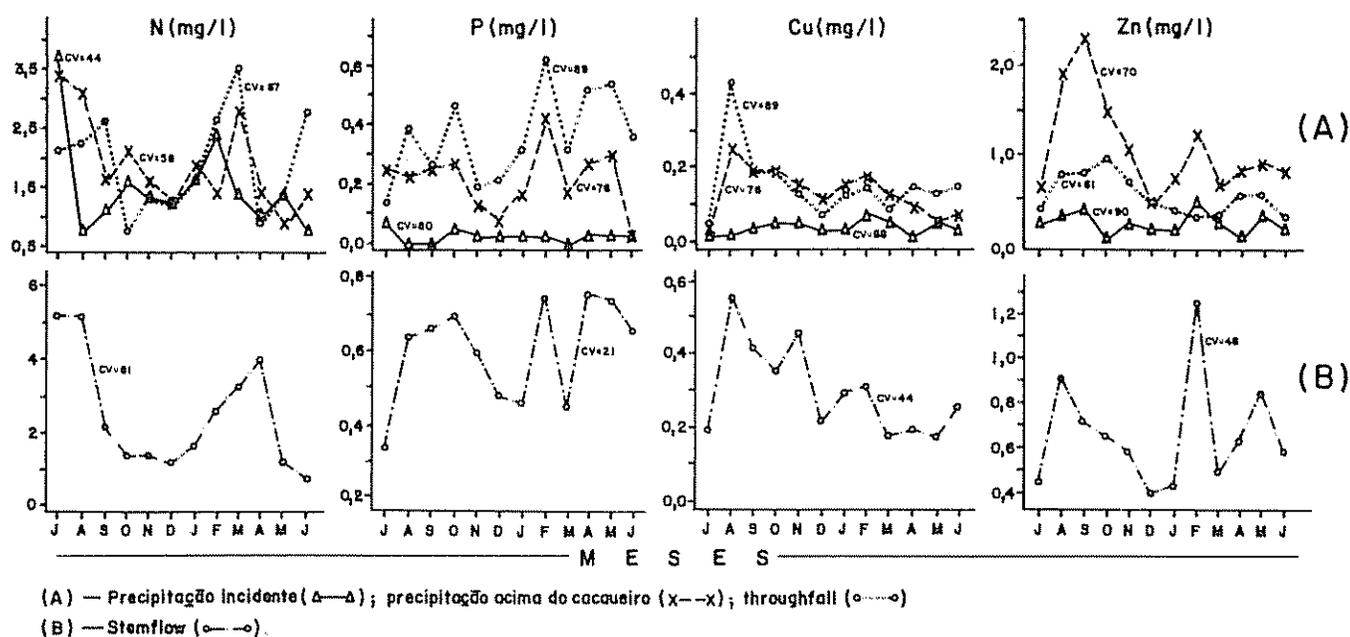


Fig. 3. Concentração média mensal de N, P, Cu e Zn de diferentes compartimentos de ciclo hidrológico de agrossistema cacau-eritrina.

0.77 e 0.70 mg/l, respectivamente. A concentração de P teve alta variação no período de julho a dezembro, ficando constante a partir de janeiro.

Precipitação abaixo de eritrina

As maiores concentrações de Ca ocorreram nos meses de setembro e outubro, com decréscimo no período de novembro a janeiro a um novo acréscimo no período de fevereiro a abril (Fig 2a). A concentração de K foi alta nos meses de outubro e fevereiro, havendo um decréscimo entre esses dois meses. A maior concentração de Mg ocorreu em setembro, com decréscimo no período de outubro a janeiro e um novo acréscimo no período de fevereiro a junho. A concentração de Na, com exceção em agosto que foi de 6.36 mg/l, pode ser dividida em dois períodos: de julho a janeiro e de fevereiro a junho, com concentrações médias de 3.76 mg/l e 1.74 mg/l, respectivamente. Nos meses de julho, agosto e março ocorreram as maiores concentrações de N e no período de setembro a fevereiro a sua taxa de variação foi pequena, com uma concentração média de 1.64 mg/l (Fig 3a). A variação da concentração de P foi pequena no período de julho a outubro e alta nos meses subsequentes, com um pico em fevereiro. As menores e as maiores concentrações de Cu (0.04 e 0.25 mg/l) ocorreram em julho e agosto, de outubro a junho ocorreu um decréscimo contínuo da sua concentração. Houve uma alta variação da concentração de Zn, com dois picos de incrementos da sua concentração nos meses de setembro e fevereiro.

De um modo geral, as maiores taxas de remoção de nutrientes pela água de chuva indicam uma certa relação com a queda de folhas de *Erythrina fusca*, que ocorre durante todo o ano (26). Os picos de maior abscisão coincidem com finais de períodos secos (26). No presente estudo, os meses em que ocorreram os menores índices pluviométricos foram agosto e fevereiro (Quadro 1).

Throughfall

As variações das concentrações dos nutrientes se relacionam, de certa maneira, com os períodos de lançamento foliar do cacauero (1), com picos de maior lançamento foliar nos períodos de setembro a outubro e de fevereiro a março (Figs. 2a e 3a). Esse comportamento não ocorreu para o Cu que apresentou em agosto a sua maior concentração (0.55 mg/l), com decréscimo nos meses subsequentes.

A relação encontrada entre a remoção dos nutrientes pela água de chuva e a queda de folhas de *E. fusca* e do cacauero, se deve ao fato de que as folhas maduras próximas ao estágio de senescência são muito mais susceptíveis a lixiviação do que as folhas jovens (28). Algumas características de folha se alteram com a idade, concorrendo para uma maior taxa de remoção dos nutrientes. Folhas jovens são hidrofóbicas e são umedecidas com mais dificuldades do que as folhas maduras (28). As folhas do cacauero são umedecidas e mais susceptíveis a lixiviação quando desprovidas da presença de uma espessa e contínua camada de cutícula (28).

Stemflow

A variação das concentrações de todos os nutrientes foi alta (Figs. 2b e 3b). Contudo, houve períodos em que essa variação foi relativamente pequena, especialmente no período de agosto a outubro, onde de um modo geral, ocorreram as maiores concentrações. No período de fevereiro a maio, de acordo com cada nutriente, houve um pico de incremento das concentrações.

O *stemflow*, provavelmente, sofreu a influência dos fluxos provenientes da precipitação abaixo de eritrina e do *throughfall*, visto que a variação das concentrações dos nutrientes do *stemflow* durante o período experimental foi, de certa maneira, semelhante ao ocorrido naqueles dois compartimentos (Figs. 2 e 3). Em razão disso a composição química inicial do *stemflow* é muito difícil de se determinar, pois depende de como a água atravessa o dossel antes de pertencer ao próprio *stemflow*. Thomas (27) amostrando *stemflow* em "Dogwood" encontrou que após a abscisão foliar a concentração de ^{45}Ca foi mais baixa do que quando as árvores estavam com folhagem. Isto indica que a lixiviação da casca provavelmente não contribui tanto para a composição química do *stemflow* quanto a lixiviação foliar. Carlisle *et al.* (6) encontraram correlações altamente significativas das concentrações de diversos nutrientes entre o *stemflow* e o *throughfall*, concluindo que a composição química de *throughfall*, ou alguns fatores que influenciam nessa composição, influencia as concentrações do *stemflow*.

No presente estudo, as correlações das concentrações dos nutrientes entre o *stemflow* e o *throughfall*, assim como entre o *stemflow* e a precipitação abaixo da eritrina estão apresentados na Quadro 2. Constata-se que parte de composição do *stemflow* foi, provavelmente, influenciada simultaneamente pelos fluxos provenientes de precipitação abaixo da eritrina e do *throughfall*, especialmente para o Ca,

Mg, Na e Cu, que apresentaram correlações significativas e altamente significativas. As concentrações de K e N no *stemflow* foram significativas e altamente significativas, respectivamente, somente na relação como a precipitação abaixo da eritrina, e a concentração de P foi altamente significativa apenas na relação como o *throughfall*. Contudo não houve significância nas correlações entre a concentração de Zn do *stemflow* com as concentrações da precipitação abaixo da eritrina e o *throughfall*.

Houve um incremento de concentração média anual dos nutrientes provenientes de precipitação incidente ao passar pelos outros compartimentos que compõem o ciclo hidrológico do agrossistema de cacau (Quadro 3 e Figs. 2a e 3a). Na precipitação incidente as concentrações dos nutrientes em ordem decrescente foi de Na N K Ca Mg Zn Cu P (Quadro 3). O Zn teve uma concentração muito alta em relação ao Cu. A alta concentração de Na indica que a atmosfera sobre a área do Centro de Pesquisas do Cacau sofre forte influência de massas de ar de origem oceânica. Os valores das concentrações de Na na precipitação incidente de regiões próximas a zonas marítimas pode variar de 1.71 a 4.84 mg/l (2.5).

Na Quadro 4, a razão de Na e de outros nutrientes na precipitação incidente são comparados com as razões desses nutrientes na água do mar. A razão Mg/Na da precipitação incidente no CEPEC (0.124) foi igual ao da água do mar (0.120), sugerindo que a principal fonte de Mg é originada de materiais salinos. Diversos estudos demonstram que a água do mar seria a principal fonte de Mg na precipitação incidente (2, 17, 24). As razões de K/Na (0,224) e de P/Na (0.009) foram muito maiores do que as da água do mar, indicando que essa não seria a principal fonte desses nutrientes. Isso, provavelmente, seria devido a presença aerossóis e partículas em suspensão. Resultados similares foram encontrados por Carlisle *et al.* (5).

Quadro 2. Correlação da concentração de nutrientes do *stemflow* em relação a precipitação abaixo de eritrina e ao *throughfall* do agrossistema cacau - eritrina.

	Ca	Mg	K	Na	N	P	Cu	Zn
Precipitação abaixo da eritrina	0.60*	0.86**	0.66*	0.78**	0.76**	0.42 ns	0.87**	0.49 ns
<i>Throughfall</i>	0.61*	0.82**	0.18 ns	0.80**	0.21 ns	0.81**	0.78**	0.13 ns

ns - não significativo.

* - significativo a nível de 5%.

** - significativo a nível de 1%.

Quadro 3. Concentração média anual de nutrientes em diferentes compartimentos do ciclo hidrológico do agrossistema cacau - eritrina.

	Ca	Mg	K	Na	N	P	Cu	Zn
	mg/l							
Precipitação incidente	0.51	0.33	0.57	2.54	1.53	0.01	0.04	0.23
Precipitação abaixo da eritrina	1.64	0.78	2.00	3.08	1.90	0.20	0.13	1.10
<i>Throughfall</i>	2.23	1.51	4.11	3.40	1.92	0.36	0.15	0.56
<i>Stemflow</i>	3.48	2.84	8.29	2.98	2.47	0.60	0.20	0.67

Quadro 4. Razão de nutrientes na precipitação incidente e na água do mar.

Razão	Precipitação incidente (CEPEC)	Água do mar (5)
Ca/Na	0.224	0.039
Mg/Na	0.124	0.120
K/Na	0.224	0.036
P/Na	0.009	0.000005

As concentrações dos nutrientes na precipitação abaixo da eritrina variou no ordem de Na K N Ca Zn Mg P Cu; de K Na Ca N Mg Zn P Cu para o *throughfall* e de K Ca Na Mg N Zn P Cu para o *stemflow* (Quadro 3). Esses resultados mostram que houveram variações na remoção de nutrientes de um compartimento para outro. Na Quadro 5, observa-se

que, em termos médios, os nutrientes que tiveram os mais baixos incrementos da precipitação incidente para a precipitação abaixo da eritrina foram o Na (21%), N (24%) e Mg (58%), enquanto que o P teve incrementos elevadíssimos (1900%). Da precipitação abaixo da eritrina para o *throughfall* o nutriente que teve o incremento mais alto foi o K (105%). O mesmo ocorreu na precipitação abaixo de eritrina e/ou do *throughfall* para o *stemflow*. Em razão desses resultados o K foi o nutriente de maior mobilidade no agrossistema de cacau. O dossel de *E. fusca* apresentou maior capacidades de liberação de Ca do que Mg, no entanto comportamento inverso ocorreu em relação ao dossel do cacauceiro (Quadro 5).

O dossel da *E. fusca* e do cacauceiro apresentaram alta capacidade de liberação de P, enquanto que o mesmo não ocorreu para o Cu, onde somente o dossel da *E. fusca* apresentou alta capacidade de liberação do nutriente (Quadro 5). Em relação ao Zn, o fato de ter ocorrido um incremento negativo no *throughfall* indica que, provavelmente, ocorreu absorção do nutriente

Quadro 5. Incremento percentual de nutrientes da precipitação incidente (PI) para a precipitação abaixo da eritrina (PA), da precipitação abaixo da eritrina para o *throughfall* (Th) e para o *stemflow* (ST) e do *throughfall* para o *stemflow* do agrossistema cacau - eritrina.

