

# TURRALBA

REVISTA INTERAMERICANA DE CIENCIAS AGRICOLAS

VOLUMEN 31

TRIMESTRE OCTUBRE-DICIEMBRE 1981

NUMERO 4

CODEN: TURRAB 31(4)281-390

<i>Evaluación del fruto del caucho (Guazuma ulmifolia, Lam) en la alimentación de terneros (en español)</i> Ricardo Bressani, Jorge Mario González, Roberto Gómez Brenes .....	281
<i>La cáscara de la mazorca de cacao como fuente de fertilizante potásico (en inglés)</i> Abenkorah Y., Halm B. J. Amonoo R. S. ....	287
<i>Contribución al estudio del fósforo en suelos ácidos del norte de España. II. Relaciones entre valores representativos del P del suelo: obtención por incubación o agitación con solución 0.01 M de CaCl<sub>2</sub>, y su adsorción por trébol violeta (en español)</i> J. Arines, Ma. Teresa Álvarez .....	293
<i>Medidas simultáneas del potencial de agua tanto en el suelo como en las hojas y raíces de plantas de maíz (Zea mays L.) (en portugués)</i> Orivaldo Brunini, George W. Thurtell .....	299
<i>Estudio de la longevidad del polen de maíz (Zea mays L.) en el proceso de selección (en español)</i> Guillermo Carrillo Castañeda, José Luis Mendoza Arizmendi .....	305
<i>Balance de energía en soja (Glycine max L. Merr) (en portugués)</i> Mário José Pedro Júnior, Nilson Augusto Villa Nova .....	309
<i>Uso de la isotermia de adsorción para evaluar requerimientos de fósforo. III. Comparación con otros métodos (en español)</i> I. Coronel, Danilo López-Hernández .....	313
<i>Efecto del nivel de cloruro de potasio en la formación de agallas en trasplantes de café y en la reproducción de Meloidogyne exigua (en portugués)</i> J. M. Dos Santos, S. Ferraz, L. M. de Oliveira .....	319
<i>Flujo de agua y CO<sub>2</sub> en plantas de papa sometidos a falta de agua (en inglés)</i> A. E. Klat .....	323
<i>Una metodología para la estimación-simulación de áreas de captación de lluvia in situ que optimicen el aprovechamiento de las precipitaciones en agricultura de secano (en español)</i> Javier García Benavides, Manuel Anaya Garduno, Euro Rincón Velasco .....	331
<i>Análisis comparativo entre el uso de flujo constante y reducción del flujo inicial y sus efectos en la eficiencia de la irrigación por surco (en portugués)</i> José Monteiro Soares, Salassier Bernardo, Ricardo A. Lopes Brito, Paulo Afonso Ferreira .....	343
<i>Influencia de la gravedad específica de las semillas en el crecimiento y desarrollo de plántulas de cacao (en inglés)</i> P. N. Ravindran .....	351
<i>Fluctuación de la población de parásitos y predadores de Perileucoptera coffeeella (Guérin-Ménville, 1842) en tres localidades del estado de São Paulo (en portugués)</i> J. R. Parra, W. Gonçalves, A. A. C. M. Preccati .....	357
<i>Efecto del ácido giberélico (GA<sub>3</sub>) y del pre-enfriamiento en el por ciento de germinación de semillas de Nothofagus obliqua Mirb. y N. Procera Oerst (en inglés)</i> Y. Shafiq .....	365
<i>Sucesión forestal en una área desmontada en Surinam (en inglés)</i> H. Zwetsloot .....	369
<i>Comunicaciones</i> .....	381
<i>Papel de ciertos caracteres morfológicos respecto a la resistencia contra la podredumbre de la cápsula de Gossypium hirsutum L. (en inglés)</i> S. F. A. Amalraj, M. K. Meshram .....	381
<i>Efecto de la defoliación artificial en el rendimiento de dos variedades de frijol (<i>Phaseolus vulgaris</i> L.) de hábito de crecimiento indeterminado (en inglés)</i> Clíbas Vieira .....	383
<i>Relación entre el rendimiento y la forma de la panoja en la quinua (en español)</i> Humberto Gaudíllas Santa Cruz, Gualberto Espíndola Canedo .....	385
<i>Estudios preliminares acerca del patrón de acumulación de prolina en cultivos de café durante etapa de sequía (en inglés)</i> N. Vasudeva, D. Venkataraman, K. I. Raju, M. C. Ratageri .....	388
<i>Reseñas de libros</i> .....	286, 318, 342



INSTITUTO INTERAMERICANO DE COOPERACION PARA LA AGRICULTURA

# EVALUACION DEL FRUTO DEL CAULOTE (*Guazuma ulmifolia*, Lam) EN LA ALIMENTACION DE TERNEROS<sup>1</sup>/

RICARDO BRESSANI\*  
JORGE MARIO GONZALEZ\*\*  
ROBERTO GOMEZ BRENES\*\*\*

## Abstract

*In order to evaluate caulote fruit (*Guazuma ulmifolia*, Lam) as a feedstuff, Holstein steers were fed corn silage alone and supplemented with a concentrate containing 0, 15, 30 and 45% of caulote flour. Levels up to 30% did not result in changes in animal performance, but higher levels decreased silage consumption, which resulted in lower daily gain weights. Digestibility of dry matter determined in 9 steers was the same for the control ration and for the ration containing 55.8% of caulote flour, but digestibility of protein and crude fiber was lower for the latter ration. It is proposed that caulote may constitute an additional ingredient for animal feeding.*

## Introducción

**E**n la América Central existen varios recursos vegetales no convencionales que podrían utilizarse en sistemas de producción, lo cual no ocurre, entre otras razones, por la falta de información necesaria para tales propósitos. Un ejemplo de esto lo constituye el fruto del caulote (*Guazuma ulmifolia*, Lam) árbol que crece naturalmente en Centroamérica y Panamá y que produce gran cantidad de frutos, que inician su crecimiento en setiembre y maduran en aproximadamente 5 meses. Bressani y Navarrete (3) informaron acerca de la composición química del fruto recolectado en Honduras y Guatemala, e indicaron un contenido proteínico de 6.5% con 28.1% de fibra cruda y 48.6% de carbohidratos solubles. En pruebas realizadas en pollos de engorde, encontraron que la harina del fruto podía sustituir

12% del maíz sin influir en el crecimiento de las aves o de su eficiencia alimenticia. Estos autores informaron, asimismo, acerca de la digestibilidad del fruto en conejos, con un valor de 38.8% de nutrientes digeribles totales.

Debido a la necesidad cada vez más urgente de disponer de ingredientes para raciones animales, se realizó el presente estudio, en el cual se evaluó la harina de caulote como ingrediente en alimentos para terneros en crecimiento.

## Materiales y métodos

Para el presente estudio se cosechó fruto verde, el cual fue deshidratado exponiéndolo al sol y moviéndolo 3 ó 4 veces diariamente durante 3 a 4 días. Una vez deshidratado, se molió el material con un molino de martillos y se tomaron muestras de diferentes lotes para su análisis químico aproximado, llevado a cabo de acuerdo con los métodos oficiales de la AOAC (1), y para su contenido de aminoácidos por medio del cromatógrafo de intercambio iónico de hidrolizados ácidos con HCl 6N (4). El fraccionamiento de la fibra y la digestibilidad *in vitro* del caulote se llevó a cabo de acuerdo con el método de Van Soest (6) y de Tilley y Terry (5).

1 Recibido para publicación 21 julio, 1981.

\* Jefe, División de Ciencias Agrícolas y de Alimentos, Instituto de Nutrición de Centro América y Panamá (INCAP), Apartado Postal 1188, Guatemala, Guatemala, C. A.

\*\* Administrador, Finca Experimental del INCAP.

\*\*\* Científico, División de Ciencias Agrícolas y de Alimentos, INCAP.

La evaluación nutricional se efectuó en dos experimentos: en el primer estudio se usó un total de 32 terneros machos, raza Holstein, y en el segundo, que fue de digestibilidad, se utilizaron 8 terneros de la misma raza.

En el primer experimento, se distribuyeron los 32 terneros en 4 grupos, destinando 8 animales por grupo y asignándolos a 2 repeticiones de 4 animales cada una. La distribución entre los grupos fue por peso y edad, de tal manera que el promedio de peso entre grupos no fuera mayor de 0.5 kg. Se prepararon cuatro dietas (véase el Cuadro 1) que contenían 0, 15, 30 y 45% de harina de caulote adicionada a la dieta basal, a expensas de afrecho de trigo y de harina de maíz por peso.

Estas dietas fueron analizadas respecto a su composición química aproximada, como ya se mencionó anteriormente. A todos los grupos se les ofreció *ad libitum* ensilaje de planta de maíz, y se midió el consumo diario. Varias muestras fueron analizadas respecto a su composición química aproximada (2). Las dietas fueron ofrecidas de tal manera que proporcionaran la misma cantidad de proteína por animal por día, en cada uno de los cuatro grupos. Las cantidades se ajustaron cada 30 días durante un tiempo experimental total de 80 días. Los animales se pesaron cada 30 días, después de 12 horas de estar en ayunas.

El segundo estudio se llevó a cabo con las dietas descritas en el Cuadro 2. La cantidad de harina de caulote utilizada fue de 55.8%. Las dos dietas constituyeron la única fuente de alimentos en un período de 14 días, los primeros 7 de adaptación y los últimos 7 de recolección cuantitativa de materias

Cuadro 1. Dietas. Composición de ingredientes.

Ingredientes	1	2	3	4
Harina de algodón	30.00	30.00	30.00	30.00
Afrecho de trigo	25.00	16.70	8.35	-
Maíz molido	20.00	13.30	6.65	-
Melaza	20.00	20.00	20.00	20.00
Hueso molido	2.00	2.00	2.00	2.00
Carbonato de calcio	1.00	1.00	1.00	1.00
Sal yodada	1.00	1.00	1.00	1.00
Pfizer-600	0.10	0.10	0.10	0.10
Aurofac	0.10	0.10	0.10	0.10
Cascarilla de algodón	0.80	0.80	0.80	0.80
Harina de caulote	0.00	15.00	30.00	45.00
Totales	100.00	100.00	100.00	100.00

Cuadro 2. Composición de las dietas para estudio de digestibilidad del fruto de caulote.

Ingrediente	Dieta No. 1 (%)	Dieta No. 2 (%)
Harina de algodón	20.0	20.0
Melaza	20.0	20.0
Harina de hueso	2.0	2.0
Carbonato de calcio	1.0	1.0
Sal yodada	1.0	1.0
Pfizer-600	0.1	0.1
Aurofac	0.1	0.1
Cascarilla de algodón	30.8	-
Afrecho de trigo	25.0	-
Harina de caulote	-	55.8
Total	100.0	100.0
Proteína calculada	13.5	13.5

fecales. Estas fueron homogeneizadas y se tomaron alícuotas equivalentes al 5% del peso diario que fueron reunidas por 7 días, y homogeneizadas nuevamente para análisis de materia seca, proteína y fibra cruda.

## Resultados

Los análisis de composición química de la harina de caulote y del ensilaje de planta de maíz se resumen en el Cuadro 3. Con respecto al contenido de proteína en la harina de caulote, el promedio fue de 7.9%, con una variación entre 6.4 y 8.8%, valores ligeramente superiores a los encontrados con anterioridad (3). Sin embargo, el contenido de fibra cruda promedio (30.4%) y el de carbohidratos solubles (44.8%), son mayor y menor, respectivamente, a los promedios de que se informa en el estudio anterior (3). Con respecto al ensilaje de planta de maíz, los valores caen dentro de los promedios de que informan otros investigadores (2). El Cuadro 4 resume los datos del fraccionamiento de la fibra y digestibilidad *in vitro* del caulote. Como se puede ver, el material contiene cantidades altas de componentes poco digeribles.

El Cuadro 5 resume el contenido de aminoácidos expresados como porcentaje de la muestra y como porcentaje de la proteína. No se informa sobre el contenido de azufrados, metionina y cistina, los cuales no se detectan en los cromatogramas, posiblemente por haber sido destruidos durante la hidrólisis ácida. Tampoco se informa sobre el contenido de triptófano, el cual se obtiene por hidrólisis alcalina. El

Cuadro 3. Composición química aproximada del caulote deshidratado y del ensilaje de maíz. Promedio de 10 muestras (g/100 g).

Nutrientos	Caulote deshidratado		Ensilaje de maíz	
	Promedio	Rango	Promedio	Rango
Humedad	8.4	4.8 - 12.1	77.8	59.6 - 80.5
Materia seca	91.6	87.9 - 95.2	93.9	91.0 - 96.9
Extracto etéreo	3.5	2.3 - 5.3	3.1	1.6 - 7.0
Fibra cruda	30.4	16.7 - 44.2	34.3	27.8 - 39.8
Nitrógeno	1.27	1.03 - 1.41	0.71	0.49 - 1.13
Proteína (N x 6.25)	7.9	6.4 - 8.8	4.4	3.0 - 7.1
Cenizas	5.0	4.0 - 6.8	8.7	6.8 - 11.0
Extracto libre de N	44.8	36.3 - 58.8	43.4	36.0 - 52.0

patrón restante es relativamente bueno, aunque la harina de caulote no se puede considerar como fuente proteínica.

Los datos de composición química de las dietas usadas en el primer estudio se describen en el Cuadro 6. Los aspectos de interés son el incremento en fibra cruda conforme aumenta la cantidad de harina de caulote de 0 a 45%, y el descenso en proteína y extracto libre de nitrógeno, en ese mismo sentido.

El Cuadro 7 resume los datos de crecimiento y de consumo de los diferentes grupos. Los datos indican que no hubo diferencias significativas entre los grupos de 0, 15 y 30% de harina de caulote, pero sí entre estos tres y el de 45%. En este último grupo se encontró un descenso en el consumo de ensilaje con respecto a los otros 3, a pesar de que el consumo de materia seca entre los 4 grupos fue similar.

Finalmente, el Cuadro 8 resume los coeficientes de digestibilidad de la materia seca, proteína y fibra cruda de las dos dietas usadas en el segundo estudio. Aunque no hubo efecto en la digestibilidad de la materia seca, la digestibilidad de la proteína fue ligeramente inferior en la dieta con harina de caulote y

Cuadro 4. Fraccionamiento de la fibra y digestibilidad *in vitro* del caulote.

Paredes celulares	56.2 %
Lignocelulosa	48.2
Lignina	13.3
Celulosa	33.3
Hemicelulosa	8.0
Cenizas insolubles	1.6
Digestibilidad <i>in vitro</i>	40.4 %

Cuadro 5. Contenido de aminoácidos en el fruto del caulote.

Aminoácido*	g/100 g	g/16 g N
Acido aspártico	0.64	7.89
Treonina	0.12	1.50
Serina	0.065	0.81
Acido glutámico	0.86	10.57
Glicina	0.26	3.26
Alanina	0.24	2.95
Valina	0.29	3.54
Isoleucina	0.25	3.10
Leucina	0.33	4.09
Tirosina	0.13	1.56
Fenilalanina	0.24	3.02
Lisina	0.34	4.25
Histidina	0.12	1.52
Arginina	0.35	4.33
Amoníaco	0.11	1.32

\* La metionina y la cistina no aparecieron en el cromatograma

significativamente inferior en la digestibilidad de la fibra cruda.

## Discusión

Los resultados del presente estudio indican que la harina de caulote puede sustituir al afrecho de trigo y a la harina de maíz en una cantidad que no pase del 30% del peso de la ración cuando esta última constituye un suplemento a un forraje como lo es el ensilaje de la planta de maíz. Para el presente estudio, el costo de caulote pagado a los que lo cosecharon fue de EE.UU. \$5.00 por 50 kg, valor signifi-

Cuadro 6. Composición química de los suplementos con harina de caulote (g/100 g) (Promedio de 10 análisis).