	Ca	Mg	K	Na	%	N	P	Cu	Zn
PI - PA	221	58	250	21		24	1 900	225	378
PA - TH	36	93	105	10		1	80	15	-49
PA - ST	112	264	314	-3		30	200	123	-39
TH - ST	56	88	102	-12		29	67	93	20

pelas folhas do cacauzeiro (Quadro 5). Resultados similares foram relatados em outras espécies arbóreas (28, 30). Contudo, a absorção pode ser devido a presença de uma microflora sobre a superfície das folhas e ramos (6, 15).

Apesar da *E. fusca* ser uma planta leguminosa, o seu dossel apresentou uma baixa capacidade de liberação de N, e o dossel do cacauzeiro praticamente não proporcionou nenhuma liberação do nutriente (Quadro 5). Resultados similares foram encontrados por Leite e Valle (16) em agrossistemas de cacau, com e sem sobreamento, tendo sido observado efeito de sazonalidade. O N na sua forma inorgânica ou orgânica não é facilmente removido das folhas pela água de chuva (8, 24), sendo que com frequência pode ocorrer a sua absorção pelas folhas (5, 29). Os incrementos de Na proporcionados pelo dossel de *E. fusca* e do cacauzeiro foram muito baixos, devido a que a principal fonte, na região do presente estudo, seria de origem oceânica. Portanto, em regiões próximas a zonas marítimas, mais de 90% do Na removido do dossel das árvores seria proveniente da deposição seca de sais sódicos (24).

Com exceção para as concentrações de Na e Zn, o *stemflow* apresentou as maiores concentrações de nutrientes em relação aos outros compartimentos do ciclo hidrológico de cacauzeiro (Quadro 3). Diversos estudos demonstram que o compartimento do ciclo hidrológico de ecossistema florestal que possui as maiores concentrações de nutrientes é o *stemflow* (6, 8, 29). A sua contribuição, em termos de quantidade total de nutrientes que chegam ao solo, foi pequena no presente estudo (Quadro 6). Provavelmente isto é devido a que somente 1% da precipitação total que passa através do dossel do cacauzeiro foi na forma de *stemflow*. Todavia, o *stemflow* pode ser muito importante porque ele é depositado em uma pequena área ao redor da base do tronco. A alta concentração de nutrientes e de material orgânico no *stemflow* proporciona significativas alterações nas propriedades morfológicas, físicas e químicas do solo (11, 12). A quantidade de *stemflow* e a sua composição química está relacionada com algumas características do tronco. A casca lis proporciona maior *stemflow* e menor concentração de nutrientes do que a casca rugosa (22, 13), assim como o menor diâmetro do tronco (14) e a maior inclinação dos ramos (22). No caso de cacauzeiro a presença no tronco de almofada floral e frutos, e eventualmente de líquens e musgos, contribuiriam para aumentar substancialmente a concentração de nutrientes no *stemflow*.

Num ecossistema florestal o fluxo de nutrientes na água de chuva está relacionado como a quantidade precipitada. Contudo, há importantes diferenças entre

a concentração de nutrientes e a quantidade de água: são fluxos de nutrientes são muito variáveis e não podem ser obtidos diretamente do regime hídrico (24). Portanto, o fluxo de nutrientes removidos pela precipitação dependerá dos seus teores nos tecidos da planta, da fenologia e da sazonalidade.

No Quadro 6, observa-se que, apesar das perdas por interceptação, o *throughfall* foi o compartimento que teve as maiores quantidades de nutrientes, com exceção para o N, Cu e Zn. Para todos os nutrientes, o *throughfall* correspondeu, em média, a 98% da quantidade total (*throughfall* + *stemflow*) a serem incorporados no solo. As quantidades de K, em termos líquidos, foram maiores do que a dos outros nutrientes, tanto para a precipitação abaixo da eritrina quanto para o *throughfall* + *stemflow* (Quadro 6).

As quantidades de nutrientes incorporados ao solo via *throughfall* no presente estudo foram similares ao encontrado por outros autores em agrossistemas de cacau de Bahia, sombreados parcialmente com *E. fusca*. As quantidades de Ca, Mg e K encontrados por Santana e Cabala (20) são da ordem de 18, 22, 21 kg ha⁻¹ ano⁻¹, respectivamente. No entanto, Leite e Valle (16) encontraram para esses nutrientes valores da ordem de 41, 21, e 55 kg ha⁻¹ ano⁻¹, respectivamente. Enquanto que em cacauzeiros não sombreados as quantidades de Ca, Mg e K são da ordem de 49, 29 e 150 kg ha⁻¹ ano⁻¹ (16), respectivamente. As quantidades desses nutrientes encontrados por Boyer (4) em plantação de cacau parcialmente sombreados em Camarões (África), são bem superiores as registradas no presente estudo.

Esses resultados demonstram que as características da precipitação do período de amostragem e o sistema de manejo utilizado numa plantação de cacau (com ou sem sombra) influem nas quantidades de nutrientes removidos pela água de chuva.

Além disso, constata-se que o K é o nutriente que apresenta a maior mobilidade num agrossistema de cacau. Fassbender *et al.* (10) demonstram que o K, seguramente, é o fator limitante natural de eficiência do cultivo de cacau. Em ecossistemas florestais de clima tropical e temperado o K, normalmente, é o nutriente de maior mobilidade (7, 8, 23).

A presença de nutrientes na água via *throughfall* e *stemflow* (Quadro 6), independentemente de acréscimos líquidos, aumentaria substancialmente a disponibilidade dos nutrientes no solo, e que poderiam, então, ser reabsorvidos pelas raízes do cacauzeiro. Desde que não haja perdas consideráveis por lixiviação. Concomitante a isso, em condições ambientais (solo e clima) idênticas ao do presente estudo, Santana e Cabala (26) demonstraram que na produção

Quadro 6. Conteúdo total de nutrientes de diferentes compartimentos do ciclo hidrológico do agrossistema cacau - eritrina.

Tipo precipitação	Ca	Mg	K	Na	N	P	Cu	Zn
(kg ha ⁻¹ ano ⁻¹)								
Precipitação incidente	5.74	3.18	5.73	25.58	19.88	0.25	0.59	2.88
Precipitação abaixo da eritrina	17.00	6.50	19.52	32.30	20.71	1.90	1.23	9.50
<i>Throughfall</i>	22.10	12.07	34.38	32.30	18.05	2.73	1.02	4.35
<i>Stemflow</i>	0.41	0.30	0.98	0.40	0.38	0.07	0.03	0.07
Remoção líquida ¹	5.10	3.32	13.79	6.72	0.83	1.65	0.64	6.62
Remoção líquida ²	5.51	5.87	15.94	0.34	-2.28	0.90	-0.18	-5.08

- 1 (Precipitação abaixo da eritrina) - (Precipitação incidente).
 2 (*Throughfall* + *stemflow*) - (Precipitação abaixo da eritrina).

1000 kg ha⁻¹ de sementes secas as quantidades de N, P, K, Ca e Mg removidas não foram significativas em relação aos ingressos de nutrientes, mesmo se forem consideradas as perdas por lixiviação que foram desprezíveis. Outrossim, a capacidade desse tipo de agrossistema em proporcionar relevantes perdas de água de chuva por interceptação (Quadro 1), minimizaria os efeitos da drenagem profunda.

CONCLUSÕES

A metodologia aplicada na tomada das amostras de água via *throughfall* e *stemflow* do cacauzeiro se mostrou adequada, pois os resultados obtidos corroboraram os estudos já realizados sobre a caracterização do ciclo hidrológico de agrossistema de cacau - eritrina do Sul de Bahia.

O *throughfall* e *stemflow* seriam importantes fontes adicionais de nutrientes para o solo e, conseqüentemente, para a planta de cacau, considerando para esse tipo de agrossistema as baixas quantidades de nutrientes exportados com a produção de sementes e as pequenas perdas por lixiviação. A estratégia de fertilização, portanto, se deve basear á adição de elementos apenas em doses de manutenção.

LITERATURA CITADA

- ALVIM, P. DE I.; MACHADO, A. D.; VELLO, F. 1974. Physiological response of cacao to environmental factors. *Revista Theobroma (Bra.)* 4:3-25.
- ATTIWILL, P.M. 1966. The chemical composition of rain-water in relation to recycling of nutrients in a mature eucalyptos forest. *Plant and Soil* 24:390-406.
- BERNHARD-REVERSAT, F. 1975. Nutrients in *throughfall* and their quantitative importance in rain forest mineral cycles. In *Tropical ecological systems: Trends in terrestrial and aquatic research*. F.B. Golley, E. Medina (Eds.). New York, Springer. p. 153-159.
- BOYER, J. 1973. Cycles de la matière organique et des éléments minéraux dans une cacaoyère camerounaise. *Café Cacao Thé* 17:3-24.
- CARLISLE, A., BROWN, A.H.F.; WHITE, E.J. 1966. The organic matter and nutrient elements in the precipitation beneath a sessile oak (*Quercus petraea*) canopy. *Journal of Ecology* 54:87-98.
- CARLISLE, A., BROWN, A.H.F.; WHITE, E.J. 1967. The nutrient content of trees stem flow and ground flora litter and leachates in a sessile (*Quercus petraea*) woodland. *Journal of Ecology* 55:615-627.
- CHAPIN, F.S. 1980. The mineral nutrition of wild plants. *Annual Review of Ecology and Systematics* 11:233-260.
- EATON, J.S., LIKENS, G.E.; BORMANN, F.H. 1973. *Throughfall* and *stemflow* chemistry in a northern hardwood forest. *Journal of Ecology* 61:459-508.
- FASSBENDER, H.W. 1985. Ciclos da matéria orgânica e dos nutrientes em ecossistemas florestais dos trópicos. In *Simpósio sobre Reciclagem de Nutrientes e Agricultura de Baixos Insumos nos Trópicos (1984, Ilhéus, BA, Bra.) Anais Ilhéus, CEPLAC*. p. 203-230.
- FASSBENDER, H.W.; ALPIZAR, L.; HEUVELDOP, J.; ENRIQUE, G.; FOLSTER, H. 1985. Ciclos de matéria orgânica e dos nutrientes em agrossistemas com cacauzeiros. In *Simpósio sobre Reciclagem de Nutrientes e Agricultura de Baixos Insumos nos Trópicos (1984, Ilhéus, BA, Bra.) Anais Ilhéus, CEPLAC*. p. 231-257.

11. GESPER, P.L.; HOLOWAYCHUCK, N. 1970. Effects of **stemflow** water on a Miami soil under a beech tree. I. Morphological and physical properties. *Proceedings of the Soil Science Society of America* 34:779-786.
12. GESPER, P.L.; HOLOWAYCHUCK, N. 1970. Effects of **stemflow** water on a Miami soil under a beech tree. II. Chemical properties. *Proceedings of the Soil Science Society of America* 34:786-794.
13. GESPER, P.L.; HOLOWAYCHUCK, N. 1971. Some effects of **stemflow** forest canopy trees on chemical properties of soil. *Ecology* 52:691-702.
14. JORDAN, C.F. 1978. **Stemflow** and nutrient transfer in a tropical rain forest. *Oikos* 31:257-263.
15. JORDAN, C.F.; GOLLEY, F.; HALL, J.; HALL, J. 1980. Nutrient scavenging of rainfall by the canopy of an Amazonian rain forest. *Biotrópica* 12:61-66.
16. LEITE, J. de O.; VALLE, R.R. 1990. Nutrient cycling in the cacao ecosystem: Rain and **throughfall** as nutrient sources for the soil and the cacao tree. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 32:143-154.
17. LIKENS, G.E.; BORMANN, F.H.; PIERCE, S.R.; EATON, S.J.; JOHNSON, N.M. 1977. *Biochemistry of a forested ecosystem*. New York, Springer. 146 p.
18. MILDE, I.C.E.; NITZSHE, M.H. 1985. Estudo da precipitação diária: Regimes pluviométricos para a região cacauceira da Bahia. *Revista Theobroma (Bra.)* 15(2):79-95.
19. MIRANDA, R.A.C. 1982. Interception of rainfall in an apple orchard and its subsequent evaporation. Thesis Mag. Ph. Norwich, England, University of East Anglia. 140 p.
20. MIRANDA, R.A.C. 1985. Observações iniciais da perda por interceptação de chuva em cacauceiro. *Revista Theobroma (Bra.)* 15(2):73-78.
21. MIRANDA, R.A.C. 1987. Interceptação da chuva por cacauceiros no Sudeste da Bahia. *Revista Theobroma (Bra.)* 17(4):251-259.
22. NIHLGARD, B. 1970. Precipitation, its chemical composition and effect on soil water in a beech and a spruce forest in south Sweden. *Oikos* 21:208-217.
23. NYE, P.H. 1961. Organic matter and nutrient cycles under moist tropical forest. *Plant and Soil* 13:333-346.
24. PARKER, G.G. 1983. **Throughfall** and **stemflow** in the forest nutrient cycle. *Advances in Ecological Research* 13:57-133.
25. SANTANA, M.B.M.; PEREIRA, G.C.; MORAIS, F.I. DE OS. 1976. Métodos de análises de solos, plantas e água utilizados no laboratório do Setor de Fertilidade do CEPEC. Ilhéus, Centro de Pesquisas do Cacau. 33p.
26. SANTANA, M.B.M.; CABALA-ROSAND, P. 1984. Reciclagem de nutrientes em plantações de cacau sombreada com eirrina. In *Conference Internationale sur la Recherche Cacaoyère* (9., 1984, Lomé, Togo). Actes. Lagos, Nigéria, Cocoa Producers Alliance. p. 205-210.
27. THOMAS, W.A. 1969. Accumulation and cycling of calcium by dogwood trees. *Ecology Monography* 39:101-120.
28. TUKEY JR., H.B. 1970. The leaching of substances from plants. *Annual Review of Plant Physiology* 21:305-324.
29. VOIGT, G.K. 1960. Alteration of the composition of rain-water by trees. *American Midland Naturalist* 63:321-326.
30. WITWER, S.H.; TEUBNER, F.G. 1959. Foliar absorption of mineral nutrients. *Annual Review of Physiology* 10:13-32.

Propagación Clonal *in vitro* de Diferentes Especies de Poró¹

A. Berrios*, J. Sandoval F.** , L. E. Müller**

ABSTRACT

Small plantlets raised *in vitro* from seeds of *Erythrina poeppigiana*, *E. berteriana*, *E. costaricensis* and *E. fusca* were used as starting material. From each plantlet the vegetative apex and cotyledonary node were isolated. Murashige and Skoog (M.S.) medium was used for establishing the cultures. Different concentrations of BA (0, 1, 2, 4 mg · l⁻¹) and BAP (0, 1, 2, 4, 8 mg · l⁻¹) were tested, as well as all possible combinations. For the *in vitro* layering the same M.S. basal medium was used supplemented by IBA (1 mg · l⁻¹) or BA (1 mg · l⁻¹). The survival, oxidation, and contamination percentages, considering all cultivated explants during establishment varied with the species. The cultured apices produced some roots. The development of the cotyledonary buds took place only in *E. berteriana* and *E. costaricensis*; the best treatments were 2 or 4 mg · l⁻¹ BA for *E. berteriana*, independent of the IBA concentration, and IBA 1 mg · l⁻¹ with 8 mg · l⁻¹ of BA for *E. costaricensis*. *In vitro* layering produced an adequate number of explants to initiate the multiplication phase.

Key words: micropropagation, *Erythrina* spp.

COMPENDIO

Se usaron plántulas provenientes de semillas germinadas *in vitro* de *Erythrina poeppigiana*, *E. berteriana*, *E. costaricensis* y *E. fusca*. De cada plántula se aisló el ápice vegetativo y el nudo cotiledonar. En la fase de establecimiento se usó el medio de cultivo de Murashige y Skoog (M.S.). Se probaron diferentes concentraciones de IBA (0, 1, 2 y 4 mg · l⁻¹) y de BA (0, 1, 2, 4 y 8 mg · l⁻¹), en todas sus posibles combinaciones. En la fase de multiplicación y cultivo horizontal (*in vitro layering*) también se usó el medio M.S. basal más IBA (1 mg · l⁻¹). Los porcentajes de supervivencia, oxidación y contaminación obtenidos del total de explantes cultivados en la fase de establecimiento, variaron con la especie. Se notó en el cultivo de ápices vegetativos la diferenciación de raíces. El desarrollo de yemas cotiledonares sólo ocurrió en *E. berteriana* y *E. costaricensis*. Los mejores tratamientos fueron 2 mg · l⁻¹ ó 4 mg · l⁻¹ de BA para *E. berteriana*, independientemente de la concentración de IBA, y 1 mg · l⁻¹ de IBA más 8 mg · l⁻¹ de BA para *E. costaricensis*. Por medio del cultivo horizontal se obtuvo un número adecuado de explantes para proseguir con la fase de multiplicación.

Palabras clave: micropropagación, *Erythrina* spp.

INTRODUCCION

El poró (*Erythrina* spp.) es una leguminosa arbórea usada frecuentemente como sombra en cafetales y cacaoales y, también, como cercas vivas. Es capaz de fijar nitrógeno, lo que contribuye al mejoramiento de la fertilidad del suelo. Generalmente se propaga por estacas, pero este método de propagación asexual tiene varias desventajas: pérdida de la capacidad de enraizamiento a medida que el árbol de origen es más viejo; los árboles portadores de estacas deben estar lo suficientemente maduros como para expresar sus características; no se pueden obtener

grandes cantidades de ellas a partir de una sola planta. Una opción es utilizar la metodología del cultivo de tejidos o micropropagación. Su principal ventaja reside en su gran capacidad de multiplicación vegetativa a partir de fragmentos de órganos o tejidos de una planta madre seleccionada.

En la actualidad se reconoce que la multiplicación clonal *in vitro* o micropropagación tiene su mayor capacidad de aplicación en plantas arbóreas (10, 20). Sin embargo, las investigaciones efectuadas en este campo con árboles tropicales, especialmente con aquellos de la familia Leguminosae, son pocas, si se comparan con las hechas en especies de clima templado (15, 16). En la mayoría de los trabajos se consiguió la propagación clonal *in vitro* con el desarrollo de yemas adventicias a partir de callos. En pocos casos se usaron árboles adultos como plantas-madre. Rao y Lee (15) afirmaron que entre más joven sea el tejido, mejor será su crecimiento al cultivarse *in vitro*. Esta parece ser la principal razón para seleccionar explantes que provengan de plantas jóvenes.

¹ Recibido para publicación el 20 de marzo de 1990.

* Apartado postal 1655-1000 San José C.R.

** Laboratorio Cultivo de Tejidos, Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CAITIE) 7170-Turrialba, C.R.

Dhawan y Bhojwani (6) utilizaron nudos cotiledonares y nudos de plántulas de *Leucaena leucocephala*, y lograron el desarrollo de yemas axilares al cultivarlos en un medio M.S. suplementado con $0.68 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$ de BA más $58.4 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$ de glutamina. En el cultivo *in vitro* de ápices vegetativos de *L. leucocephala* se obtuvo (17) la diferenciación de yemas adventicias en un medio M.S. más $5 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$ de K (cinetina).

Goyal y Arya (7) informaron del desarrollo de yemas adventicias en *Prosopis cineraria* a partir del cultivo *in vitro* de hipocótilos en un medio M.S. más $4.5 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$ de K y $0.25 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$ de NAA. En un cultivo *in vitro* de hipocótilos de *Albizzia* spp. se diferenciaron callos y yemas adventicias al emplearse un medio de cultivo B5 con $2.3 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$ de BA (23).

En el presente trabajo, y de acuerdo con el conocimiento actual sobre el tema, se propusieron los siguientes objetivos:

- Establecer las mejores condiciones para el cultivo *in vitro* de ápices vegetativos y nudos cotiledonares de diferentes especies de *Erythrina*.
- Lograr, por medio de explantes secundarios, la multiplicación clonal rápida *in vitro*.

MATERIALES Y METODOS

Se usaron plántulas de cuatro especies de *Erythrina*: *E. poeppigiana*, *E. berteriana*, *E. costaricensis* y *E. fusca*. Estas plántulas se obtuvieron de semillas germinadas asépticamente, suministradas por el Banco Latinoamericano de Semillas Forestales del Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE).

La desinfección de las semillas se hizo en una campana de flujo laminar, sumergiéndolas en etanol al 95% por dos minutos. Se enjuagaron en agua destilada estéril por 5 min., seguido de una inmersión en hipoclorito de sodio (blanqueador comercial, 5.25% de NaClO) por 20 minutos. Luego se hicieron cuatro lavados con agua destilada estéril, cada uno de cinco minutos.

Las simientes desinfectadas se colocaron en tubos de cultivo de 15 cm x 2.5 cm, que contenían alícuotas de 10 ml del medio basal semisólido (0.7% de agar) de Murashige y Skoog (13) sin sacarosa.

Dos o tres semanas después de sembrar las semillas, ya se habían formado plántulas adecuadas para efectuar la excisión de los explantes. La disección se realizó en

la campana de flujo laminar. Los explantes se colocaron en un plato de Petri estéril de 14 cm de diámetro. La operación de disección se efectuó con pinzas y escalpelos previamente esterilizados con la ayuda de un mechero de gas. De cada plántula se aisló el ápice vegetativo y el nudo cotiledonar. Para el cultivo horizontal se usaron tallitos desarrollados *in vitro* a partir de los ápices vegetativos.

Los explantes se enjuagaron en una solución antioxidante estéril de ácido ascórbico ($100 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$) en combinación con ácido cítrico ($100 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$) durante 20 minutos.

Los medios de cultivo utilizados se fundamentaron en el medio basal semisólido de Murashige y Skoog (13). Para las modificaciones de este medio basal se emplearon dos designaciones: (E) para el tipo usado en la fase de establecimiento y (M) para la fase de multiplicación y cultivo horizontal (*in vitro layering*).

En la fase E se usaron tubos de cultivo de 9.5 cm x 2 cm que contenían alícuotas de 10 ml del medio semisólido (0.7% de agar) respectivo (Cuadro 1). En esta fase se cultivó un explante por tubo; para cada uno de los medios se sembraron 25 repeticiones (25 explantes).

En la fase M se emplearon cajitas de plástico marca Magenta (tipo GA 7) que contenían alícuotas de 50 ml de medio M.S. semisólido (0.15% de Gelrite) y $1 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$ de BA (Cuadro 1). Se sembró un eje caulinar en posición horizontal por cada recipiente. El número de ejes caulinares cultivados varió con la especie de *Erythrina*, ya que dependió de la cantidad de material vegetal disponible. Las yemas desarrolladas se separaron luego del explante original y se sembraron en medio M.S. semisólido (0.15% de Gelrite) con $1 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$ de IBA (Cuadro 1) para estimular su crecimiento en longitud.

Los tubos de cultivo inoculados se colocaron en una cámara de crecimiento, con un fotoperíodo de 16 h e iluminancia de 2000 lux a nivel de los estantes. La luz fue proporcionada por lámparas fluorescentes del tipo G.E. Gro y Sho. La temperatura se ajustó a $27 \pm 2^\circ$ centígrados.

En la fase de establecimiento (E) se evaluó: a) El número de explantes supervivientes, contaminados y oxidados; b) la respuesta morfogénica de ápices vegetativos; y c) el número de yemas cotiledonares formadas por nudo cotiledonar.

Esta evaluación se hizo cuatro semanas después de sembrados los explantes en el medio correspondiente.

Cuadro 1. Composición de los medios de cultivo usados en la propagación clonal *in vitro* de *Erythrina* spp.

Medio	Reguladores de crecimiento (mg.l ⁻¹)	
	IBA	BA
Fase de establecimiento (E)		
E ₁	0	0
E ₂	1	0
E ₃	2	0
E ₄	4	0
E ₅	0	1
E ₆	1	1
E ₇	2	1
E ₈	4	1
E ₉	0	2
E ₁₀	2	2
E ₁₁	2	2
E ₁₂	4	2
E ₁₃	0	4
E ₁₄	1	4
E ₁₅	2	4
E ₁₆	4	4
E ₁₇	0	8
E ₁₈	1	8
E ₁₉	2	8
E ₂₀	4	8
Fase de multiplicación (M)		
M ₁	0	1
M ₂	1	0

Notas:

A todos los medios se adicionó sacarosa al 3% y 30 mg · l⁻¹ de cisteína-HCL.

En la fase de multiplicación y cultivo horizontal (M) se evaluó: a) el número de yemas axilares brotadas por cada eje caulinar; b) tiempo (en días) transcurrido para el brote de las yemas axilares del eje caulinar; y el c) tiempo (en días) transcurrido para que las yemas axilares formaran ejes caulinares con tamaño apto para su siembra horizontal.

Para cada especie de *Erythrina* investigada, se calculó la tasa de multiplicación potencial, con base en el siguiente procedimiento:

Se sumó el número total de días que tardaron los explantes para completar un ciclo de propagación. Se dividió el número de días de un año (365) entre el dato

anterior para obtener el número potencial de ciclos por año. Con estos datos se obtuvo la tasa de multiplicación potencial de acuerdo con la siguiente fórmula:

$$(a)^a = \text{tasa de multiplicación potencial}$$

donde:

a = número promedio de yemas axilares producidas en el cultivo horizontal; y

b = número de ciclos de propagación por año.