Nutrientes	Harina de caulote en suplemento, %			
	0	15	30	45
Humedad	9.5	9.3	9.2	8.9
Materia seca	90.5	90.7	90.8	91.1
Extracto etéreo	4.1	3.9	3.7	3.3
Fibra cruda	7.6	11.8	15.5	20.8
Nitrógeno	3.13	2.94	2.83	2.64
Proteína (N x 6.25)	19.6	18.4	17.7	16.5
Cenizas	8.4	8.5	8.7	9.1
Extracto libre de N	50.8	48.1	45.2	41.4

ficativamente inferior al del maíz y al del afrecho de trigo. Por consiguiente, esto daría ventajas económicas a favor del uso de la harina de caulote. La presencia de la harina no afectó el consumo de materia seca, aunque si el consumo de ensilaje cuando la dieta contenía 45% de este material. Esto fue posiblemente debido a la cantidad alta de fibra de poca digestibilidad. El fruto es apetecido por el ganado, debido a que cuando madura produce una miel agradable al paladar, aunque un poco astringente. Al inicio de los estudios se midió el tiempo en que los animales consu-

mian las dietas, encontrándose que había una relación directa entre tiempo de consumo y nivel de harina de caulote en la dieta. Sin embargo, todo era consumido. La formación de la miel es un proceso que debe ser estudiado y utilizado, ya que permite el crecimiento de hongos que podrían enriquecer el material.

Con respecto a la digestibilidad de nutrientes, fue sorprendente el valor bajo para la fibra, posiblemente debido al alto contenido de lignocelulosa o a la

Cuadro 7. Aumento en peso, consumo de suplemento y de ensilaje de toretes.

Nivel de harina de caulote en suplemento (%)	Cambio en peso, kg*	Consumo de suplemento kg/animal/día	Consumo de ensilaje* kg/animal/día	Consumo total materia seca kg/animal/día
0	104a	2.57	14.76a	5.85a
15	107a	2.73	14.89a	6.03a
30	109a	3.04	14.68a	6.30a
45	91b	3.16	12.80b	6.00a

\* Estado natural

Las letras iguales indican que son valores iguales estadísticamente

Cuadro 8. Coeficientes de digestibilidad.

Nutrientes	Dieta de referencia	Dieta con 50% de harina de caulote
Materia seca	57.5	57.0
Proteína	62.0	54.9
Fibra cruda	64.4	20.5

formación de complejos químicos entre los taninos del fruto y los componentes de la fibra.

De la información presentada, se puede concluir que el fruto de caulote tiene potencial nutritivo y se debe, por un lado, incrementar el número de estudios evaluativos y, por el otro, conservar el árbol, el cual tiene una capacidad de crecimiento rápido, proporciona madera para el hogar y una hoja también apetecida por el ganado.

**Resumen**

Se llevaron a cabo dos estudios en novillos para evaluar el valor nutritivo de la fruta deshidratada de caulote (*Guazuma ulmifolia*, Lam) como componente de las raciones. Varios lotes de la fruta se sometieron a análisis para determinar su composición química, fraccionamiento de fibra y contenido de aminoácidos.

En el primer estudio, 32 novillos Holstein fueron alimentados con raciones que contenían 0, 15, 30 y 45% de harina de caulote como suplemento a ensilaje de planta de maíz, por un período de 12 semanas. Los resultados indicaron que cuando el caulote se incluyó a niveles de hasta 30%, no se presentó ningún cambio en el comportamiento de los animales; sin embargo, los niveles mayores afectaron el consumo de ensilaje, lo que resultó en una reducción de la ganancia diaria de peso.

En el segundo estudio, 8 novillos se usaron para determinar la digestibilidad de una ración que contenía 55.8% de harina de caulote. La digestibilidad de la materia seca fue esencialmente la misma para el testigo y para la ración que contenía 55.8% de harina de caulote. La digestibilidad de la proteína y de la fibra cruda, sin embargo, fueron menores para la ración que contenía caulote.

La harina de caulote fue bien aceptada por los animales, y podría constituir un ingrediente adicional en las raciones para animales de crianza.

**Literatura citada**

1. ASSOCIATION OF OFFICIAL AGRICULTURAL CHEMISTS. Official Methods of Analysis. 10th ed. Washington, D. C., The Association. 1965.
2. BRAHAM, J. E., JARQUIN, R., GONZALEZ, M. y BRESSANI, R. Pulpa y pergamo de café. III. Utilización de la pulpa de café en forma de ensilaje. Archivos Latinoamericanos de Nutrición, 23:379-388. 1973.
3. BRESSANI, R. y NAVARRETE, D. A. Composición química y digestibilidad del fruto del caulote o guácimo (*Guazuma ulmifolia*, Lam.) y su uso en raciones para polluelos. Turrialba 9:12-16. 1959.
4. STEIN, W. H. y MOORE, S. The free amino acids of human blood plasma. Journal of Biological Chemistry 211:915-926. 1954.
5. TILLEY, J. M. A. y TERRY, R. A. A two-stage technique for the *in vitro* digestion of forage crops. Journal of the British Grassland Society 18:104-111. 1963.
6. VAN SOEST, P. J. Development of a comprehensive system of feed analyses and its application to forages. Journal of Animal Science 26:119. 1967.

## Reseña de libros

SPEDDING, C. R. W. *An introduction to agricultural systems*. London, Applied Science, 1979. 169 p.

Esta obra reciente acerca de los sistemas agrícolas se escribió con el propósito de aportar un texto de guía para la enseñanza de la agricultura como un fenómeno integral. Por ello —a través del texto— este afán didáctico se manifiesta repetidamente en múltiples ejemplos de las consecuencias positivas y negativas de enfocar los fenómenos agrícolas como globalidades interrelacionadas antes que en forma aislada y fragmentaria.

Otra característica general de esta obra y que la distingue de otras similares del mismo autor, es la inclusión ahora de capítulos específicos que describen aspectos biológicos y socio-económicos de sistemas de producción característicos tales como agricultura migratoria, de subsistencia, de orientación al mercado, de cultivos anuales, de propósitos múltiples, etc. Indudablemente estos capítulos constituyen un complemento necesario que imparte a la obra mayor amplitud temática y algunas consideraciones de orden práctico dentro de su corte básicamente académico.

La sección dedicada a la clasificación de los sistemas agrícolas, tema en que tantos autores han invertido gran esfuerzo con resultados tan diferentes, no alcanza la profundidad que se encuentra en otras publicaciones. Sin embargo, dentro de esta misma sección se encuentran algunas consideraciones ambientales acerca de la localización geográfica de sistemas agrícolas, que aunque muy breves, son un

resumen magistral de los conceptos anteriormente vertidos por Duckham y Masefield en su ya clásico "Farming Systems of the World".

Otras secciones interesantes de esta obra, son aquellas dedicadas a tratar los temas de la eficiencia biológica y económica de algunos sistemas de producción agrícola. En ellas, el autor presenta los conceptos más importantes que soportan a diversos índices de evaluación, lo que permite visualizar este problema también desde diversos ángulos. Estas secciones deberían resultar interesantes para aquellos preocupados por las consecuencias que tiene para la agricultura la actual crisis energética.

También son interesantes los comentarios acerca del papel que desempeña la ciencia y por ende el método científico en la descripción, análisis, modelación y validación de algunos sistemas agrícolas. La sección dedicada a este tema es un excelente complemento a los conceptos que se presentaron previamente en la obra "The Biology of Agricultural Systems" del mismo autor.

Por último, los que en una u otra forma se encuentran en la vida real usando (o tratando de usar) los conceptos de sistemas para abordar problemas agrícolas, se deben sentir interpretados en sus dudas por el autor, quien plantea a veces —explícitamente y otras entre líneas— el dilema del equilibrio que debe existir entre el esfuerzo desplegado en la descripción de un sistema y el objetivo que se ha trazado el operador. Este hecho revela claramente que el profesor Spedding no solo es un teórico académico sino que en la práctica se ha enfrentado a este problema que tanto preocupa a los interesados en el tema.

RAUL A. MORENO  
CENTRO AGRONOMICO TROPICAL DE INVESTIGACION Y ENSEÑANZA (CATIE)  
TURRIALBA, COSTA RICA

AHENKORAH Y.\*

HALM B. J.\*

AMONOO R. S.\*

### Compendio

*Se estableció un experimento de campo con maíz como cultivo testigo, con el propósito de comparar la ceniza de la cáscara de la mazorca del cacao como fuente de potasio contra el efecto del muriato comercial de potasio (41% K). Los resultados de tres años mostraron que no hubo diferencia significativa entre los dos materiales. Ambas fuentes de potasio resultaron significativamente mejores que las parcelas no tratadas. Utilizando el contenido promedio de 38% K en las cenizas, se hizo la estimación de que el grueso de las necesidades totales de Ghana en cuanto a fertilizantes potásicos así como el de otros cuatro países productores de cacao, incluyendo tal vez Brasil (Bahía), puede ser obtenido a partir de esta fuente.*

### Introduction

Besides the manufacture of chocolate and confectionery for which the premier ingredient is the cacao bean, many other useful products such as candles, cacao butter, cooking fat, lighting oil, ointment, hard and soft soap, fuel and "saline purge" can be prepared from the beans for peasant household consumption (6). Knapp and Churchman (11) and Greenwood-Barton (8) have reviewed the possible other uses to which the traditional waste products, mostly the roasted cacao bean shell and the defatted cacao cake, could be put. Interest in the utilization of the cacao pod husk for purposes such as soap manufacture, preparation of animal feed rations and fertilizers led to the determination by several investigators (Table 1) of the chemical composition of this cacao farm waste. Recently, a thorough review of research into the utilization of cacao farm wastes (or cocoa by-products) namely the cacao pod husk and the draining fresh juice (sweatings) was published by Adomako (1). The review paper, with particular

reference to the prospects in Ghana, highlighted topics such as: the production from the cacao bean sweatings of power alcohol, wine and sugars; the manufacture from the pod husk of soft soap, pectin, other polysaccharides, paper, fiber board, microbial and single-cell protein, preparation of animal feed rations and manufacture of fertilizers. Detailed review on the utilization of the cacao pod husk and the shell (testa) as either organic manure or as fertilizer was reported by Ahenkorah *et al* (2).

The purpose of this paper is to provide data from field trials using the cacao pod ash as potash fertilizer and comment on the practical feasibility of substituting, or at least supplementing, imported potash fertilizers with processed cacao pod ash in Ghana and other cacao producing countries.

### Materials and methods

#### Cacao husk ash as source of K-fertilizer

Dried cacao pod husks were thoroughly ashed in an open container, allowed to cool and passed through 18 mesh sieve to ensure reasonably uniform size. The few residues were discarded. Random samplings of the various batches of the ash, which had been mixed previously, were analysed on EEL flamephotometer for the potassium content 47 (42.8-53.4% K). The ash was stored temporarily in large air-tight polyethylene bags.

1 Received for publication April, 1981.

\* The authors gratefully acknowledge the technical assistance of the Soil Science personnel and that of the field staff at the CRIG Sub-station at Afosu. This paper is published with the permission of the Director, CRIG., New Tafo - Akin, Ghana.

Table 1. Chemical composition of cacao pod husk (% oven dry husk).

	Ankrab (3)	Acquaye <i>et al</i> (Kerten, 10)	Bateman & (Fresnillo, 4)	Dittmar (7)	Otchere E.O. (Adomako, 1)	Mean
Protein	6.25(5.70-7.60)	6.25(5.63-7.50)	7.18(5.63-8.36)	6.8	7.12(5.69-9.69)	6.7
Crude Fibre	—	27.30(24.30-29.6)	—	35.4	36.40(33.2-39.4)	34.5
Ash	8.0(7.73-8.33)	8.10(7.60-8.70)	—	9.7	9.44(8.48-10.20)	8.0
Na	0.016(0.014-0.031)	0.01(0.01-0.031)	—	—	—	0.013(0.01-0.03)
K	3.77(3.43-4.27)	3.20(2.50-3.70)	2.69(2.29-3.76)	—	3.63(3.46-4.37)	—
Ca	0.46(0.42-0.52)	0.44(0.33-0.70)	0.53(0.52-0.56)	0.63	0.26(0.16-0.42)	0.5
P	0.12(0.10-0.15)	0.09(0.04-0.12)	0.11(0.08-0.14)	0.17	0.18(0.13-0.21)	0.1
Fe	—	0.003(0.002-0.005)	—	—	—	0.003(0.002-0.005)
Mg	0.25(0.21-0.33)	—	0.34(0.31-0.41)	—	0.30(0.24-0.36)	—
S	0.05(0.05-0.09)	—	—	—	—	0.05(0.05-0.09)
Moisture content	85.70(84.2-86.90)	78.7(70-82)	—	—	—	82.20(77.1-84.4)
pH	5.8(5.7-5.8)*	—	—	—	—	5.8(5.7-5.8)
Si	—	—	—	—	0.06(0.04-0.09)	—
CO <sub>2</sub>	0.0015	—	—	—	—	0.0015

\* pH determination: 90 ml boiling water was slowly added with stirring to 10 g dry ground husk; suspension cooled to room temperature and pH determined on Beckman Zeromatic pH meter.

### Field Trial

The trial was sited on a portion of Block F at the CRIG sub-station, Afosu. The soil is Boi (indurated) series, an Oxisol. It is sedentary, developed over lower Birrimian phyllites, pH 5.5, moderately deep (60-100 cm), about 2% slope, moderately well drained, silty clay loam texture with frequent quartz gravel and has compact indurated B-horizon. Details on the soil survey have been reported (12).

An area of 0.40 ha was cleared of the secondary bush in March 1977. A split plot design consisting of two main fertilizer treatments, cacao husk ash and commercial muriate of potash (50% K<sub>2</sub>O or 41.5% K), was laid out on five main experimental blocks. Each block was divided into sub-plots to contain ten fertilizer treatments made up of five levels each of the ash and muriate. A sub-plot carried a core plot of 20 hills of maize plants *Zea mays* Var. Composit IV. The hills, each of which had two maize plants, were spaced 90 x 30 cm. Each core plot was fully guarded with two rows of maize hills. The maize was planted within the first fortnight in April and a month later fertilized at a distance of 15 cm around each hill, at the rates shown below:

K - source	Levels				
	0	1	2	3	4
Cacao husk ash (g/hill)	0	1.4	2.2	3.3	4.4
Muriate (g/hill)	0	1.25	2.50	3.75	5.0
Equivalent: kg K/ha	0	23.2	46.6	69.7	93.0
kg K <sub>2</sub> O/ha	0	28.0	56.0	84.0	112.0

All plots were clean weeded. The maize was harvested four months later, dried to about 10% moisture and weighed.

The trial was repeated practically the same way on same subplots and within the same months for the three consecutive years 1977-79 inclusive. However, in May 1979 during the fertilizer application, a basal dressing of 84 kgN/ha as ammonium sulphate (20-21% N) was applied to the whole field to prevent any probable nitrogen deficiency.

### Results and discussion

When the three year results were pooled and analysed no significant yield difference was observed between the ash and the muriate. Both or either of the two K sources was significantly better than the untreated plots. This suggests that the general effect of the ash on the maize yield over the three year period was the same as the conventional muriate of potash fertilizer. This observation confirms the results of our preliminary greenhouse experiment in which sweet pepper *Capsicum annuum*, corn *Zea mays* and tomato *Lycopersicum esculentum* were used as the test plants (9). Results of the individual year yield of dry grain (with about 10% moisture) from the respective treatments are summarised in Table 2. A general decline in the maize yield was observed after 1977 crop. This amounted to 66% and 51% of the first harvest for the 1978 and 1979 harvests respectively. The basal application of the 84 kg of nitrogen per hectare in the 1979 trial did not arrest the decline. The erratic rainfall pattern during the two cropping seasons obviously contributed to the general low yields. It is also probable that the doses of fertilizers applied were low for the area even though a generally recommended national rate was applied (12).