Los totales de supervivencia, contaminación y oxidación obtenidos en la fase de establecimiento se expresaron en porcentajes, al igual que la respuesta morfogénica del cultivo *in vitro* de ápices vegetativos.

Para el cultivo *in vitro* de nudos cotiledonares se utilizó un diseño completamente al azar. Se hicieron análisis de variancia y comparaciones de medias mediante la metodología establecida por la prueba de Amplitud Múltiple de Duncan.

RESULTADOS Y DISCUSION

Según varios autores (1, 4, 19), el establecimiento *in vitro* de especies arbóreas es difícil de lograr. La obtención de los explantes, a partir de plántulas provenientes de semillas germinadas asépticamente, resuelve algunos problemas, como por ejemplo la desinfección complicada del material vegetal y la poca respuesta morfogénica en tejidos de árboles adultos. Bonga (3) indicó que cuanto más joven sea la planta, más sencilla será su micropropagación.

Como se observa en el Cuadro 2, la supervivencia en esta fase, expresada en porcentaje, varió con la especie de *Erythrina*. Estos datos se basan en la observación de los cultivos que, luego de cuatro semanas de la inoculación, no se contaminaron u oxidaron.

Cuadro 2. Supervivencia, contaminación y oxidación (%) obtenidas del total de explantes cultivados en la fase de establecimiento de la propagación *in vitro* de *Erythrina* spp.

Especie	Supervivencia (%)	Oxidación (%)	Contaminación (%)
<i>E. poeppigiana</i>	59	37	4
<i>E. berteriana</i>	84	9	7
<i>E. costaricensis</i>	72	24	4
<i>E. fusca</i>	81	10	9

Se esperó que la contaminación fuese mínima por el origen de los explantes. Sin embargo, se encontró 4% en *E. poeppigiana* y *E. costaricensis*, 9% en *E. fusca* y 7% en *E. berteriana* (Cuadro 2). Esto se debió principalmente a la presencia de microorganismos endofíticos, en especial bacterias. Al respecto, Sweet y Bolton (21) concluyeron que estos patógenos también están presentes en semillas y, por ende, en las plántulas que de ellas surgen.

Se encontró que la oxidación fue la causa más importante de la pérdida de propágulos. Cuando éstos se cortaron, aparecieron coloraciones oscuras en las zonas dañadas, lo que concuerda con lo propuesto por Bonga (2), quien afirmó que la oxidación es un impedimento para la iniciación de un cultivo aséptico.

Este fenómeno ocurre por la acción de las enzimas de tipo polifenoloxidas y tirosinasas que se liberan o sintetizan cuando los tejidos sufren heridas. Actúan sobre los polifenoles y la tirosina, oxidándolos a quinonas que son fitotóxicas. Estas sustancias, a su vez, pueden polimerizarse y afectar las proteínas. De esta forma se inhibe el crecimiento (2, 9).

Durante esta investigación se trató de controlar la oxidación con enjuagues de los explantes en una solución estéril de ácido ascórbico en combinación con ácido cítrico, al agregar cisteína-HCl al medio de cultivo y hacer subcultivos frecuentes. Sin embargo, para *E. poeppigiana* y *E. costaricensis* la oxidación alcanzó 37% y 24% respectivamente, lo que redujo de manera considerable la supervivencia de estas dos especies en la fase de establecimiento. Estos resultados concuerdan con lo observado por varios autores (5, 14, 17) al cultivar *in vitro* fragmentos de plántulas de *Dalbergia sissoo* y *L. leucocephala*.

En relación con la respuesta morfogénica del cultivo de ápices vegetativos se observó una tendencia uniforme en la diferenciación de raíces en los tratamientos que carecieron de BA. Cuando no se añadió ningún regulador de crecimiento al medio de cultivo, se formaron raíces en los explantes de *E. berteriana* (44%), *E. costaricensis* (80%) y *E. fusca* (63%). Esto significa que el nivel endógeno de auxinas para este género es alto, lo que concuerda con los resultados de otros autores (18), quienes constataron que tejidos jóvenes presentan frecuentemente contenidos auxínicos elevados que promueven, en el cultivo *in vitro*, la iniciación de raíces.

Teóricamente concentraciones iguales de auxina y citocinina estimulan la formación de callo. Sin embargo, en esta investigación, la presencia de esta masa indiferenciada de células, especialmente en la base de los ejes caulinares, fue una respuesta generalizada en

todas las especies de *Erythrina* para los niveles y combinaciones de reguladores de crecimiento estudiados. Thomas y Mehta (22) informaron acerca de un comportamiento semejante en *Ceratonia siliqua*. Se cree que esto pueda deberse al contacto directo de esta parte del explante con el medio y, por lo tanto, a una concentración mayor de las hormonas. De esta forma las células de esta zona de tejido responden más intensamente a la acción de los reguladores de crecimiento contenidos en el medio nutritivo.

Una alternativa posible para producir plántulas hubiera sido la transferencia de los callos formados a un medio favorable para la diferenciación de yemas. Pero este procedimiento se descartó por el riesgo que significa para la estabilidad genética del material. Como lo indicó Kester (10), se debe evitar el uso del callo por la posible obtención de variantes (somaclonal).

El principal objetivo del cultivo aséptico de ápices vegetativos fue el de probar su utilidad para la multiplicación rápida *in vitro*. A pesar del gran número de tratamientos probados, no se logró el crecimiento y desarrollo de yemas axilares latentes o adventicias. Únicamente se regeneró un tallo a partir de un ápice vegetativo, es decir no se cumplió con el principal objetivo de esta metodología: obtener un número adecuado de propágulos a partir de un solo explante. Dhawhan y Bhojwani (6) informaron sobre una situación similar en cultivos de *L. leucocephala*.

Al emplear los nudos cotiledonares de las plantas se pretendió conseguir la brotación de las yemas cotiledonares. Sin embargo, esto ocurrió únicamente en los cultivos de *E. berteriana* y *E. costaricensis*.

Puesto que se evaluaron muchas combinaciones de IBA más BA, se descartó la posibilidad de que no se incluyeran niveles adecuados de estos reguladores de crecimiento para permitir la diferenciación de estas yemas en *E. poeppigiana* y *E. fusca*. En éstas solamente se consiguió la formación de callo en la mayoría de los tratamientos probados.

De los análisis de variancia efectuados para los datos obtenidos en *E. berteriana* y *E. costaricensis* se deduce que el efecto del BA fue más significativo que el del IBA, en relación con el número de yemas cotiledonares diferenciadas. Se informó de un caso similar en *L. leucocephala* cultivada *in vitro* (8).

En el caso de *E. berteriana*, al considerar en el análisis estadístico sólo el IBA (Cuadro 3), se alcanzó el mayor número promedio de yemas cotiledonares desarrolladas cuando no se añadió esta auxina al medio de cultivo. Este número se redujo conforme aumentó

Cuadro 3. Número promedio de yemas cotiledonares desarrolladas en el cultivo *in vitro* de nudos cotiledonares de *E. berteriana* al considerar sólo las concentraciones de IBA ($\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$).

Concentración de IBA ($\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$)	Promedio de yemas (*) (núm.)
0	1.0323 (a)
1	0.9180 (a)
2	0.8750 (a)
4	0.6923 (a)

Nota:

* Diferencias entre promedios seguidos por una misma letra no difieren significativamente de acuerdo con la Prueba de Amplitud Múltiple de Duncan al 5% de probabilidad.

el nivel del IBA. Aunque estadísticamente no hubo diferencias significativas entre medias al obtenerse un coeficiente de variación muy alto, debido posiblemente a que los nudos cotiledonares usados provenían de grupos aleatorizados de simientes, es interesante destacar la tendencia establecida, pues se sabe que las auxinas normalmente no estimulan la diferenciación de yemas (18).

En el Cuadro 4 aparecen los promedios de yemas cotiledonares desarrolladas en *E. berteriana*, cuando en el análisis estadístico se consideraron únicamente las dosis de BA. En estas circunstancias las cifras más altas se obtuvieron con $2 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$ y $4 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$ de BA.

Este mismo comportamiento se presentó y fue más evidente en *E. costaricensis* (Cuadros 5 y 6). Nótese

Cuadro 4. Número promedio de yemas cotiledonares desarrolladas en el cultivo *in vitro* de nudos cotiledonares de *E. berteriana* al considerar sólo las concentraciones de BA ($\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$).

Concentración de BA ($\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$)	Promedio de yemas (*) (núm.)
4	1.1333 (a)
2	1.0244 (a)
8	0.8723 (ab)
0	0.8043 (ab)
1	0.6136 (b)

Nota:

* Diferencias entre promedios seguidos por una misma letra no difieren significativamente de acuerdo con la Prueba de Amplitud Múltiple de Duncan al 5% de probabilidad.

que para el IBA los promedios mayores ocurrieron con los niveles de $1 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$ y $0 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$, mientras que para el BA se dieron con los niveles de $8 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$ y $4 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$.

Todos los trabajos consultados concuerdan con los resultados anteriores. En cultivos de nudos de *Tamarindus indica* se logró la diferenciación de yemas múltiples al usar $0.2 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$ de cinctina más $0.5 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$ de BA (11).

Cuadro 5. Número promedio de yemas cotiledonares desarrolladas en el cultivo *in vitro* de nudos cotiledonares de *E. costaricensis* al considerar sólo las concentraciones de IBA ($\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$).

Concentración de IBA ($\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$)	Promedio de yemas (*) (núm.)
1	0.7458 (a)
0	0.6610 (a)
4	0.4211 (b)
2	0.4074 (b)

Nota:

* Diferencias entre promedios seguidos por una misma letra no difieren significativamente de acuerdo con la Prueba de Amplitud Múltiple de Duncan al 5% de probabilidad.

Cuadro 6. Número promedio de yemas cotiledonares desarrolladas en el cultivo *in vitro* de nudos cotiledonares de *E. costaricensis* al considerar sólo las concentraciones de BA ($\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$).

Concentración de BA ($\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$)	Promedio de yemas (*) (núm.)
8	0.9333 (a)
4	0.8913 (a)
2	0.4255 (b)
1	0.3261 (b)
0	0.2444 (b)

Nota:

* Diferencias entre promedios seguidos por una misma letra no difieren significativamente de acuerdo con la Prueba de Amplitud Múltiple de Duncan al 5% de probabilidad.

Para *E. berteriana* no se presentó una interacción estadísticamente significativa entre el IBA y el BA. Esto indica que, para estas condiciones, los factores considerados (auxina-citocinina) actuaron independientemente. Conclusiones similares permitieron un ensayo de propagación *in vitro* de *L. leucocephala*, en el cual se utilizaron NAA y BA (8).

Para *E. costaricensis* se presentó una interacción altamente significativa entre el IBA y el BA. Puede concluirse que el efecto del BA fue diferente para cada concentración de IBA empleada. El nivel óptimo del BA dependió, en este caso, del nivel de IBA utilizado.

El mayor número promedio de yemas cotiledonares diferenciadas de *E. berteroa* se logró con concentraciones de BA que oscilaron entre 2 y 4 mg · l⁻¹, sin que dependiera del IBA, ya que se obtuvo el mismo resultado en ausencia o en presencia de este regulador.

Para *E. costaricensis*, el mejor tratamiento para el desarrollo de yemas cotiledonares fue el que contenía 1 mg · l⁻¹ de IBA más 8 mg · l⁻¹ de BA. Upadhyaya y Chandra (24) obtuvieron la mayor cantidad de yemas adventicias en *A. lebeck* al usar 1 mg · l⁻¹ de IAA más 5 mg · l⁻¹ de cinetina en el medio de cultivo.

Sin embargo, al emplear el cultivo horizontal, con el propósito de estimular el crecimiento y desarrollo de las yemas axilares y adventicias, se pudo obtener un número adecuado de explantes para comenzar la fase de multiplicación (M). Los ejes caulinares usados para este propósito se obtuvieron de la fase E, formados a partir de un ápice vegetativo o de un nudo cotiledonar.

En el Cuadro 7 se presenta el número promedio de yemas axilares desarrolladas en el cultivo horizontal, cuando se añadió 1 mg · l⁻¹ de BA al medio de cultivo.

Cuadro 7. Número promedio de yemas desarrolladas en el cultivo horizontal de ejes caulinares de *Erythrina* spp.

Especie	Promedio de yemas (núm.)
<i>E. poeppigiana</i>	10.0
<i>E. berteroa</i>	7.3
<i>E. costaricensis</i>	5.9
<i>E. fusca</i>	5.7

Para estimar el número aproximado de ciclos de propagación por año se determinó el tiempo (en días) que tardó en desarrollarse una yema axilar. También se contó el lapso (en días) que tardó una yema axilar en crecer hasta formar un eje caulinar, con la altura adecuada para repetir el procedimiento del cultivo horizontal (Cuadro 8). De la información presentada en el Cuadro 8 se deduce que un ciclo de propagación puede completarse en un tiempo máximo de dos meses.

Cuadro 8. Tiempo total (d) para completar un ciclo propagación clonal (subcultivo) *in vitro* de *Erythrina* spp.

Especie	Tiempo promedio (d) para la diferenciación de yemas	Tiempo promedio (d) para el crecimiento de yemas hasta formar ejes caulinares adecuados	Tiempo total promedio (d)
<i>E. poeppigiana</i>	31	37	67
<i>E. berteroa</i>	16	30	46
<i>E. costaricensis</i>	23	30	46
<i>E. fusca</i>	13	30	43

Cuadro 9. Número aproximado de ciclos de propagación por año y tasa de multiplicación potencial para *Erythrina* spp.

Especie	Ciclos por año (núm.)	Tasa de multiplicación potencial (explantes por año) (núm.)
<i>E. poeppigiana</i>	5.4	2.5 · 10 ⁵
<i>E. berteroa</i>	7.9	6.3 · 10 ⁶
<i>E. costaricensis</i>	7.9	1.3 · 10 ⁶
<i>E. fusca</i>	8.5	2.7 · 10 ⁶

En el Cuadro 9 se anotan el número aproximado de ciclos de propagación por año y las tasas de multiplicación potencial alcanzadas para cada especie de *Erythrina*.

Para que la propagación clonal *in vitro* sea ventajosa debe obtenerse un número adecuado de propágulos originados por un solo explante. La tasa de multiplicación potencial permite evaluar la eficiencia de este tipo de reproducción asexual. De acuerdo con los resultados, este valor varió con la especie de *Erythrina* (Cuadro 9).

De lo anterior se deduce que, en relación con las demás especies investigadas, *E. poeppigiana* tuvo una respuesta diferente. Sin embargo, si se compara las tasas de multiplicación alcanzadas con otras en géneros taxonómicamente afines a *Erythrina*, se nota que representan una cifra elevada. Existen estimaciones (11) sobre la posibilidad de regenerar 10 000 plantas de *T.*

indica por año. Trabajos hechos en *D. latifolia* permitieron concluir que es posible obtener 100 000 explantes por año (12). Se debe enfatizar que las tasas calculadas representan números teóricos que no toman en cuenta algunos factores que pueden afectar el éxito del cultivo *in vitro*.

CONCLUSIONES

A pesar de la diversidad encontrada en las respuestas de las diferentes especies de *Erythrina*, se puede concluir que la micropropagación rápida es factible en este género. Al intentar utilizar árboles maduros del campo como materia prima para los explantes, es de esperar que la fase de establecimiento sea bastante problemática debido a las altas tasas de oxidación y contaminación. Una vez obtenidos los cultivos asépticos, sea a partir de semilla o de partes vegetativas de plantas ya establecidas, el método de cultivo horizontal es el más adecuado para la obtención de un número grande de plantas.

LITERATURA CITADA

1. BIONDI, S.; THORPE, T.A. 1982. Clonal propagation of forest tree species. In International Symposium on Tissue Culture of Economically Important Plants (1981, Singapore). Proceedings. A.N. Rao (Ed.) Singapore, Committee on Science and Technology in Developing Countries, Asian Network for Biological Sciences. p. 197-204.
2. BONGA, J.M. 1982. Tissue culture techniques. In Tissue culture in forestry. J.M. Bonga, D.J. Durzan (Eds.). La Haya, Martinus Nijhoff/Dr W. Junk. p. 4-35.
3. BONGA, J.M. 1982. Vegetative propagation in relation to juvenility, maturity and rejuvenation. In Tissue culture in forestry. J.M. Bonga, D.J. Durzan (Eds.). La Haya, Martinus Nijhoff/Dr W. Junk. p. 387-412.
4. BROWN, C.L.; SOMMER, H.E. 1982. Vegetative propagation of dicotyledonous trees. In Tissue culture in forestry. J.M. Bonga, D.J. Durzan (Eds.). La Haya, Martinus Nijhoff/Dr W. Junk. p. 109-149.
5. DATTA, S.K.; DATTA, K.; PRAMANIK, T. 1983. *In vitro* clonal multiplication of mature trees of *Dalbergia sissoo* Roxb. Plant Cell, Tissue and Organ Culture 2(1):15-20.
6. DHAWAN, V.; BHOJWANI, S.S. 1985. *In vitro* vegetative propagation of *Leucaena leucocephala* (Lam.) de Wit. Plant Cell Reports 4:315-318.
7. GOYAL, Y.; ARYA, H.C. 1981. Differentiation in cultures of *Prosopis cineraria* Linn. Current Science 50(10):468-469.
8. GOYAL, Y.; BINGHAN, R.L.; FELKER, P. 1985. Propagation of the tropical tree *Leucaena leucocephala* K67, by *in vitro* bud culture. Plant Cell, Tissue and Organ Culture 4(1):3-10.
9. HARMS, C.T.; BAKTIR, I.; OERILI, J.J. 1983. Clonal multiplication *in vitro* of red beet (*Beta vulgaris*) by adventitious shoot formation. Plant Cell, Tissue and Organ Culture 2(2):93-102.
10. KESTER, D.E. 1982. The clone in horticulture. Hort-Science 18(6):831-837.
11. MASCARENHAS, A.F.; GUPTA, P.K.; KULKARNI, V.M.; MEHTA, U.; IYER, R.S.; KHUSPE, S.S.; JAGANNATHAN, V. 1982. Propagation of trees by tissue culture. In International Symposium on Tissue Culture of Economically Important Plants (1981, Singapore). Proceedings. A.N. Rao (Ed.). Singapore, Committee on Science and Technology in Developing Countries, Asian Network for Biological Sciences. p. 175-179.
12. MASCARENHAS, A.F.; HAZARA, S.; POTDAR, U.; KULKARNI, D.K.; GUPTA, P.K. 1982. Rapid clonal multiplication of mature forest trees through tissue culture. In International Symposium on Tissue Culture of Economically Important Plants (1981, Singapore). Proceedings. A.N. Rao (Ed.). Singapore, Committee on Science and Technology in Developing Countries, Asian Network for Biological Sciences. p. 719-720.
13. MURASHIGE, T.; SKOOG, F. 1962. A revised medium for rapid growth and bioassays with tobacco tissue cultures. Physiologia Plantarum 15(3):473-497.
14. PEASLEY, E.L.; COLLINS, G.B. 1980. Development of an *in vitro* culture system for *Leucaena*. Leucaena Newsletter (Taiwan) 1:54.
15. RAO, A.N.; LEE, S.K. 1982. Importance of tissue culture in tree propagation. In International Congress of Plant, Tissue and Cell Culture (5., 1982, Tokyo). Proceedings. A. Fujiwara (Ed.). Tokyo, Japanese Association for Plant Tissue Culture. p. 715-718.
16. RAO, A.N.; LEE, S.K. 1986. *In vitro* studies on trees of humid tropics. In International Congress of Plant Tissue and Cell Culture (6., 1986, Minneapolis, Minn.). Abstracts. Minneapolis, University of Minnesota, International Association for Plant Tissue Culture. p. 14.
17. RAVISHANKAR, G.A.; AMRITA WALI; GREWAL, S. 1983. Plantlet formation through tissue cultures of *Leucaena leucocephala*. Leucaena Research Reports (Taiwan) 4:37.
18. REGULATING GROWTH and development: The plant hormones. 1976. In Raven, P.H., Evert, R.F., Curtis, H. (Eds.). Biology of Plants 2 ed. New York, Worth. p. 483-496.
19. SKIRVIN, R.M. 1981. Fruit crops. In Cloning Agricultural Plants via *in vitro* Techniques. B.V. Conger (Ed.). Boca Raton, Florida, CRC. p. 51-139.
20. SONDIHAL, M.R.; SHARP, W.R.; EVANS, D.A. 1984. Applications for agriculture: The potential for the Third World. ATAS Bulletin (EE.UU.) 1:14-20.

21. SWEET, H.C.; BOLTON, W.E. 1979. The surface decontamination of seeds to produce axenic seedlings. *American Journal of Botany* 66(6):692-698.
22. THOMAS, V.; MEHTA, A.R. 1983. Effect of phloroglucinol on shoot growth and initiation of roots in carob tree cultures grown *in vitro*. In Symposium on Plant Cell Culture in Crop Improvement (1981, Calcuta, India). Proceedings. S.K. Sen, K.L. Giles (Eds.). New York, Plenum. p. 451-457.
23. TOMAR, U.K.; GUPTA, S.C. 1986. Organogenesis and somatic embryogenesis in leguminous trees (*Albizia* spp.). In International Congress of Plant Tissue and Cell Culture (6., 1986, Minneapolis, Minn.). Abstracts. Minneapolis, University of Minnesota, International Association for Plant Tissue Culture. p. 41.
24. UPADHYAYA, S.; CHANDRA, N. 1983. Shoot and plantlet formation in organ and callus cultures of *Albizia lebbek* Benth. *Annals of Botany* 52(3):421-424.

Ranking Twenty-Two Tropical Browse Species from Guanacaste, Costa Rica¹

N. Lou Conklin*, R.E. McDowell**, P.J. Van Soest***

ABSTRACT

Twenty-two species of tropical trees and shrubs were sampled, chemically analyzed and ranked according to mean values for crude protein (CP) and *in vitro* true digestibility (IVTD) of leaves. A simple statistical formula was used to combine the two criterion values, and rank the species. From this ranking and additional information the species were grouped according to their fodder potential. The first group includes *Acacia farnesiana*, *Caesalpinia eriostachys*, *Cassia bicapsularis* ("candelillo") and *Myrospermum frutescens* with the highest fodder potential based on chemical analysis, but have either physical or chemical factors inhibiting consumption. The second group, with more immediate fodder potential includes *Gliricidia sepium*, *Pithecellobium saman*, *Tabebuia ochracea*, *Spondias purpurea*, *Lysiloma divaricata*, *Cajanus cajan* and *Enterolobium cyclocarpum*. The third group with species whose protein content generally ranks much higher than most range grasses, but lower compared to the above eleven species, includes *Bauhinia unguolata*, *Cordia alliodora*, *Hemiangium excelsum* ("guachero"), *Piscidia carthagenensis*, *Lonchocarpus minimiflorus*, *Tamarindus indica*, *Ficus* sp. ("higueron"), *Guazuma ulmifolia*, *Mangifera indica*, *Hymenaea courbaril* and *Andira inermis*. Crude protein and IVTD values are also given for the fruits or pods of some of the above species and three additional ones: *Acrocomia vinifera*, *Cassia grandis*, and *Crescentia alata*.

COMPENDIO

Veintidós especies de árboles y arbustos tropicales fueron muestreadas, analizadas químicamente y clasificadas según los valores promedios de proteína cruda (CP) y digestibilidad verdadera *in vitro* (IVTD) de las hojas. Se usó una fórmula estadística para combinar los dos valores criterios y clasificar las especies. Con base en esta clasificación y otra información citada en la literatura consultada, las especies se agruparon de acuerdo con su potencialidad como árboles forrajeros. En el primer grupo se incluyen: *Acacia farnesiana*, *Caesalpinia eriostachys*, *Cassia bicapsularis* (candelillo) y *Myrospermum frutescens*. En el segundo grupo aparecen *Gliricidia sepium*, *Pithecellobium saman*, *Tabebuia ochracea*, *Spondias purpurea*, *Lysiloma divaricata*, *Cajanus cajan* y *Enterolobium cyclocarpum*. El tercer grupo está conformado por *Bauhinia unguolata*, *Cordia alliodora*, *Hemiangium excelsum* (guáchero), *Piscidia carthagenensis*, *Lonchocarpus minimiflorus*, *Tamarindus indica*, *Ficus* sp. (higuerón), *Guazuma ulmifolia*, *Mangifera indica*, *Hymenaea courbaril* y *Andira inermis*. Los valores de proteína cruda e IVTD también están dados para las frutas o vainas de algunas de las especies ya mencionadas y tres especies adicionales: *Acrocomia vinifera*, *Cassia grandis* y *Crescentia alata*.

INTRODUCTION

Browse or fodder trees are frequently included as components of agroforestry systems but more information is required on the nutritional value of most of them. Central America is rich in plant life and the source of two widely-used fodder trees,

Leucaena and *Gliricidia*. *Leucaena* plantings around the tropical world have been suffering from insect and disease attack (13). Farmers need to be able to choose from a greater number of fodder tree species. Small or subsistence farms in particular, need to protect themselves by planting a variety of species.