The overall effect of the ash caused significant yield difference of more than 16% (16-18) over the muriate in the 1977 season ( $P < 0.01$ ) and 1979 ( $P < 0.05$ ) season. However, in 1978, the effect of the muriate was 9.2% greater than the ash. A plot of yield response against the different levels of the K fertilizer sources did not indicate a clear curvilinear relationship except for that of the 1978 ash application, whose peak occurred between the 1 and 3 levels. The muriate application indicated a plateau yield beyond level 1 for 1977 and a rapid yield drop after level 3 in 1979. Even though no significant difference was recorded among the various levels, the individual year yields suggest that for the ash a dose exceeding level 3 (69.7 kg K/ha) does not appear to be beneficial while that of the muriate appeared to be about level 1 (23 kg K/ha).

From the information given by Adomako (1) it is estimated that approximately 45.4 kg fresh husk yield about 550 grams ash from the equivalent of 6.8 kg dry husks. This quantity of husk is obtained from about 154 fresh pods which produce 5.4 kg marketable dry beans. From the data in Table 1 coupled with the above information, it is estimated that the quantities of crude potash fertilizers (shown in Table 3 as ash) can be obtained from some of the main cacao producing countries.

Table 2. Mean yield of dry maize grains from plots fertilized with cacao husk ash and muriate of potash over the 1977, 1978 and 1979 crop years.

Fertilizer Levels Source	0	1	2	3	4	Mean
1977 Dry grains kg/ha						
Ash	152	187	163	207	156	173
Muriate	113	115	125	124	129	121
1978 Dry grains kg/ha						
Ash	70	90	101	100	78	88
Muriate	101	109	113	97	107	105
1979 Dry grains kg/ha						
Ash	92	99	80	91	69	86
Muriate	59	59	71	70	55	63

It is known that all the cacao producing countries listed in Table 3, except perhaps Brazil (Bahia), consume comparatively very low quantities of fertilizers. Ghana, for example, imported approximately 2720 tons of potash fertilizers in the 1973/74 financial year (5). It is obvious from Table 3 that all or the bulk of the total needs of potash fertilizers of such countries can be obtained from this source. The general average content of 38% K (range 34-36% K) of the husk ash (Table 1), occurring mostly in the carbonate form, compares favourably not only with the commonly used muriate of potash with 41 to 52% K but also with both the sulfate of potash (40-43%) and nitrate of potash (36-39% K) fertilizers.

### Abstract

A field experiment with maize as the test crop was set up to compare cacao husk ash as a source of potash with commercial muriate of potash (41% K). Three years results showed that there was no significant difference between the ash and the muriate as source of K. Both K sources were significantly better than the untreated plots. Using the average content of 38% K of the ash, it was estimated that the bulk of the total needs of potash fertilizers of Ghana and some four other cacao producing countries, including perhaps Brazil (Bahia), can be obtained from this source.

Table 3. Average quantity of potash from cacao pod husk estimated from exported beans\* in five major cacao producing countries.

Countries	Metric tons			
	Dry husk	Ash	Potash as K	
			a***	b****
Ghana	480 121	39 153	18 449	15 027
Nigeria	286 449	23 360	11 007	8 965
Ivory Coast	279 398	22 785	10 736	8 745
Brazil (Bahia)	237 487	19 367	9 126	7 433
Cameroun**	131 505	10 724	5 053	4 116

\* Calculated from nine years (1969/70-1977/78) average sales (Gill and Dufus, Cocoa Market Report No. 286, 1979).

\*\* Figures from Cameroun are based on 1977/78 produce only.

\*\*\* Calculated from data in Table 1 column 1.

\*\*\*\* Calculated from data in Table 1 column 7.

### Conclusion

The application of the cacao husk ash as source of K fertilizer on maize, pepper and tomatoes is equally effective as the commercial muriate of potash. The K content in both sources are comparable. The ash with its renewable source is adequate to satisfy the annual K-fertilizer needs of each of the major cacao producing countries. There is urgent need to process, distribute and use the husk ash in more convenient and suitable form.

### Literature cited

- 1 ADOMAKO, D. A review of researches into the commercial utilisation of cocoa by-products, with particular reference to the prospects in Ghana. Cocoa Marketing Board Newsletter 61:3-23. 1975.
- 2 AHENKORAH, Y. HALM, B. J. and AMONOO, R. S. Utilization of the cocoa pod husk as

- fertilizer or organic manure. Rep. Cocoa Res. Inst. 1980/81. In Press.
3. ANKRAH, E. K. Chemical studies of some plant wastes from Ghana. Journal Science Fd. Agric. 25:1229-1232. 1974.
4. BATEMAN, J. V. and FRESNILLO, O. Digestibility of *Theobroma cacao* pods when fed to cattle. Journal Agriculture Science 68:23-25. 1967.
5. Central Bureau of Statistics, Accra, Ghana External Trade Statistics of Ghana Vol. XXIV (No. 6) June 1974.
6. CHEMIST, Dept. of Agric., Tafo. Household use for cocoa: Methods of using cocoa beans for making cocoa butter, cooking fat, lighting oil, soap, candles, fuel and chocolate preparations. Gold Coast Dept. of Agric. 1940.
7. DITTMAR, H. F. K. Untersuchungen an kakao-fruchtchalen, Gordian 58(1387):48-49. 1956.
8. GREENWOOD-BARTON, L. H. Cocoa beans and cocoa pods; have they unconventional uses? First session F. A. O. Technical Working Party on Cocoa Production. Rome Sept. 1964.
9. HALM, B. J. and AHENKORAH, Y. Cocoa husk ash as fertilizer. Rep. Cocoa Res. Inst. Ghana 1975/76. 1978 pp. 242-243.
10. KENTEN, R. H. Other uses of the cocoa bean and the by-products arising from fresh pod. Internal Memo. Chemistry 1/64 1964.
11. KNAPP, A. W. and CHURCHMAN, A. Cocoa shell and its uses as an accessory fodder. Journal Soc. Chem. Ind. (Chemistry and Industry) London. 61:29-33. 1937.
12. MENSAH-ANSAH, J. H. and ADU, S. V. Soils of the CRIG Sub-station, Afosu. Tech. Bull. 84. Soil Res. Inst. CSIR. 1972.
13. OFORI, C. S. and NANDY, S. The effect of method of soil cultivation on yield and fertilizer response of maize grown on a forest ochrosol. Ghana Journal Agriculture Science 2:19-24. 1969.

**INSTITUTO INTERAMERICANO DE COOPERACION PARA LA AGRICULTURA\***

Febrero de 1981

En virtud de que el IICA ha adoptado el Sistema Internacional de Unidades, nos permitimos anotar a continuación para los autores y colaboradores de las Revistas Turrialba y DRELA, así como para otras series de publicaciones del Instituto, las siguientes reglas principales.

En 1960, la Conferencia General de Pesas y Medidas (CGPM) y la Oficina Internacional de Pesas y Medidas (BIPM) decidieron por unanimidad en París, sede del BIPM, crear un sistema internacional de unidades de pesas y medidas (SIU). En 1975 había ya 44 países miembros del BIPM cuya tarea principal es asegurar la unificación mundial en torno del SIU. Hoy día los Estados Unidos de América e Inglaterra han adoptado también el uso del SIU.

Por ejemplo, el kilogramo es unidad de masa, y ya no de peso; el recurso al concepto de peso queda abolido, pues corresponde en realidad a la fuerza de atracción debida a la gravedad, y, por lo tanto, los cuerpos en el espacio interplanetario no tienen peso, pero sí conservan su masa. La unidad de fuerza es el newton (N), que corresponde a la necesaria para producir una aceleración de un metro por segundo sobre una masa de un kilogramo. La unidad de presión o esfuerzo es el pascal (Pa) y equivale a la noción abolida de kilogramos (fuerza) por centímetro cuadrado:  $9\ 806\ 650 \text{ kg} (\text{fuerza})/\text{m}^2 = 1 \text{ Pa}$ .

**Reglas principales para la consignación de las unidades SI**

1. No se usan las mayúsculas en los nombres de unidades. Única excepción: grados Celsius.
2. Los símbolos no se escriben con mayúsculas. Excepciones: los derivados de nombres de personas.
3. Los prefijos métricos no se escriben con mayúsculas. Excepciones: tera T, giga G, mega M.
4. Los símbolos se escriben siempre igual, sean singular o plural, ej.: 5 mm, no 5 mms.
5. Cuando se escriben los nombres de unidades completos, se pluralizan normalmente, ej.: 10 kilogramos, 55 hectáreas.
6. No se usan los prefijos solos, sino acompañados de la unidad, ej.: 15 megawatts, no 15 megas.
7. No se usa el punto después del símbolo (24 m, no 24 m.), excepto al final de un párrafo.
8. Siempre se deja un espacio entre el número y el símbolo o unidad, ej.: 10 cm, no 10cm.
9. No se usan comas ni puntos para separar números largos; se deben separar de tres en tres. El punto marca el principio de la fracción decimal, ej.: 1 000 005.34, 30 000 y no 1,000,005.34 ó 30,000.
10. Siempre se coloca un cero a la izquierda del punto decimal, ej.: 0.77 y no .77.
11. Cuando se expresan unidades compuestas como kilómetros por hora, se usa la diagonal, ej.: 78 km/h, 50 m/s. Si se trata de newton metros se usa el punto, ej.: 5 N.m.

CONTRIBUCION AL ESTUDIO DEL FOSFORO EN SUELOS ACIDOS DEL NOROESTE  
DE ESPAÑA. II. RELACIONES ENTRE VALORES REPRESENTATIVOS DEL P  
DEL SUELO, OBTENIDOS POR INCUBACION O AGITACION CON SOLUCION 0.01 M  
DE  $\text{CaCl}_2$ , Y SU ABSORCION POR TREBOL VIOLETA<sup>1</sup>

---

J. ARINES\*  
Ma. TERESA ALVAREZ\*

### Abstract

*P-adsorption uptake by red clover grown in an acid brown soil heavily fertilized 6 years before sampling, was correlated with soil P estimated after the procedure followed to obtain their adsorption isotherm, with the value  $X/\log C$  proposed by Bache and Williams, and with the P extracted by shaking soil samples during 1 h with 0.01 M  $\text{CaCl}_2$  solution.*

*The high determination coefficient ( $R^2 = 0.9847$ ) between P uptake and P extracted with 0.01 M  $\text{CaCl}_2$ , suggest the possibility of using this extractant to test soil P status. A diagram to estimate fertilizer needs is showed.*

### Introducción

**E**l estudio del problema de las relaciones suelo-planta con respecto al fósforo, ha puesto de manifiesto que: a) la estimación del P asimilable con extractores químicos varía, tanto con el tipo de suelo como con el cultivo, de modo que ningún extractor puede considerarse como universal; b) las propiedades de adsorción del suelo tienen una gran influencia sobre las necesidades de fertilización de los cultivos.

Ambos aspectos están directamente relacionados con la diagnosis y terapia de producción y, por tanto, tienen un gran interés práctico. Es necesario disponer de un método rápido y confiable para estimar la fertilidad actual del suelo y, al mismo tiempo poder determinar la fertilización adecuada para elevar aquel nivel al valor óptimo.

Entre los distintos extractores empleados para estimar el P asimilable, llama nuestra atención la solución 0.01 M de  $\text{CaCl}_2$  (utilizado para obtener el factor intensidad) a pesar de que Williams (17) lo considera inferior a otros extractores. Dalal y Hallsworth (7) obtuvieron resultados que están en la misma línea, mientras que Baker y Hall (3) y Soltanpour *et al.* (15) lo consideran muy aceptable, habiendo obtenido el último una buena correlación ( $r = 0.97$ ) entre el P absorbido por sorgo y el P extraído con solución 0.01 M de  $\text{CaCl}_2$ .

El estudio de las isotermas de adsorción por incubación del suelo con solución 0.01 M de  $\text{CaCl}_2$  conteniendo cantidades crecientes de fosfato, en condiciones que difieren según autores, ha puesto de manifiesto que la concentración óptima de P en la solución, una vez alcanzado el equilibrio, debe estar entre 0.2-0.3 ppm de P (3, 8, 11, 18) variando los niveles críticos con la capacidad tampon del suelo y el tiempo de cultivo (9). Por otro lado, buscando una simplificación al problema del conocimiento de las características de adsorción del suelo, Bache y Williams (2) encuentran como adecuado el valor de  $X/\log C$  ( $X$  = concentración de P en la fase sólida o P adsorbido, y  $C$  = concentración de P en la solución en equilibrio) para una adición de 50  $\mu\text{moles P/g suelo}$ , aunque no expresan la variación de este parámetro ( $X/\log C$ ) en la zona de adiciones prácticas de fosfato.

1 Recibido para publicación el 4 de enero de 1980.  
Los autores agradecen al Dr. D. Ramón Fábregas, Jefe de la U.E.I. de Fertilidad de Suelos y Nutrición Vegetal, la supervisión del manuscrito.

\* Instituto de Investigaciones Agrobiológicas de Galicia, del CSIC. U.E.I. de Fertilidad de Suelos y Nutrición Vegetal. Apartado 122. Santiago de Compostela. España.

El problema de P del suelo ha sido globalmente abordado y revisado por Larsen (10).

A pesar de los inconvenientes expuestos por Williams (17) con respecto al empleo del  $\text{CaCl}_2$ , hemos querido ensayar su aplicación. Al mismo tiempo, es nuestro interés estudiar la variación del parámetro  $X/\log C$  propuesto por Bache y Williams (2), y comprobar la validez del óptimo de concentración de P en equilibrio con el suelo, establecido en 0.2-0.3 ppm de P, en un suelo típico de nuestra región (aunque con un nivel de fertilidad elevado) y para el cultivo de trébol violeta.

### Materiales y métodos

Las propiedades y características de adsorción del suelo han sido descritas previamente (1). Para este experimento se ha utilizado la capa superficial (15 cm) del mismo. Se trata de una tierra parda lomosa sobre esquistos, muy fertilizada hasta el año 1973. El suelo se recogió en 1979, y se determinaron sus características de adsorción antes de ser cultivado con trébol.

Para el cultivo se prepararon, sin adición de fertilizantes, 28 macetas con 2 kg cada una de suelo seco al aire mezclado con 1.25 kg de arena gruesa lavada con ácido clorhídrico. Durante 15 días, se estabilizaron con agua hasta un 50 por ciento de su capacidad máxima de retención. Entonces se aplicaron 7 tratamientos (4 repeticiones cada uno) consistentes en la adición de 0, 50, 100, 200, 300, 400 y 500 kg P/ha (se considera el peso de 1 ha igual a  $2 \times 10^6$  kg). A los 7 días se sembró trébol violeta (*Trifolium pratense L.*) a razón de 1 g de semillas por maceta. Después de 38 días se recolectó la parte aérea de las plantas, determinándose la concentración de P en las mismas y la producción de materia seca por maceta.

Después, se tomaron muestras de suelo de todas las macetas, y en la fracción menor de 0.5 mm se determinó el P mediante agitación de 3 g de suelo con 30 ml de solución 0.01 M de  $\text{CaCl}_2$  durante 1 h. En el extracto obtenido se determinó también la concentración de Ca, lo que permitió calcular el potencial fosfato de Schofield siguiendo el procedimiento de White y Beckett (16).

Para la determinación del P en la solución se utilizó el reactivo sulfomolibdico y  $\text{SnCl}_2$  como reducтор (1). La concentración de P en las cenizas vegetales con el reactivo nitrovanadomolibdico de Barton (5).

El análisis estadístico de los resultados se realizó según métodos descritos por Snedecor y Cochran (14).