This paper presents nutritional information on some of the less-utilized tree species from the same climatic zone as *Leucaena*, that may have fodder potential. Standard forage analysis techniques are used to evaluate potential browse (3). Some of the results are presented from a survey of 22 tree and shrub species growing on man-made savanna in Guanacaste Province, Costa Rica. Most of the species sampled are deciduous, including *Gliricidia sepium*, but with irrigation can be made evergreen artificially during the dry season. Nutritional values for fruits or pods of some trees are also included, these often being as valuable as the foliage, especially if the species is deciduous (15).

¹ Recibido para publicación el 16 de mayo de 1989
The authors would like to thank the United States Agency for International Development (USAID) for making funds available for this project, Michael Pitzrick and Dr. Daniel Janzen for taxonomic assistance; and Mr. and Mrs Hagnauer at Hacienda La Pacifica for logistical support.

* Peabody Museum, Harvard University, Cambridge, MA 02138.

** P.O. Box 7621, North Carolina State University, Raleigh, NC, 27695-7621.

*** Morrison Hall, Cornell University, Ithaca, NY 14853.

MATERIALS AND METHODS

Selection of the species for study was based on farmer recommendations and field observations of browsing range cattle at two sites. Sixteen frequently-browsed species were chosen for leaf sampling, with some preference given to leguminous trees. An additional six species that were extremely common but avoided by cattle were also included in the leaf sampling in an attempt to identify factors leading to their rejection. Three more species were chosen for evaluation only of their fruits; the leaves were not significantly browsed. The individual trees sampled were chosen at random according to standard plant ecology sampling methods (14) by placing line transects up hedgerows or selecting coordinates in forest quadrates on Hacienda La Pacifica, Cañas. Leaves were harvested according to how the cattle harvested them; some trees with very large leaflets and their petioles were avoided by the cattle. These petioles were placed in the twig category, contrary to their botanical classification.

Of the 22 species sampled for their leaves, eight were sampled three times, at the beginning, middle and end of the rainy season; and eight were sampled twice, at the beginning and end of the rainy season. Single samplings were taken of six additional species when observations indicated the importance of these in the diet of the free-ranging animal. Most of the single samples were collected half way through the rainy season.

Each seasonal sample of a species was a composite sample from ten trees. Twigs were cut at 1 cm diameter and all leaves were pulled off and placed in a plastic bag. The twigs were then cut up and placed in a second plastic bag. The two fractions were analyzed separately. This twig size was selected as the twigs can be chopped by a small stationary chopper without damaging the machine (3). The percentage of leaf was determined by establishing the leaf: twig ratio by weight.

The laboratory procedures performed on the samples were: Kjeldahl crude protein (CP) and *in vitro* true digestibility (IVTD) (7). The following equation was used to determine the final composite ranking:

$$\frac{\text{total mean IVTD\%} - \text{species IVTD\%} + \text{standard deviation}}{\text{total mean CP\%} - \text{species CP\%} = \text{ranking \#}} \text{standard deviation}$$

Total mean refers to the mean of all 22 species, and the standard deviation is of the total mean. The total means and standard deviations were calculated from

different trees of the same species. Since samples of each period were pooled per species, values for each tree were not considered. Each pooling included different trees. This formula is crude but considered adequate in this instance as the species being evaluated are wild, and the aim is to simply indicate species worthy of further and more controlled research. A t-test was used to compare the 16 species with early- and late-rainy-season collection periods and check the validity of combined values obtained from different periods. The IVTD or CP of the species is the mean value for each individual for each individual species. Crude protein and IVDT are two different characteristics of feed and are measured by different methods. This formula allows the combining of two parameters that cannot be logically averaged by simply adding the values and dividing by two.

Sequential cell wall extractions were performed to obtain an approximate tannin fraction using a neutral-detergent followed by acid-detergent (NAD) on one sub-sample, and then on acid-detergent followed by neutral-detergent (AND) on a second sub-sample, as described by Horvath (9). This value was calculated as NAD minus AND but the number is used only to indicate a range of tannin levels. This procedure needs further verification.

Palatability was assessed by observing cattle selectivity; if the cattle browsed the species frequently, it was considered palatable. It was identified as unpalatable if it was avoided or never seen to be browsed by the cattle. A qualitative ranking from zero to four was assigned each species.

RESULTS

The t-test showed IVTD not be significantly different ($p \geq 0.05$) from early to late rainy season. The first plant collection was made when the leaves were about one month old, while the late rainy season leaves were six to eight months old. In fact, nine of the species actually increased their digestibility with age, but most of the differences were within the two percentage units considered as an acceptable error for the methods used, so cannot be said to have significantly increased their digestibility. Crude protein, however, was significantly different ($p \geq 0.05$) with the average for the one-month-old leaves at 19.7% and the six to eight-month-old leaves at 16.8% CP, a very small but significant difference.

To test whether the "top eleven/bottom eleven" groupings were affected by this CP difference, the leaves were first ranked from most to least nutritious according to sampling period, and then by combining

all periods for one ranking. The same species fell into the same "top eleven/bottom eleven" groupings regardless of the ranking method used, and the results are thus given from the combined ranking instead of by individual sample period. It should be noted, however, that the orders of the species within the top group varied slightly depending on which ranking method was used. Nevertheless, since these are wild populations being evaluated, with the aim of prioritizing species most worthy of additional research, the combined rankings are adequate.

In vitro true digestibility is an estimate of total digestible nutrients (TDN). The mean value for IVTD for all species evaluated was 52.7 % (Table 1). It was decided that for a tree leaf to be considered as potential maintenance fodder it must have a digestibility greater than 50 % for sheep or 40 % for cattle (17).

Table 1. Average *in vitro* true digestibility (IVTD), crude protein (CP), and leaf percentages for the leaves of 22 tropical browse species, in Guanacaste, Costa Rica.

Chemical fraction	(%)	
	\bar{X}	S
IVTD	52.7	15.1
CP	18.3	4.5
proportion of sample that is leaf per 1 cm diameter twig:	57.5	12.5

For maintenance, CP must be above 7-8 %. Browse is frequently considered as a protein supplement because it is normally not high in total digestible nutrients. When ranking these species preference is therefore given to leaves with the highest CP values, that is, above the 18.3 % mean obtained for this group.

The species data are presented in Tables 2 and 3, starting with those showing the highest potential nutritional value, based on laboratory analysis. Some of the leaf samples were single, composite samplings, as were all of the fruit samples, and therefore have no standard deviation. Values for four species (*Acacia farnesiana*, *Spondias purpurea*, *Lonchocarpus minimiflorus*, and *Guazuma ulmifolia*) from a previous study (13) are included for comparison with the results of this study.

Two thirds of the species in the top ranking group (Table 2) are in the lowest tannin level category. Interestingly, while most of the apparently more nutritious

species also rank high on the selectivity scale, three of them were never seen to be consumed, even though they were plentiful. The average percentage of leaf for the top ranking group is 59.1, while for the second group it is 55.5 (Table 3).

In Table 4, the fruit fraction consumed by cattle for *Acrocomia vinifera* is the hull and for *Crescentia alata* is the pulp. *Cassia grandis* was not observed as eaten by livestock, even though it is readily available.

DISCUSSION

The following seven species represent the group with the most practical potential as cultivated browse. The numbers refer to each species' ranking from Tables 2 and 3:

5. *Gliricidia sepium* (Jacq.) Steud., syn. *G. maculata*, family Leguminosae, subfamily Papilionoideae (or Fabaceae), common names: "madero negro" or "madre cacao". This species is currently being used in some tropical countries as cattle fodder. As it is highly palatable, it is also the subject of a fair amount of research (16). These results show that it has an IVTD above the cut-off point for both sheep and cattle and an above average crude protein. Its percentage leaf is the second highest of those species sampled here. It contains rotenone in the roots and variable levels of an alkaloid in the leaves (5) but these do not appear to bother livestock. The anti-coagulant dicoumerol is formed when the leaves are fermented. This chemical is used as a raticide but no information is available on the effect of fermented leaves on ruminants (6).

6. *Pithecellobium saman* (Jacq.) Benth., syn. *Samanea saman* (Jacq.) (Merrill) or *Pithecolobium saman*, family Leguminosae, sub-family Mimosoideae, common names: "genízaro", "cenízaro", or "raintree". It has an above average CP value but its IVTD is unacceptable for sheep, which may be due to the presence of alkaloids (12). Since the trees sampled for this project came from wild populations, they are likely to be highly variable genetically, so it may be possible to find individuals with higher levels of digestibility that could be used to breed more acceptable varieties of the species. The leaf is palatable and the tree produces a palatable and digestible fruit for cattle, which has an unconfirmed reputation in Guanacaste for abortion-producing properties. Venezuelan literature indicates it can be used as feed without problems (4).

7. *Tabebuia ochracea* (Cham.) Standl., syn. *T. neochrysantha* A. Gentry or *T. neochrysantha* (Jacq.)

Table 2. *In vitro* true digestibility (IVTD), crude protein (CP), leaf percentages and tannin levels for the eleven higher-ranking species, in Guanacaste, Costa Rica.

Rank	Species	IVTD (%)		CP (%)		Leaf (%)		Tannin	Selection rank
		\bar{X}	S	\bar{X}	S	\bar{X}	S		
1	<i>Acacia farnesiana</i>	65.1	0.3	25.5	0.9	n.a.		***	4
+	<i>Acacia farnesiana</i>	75.2		25.3					
2	<i>Caesalpinia eriostachys</i>	66.5		24.4		72.3		*	0
3	<i>Cassia bicapsularis</i>	71.4		21.0		61.7		*	0
	whole pods	47.8		9.0					
4	<i>Myrospermum frutescens</i>	79.8	3.7	19.1	2.4	54.9	8.8	*	0
5	<i>Gliricidia sepium</i>	60.9	10.3	20.7	1.0	73.7	3.0	**	4
6	<i>Pithecellobium saman</i>	47.3	1.5	23.8	0.3	67.0	9.3	*	4
	whole pods	72.2		16.2					
	pod without seeds	71.0		14.2					
	seeds	88.9		37.3					
7	<i>Tabebuia ochracea</i>	52.2	8.6	22.2	6.0	61.4	11.4	**	4
8	<i>Spondias purpurea</i>	68.8	1.6	16.5	0.5	71.5	7.5	*	4
+	<i>Spondias purpurea</i>	79.6		16.3					
	fruit pulp	95.6		3.2					
9	<i>Lysiloma divaricata</i>	67.0	4.8	16.8	2.4	43.0	7.5	*	3
10	<i>Cajanus cajan</i>	49.0		20.5		23.5		***	3
	whole pods	83.9		14.1					
11	<i>Enterolobium cyclocarpum</i>	39.7	4.5	22.8	7.9	62.0	1.6	***	3
	whole pods	79.0		16.2					
	pod without seeds	74.7		10.6					
	seeds	90.2		24.4					

n.a. = not available

* = NAD-AND < 10; ** = NAD-AND 10-15; *** = NAD-AND > 15

+ = McCammon-Feldman, 1980

Selection ranking: 0 = not selected, 1 = occasionally, 2 = frequently, 3 = very frequently, 4 = always selected when present.

Nichol, family Bignoniaceae, common name: "cortéz amarillo" or "corteza". It is the first non-legume to appear in this ranking; the IVTD level is acceptable and that for CP is high for a non-legume; it is fairly low in tannin content and is palatable. The leaves, however, are highly pubescent, causing some skin irritation in people collecting samples, but livestock appeared not to be affected.

Tannins are polyphenolic compounds frequently found in trees and chemically related to lignin. As with lignin, they have a depressing effect on digestibility (1, 2). Tannins, in particular, affect the availability of protein, but while the effect is considerable it is not consistent and much research remains to be undertaken on this relationship.

8. *Spondias purpurea* L., family Anacardiaceae, common names: "jocote" or "ciruela". It is the second non-legume in this ranking; it is also palatable to cattle, has a high IVTD value but slightly below average CP; and its percentage leaf is quite high. This species produces a fruit commonly consumed by humans as well as livestock. The Anacardiaceae family includes mango, poison ivy, and poison oak. Some people have strong allergic reactions to certain or all members of this family but cattle seem to be unaffected.

9. *Lysiloma divaricata* (Jacq.), formerly *L. seemannii* Britt. & Rose, family Leguminosae, subfamily Mimosoideae, common name: "quebracho". This species is chemically similar to *Spondias* but its percentage leaf is below average; cattle browse it, but its poor leaf to stem ratio would require modification

Table 3. *In vitro* true digestibility (IVTD), crude protein (CP), leaf percentages and tannin levels for the eleven lower-ranking species, in Guanacaste, Costa Rica.

Rank	Species	IVTD (%)		CP (%)		Leaf (%)		Tannin	Selection rank
		\bar{X}	S	\bar{X}	S	\bar{X}	S		
12	<i>Bauhinia unguolata</i>	48.2	4.5	19.5	3.8	50.1	7.4	**	3
13	<i>Cordia alliodora</i>	45.7	1.0	19.6	0.9	48.0	10.5	***	3
14	<i>Hemiangium excelsum</i>	66.8		12.5		n.a.		***	2
15	<i>Piscidia carthagenensis</i>	43.0	3.2	19.5	2.0	68.1	5.6	*	3
16	<i>Lonchocarpus minimiflorus</i>	33.3	2.9	20.1	3.0	53.2	5.1	***	1
+	<i>Lonchocarpus minimiflorus</i>	60.1		18.4					
17	<i>Tamarindus indica</i>	50.9	0.8	14.6	1.2	45.8	1.3	***	2
	whole pods	59.0		5.9					
	pod without seeds	58.6		4.2					
	seeds	71.4		14.7					
18	<i>Ficus</i> sp.	49.4	1.8	13.3	1.1	60.4	2.8	*	2
19	<i>Guazuma ulmifolia</i>	48.1	3.3	12.4	2.1	56.8	9.0	*	4
+	<i>Guazuma ulmifolia</i>			72.6		13.7			
	whole fruit	65.2		5.7					
20	<i>Mangifera indica</i>	58.0	3.2	8.6	0.6	73.9	2.3	**	3
	fruit pulp	95.4		1.8					
21	<i>Hymenaea courbaril</i>	33.4		13.6		46.1		**	0
	whole pods	44.5		3.7					
22	<i>Andira inermis</i>	14.8		15.5		52.8		**	1

n.a. = not available

* = NAD-AND < 10; ** = NAD-AND 10-15; *** = NAD-AND > 15

+ = McCammon-Feldman, 1980

Selection ranking: 0 = not selected, 1 = occasionally, 2 = frequently, 3 = very frequently, 4 = always selected when present.

Table 4. *In vitro* true digestibility (IVTD) and crude protein (CP), fruits from three species sampled only for their fruits, in Guanacaste, Costa Rica.

Species	IVTD (%)	CP (%)
<i>Acrocomia vinifera</i>		
whole fruit	44.7	4.0
nut without hull	17.5	4.1
hull	64.7	3.3
<i>Cassia grandis</i>		
whole pod	46.4	4.1
<i>Crescentia alata</i>		
whole fruit	60.6	5.8
pulp	89.0	12.2

through selection to create a more productive variety. "Quebracho" is a commercial name frequently used to indicate a number of tree species high in tannins, which

are extracted and used in leather work. This particular species, however, has a below average tannin content.

10. *Cajanus cajan* (L.) Millsp., family Leguminosae, sub-family Papilionoideae, common names: "pigeon pea", "gandul" or "guandul". This a domesticated species included for reference purposes, and this particular variety does not rank well. It was being grown for fodder on the same ranch where the rest of the trees were found; its IVTD level is a little low for sheep; its CP is above average but its percentage leaf is the lowest of the species sampled; it is reasonably palatable; and its pod is quite digestible. In many countries the seeds are used for human consumption.

11. *Enterolobium cyclocarpum* (Jacq.) Griseb., family Leguminosae, sub-family Mimosoideae, common name: "guanacaste". This species is palatable to cattle but its IVTD value is a little below that required; its tannin level is above average, which probably explains the low IVTD; other secondary plant compounds may also influence digestibility. This species is renowned as a feed source due to its fruit crop, which is palatable to cattle, as well as being quite digestible.

The following four species are those that rank chemically as having the highest potential nutritional value, but they have other problems requiring additional research:

1. *Acacia farnesiana* (L.) Willd., family Leguminosae, sub-family Mimosoideae, common names: "aromo" or "espino blanco". The leaves of this species rank highest; it has the highest CP level and its IVTD is fairly high in spite of a high tannin level; it is however, a thorny, weedy shrub, which makes it un-recommendable for cultivation. This species is browsed by cattle and constitutes a feed resource on the range but should not be introduced as it is almost impossible to eradicate.

The next three species are interesting as they rank high chemically but are not browsed by cattle. The reason appears to be a strong odor, probably terpenes in the lipid fraction (Conklin, unpub. data). If this odor problem can be solved, these browses could have good potential.

2. *Caesalpinia eriostachys* Benth., family Leguminosae, sub-family Caesalpinioideae, common name: "saino". This is large shrub or treelet that commonly grows in natural monoculture.

3. *Cassia bicapsularis* L. (tentative identification) (syn. *C. indecora* H.B.K.) family Leguminosae, sub-family Caesalpinioideae, common name: "candelillo". This species' odor is similar to that of *Caesalpinia*; its digestibility and CP are fairly high and it is also low in tannins; it produces a fruit that livestock consume but its nutritional value does not appear high.

4. *Myrospermum frutescens* Jacq., family Leguminosae, sub-family Papilionoidae (Fabaceae), common name: "arco". This plant has the highest IVTD levels and leaf percentage of any of the tested species. It has a similar odor to the previous two, but chemically it would appear to be a good fodder, if the cattle would eat it.

If the aroma of an essential oil is the problem with these three species, perhaps the leaves would be consumed dry. It was observed that the cattle were somewhat reluctant to eat fresh peanut plants, which have a very similar but more mild aroma, whereas dried peanut plants were consumed readily.

The remainder of the sampled species do not show as much promise as exploitable species (Table 3) but they should not be discarded. Most of them provide valuable fodder under range conditions and having a mix of trees available to the animals during the dry season is important. Some of the species that are not

browsed but are evergreen, provide valuable shade. The numbers refer to each species ranking from Tables 2 and 3.

Trees that are acceptable for rangeland browsing are:

12. *Bauhinia unguolata* L., family Leguminosae, sub-family Caesalpinioideae, common names: "casco de venado" or "pata de cabra". This species is voluntarily browsed and palatable in spite of a very strong terpenoid smell, similar to that of pine trees.

14. *Hemiangium excelsum*, family Hippocrateaceae, common name: "guachero". It is the first evergreen shrub in this ranking and is non-leguminous; its digestibility is acceptable for sheep or cattle, in spite of its tannin level, being the highest of any species measured; cattle browsed this species during the dry season.

15. *Piscidia carthagenensis* Jacq., family Leguminosae, sub-family Papilionoideae (Fabaceae), common name: "pellejo de toro" or "siete cueros". It is palatable to cattle but may not be nutritious enough to justify further research.

19. *Guazuma ulmifolia* Lam., more correctly identified as *G. tomentosa* H.B.K., family Sterculiaceae, common name: "guácimo". It is a non-leguminous tree that is traditionally considered very palatable to cattle for the leaves and fruit, but both are of low nutritional value; although McCammon-Feldman (13), studying goats, obtained an IVTD 24.5 percentage units higher than those obtained in this study. Animals can increase the digestibility of a plant through selectivity.

Trees more suited for uses other than browse are:

13. *Cordia alliodora* (R. & P.) Cham. family Boraginaceae, common name: "laurel". It was browsed by the cattle but is probably more important as a lumber tree than for fodder.

17. *Tamarindus indica* L., family Leguminosae, sub-family Caesalpinioideae, common name: "tamarindo". It is commercially important for its fruit production for human consumption, though in India its leaves are used as fodder.

20. *Mangifera indica* L., family Anacardiaceae, common name: "mango". It is frequently planted for shade, being evergreen and its fruit is important for human consumption.

The following trees are evergreen and useful as shade:

18. *Ficus* sp., family Moraceae, common names: "higueron" or "chilemate". It is a non-leguminous, evergreen tree, and browsed by cattle.

21. *Hymenaea courbaril* L., family Leguminosae, sub-family Caesalpinioideae, common name: "guapinol". It is an evergreen legume with leaves that appear plastic. This species is not browsed by cattle. Its pod has a very thick husk, which makes it inaccessible to ruminants, though rodents can subsist on the inside pulp (10).

22. *Andira inermis*, (Swartz.) H.B.K., family Leguminosae, sub-family Papilionoideae (Fabaceae), common names: "carne asada" or "almendro de monte". This is another evergreen legume with low digestibility, which is probably due to an antimicrobial compound. The leaves are high in an alkaloid that makes humans and monkeys sick and which is fatal in large doses (5).

16. *Lonchocarpus minimiflorus* Donn-Smith, sometimes mistakenly referred to as *L. orotinus* Pittier, family Leguminosae, sub-family Papilionoideae (Fabaceae), common name: "chaperno negro", McCammon-Feldman (13) obtained an IVTD 26.8 percentage units higher than that obtained in this study. It is an extremely common, small, fast-growing, deciduous tree.

It is important to note that the values obtained by McCammon-Feldman (13) give CP values about equal to those obtained here but IVTD values 10.1 to 26.8 % higher. There are three possible reasons for this: 1) In the McCammon-Feldman study goat rumen fluid, on a browse diet, was used as the inoculum; whereas in this study the inoculum source was a Holstein cow fed a timothy grass diet; and some studies have shown that the inoculum source can affect the IVTD obtained (8). 2) The McCammon-Feldman study sampled the trees to mimic the selectivity of individual leaves used by the goats when browsing. The sampling undertaken in this study assumed the leaves would be fed in troughs and there would be less opportunity for selectivity. 3) The geographical location may have had some effect on the nutritional value of the tree leaves. The McCammon-Feldman study was undertaken in a slightly drier environment.

Of the following three trees, two produce a fruit of good nutritional value and could aid the nutritional status of livestock on the range.

Acrocomia vivifera Oerst., family Palmae, common name "coyol". Cattle ruminant only the hull or husk, spitting out or passing the nut, which is eaten by pigs. Results show that the cattle are consuming the more

nutritious part of the fruit, though it is only an energy source, its CP level being too low even for maintenance.

Cassia grandis L.F., family Leguminosae, sub-family Caesalpinioideae, common name: "carao" or "sandal". It has been extensively planted as an ornamental in Guanacaste. The large pods are conspicuous but untouched by cattle, possibly because of the thick, woody pod.

Crescentia alata H.B.K. family Bignoniaceae, common name: "jícara", or "calabash". In Costa Rica this pulp is not traditionally fed to cattle, though it is palatable to horses (11) and in Nicaragua it is cracked open and fed to cattle. Its nutritional value is quite good but it has a strong, fetid odor when ripe.

Fruit can be important on rangelands where mature trees are growing, and as part of different management systems that involve fodder tree leaves. Two possible management schemes are involved. One maintains secondary regrowth species at a height where cattle can directly browse the trees or small enough for the trees to be cut with a machete and chopped. The other system involves rangeland management where trees grow to maturity, and when the trees mature, the fruit crop becomes more important than the leaf crop.

The standard deviations given in the tables are from samples, thus reflecting differences among sampling periods, in this case mostly seasonal and age differences, rather than differences among individual trees. Individual variation among trees of the same species is much greater (5,3), therefore the genetic variability needed to select and develop more nutritious varieties from a given wild species is present.

One aspect that may have affected the ranking is that of tree age, rather than season or sampling period. The *Caesalpinia*, *Myrospermum*, and *Lonchocarpus* are invader species and frequently the first individual encountered near the randomly-selected point was a sapling. *Enterolobium* and *Pithecellobium* were mostly mature trees, because the seedlings and saplings are so palatable they could not escape destruction by the cattle. *Gliricidia* was a 50:50 mix of adults and saplings because it was protected from the cattle. Including the percentage leaf in the ranking formula may also have changed the order. Additional factors involved in fodder tree choices are evergreen habit, tolerance to defoliation, sprouting capacity and biomass production. We recommend that all of the species in the high ranking group receive further study as well as a few from the lower group, such as *Bauhinia unguolata*, *Guazuma tomentosa*, *Tamarindus indica*, and *Piscidia carthagenensis*. Farmers interviewed also recommended additional species that could not be included in this study.