### Resultados y discusión

#### Valores de P del suelo

Los valores obtenidos del P del suelo, no corregidos ya que serán más adecuados para relacionar con la absorción por la planta, se presentan en el Cuadro 1.

Cuadro 1. Valores del P del suelo para distintas adiciones de fósforo.

P añadido (kg/ha)	C (ppm)	X/ $\log C$	Ce (ppm)	pP
0	0.13	-	0.14	6.16
50	0.24	0.89	0.13	6.16
100	0.27	0.94	0.17	6.04
200	0.72	2.19	0.33	5.78
300	1.02	2.97	0.62	5.52
400	1.91	3.26	0.83	5.39
500	3.10	3.53	0.85	5.37

C = concentración de P obtenida por incubación del suelo durante 8 días con solución 0.01 M de  $\text{CaCl}_2$  conteniendo la cantidad de  $\text{PO}_4\text{H}_2\text{K}$  correspondiente al valor de P añadido.

Ce = concentración de P obtenida por agitación de una muestra de suelo, después del cultivo, con solución 0.01 M de  $\text{CaCl}_2$  durante 1 h.

pP = potencial fosfato, basado en los datos Ce.  
Para X/ $\log C$  las unidades de X son  $\mu\text{moles de P/g de suelo}$  y las de C son  $\mu\text{M}$ .

#### Relaciones del P añadido con el cultivo.

Considerando al P añadido como variable independiente se han calculado las regresiones polinómicas de segundo grado de la producción de materia seca (g/maceta) y de la cantidad de P absorbido por las plantas ( $\mu\text{g P/g suelo}$ ). Las ecuaciones obtenidas han sido:

$$\text{materia seca} = 3.28 - 0.11 \times \log \text{P añad.} \div 0.10 \times (\log \text{P añad.})^2 \quad (a)$$

$$R^2 = 0.8469$$

$$\text{P absorbido} = 8.77 - 5.86 \times \log \text{P añad.} \div 2.34 \times (\log \text{P añad.})^2 \quad (b)$$

$$R^2 = 0.9967$$

donde en (a) la regresión es significativa al 5 por ciento y los coeficientes de la ecuación son no significativos, y en (b) la regresión es significativa al 1 por ciento y los coeficientes son significativos también al 1 por ciento.

Ambas ecuaciones se representan en la Figura 1 después de transformar los valores logarítmicos del P añad., en números naturales.

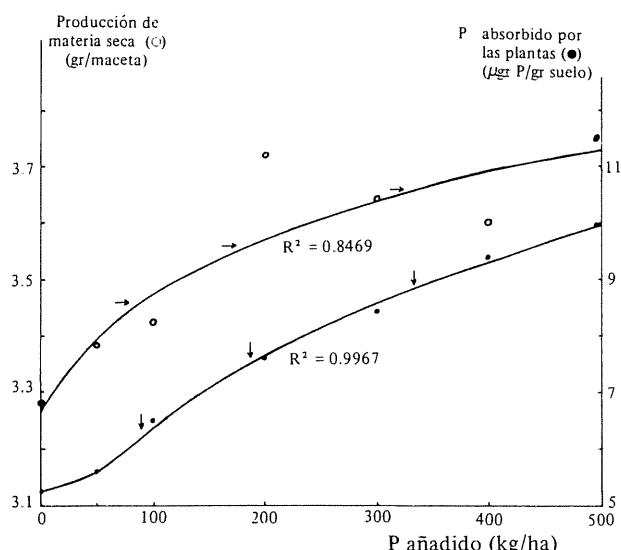


Fig. 1. Variación de la producción de materia seca, y del P absorbido por la planta, con el añadido.

La curva teórica del P absorbido se ajusta mucho mejor a los datos experimentales que la de producción. En la curva de producción se observan desviaciones importantes para adiciones de P superiores a los 200 kg/ha, cuya distribución sugiere un máximo. Esto estaría de acuerdo con resultados obtenidos por Ozanne *et al.* (11) para *Trifolium subterraneum* y *T. hirtum*. La curva de absorción, que no presenta máximo, está de acuerdo con resultados obtenidos por Barrow (4) para los tréboles.

Los valores medios de concentración de P en las plantas se presentan en el Cuadro 2.

Para 3 especies de trébol, Ozanne *et al.* (11) encuentran que la concentración para una producción

máxima debe estar entre 0.7-0.8 por ciento a los 29 días de emergencia. Por otro lado, Biddiscombe *et al.* (6), también en plantas de 29 días, observan que para una adición de 25 ppm P se obtiene un 60 por ciento del máximo de producción y la concentración en la planta es de 0.30-0.33 por ciento. Por otro lado, Barrow (4) encuentra que el peso total de la planta a los 33 días de emergencia no aumenta apreciablemente para valores de concentración en la parte aérea superiores a un 0.4 por ciento.

La comparación de los datos de concentración obtenidos con los citados, permite indicar que con los valores encontrados se puede obtener una producción de materia seca de, al menos, un 60 por ciento del máximo en todos los casos.

Teniendo en cuenta el buen ajuste encontrado cuando se relaciona la absorción de P con el P añadido, y que además la absorción es muy importante para una buena producción y desarrollo de la planta, hemos relacionado los parámetros representativos del P del suelo con la absorción del nutriente por la planta.

#### Relaciones entre el P absorbido por la planta y los parámetros representativos elegidos del P del suelo

En los Cuadros 3 y 4 se presentan, respectivamente, las ecuaciones de regresión lineal y polinómica de 3er grado. Las líneas de regresión polinómica se representan en la Figura 2.

Cuadro 3. Ecuaciones de regresión lineal

$y = a + b.x$				
y	x	a	b	r
P abs.	C	5.89**	1.57**	0.9198**
P abs.	Ce	5.08**	5.64**	0.9690**
P abs.	pP	37.78**	-5.24**	-0.9854**
P abs.	X/logC	4.64**	1.44**	0.9738**

\*\* = significativo al 1%.

P abs. = P absorbido en  $\mu\text{g}$  de P/g de suelo.

Cuadro 2. Variación de la concentración de P en la planta con el P añadido.

P añadido (kg/ha)	0	50	100	200	300	400	500
P en planta (g %):	0.32	0.33	0.38	0.41	0.47	0.52	0.54

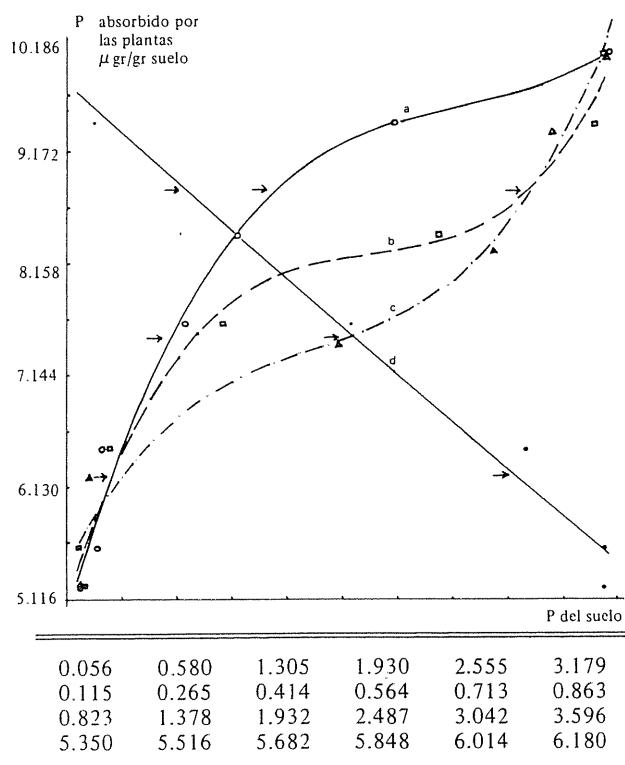
Cuadro 4. Ecuaciones de regresión polinómica de 3er grado.

y	x	$y = a_0 + a_1 \cdot x + a_2 \cdot x^2 + a_3 \cdot x^3$				$R^2$
		$a_0$	$a_1$	$a_2$	$a_3$	
P abs.	C	4.64	5.78	-2.39	0.35	0.9846
P abs.	Ce	1.98	33.98	-63.21	40.27	0.9847
P abs.	pP	91.98	-31.70	4.28	-0.23	0.9710
P abs.	X/logC	1.36	7.83	-3.49	0.56	0.9756

Comparando las ecuaciones lineales se observa significación en todos los coeficientes. Por lo tanto, para establecer un orden de ajuste, consideraremos el valor del coeficiente de correlación, según el cual:

$$pP > X/\log C > Ce > C$$

El orden de ajuste de los puntos experimentales a cada uno de los factores resulta ser:



Clave.— Puntos experimentales:

$C(o)$ ,  $Ce(\square)$ ,  $x/\log C(\Delta)$ ,  $\frac{1}{2} pCa + pPO_4 H_2^-(●)$ .

Curvas ajustadas: a b c d

— : intersección de las absorciones óptima, intermedia y máxima con las curvas ajustadas.

Fig. 2. Regresiones polinómicas de 3er grado entre el P absorbido por la planta y valores representativos del P del suelo.

$$C = Ce > X/\log C \approx pP$$

En primer lugar es de señalar el carácter sigmoidal de las curvas a, b y c (Figura 2), con puntos de inflexión para valores de absorción próximos a 9.5, 8.2 y 7.3  $\mu\text{g P/g suelo}$ , respectivamente.

Dado que  $Y_m = (Y_i^2 - Y_j \cdot Y_k)/(2Y_i - Y_j - Y_k)$  y siendo  $Y_i = 3.73$ ;  $Y_j = 3.63$ ;  $Y_k = 3.47$  resulta  $Y_m = 3.66$  y  $Y_{\text{ópt.}}(95\%) = 3.46$

Para concretar los valores de los distintos parámetros para valores fijos de absorción, conviene determinar previamente los valores de producción que interesan. Como la curva de producción no presenta un máximo definido, podemos calcular éste haciendo uso de la ecuación de Mitscherlich [citado en Peaslee (13)] tomando para ello los valores de producción de materia seca que en la curva (Figura 1) corresponden a adiciones de 100, 300 y 500 kg P/ha.

Estos dos valores, y otro intermedio, así como los correspondientes de absorción, se indican con flechas en las Figuras 1 y 2.

Los valores de los parámetros del suelo para tales puntos, así como los valores de producción, fertilización, y absorción correspondientes, se indican en el Cuadro 5.

El valor óptimo de C es (0.23 ppm) está prácticamente dentro de los límites citados por la bibliografía, así como el de pP. Con respecto de los valores de Ce, el encontrado por nosotros como intermedio es muy próximo al citado por Soltanpour *et al.* (15) como crítico (0.37 ppm).

Aunque cualquiera de los factores estudiados se correlaciona de forma altamente significativa con el P absorbido por la planta, la facilidad de obtención del valor Ce nos inclina a considerarlo como útil para controlar de forma rutinaria el nivel de P asimilable, al menos para el suelo estudiado.

Con esta idea, se ha elaborado el diagrama que se presenta en la Figura 3 (los círculos representan puntos experimentales) en el que se establecen las relaciones entre el P asimilable (extraído con solución 0.01 M de  $CaCl_2$ ), la producción, y la cantidad de P añadido o fertilización, el cual puede ser empleado para diagnosis y estimación de la fertilización necesaria para alcanzar la producción que se desea, todo ello dentro de los límites impuestos por el experimento. Proyectamos comprobar la validez del diagrama, y su extensión a otros valores de producción y rebrotos de la planta.

Cuadro 5. Valores seleccionados de los parámetros del P del suelo.

Criterio	Mat. seca (g/mac)	P añad. (kg/ha)	P abs. ( $\mu\text{g/g}$ )	C (ppm)	Ce (ppm)	X/logC	pP
Optimo (95%)	3.46	90	6.25	0.23	0.18	0.99	6.02
Intermedio	3.56	190	7.50	0.65	0.29	1.89	5.78
Máximo	3.66	335	8.85	1.27	0.74	3.13	5.52

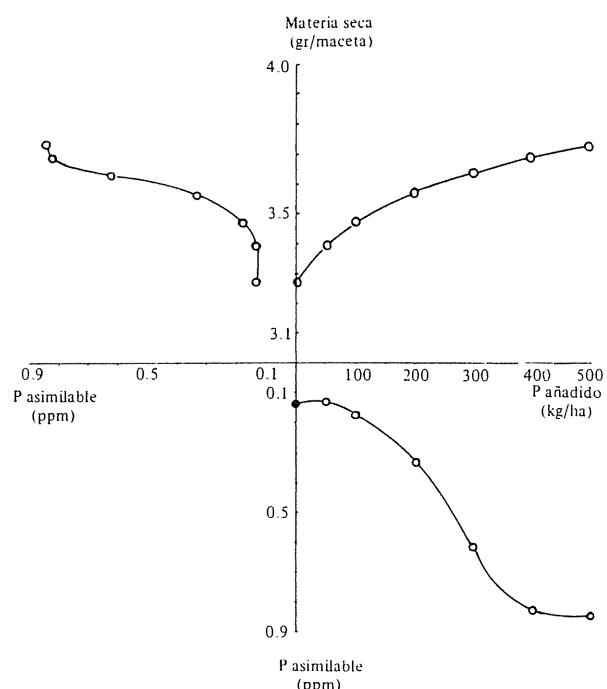


Fig. 3. Relaciones entre materia seca, fósforo añadido, y fósforo asimilable (extraído por agitación del suelo con solución 0.01 M de  $\text{Cl}_2\text{Ca}$  durante 1 h).

### Resumen

Se estudió la absorción de P por trébol violeta cuando crece sobre una tierra parda ácida muy fertilizada 6 años antes. La absorción se correlacionó con el P del suelo estimado según el procedimiento que se sigue para obtener su isoterma de adsorción, con el valor  $X/\log C$  propuesto por Bache y Williams, y con el P extraído por agitación del suelo con solución 0.01M de  $\text{CaCl}_2$ .

El elevado coeficiente de determinación ( $R^2 = 0.9847$ ) entre el P absorbido por la planta y el P extraído con  $\text{CaCl}_2$  0.01 M, sugiere la posibilidad de utilizar dicho extractor para estimar el P asimilable. Se presenta un diagrama que permite determinar la fertilización fosfatada conveniente.

### Literatura citada

1. ARINES, J. y ALVAREZ, Ma. TERESA. Contribución al estudio del fósforo en suelos ácidos. I. Características de adsorción y fracciones de P en una tierra parda del norte de España. *Turrialba* 31:3. pp. 217-226. 1981.
2. BACHE, B. W. and WILLIAMS, E. G. A phosphate sorption index for soils. *Journal of Soil Science* 22:289-301. 1971.
3. BAKER, D. E. and HALL, J. K. Measurements of phosphorus availability in acid soils of Pennsylvania. *Soil Science Society of America Proceedings* 31:662-667. 1967.
4. BARROW, N. J. The response to phosphate of two annual pasture species. II. The specific rate of uptake of phosphate, its distribution and use for growth. *Australian Journal of Agricultural Research* 26:145-156. 1975.
5. BARTON, Ch. A. Photometric analysis of phosphate rock. *Analytical Chemistry* 20:1068-1073. 1948.
6. BIDDISCOMBE, E. F., OZANNE, P. G., BARROW, N. J. and KEAY, J. A comparison of growth rates and phosphorus distribution in a range of pasture species. *Australian Journal of Agricultural Research* 20:1023-1033. 1969.
7. DALAL, R. C. and HALLSWORTH, E. G. Evaluation of the parameters of soil phosphorus availability factors in predicting yield response and phosphorus uptake. *Soil Science Society of America Journal* 40:541-546. 1976.
8. FOX, R. L. and KAMPRATH, E. J. Phosphate sorption isotherms for evaluating the phosphate requirements of soils. *Soil Science*

- Society of America Proceedings 34:902-907. 1970.
9. HOLFORD, I. R. C. and MATTINGLY, G. E. G. Phosphate adsorption and availability plant of phosphate. *Plant and Soil* 44:377-389. 1976.
10. LARSEN, S. Soil phosphorus. *Advances in Agronomy* 19:151-210. 1967.
11. OZANNE, P. G., KEAY, J. and BIDDISCOMBE, E. F. The comparative applied phosphate requirements of eight annual pasture species. *Australian Journal of Agricultural Research* 20:809-818. 1969.
12. OZANNE, P. G. and SHAW, T. C. Phosphate sorption by soils as a measure of the phosphate requirement for pasture growth. *Australian Journal of Agricultural Research* 18:601-612. 1967.
13. PEASLEE, D. E. Relationships between relative crop yields, soil test phosphorus level, and fertilizer requirements for phosphorus. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 9:429-442. 1978.
14. SNEDECOR, G. W. y COCHRAN, W. G. *Métodos estadísticos aplicados a experimentos en agricultura y biología*. 5a. Edición CECSA, México. 1970. 626 p.
15. SOLTANPOUR, P. N., ADAMS, F. and BENNETT, A. C. Soil phosphorus availability as measured by displaced soil solutions, calcium chloride extracts, dilute-acid extracts, and labile phosphorus. *Soil Science Society of America Proceedings* 38:225-228. 1974.
16. WHITE, R. E. and BECKETT, P. H. T. Studies on the phosphate potentials of soils. I. The measurement of phosphate potential. *Plant and Soil* 20:1-16. 1964.
17. WILLIAMS, D. E. G. the intensity and quantity aspects of soil phosphate status and laboratory extraction values. *Anales de Edafología y Agrobiología* 26:525-546. 1967.
18. WOODRUFF, J. R. and KAMPRATH, E. J. Phosphorus adsorption maximum as measured by the Langmuir isotherm and its relationship to phosphorus availability. *Soil Science Society of America Proceedings* 29:148-150. 1965.

# MEDIDAS SIMULTÂNEAS DO POTENCIAL DA ÁGUA NO SOLO E EM FOLHAS E RAÍZES DE PLANTAS DE MILHO (*Zea mays*, L.)<sup>1</sup> \*/

ORIVALDO BRUNINI\*\*  
GEORGE W. THURTELL\*\*\*

## Abstract

Experiments were undertaken using growth chamber-grown corn plants (*Zea mays*, L.) hybrid "United 108," to characterize the relative magnitude of the water potential in the soil and within the plant. Root water potential was measured in situ with hygrometers attached to the roots (Brunini, 3); a leaf hygrometer (Neumann and Thurtell, 7; Neumann, 8) was used to measure leaf water potential, and in situ measurements of soil water potential were made with a soil hygrometer (Brunini, 3).

The devices are attached to the leaves or roots, or inserted into the soil, allowing continuous measurements of the leaf, root and soil water potential. The results indicate that no apparent damage is caused to the roots by attaching the hygrometers to them. It was also observed that a difference up to 4 bar may exist between the water potential in the root xylem and in the root epidermis.

## Introdução

O estado da água em um sistema é determinado pela energia livre de Gibbs, onde o termo potencial da água pode ser assumido como igual à diferença entre o potencial químico da água em solução e o potencial da água livre e pura. O potencial da água em um sistema está relacionado à pressão de vapor conforme indica a equação de Kelvin:

$$\psi = \frac{\mu_w - \mu_w^0}{V_w^0} = \frac{RT}{V_w^0} \ln \frac{e}{e_0}$$

onde:  $\psi$  é o potencial da água (bar);  $\mu_w^0$  é o potencial químico da água livre e pura ( $\text{erg mol}^{-1}$ );  $\mu_w$ , o potencial químico da água em solução ( $\text{erg mol}^{-1}$ ); R é a constante universal dos gases ( $\text{ergs} \times 10^{-6} \text{ °K}^{-1}$  molecula-grama $^{-1}$ ); T é a temperatura absoluta ( $^{\circ}\text{K}$ );  $e_0$  é a pressão do vapor saturante (m bar); e é a pressão atual do vapor (m bar);  $V_w^0$  é o volume molar parcial da água ( $\text{cm}^3 \text{ molecula-grama}^{-1}$ ); e  $\ln$  é a base do logaritmo neperiano.

A equação acima indica que o potencial da água em um sistema é diretamente relacionado com a umidade relativa neste sistema. Spanner (12) projetou o primeiro psicrómetro, fazendo uso do efeito Peltier, para medir a umidade relativa em uma pequena câmara contendo uma amostra de folha, sob condições de temperatura controlada. Após o trabalho de Spanner, outros pesquisadores desenvolveram novos modelos de psicrómetros para medidas da energia livre da água em tecidos vegetais (Richards e Ogata, 11; Boyer, 2).

Neumann e Thurtell (7) introduziram a técnica do ponto de orvalho para medidas do potencial da água em tecidos vegetais. Neste caso o sensor (termopar)

1 Recebido para publicação em 11 novembro 1980

\* Projeto desenvolvido junto à Universidade de Guelph-Ontário-Canada e faz parte do trabalho do autor principal para obtenção do grau de Ph.D.

\*\* Seção de Climatologia Agrícola (CNPq) - Instituto Agronômico de Campinas - Cx. Postal, 28 - 13 100 - Campinas - São Paulo - Brasil.

\*\*\* Professor - Department of Land Resource Science - University of Guelph - Guelph - Ontario - Canada.

é trazido até a temperatura do ponto de orvalho do ar em uma pequena câmara em equilíbrio com uma folha, através do efeito Peltier quando uma corrente elétrica de resfriamento passa pela junção do termopar. Como no ponto de orvalho não ocorre troca líquida de vapor, este método torna-se insensitivo às características de molhamento da junção, como normalmente ocorre com os psicrômetros convencionais (Peck, 9; Richards e Ogata, 11; Rawlins, 10; Boyer, 2).

A técnica do higrômetro do ponto de orvalho tem provado que é precisa e acurada para medidas *in situ* do potencial da água na folha (Dubé, 5; Neumann, 8; Campbell e Campbell, 4; Baughn e Tanner, 1; Ike, 6; Brunini, 3). Recentemente Brunini (3) avaliou a técnica do higrômetro do ponto de orvalho e projetou dois novos higrômetros para medidas *in situ* do potencial da água no solo, assim como o potencial da água nas raízes de vegetais.

#### Material e Métodos

##### Plantas

Foram utilizadas plantas de milho (*Zea mays*, L.) híbrido "United 108". As plantas foram cultivadas em vasos, tendo como substrato uma mistura de solo e turface (condicionador de solo). Inicialmente as plantas foram cultivadas em casa de vegetação, onde a temperatura do ar era  $25/20 \pm 1^\circ\text{C}$  (dia e noite) e umidade relativa 65%. As plantas eram irrigadas periodicamente com uma solução nutritiva de Hoagland cujo potencial osmótico era -0.8 bar.

Quando as plantas tinham uma idade de 75 a 80 dias elas foram transferidas para uma câmara de crescimento e deixadas por 4 dias, de modo a equilibrar sob as novas condições ambientais. As condições de ambiente na câmara de crescimento eram: temperatura do ar  $25/22 \pm 1^\circ\text{C}$  (dia e noite), umidade relativa 70%, e fotoperíodo 12 horas.

##### Medidas do Potencial da Água

O estado da energia livre da água nas folhas foi medido com um higrômetro para folha (Neumann e Thurtell, 7). Os higrômetros foram colocados na parte distal da folha mais expandida no topo da planta, usando-se a técnica descrita por Neumann, (8). O potencial da água nas raízes foi medido com um higrômetro para raízes (Brunini, 3). Tal instrumento permite medir o potencial da água na epiderme e xilema das raízes e o procedimento usado para se fi-

xar os higrômetros nas raízes estão descritos em Brunini (3). O potencial da água no solo foi medido com higrômetro para solo (Brunini, 3).

#### Procedimento Experimental

Para se observar a magnitude relativa do potencial da água nos vários componentes do sistema solo-plantas, algumas plantas foram submetidas diariamente a uma intensidade luminosa constante de  $200 \text{ W m}^{-2}$  durante o período diurno. Em outro conjunto de experimentos as plantas foram submetidas diariamente a 3 valores de intensidade luminosa, ou seja, 120, 250 e  $400 \text{ W m}^{-2}$ . Em todos os experimentos a irrigação foi suspensa quando o estudo começou e as plantas foram analisadas durante um período de secamento que geralmente durou de 4 a 5 dias.

#### Resultados e Discussão

Neste estudo foram feitos dois tipos diferentes de medição do potencial de água nas raízes. Em um caso, o cortex da raiz foi deixado intacto, e tais valores foram designados como potencial da água na parte mais exterior da superfície da raiz ou da epiderme ( $\psi_{RO}$ ). Em alguns casos, parte do cortex foi removido, cortando-se uma pequena fatia de  $\pm 1 \text{ mm}$  de espessura e paralela ao eixo da raiz. Esta parte, com o cortex removido, foi colocado faceando a cavidade do higrômetro que contém a cavidade e o termopar. Tais valores foram designados de potencial da água da parte inferior da raiz ou do xilema ( $\psi_{RX}$ ).

Considerando-se as isolinhas de potencial da água na raiz e o tamanho das raízes usadas no experimento (3 mm), seria muito mais fácil para a água caminhar de célula a célula na epiderme e cortex, através do apoplasto, do que através do simplasto e assumido-se que a resistência para a água atravessar a endoderme é muito maior do que a resistência na epiderme e cortex, a água poderia se movimentar neste região muito mais fácil do que através da endoderme para atingir o xilema. Neste caso, o potencial da água na epiderme, onde o higrômetro estava medindo, e na região da epiderme, fora do higrômetro, deveria ser o mesmo devido ao fluxo longitudinal de água. Duas considerações devem ser feitas quanto à remoção do cortex. Pela remoção de uma camada de aproximadamente 0.5 a 1.0 mm de espessura, a endoderme poderia facear a cavidade do higrômetro e com a vedação com graxa nas extremidades do corte todo fluxo longitudinal de água foi evitado. Por outro lado, em muitos casos, estes cortes foram além da endoderme e o higrômetro poderia facera diretamente a parte interna da raiz.

Os potenciais da água na raiz, solo e folha foram medidos durante dois períodos de secamento conforme mostra a Figura 1. O potencial da água da raiz foi obtido com o cortex deixado intacto. Diferentes valores de potencial da água foram obtidos usando-se diferentes intensidades luminosas. No ponto indicado por uma seta, a planta foi irrigada e observada durante outro período de secamento. Os resultados mostram que a fixação dos higrômetros nas raízes não lhes ocasionou nenhum dano aparente. Se elas tivessem sido danificadas, não responderiam às mudanças ocorridas no potencial da água na folha, as quais foram induzidas pelos diferentes valores de intensidade luminosa. Se o potencial da água no solo em vez das raízes era o que se estava medindo, quando a planta foi irrigada, o higrômetro daria leituras equivalentes a -0.8 bar, que era igual ao potencial osmótico da solução nutritiva.

Em outra planta, os dois tipos de potencial da água na raiz foram feitos juntamente com medidas do potencial da água do solo e das folhas como indicado na Figura 2. Os resultados indicaram que ambos valores de potencial da água nas raízes seguem muito bem as variações no potencial da água na folha e que existe uma apreciável diferença em potencial através da raiz.

Nos resultados apresentados e analisados nas duas figuras anteriores, as plantas foram submetidas a diferentes valores de intensidade luminosa. Porém, só os valores de potencial da água correspondentes às condições de equilíbrio são apresentados. Observa-se também que a medida que o solo ia secando, para uma mesma intensidade luminosa, os potenciais da água na raiz e na folha tornavam-se mais vegetativos. Isto se deve ao fato de que a medida em que a umidade do solo decrescia, a sua condutividade hidráulica era reduzida e consequentemente aumentava a resistência ao transporte de água do solo para a planta. Em virtude destes fatores e de acordo com o conceito de van der Honert (13), sistematicamente a planta tinha que diminuir seu potencial da água, a fim de que a diferença de potencial fosse adequada para a manutenção de uma taxa de transpiração constante.

O transporte de água na planta e no sistema solo-planta é o resultado de uma diferença de potencial entre as folhas e raízes, e mais especificamente entre as folhas e solo. Após diversas horas no escuro, com os estomatos fechados, esperava-se que os potenciais da água tenderiam a um equilíbrio e nenhuma diferença seria observada.

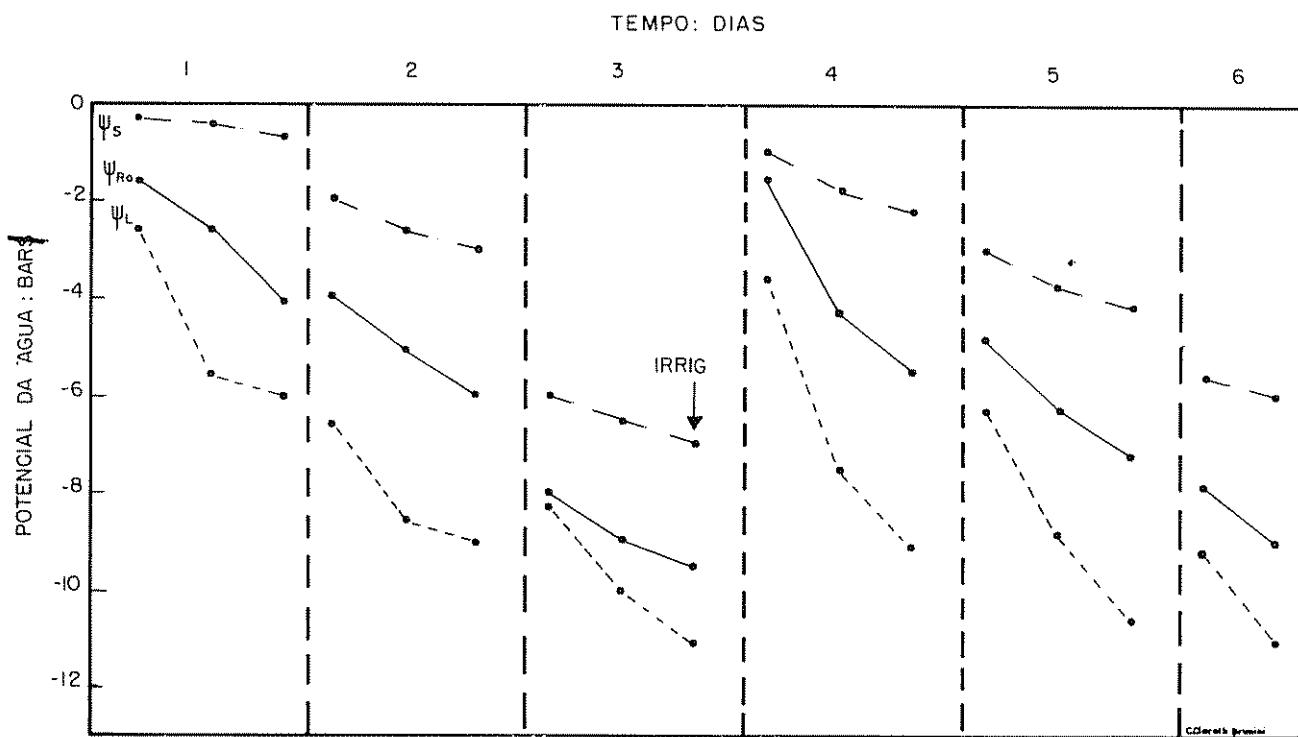


Fig. 1 Variações no potencial da água na folha, epiderme da raiz e solo em planta de milho, híbrido United - 108, quando submetido a diferentes intensidades de radiação durante dois períodos de secamento. A seta indica período de irrigação. ( $\Psi_s$ ) potencial da água no solo; ( $\Psi_{Ro}$ ) potencial da água na epiderme da raiz; ( $\Psi_L$ ) potencial da água na folha