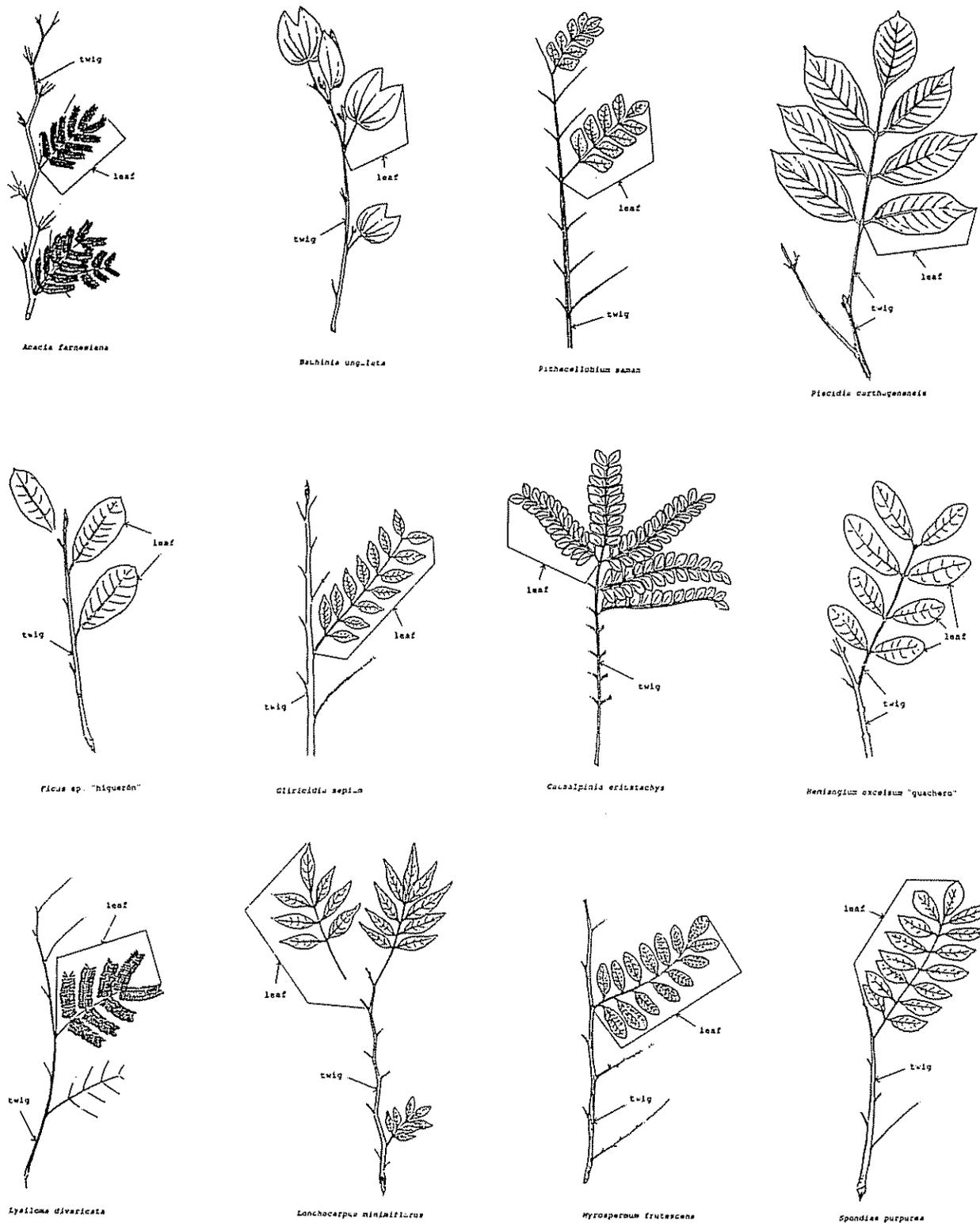


Fig 1. Twenty-two species of tropical trees and shrubs.

Nota: Drawings of the tree and shrub species sampled.

Drawings are not to scale. Some of the leaves are drawn five to ten times larger than the natural size. The designations of "twig" and "leaf" are not necessarily botanically correct, but indicate how the species were analyzed in this study and the cows' treatment of them when browsing. Some of the species have leaflets that are so large they are consumed one at a time, whereas some of the petioles are so woody, they are treated as twig. In the case of other species, the whole compound leaf is small enough for consumption in a single bite.

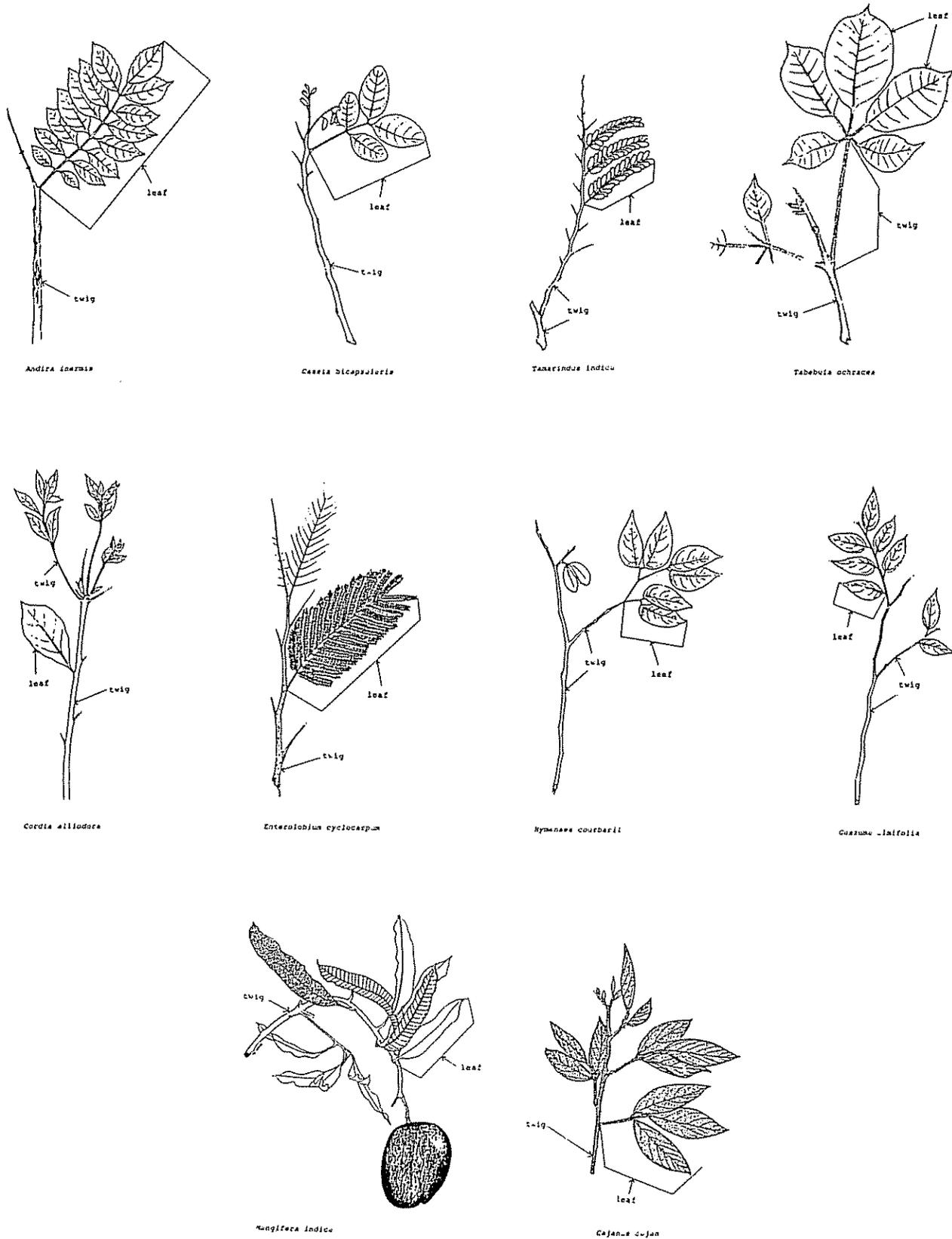


Fig. 1. (Cont.)

The values for the leaves are presented here, but in some cases value for twigs should also be considered in making practical management decisions. Twigs with their respective leaves can be chopped and fed to cattle in troughs, but to provide balanced rations it would be necessary to know how much the inclusion of twigs dilutes the nutritional value of the leaves.

This type of species survey gives initial screening information, but so few feeding trials have been carried out on different browses that it is still difficult to interpret chemical data. Recent studies in Ethiopia indicate that there are great species differences among browses regarding types of tannins present and the extent to which they reduce protein digestibility (19). Future research must focus on feeding trials and tannin chemistry of individual browse species. Once digestibility problems are better understood, superior varieties of browse can be selected.

CONCLUSIONS

A formal hypothesis was not offered at the beginning of this study because of its survey format. However, if one were to be suggested, it would be to test whether or not any of the trees and shrubs native to Guanacaste, Costa Rica could be used as cattle fodder. *Gliricidia* is being used in many tropical countries for that purpose. The results of this study indicate that several other species have browse or fodder potential.

Three high ranking species: *Caesalpinia eriostachys*, *Cassia bicapsularis*, and *Myrospermum frutescens* need further chemical tests to determine the basis for their rejection by cattle.

Within the group of seven species with the most potential as fodder trees, *Pithecellobium saman*, *Tabebuia ochracea*, *Spondias purpurea*, *Lysiloma divaricata*, and *Enterolobium cyclocarpum* merit immediate attention in experimental plantings to quantify productivity and for livestock feeding trials.

The remainder of the species evaluated in this survey provide valuable protein and/or shade on the range, even though they did not rank so highly. A range animal needs all of the resources possible at its disposal, especially during the dry season. Forested areas along permanent waterways can supplement the diet with additional protein from trees and shrubs.

The fruits and pods of several of the trees native to Guanacaste would be interesting to investigate. Very little is known about fruit production levels from these wild tree populations.

LITERATURE CITED

1. BUCKLEY, K.E.; DEVLIN, T.J.; MARQUARDT, R.R.; 1983. Factors affecting *in vitro* rumen digestion of faba bean cultivars (*Vicia faba* L.) Canadian Journal of Animal Science (Can.) 63:89-98.
2. BURNS, J.C.; COPE, W.A.; WILDONGER, K.J. 1976. Suppression of standard forage *in vitro* dry matter disappearance by acetone, methanol and aqueous extracts from crownvetch leaflets. Crop Science (EE UU) 16:225-229.
3. CONKLIN, N.L. 1987. The potential nutritional value to cattle of some tropical browse species from Guanacaste, Costa Rica. Ph.D. Thesis. Ithaca, New York, Cornell University.
4. FRENCH, M.H.; CHAPARRO, L.M. 1963. Composición química de las frutas y semillas de algunos árboles y arbustos. Agronomía Tropical (Ven.) 13:3-21.
5. GLANDER, K.E. 1977. Poison in a monkey's Garden of Eden. Natural History (USA) 86:34-41.
6. GLOVER, N. 1984. Gliricidia - its names tell its story. Nitrogen Fixing Tree Highlights. Nitrogen Fixing Tree Association, Waimanalo, Hawaii, (USA).
7. GOERING, H.K.; P.J. VAN SOEST. 1970. Forage fiber analysis. Agricultural Handbook No. 379. A.R.S., U.S.D.A., Washington, D.C., EE.UU.
8. GRANT, R.J.; VAN SOEST, P.J.; MCDOWEL, R.E. 1974. Influence of rumen fluid source and fermentation time on *in vitro* true dry matter digestibility. Journal of Dairy Science (USA) 57:1201-1205.
9. HORVARTH, P.J. 1981. The nutritional and ecological significance of Acor-tannis and related polyphenols. M.S. Thesis. Ithaca, New York, EE.UU., Cornell University.
10. JANZEN, D.H. 1982. Wild plant acceptability to a captive Costa Rican Baird's tapir *Brenesia* (C.R.) 19/20:99-128.
11. JANZEN, D.H.; MARTIN, P.S. 1982. Neotropical anachronisms: The fruit the gomphotheres ate. Science (EE.UU.) 215:19-27.
12. LEONARD, B.E.; SHERRATT, H.S.A. 1967. The investigation of tropical medicinal plants: Pharmacological properties of some alkaloids from *Pithecolobium saman* and *Strychnos toxifera*. Tropical Science 9:122-135.
13. McCAMMON-FELDMAN, B. 1980. A critical analysis of tropical savanna forage consumption and utilization by goats. Ph.D. dissertation, University of Illinois, Urbana-Champaign, IL.
14. NFTA (NITROGEN FIXING TREE ASSOCIATION). 1987. Proceedings of a workshop on the biological and genetic control strategies for the *Leucaena* psyllid. Nitrogen Fixing Tree Association, EE.UU.
15. OOSTING, H.J. 1948. The Study of Plant Communities. W.H. Freeman and Co., San Francisco, EE.UU.

-
- 16 SKERMAN, P.J. 1977. Tropical Forage Legumes. Food and Agriculture Organization (FAO) of the United Nations, Rome, Italy.
- 17 SUMBERG, J.E. 1986. *Gliricidia sepium* (Jacq.) Steud.; A Selected Bibliography. International Livestock Center for Africa, P.O. Box 5689, Addis Ababa, Ethiopia.
- 18 VAN SOEST, P.J. 1982. Nutritional Ecology of the Ruminant. O & B Books, Inc., Corvallis, Oregon, EE UU
- 19 WOODWARD, A. 1988. Nitrogen metabolism and feeding behavior of browsing domestic animals in Ethiopia. Ph.D. thesis. Ithaca, New York, EE.UU., Cornell University