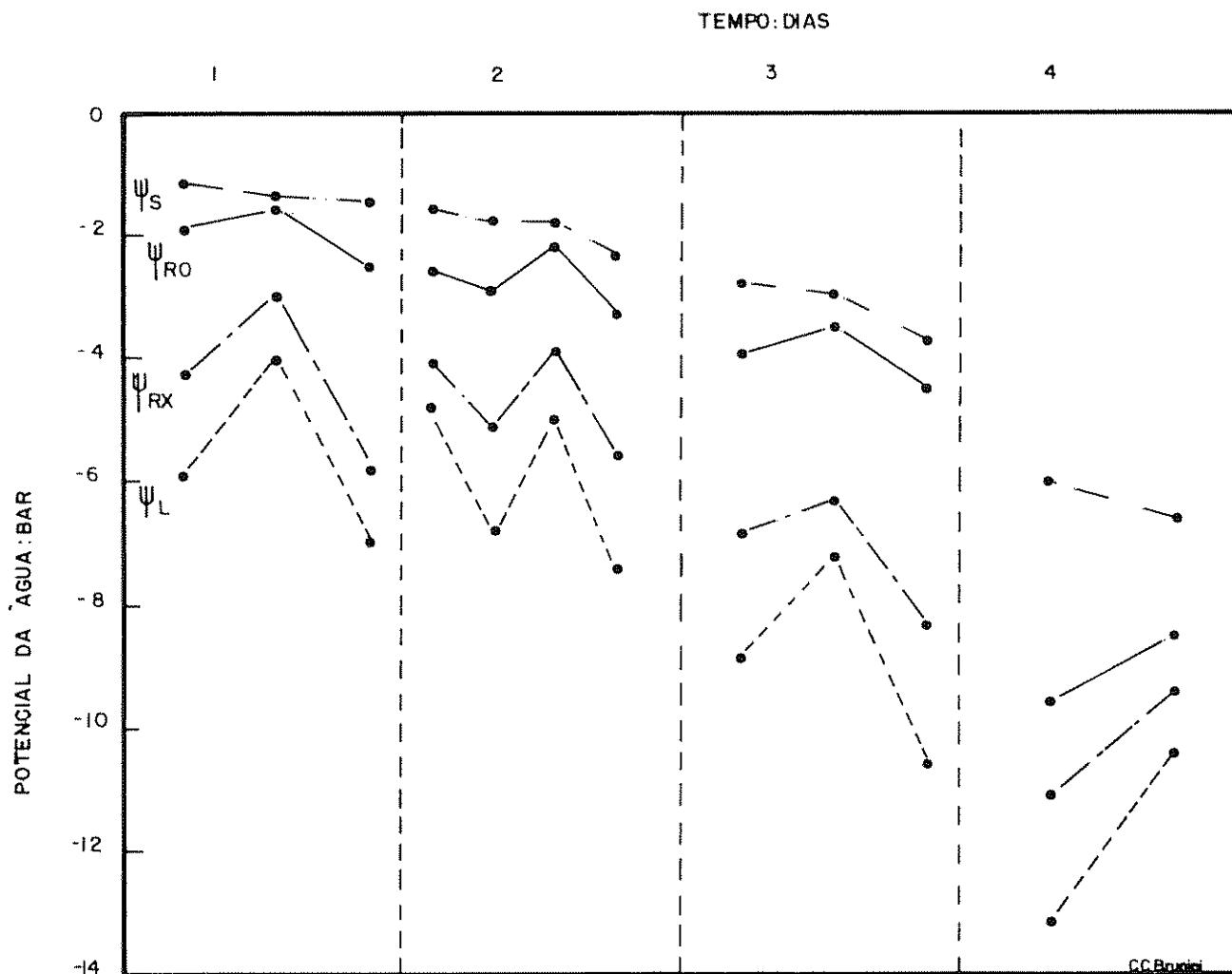


Fig. 2 Variações no potencial da água, na folha; na epiderme e xilema da raiz e no solo, em planta de milho, híbrido United-108, quando submetido a diferentes intensidades de radiação durante um período de secamento. ( $\psi_s$ ) potencial da água no solo; ( $\psi_{RO}$ ) potencial da água na epiderme da raiz; ( $\psi_{RX}$ ) potencial da água no xilema da raiz; ( $\psi_L$ ) potencial da água na folha.

Para se verificar esta hipótese foi medido, para uma planta o potencial da água na folha e na raiz durante dois períodos de secamento. Para outra planta foi medido o potencial da água na folha e no solo, durante um período de secamento. Em ambos experimentos as plantas foram submetidas a uma intensidade de luz constante e igual a  $200 \text{ W m}^{-2}$  durante o período diurno.

No caso em que o potencial da água na folha e na raiz estavam sendo medidos, esses parâmetros eram iguais após a planta permanecer várias horas no escuro como é demonstrado pela Figura 3. No terceiro dia de experimento a planta foi irrigada (Figura 3) sob luz; isto causou um breve aumento no potencial da água

na raiz e no da folha, mas após isso eles tornaram a decrescer novamente.

As medidas de potencial da água no solo e nas folhas mostraram que os potenciais da água no solo e nas folhas eram iguais após a planta permanecer várias horas no escuro, e com solo relativamente úmido como indica a Figura 4. Porém, quando o solo tornou-se mais seco, foi observada uma apreciável diferença entre os valores de potencial da água no solo e folha. Esta diferença acentuou-se à medida que o potencial de água no solo tornou-se mais negativo (Figura 4). Isto possivelmente deve-se ao fato de que a distribuição de água no solo não era uniforme e a planta estava respondendo a um valor médio do potencial da água no solo.

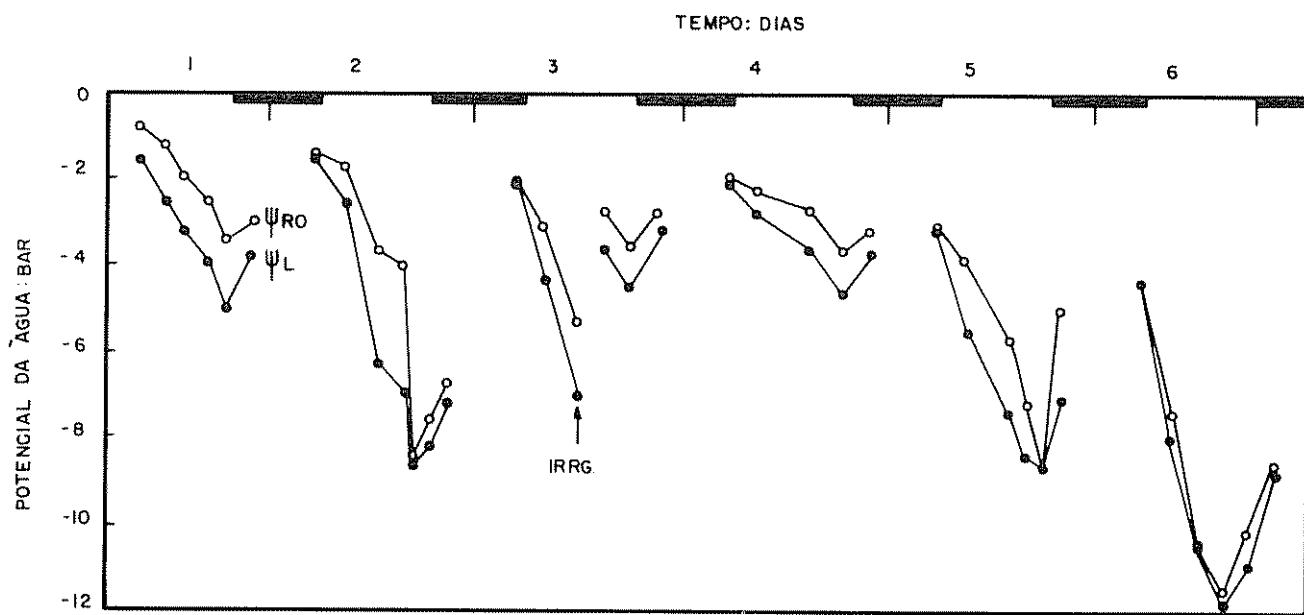


Fig. 3 Variação diária no potencial da água na folha e na epiderme da raiz em planta de milho híbrido United-108, sob uma intensidade de radiação constante e igual a  $200 \text{ Wm}^{-2}$  durante o período diurno. As partes espessas na abcissa indicam a duração do período noturno. A seta indica período de irrigação. ( $\Psi_{Ro}$ ) potencial da água na epiderme da raiz; ( $\Psi_L$ ) potencial da água na folha.

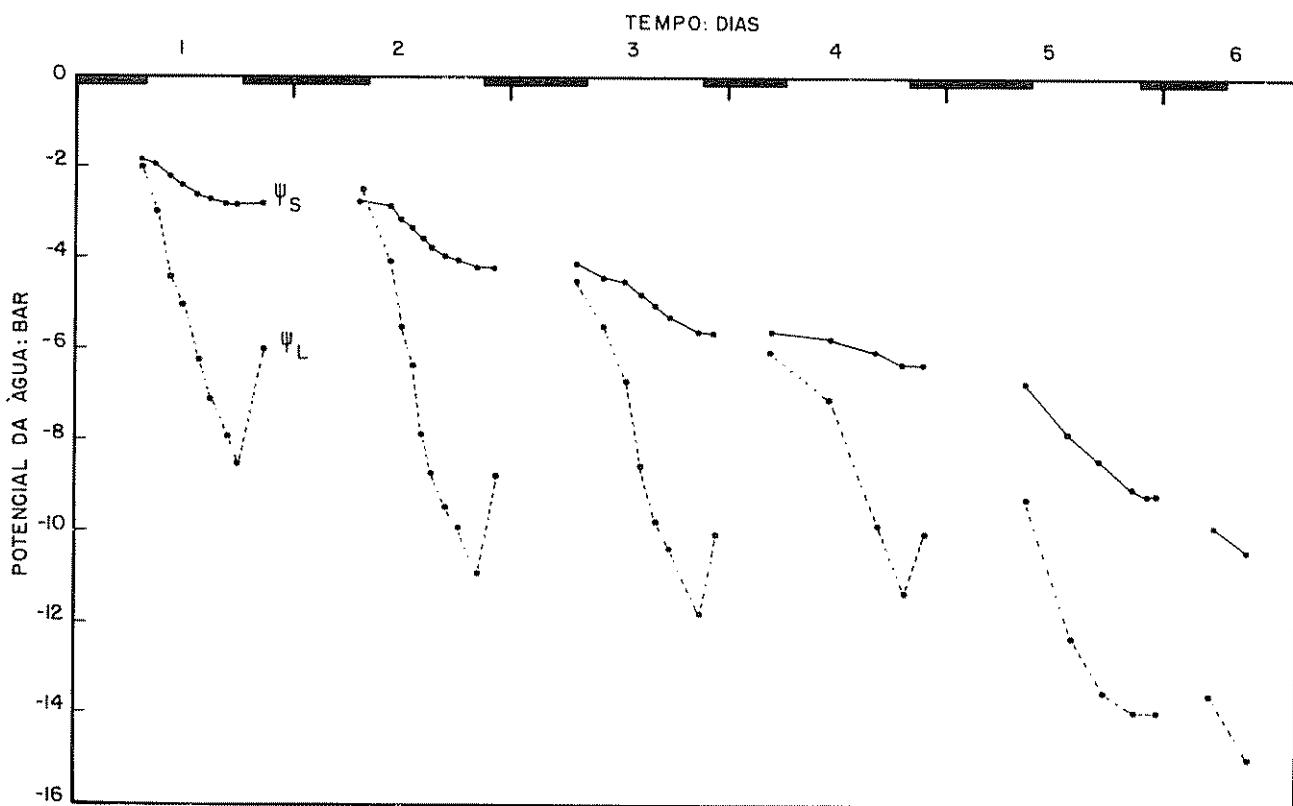


Fig. 4 Variação diária no potencial da água no solo e nas folhas em planta de milho híbrido United-108, sob uma intensidade de radiação constante e igual a  $200 \text{ Wm}^{-2}$  durante o período diurno. As partes espessas na abcissa indicam a duração do período noturno. ( $\Psi_S$ ) potencial da água no solo; ( $\Psi_L$ ) potencial da água na folha.

### Conclusões

O estudo foi desenvolvido com a finalidade de se ter maiores informações sobre o transporte de água no sistema solo-planta para a planta do milho. Observou-se que os instrumentos utilizados, além de não destrutivos, permitem medidas contínuas do estado da água no vegetal e no solo.

Os resultados indicaram que a maior barreira ao transporte de água dentro da planta está localizada no movimento radial da água da epiderme da raiz para o xilema, e em muitos casos, a diferença em potencial da água observada entre a epiderme e o xilema da raiz é da ordem de 4 bar.

O estudo também indicou que tal técnica permite um melhor entendimento da magnitude das resistências ao transporte de água que se localizam no sistema solo-planta.

### Resumo

Uma nova técnica para medidas *in situ* do potencial da água em folhas e raízes de plantas de milho assim como do potencial da água no solo é analisada. Esta nova técnica baseia-se na determinação do ponto de orvalho do ar que se encontra em equilíbrio com uma amostra de folha ou raiz (Neumann & Thurtell, 7; Dubé, 5; Neuman, 8; Brunini, 3), ou com o solo (Brunini, 3). Valores diferentes do potencial da água na folha foram obtidos através do efeito combinado de falta de água no solo e diferentes intensidades luminosas sobre a planta. Os higrômetros são diretamente presos nas folhas ou raízes e inseridos no solo, permitindo dessa maneira medidas não destrutivas e continuas do potencial da água das folhas, das raízes e do solo.

Observou-se que as raízes não são aparentemente danificadas pelo contacto direto com os higrômetros. Os resultados indicaram que uma grande diferença em potencial (até 4 bar) pode existir entre o potencial da água na epiderme e no xilema das raízes.

### Literatura citada

1. BAUGHN, J. W. e C. B. TANNER. Leaf water potential: comparison of pressure chamber and *in situ* hygrometer on five herbaceous species. *Crop Science* 16:181-184. 1976.
2. BOYER, J. S. Isopiestic technique: measurement of accurate leaf water potentials. *Science* 154:1459-1460. 1966.
3. BRUNINI, O. New devices for *in situ* measurements of soil and root water potentials and transport of water in the soil - plant system. Ph. D. Thesis University of Guelph. 1979. 144 p.
4. CAMPBELL, G. S. e M. D. CAMPBELL. Evaluation of a thermocouple hygrometer for measuring leaf water potential *in situ*. *Agronomy Journal* 66:24-30. 1974.
5. DUBE, P. A. Studies of plant water relationship of different corn lines. Ph.D. Thesis; University of Guelph. 1972. 73 p.
6. IKE, I. F. Water relations of indoor grown cassava (*Manihot* species). Ph. D. Thesis – University of Guelph. 1978. 107 p.
7. NEUMANN, H. H. e G. W. THURTELL. A Peltier cooled thermocouple dewpoint hygrometer for *in situ* measurement of water potentials – R. W. Brown e B. P. van Haveren (eds) "Psychrometry in Water Relations Research" – Utah State University – Logan. Utah. 1972.
8. NEUMANN, H. H. Water potential relationship in plant tissue measured by a new dewpoint hygrometer technique – Ph. D. Thesis, University of Guelph. 1973. 117 p.
9. PECK, A. J. Theory of the Spanner psychrometer. 1 – The thermocouple. *Agric. Meteorology* 5:433-447. 1968.
10. RAWLINS, S. L. Systematic errors in leaf water potential measurements with thermocouple psychrometers. *Science* 146:644-646. 1964.
11. RICHARDS, L. A. e G. OGATA. Thermocouple for vapour pressure measurement in biological and soil systems at high humidity. *Science* 128:1089-1090. 1958.
12. SPANNER, D. C. The Peltier effect and its use in the measurement of suction pressure. *Journal Exptl. Botany* 2:145-168. 1951.
13. VAN DEN HONERT, T. H. Water transport in plants as a catenary process. *Discuss. Faraday Soc.* 3:146-153. 1948.

# ESTUDIO DE LA LONGEVIDAD DEL POLEN DE MAÍZ (*Zea mays L.*) EN EL PROCESO DE SELECCIÓN<sup>1</sup>\*

GUILLERMO CARRILLO CASTAÑEDA \*\*  
JOSE LUIS MENDOZA ARIZMENDI\*\*\*

## Abstract

*Comparing the values of half-life of pollen, estimating the viability by the ability of pollen to form the pollentube under experimental conditions that allows to obtain up to 93 per cent viability, it was found that the highest half-life frequency observed was 285 minutes either in pollen from corn plants developed out of seeds from the 5th cycle of a mass selection process for drought resistance and in the original Zacatecas 58 cultivar.*

*The highest frequencies of abortion rates observed in the pollen samples were 2 and 3 for that of the original cultivar Zacatecas 58 and drought resistant selected plants.*

## Introducción

El maíz (*Zea mays L.*) tuvo su origen en el trópico mesoamericano y es en la actualidad una de las plantas comestibles de más amplia distribución geográfica. Crece desde los 58° de latitud norte en Canadá y Rusia, a los 40° de latitud sur en Sudamérica. En México, aproximadamente sólo un 20 por ciento del área destinada al cultivo de maíz es de riego. Variedades como Veracruz 342 y Chihuahua 177 se han desarrollado en lugares donde la precipitación anual promedio es de 1100 y 1080 mm respectivamente, mientras que Chihuahua 146 y Zacatecas 58 crecen con precipitación anual promedio de 400 y 500 mm respectivamente (2). Molina (4) ha realizado una selección masal por varios ciclos, utilizando la variedad Zacatecas 58, con la finalidad de seleccionar

plantas resistentes a sequía. En un trabajo preliminar (5, 6) se investigaron las condiciones experimentales para determinar la viabilidad del polen de maíz con la finalidad de utilizar este dato como un posible criterio auxiliar en la selección de variedades resistentes a condiciones ambientales adversas como la sequía (2, 3).

En el presente trabajo se determinaron las características cinéticas de la viabilidad del polen de plantas desarrolladas a partir de semillas cosechadas en el 5º ciclo de selección masal de resistencia a sequía, así como del polen de plantas de la variedad original, Zacatecas 58, con la finalidad de conocer la variación existente en esta etapa del proceso de selección tomando como criterio de comparación la duración de la vida media del polen.

1 Recibido para publicación el 1 de agosto de 1980

\* Este trabajo forma parte del Proyecto Interdisciplinario de Investigaciones Genéticas en Maíz (PHGEM), apoyado económicamente por el Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) en México (1541-77/0012A).

\*\* Profesor Investigador del Centro de Genética, Colegio de Postgraduados, Chapingo, México

\*\*\* Ayudante de Investigación del Centro de Genética, Colegio de Postgraduados, Chapingo, México

## Materiales y métodos

Semillas obtenidas a partir de plantas seleccionadas en el 5º ciclo en un programa de selección masal para resistencia a sequía, así como de la variedad original Zacatecas 58, fueron proporcionadas por el Dr. José Molina Galán del Centro de Genética del Colegio de Postgraduados en Chapingo, México.

El polen fue cosechado en los meses de agosto y setiembre del año 1979 a las 9:00 horas, de plantas

de maíz desarrolladas en el campo, bajo condiciones favorables de cultivo en el área de Chapino, México.

El medio de cultivo empleado para el polen fue esencialmente el de Kuack (1), el cual se preparó el mismo día de utilización; contenía 15 por ciento p/v de sacarosa y fue ajustado a pH 7.5. Para licuar el agar, el medio se colocó en una autoclave eléctrica de vapor y tan pronto alcanzó la presión de 1.02 kg/cm<sup>2</sup> el aparato se apagó. A continuación se sirvieron muestras alícuotas del medio de cultivo, cada una de 8 ml en cajas de petri de 50 mm de diámetro.

**Características cinéticas de viabilidad.** Tan pronto se colectó el polen de cada planta sobre hojas de papel copia, se transportó al laboratorio (operación que tomó de 10 a 15 minutos), se colocó inmediatamente en el cuarto de temperatura constante, ajustado a 28-29°C y con humedad relativa de 40 por ciento. A tiempos determinados se tomaron muestras de polen (quedando el polen restante en el papel a la temperatura indicada), y de cada una se roció polen sobre la superficie del medio de cultivo de tal forma que los granos quedaran uniformemente distribuidos. Las cajas se etiquetaron, se incubaron a 28-29°C durante 15-20 minutos y al término de este tiempo se observaron de cada caja, bajo un microscopio de luz, marca Zeiss, 5 campos para determinar: a) el número de granos de polen viables, aquéllos que habían desarrollado el tubo polínico; b) el número de granos de polen no viables; c) el número de granos de polen abortivos, aquéllos totalmente transparentes; d) el número de granos de polen desintegrados, aquéllos en que el contenido celular fue expulsado del grano (Figura 1).

### Resultados y discusión

La viabilidad máxima determinada bajo las condiciones experimentales indicadas fue de 93 por ciento, sin embargo, la viabilidad promedio fue de 63 y 64 por ciento en el caso del polen obtenido a partir de semillas de plantas seleccionadas y de la variedad original, respectivamente.

Las características cinéticas de viabilidad de dos muestras de polen se presentan en la Figura 2. La viabilidad del polen de la planta 42 original, baja de manera gradual y disminuye a la mitad en 378 minutos. El polen de la planta 24 seleccionada, pierde con rapidez la viabilidad y disminuye en 90 minutos de 69 por ciento a 20 por ciento, siendo la vida media calculada, en este caso, de 120 minutos.

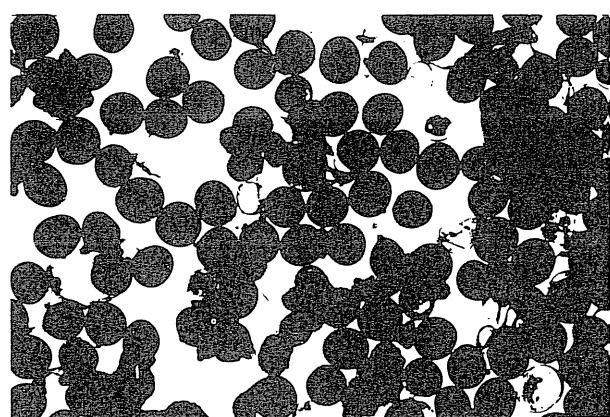


Fig. 1. Aspecto de un campo microscópico de granos de polen sembrados sobre el medio de cultivo e incubados durante 20 minutos a 26°C.

Al comparar la duración de la vida media del polen de los dos tipos de plantas, se puede apreciar en la Figura 3, que en el número de muestras analizadas aquélla varía de 150 a 420 minutos y se puede deducir de los resultados que 285 minutos es el valor de la vida media del polen de mayor frecuencia. Al determinar las proporciones del polen abortivo se encontró, como se muestra en la Figura 4, que de las 122 plantas Zacatecas 58 original que fueron analizadas, el polen de 22 plantas contenía 2 por ciento. En el polen de las plantas seleccionadas la mayor frecuencia (25 plantas) correspondió a aque-

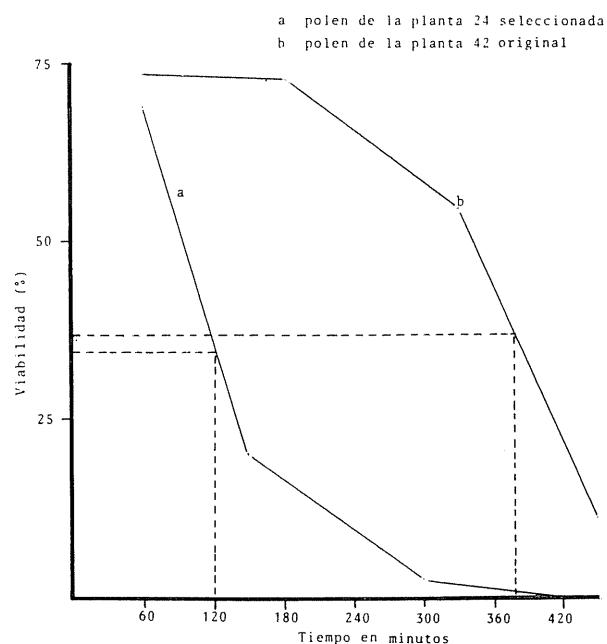


Fig. 2. Gráfica que representa las cinéticas de viabilidad de las muestras de polen de maíz obtenidas de una planta seleccionada (b), y de una planta de la variedad Zacatecas 58 original (a).

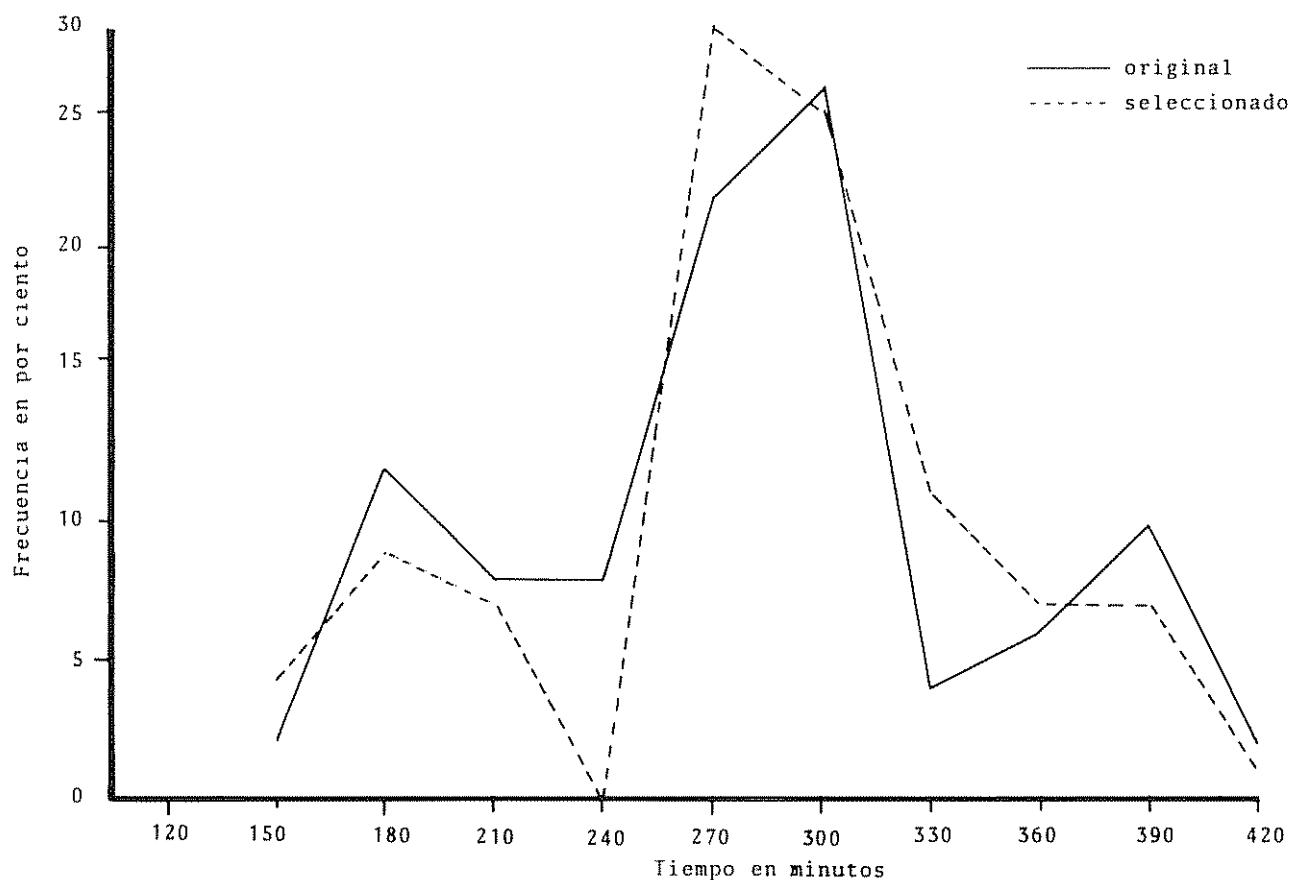


Fig. 3 Frecuencias de la duración de la vida media del polen de maíz de plantas de la variedad Zacatecas 58 original y de plantas seleccionadas

llas muestras que contenían 3 por ciento de polen abortivo.

La resistencia física del polen a las condiciones de incubación en el medio de cultivo, se determinó con polen que había permanecido sobre hojas de papel 390 minutos a 28-29°C. Este tiempo es mucho mayor que el de la vida media de mayor frecuencia (285 minutos), que se calculó para los dos tipos de polen. En

el Cuadro 1 se muestran estos resultados donde se aprecia que en el 80 y 85 por ciento de las muestras de polen de plantas Zacatecas 58 original y plantas seleccionadas, respectivamente, el porcentaje de polen desintegrado no rebasa el 25 por ciento.

Se ha encontrado (2) que el polen de plantas de maíz que se cultivan en zonas de escasa precipitación anual es más resistente a la desecación que el proce-

Cuadro 1. Proporción de muestras que presentan distintos rangos de polen desintegrado después de conservar el polen sobre papel a 28-29°C durante 390 minutos.

Procedencia de las muestras de polen	Rangos de polen desintegrado			
	de 0 a 25%	de 26 a 50%	de 51 a 75%	de 76 a 100%
Zacatecas 58 original	80	15	5	0
Zacatecas 58 seleccionado	85	11	1	3

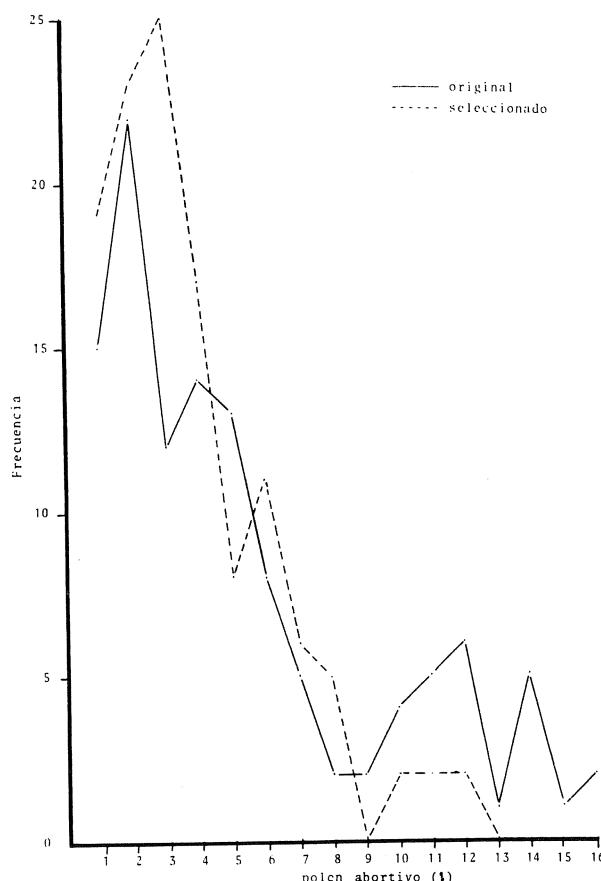


Fig. 4. Frecuencias de polen abortivo presente en las 122 muestras analizadas de plantas de maíz seleccionadas y de igual número de plantas de la variedad Zacatecas 58 original.

dente de plantas de variedades que se desarrollan en lugares de precipitación anual alta. El Dr. José Molina (comunicación personal), ha registrado incrementos sucesivos promedio de 5 por ciento por ciclo en la producción de grano, a lo largo de 13 ciclos de selección masal para resistencia a sequía, utilizando la variedad Zacatecas 58. Sin embargo, los resultados mostrados en el presente trabajo indican que, en etapas iniciales del proceso de selección (ciclo número 5), no es posible detectar diferencias en las poblaciones al analizar la duración de la vida media del polen.

### Resumen

Utilizando como criterio de comparación la duración de la vida media del polen, estimada la viabilidad por la formación del tubo polínico bajo condiciones experimentales que permitieron obtener datos hasta de 93 por ciento, se encontró que la vida media calculada de mayor frecuencia del polen de plantas de

maíz desarrolladas a partir de semillas obtenidas del quinto ciclo de un proceso de selección masal para resistencia a sequía y del cultivar original Zacatecas 58 fue de 285 minutos. El porcentaje de polen abortivo observado en las muestras con mayor frecuencia fue de 2 y 3 en Zacatecas 58 original y en las plantas seleccionadas, respectivamente.

### Referencias

- KUACK, B. L. The effect of calcium in pollen germination. Proceedings American Society Horticultural Sciences 86:818-823. 1965.
- LUNA, F. M. Posibilidades de obtención de variedades de maíz tolerantes a la sequía mediante el uso de polen y estigmas resistentes a la desecación. Tesis Doctoral. Colegio de Postgraduados, Chapingo, México. 1978. 181 p.
- LUNA, F. M., CARRILLO-CASTAÑEDA, G. y MOLINA, G. J. Estudio comparativo de la viabilidad de polen de diversas variedades de maíz. VI Congreso Nacional de Fitogenética, SOMEFI. Monterrey, N. L. México. 1976.
- MOLINA, G. J. Selección masal para resistencia a sequía en maíz. Avances de la Enseñanza y la Investigación. Colegio de Postgraduados, Chapingo, México. pp. 76-77. 1976-1977.
- ÑOPO, D. J. y CARRILLO-CASTAÑEDA, G. Determinación de la vitalidad del polen de maíz. VI Congreso Nacional de Fitogenética, SOMEFI. Monterrey, N. L. México. 1976.
- ÑOPO, D. J. y CARRILLO-CASTAÑEDA, G. Determinación de la vitalidad del polen de maíz. Agrociencia 28:101-102. 1977.

MÁRIO JOSÉ PEDRO JÚNIOR \*\*  
NILSON AUGUSTO VILLA NOVA \*\*\*

### Abstract

*The energy balance method was used to estimate the partitioning of the available net radiation on a soybean crop. Results of the distribution of the net radiation into the various components of the energy balance (evapotranspiration, and sensible heat and soil heat flux) are presented.*

### Introdução

Qualquer comunidade vegetal, para realizar seu ciclo biológico, necessita de determinada quantidade de água que é utilizada, predominantemente, nos processos de evaporação e transpiração.

O conhecimento desta demanda contribui para um planejamento racional da técnica de irrigação e fornece subsídios básicos à regionalização das áreas com condições ecológicas mais adequadas ao desenvolvimento da cultura.

Além disso a avaliação da quantidade de água exigida pelas culturas é importante, principalmente, em condições tropicais, onde as fases críticas do crescimento vegetativo, florescimento e maturação, e, consequentemente, a própria produtividade, são mais limitadas pelo fator hídrico.

O método do balanço de energia permite estimar essas necessidades, medindo a energia disponível e separando-a em diferentes processos, dentre os quais a evapotranspiração.

O presente trabalho tem por objetivo: determinar como a energia solar líquida recebida por uma cultura de soja se reparte nos processos de evapotranspiração, aquecimento do ar e aquecimento do solo para a cultura da soja.

### Materiais e métodos

#### Materiais

O experimento foi conduzido no Centro Experimental de Campinas, do Instituto Agronômico, situado a 22°53'S, 47°04'W, a uma altitude de 706 m. A cultura de soja (cultivar Santa Rosa) utilizada para o estudo ocupava uma área aproximada de 3 ha e o espaçamento era 0.70 m entre linhas, com semeadura de 30 sementes por metro linear.

No centro da área cultivada foi instalado um radiômetro líquido (Milddleton & Co. Pty. Ltd – Austrália) acoplado a um potenciógrafo (Flatbed Recorder BD7 – Kipp & Zonen – Holanda). O aparelho foi mantido a cerca de 1 metro acima do topo da cultura. O conjunto psicrométrico utilizado constava de termopares de ferro-constantan instalados em micro-abrigos, construídos com tela pintada de branco (malha de 1 mm) e estavam 0.50 e 1.05 m acima do topo da cultura e acoplados a um potenciômetro Leeds and Northrup Co. modelo 8690 – U.S.A. Para as determinações do fluxo de calor no solo, foram montadas em paralelo quatro placas medidoras de fluxo de calor no solo (Middleton & Co. Ltd – Austrália) a 0.01 m de profundidade no solo, no projeto

\* Recebido para publicação em 22 abril 1981.

\*\* Seção de Climatologia Agrícola – Instituto Agronômico – 13 100 Campinas, São Paulo, Brasil. (Com bolsa de Suplementação do CNPq).

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

do radiômetro líquido e posicionadas nas linhas e entre linhas da cultura. As placas de fluxo estavam acopladas a um potenciógrafo Labograph E-428 - Metrohm Herisau - Suíça.

### Métodos

De acordo com Lemon (2) o conhecimento dos principais processos físicos que controlam o meio ambiente, no qual as plantas vivem e se desenvolvem, pode ser alcançado através do balanço de energia das superfícies das plantas e do solo.

O balanço de energia de uma superfície vegetada, expresso em termos dos fluxos verticais é:

$$Rn + G + LE + H \approx 0 \quad 1$$

onde  $Rn$  é a radiação líquida disponível;  $G$  é o fluxo de calor no solo;  $H$  é o fluxo convectivo de calor sensível e  $LE$  é o fluxo convectivo de calor latente.

Os valores de  $Rn$  e  $G$  foram determinados por medição direta no campo e os valores de  $H$  e  $LE$  foram estimados através da razão ( $\beta$ ) introduzida por Bowen (1) e de acordo com a teoria descrita por Villa Nova *et al* (4).

$$\beta = \frac{H}{LE} \quad 2$$

A razão de Bowen foi determinada, segundo Webb (5), por:

$$\beta = \frac{1}{\left( \frac{s + \gamma}{\gamma} \right) \left( \frac{\Delta Tu}{\Delta T} \right) - 1} \quad 3$$

onde  $s$  é a tangente à curva de saturação de vapor sobre a água no ponto temperatura média úmida entre os níveis de medida;  $\gamma$  é a constante psicométrica reduzida;  $\Delta T$  é a diferença de temperatura de bulbo seco e  $\Delta Tu$  é a diferença de temperatura de bulbo úmido entre os níveis de medida ( $Z_1$  e  $Z_2$ ).

Conhecida a razão de Bowen, foram calculados os valores de  $LE$  e  $H$  utilizando-se a equação 1 e:

$$LE = \frac{Rn + G}{1 + \beta} \quad 4$$

As equações 1, 3 e 4 constituem a formação do método do balanço de energia e permitem estimar os fluxos convectivos de calor sensível e latente sobre uma superfície natural evaporante.

### Resultados

Foram feitas determinações do balanço de energia em cultura de soja nos dias 30/01/76, 11/02/76, 12/03/76 e 17/03/76, respectivamente 61, 73, 102 e 107 dias após o plantio.

As condições pluviométricas que antecederam as datas de observação foram:

- a) chuva de 96 mm nos quatro dias anteriores à observação feita em 30/01/76;
- b) chuva de 93 mm nos cinco dias que antecederam a observação realizada em 11/02/76;
- c) chuva de 36 mm nos quatro dias anteriores a observação feita em 12/03/76 e não houve ocorrência de chuvas antes da observação feita em 17/03/76.

Os resultados da variação horária dos componentes do balanço de energia ( $Rn$ ,  $G$ ,  $H$  e  $LE$ ) estão representados graficamente na Figura 1 e os valores médios de distribuição da radiação líquida em diferentes processos na Figura 2. No Quadro 1, são apresentados os valores horários da razão de Bowen.

### Discussão

O critério adotado para a utilização do método do balanço de energia basou-se na convenção de se considerar como positivos os fluxos que entram no sistema, e como negativos, os que dele saem.

O valor da razão de Bowen ( $\beta$ ) é negativo, durante o processo evaporativo, quando o fluxo de calor sensível é positivo. Isto acontece nos casos de transferência de calor do ar para o sistema, que pode ocorrer em condições de inversão do gradiente de temperatura. Isto foi observado durante a tarde do dia 30/01/76, manhã e parte da tarde de 11/02/76 e durante o fim da tarde de 12/03/76 (Quadro 1).

Segundo Tanner (3), valores de  $\beta$  entre -0.5 e -1.5 levam à obtenção de valores de  $LE$  que não devem ser considerados consistentes. Nas condições do experimento tais valores de  $\beta$  normalmente não ocorreram, exceto no dia 11/02/76, das 7 às 9 horas (Quadro 1).

Analizando-se a Figura 1 nota-se que não há uma perfeita concordância de fase entre  $LE$  e  $Rn$ , pelo fato de  $LE$  depender primordialmente do balanço de energia do nível da superfície vegetada, que é defasado de seu valor à altura de 100 cm, onde foi

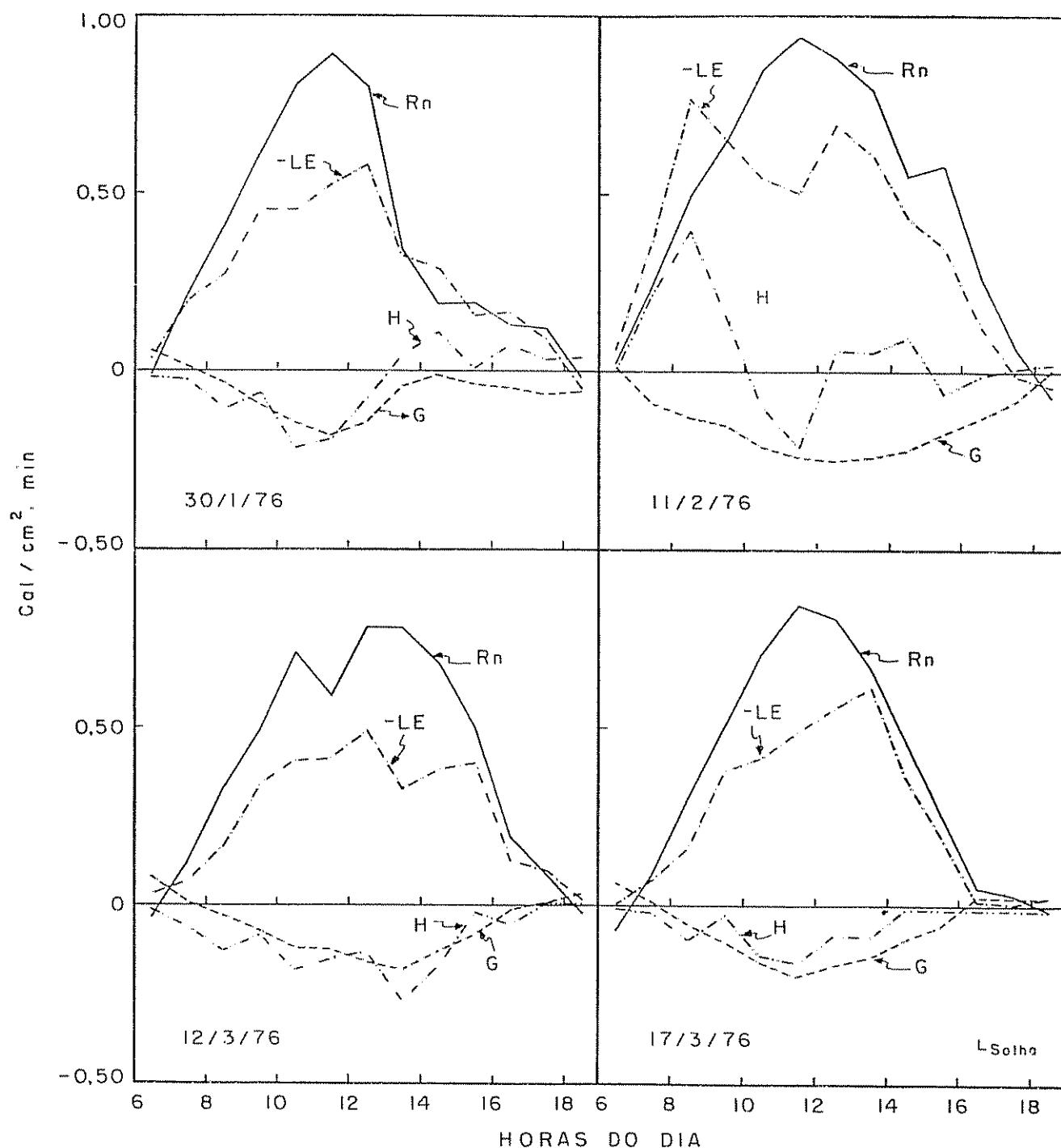


Fig. 1 Variação horária dos fluxos de radiação líquida ( $R_n$ ), de calor no solo (G), de calor sensível (H) e de calor latente (LE), para cultura de soja em diferentes datas.

medida a  $R_n$ . Semelhante defasagem foi notada por Villa Nova *et al.* (4) em cultura de arroz de sequeiro.

Em algumas ocasiões o valor de LE excedeu o valor de  $R_n$ , e isto foi possível nos casos em que ocorre transferência de calor sensível do ar à superfície vege-

tal devido à uma inversão no gradiente de temperatura, como ocorrido nas manhãs e por um período mais longo em 11/02/76, pois havia orvalho nas folhas de soja. Ao se iniciar o processo evaporativo, o orvalho contribuiu para uma diminuição da temperatura das folhas, fazendo com que o fluxo de calor

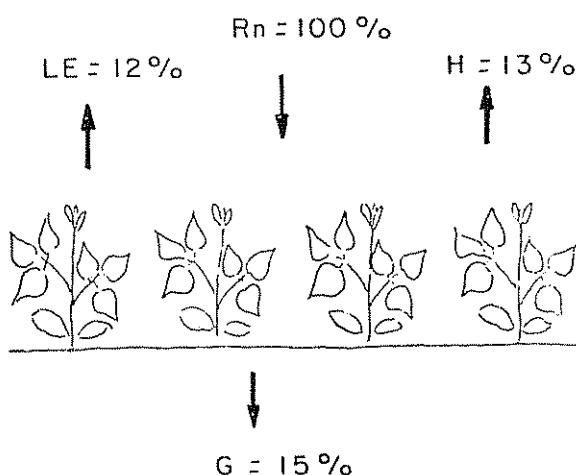


Fig. 2 Esquema da distribuição média da radiação líquida nos diferentes componentes do balanço de energia para cultura da soja

fosse do ar para os sistemas. A tarde, normalmente, ocorreu a inversão do gradiente, pois as folhas se resfriaram mais depressa do que o ar.

No dia 30/01/76 o céu estava nublado no período da tarde e os valores de LE foram praticamente iguais aos de  $R_n$  (Figura 1), tendo os valores de H e G se tornando baixos.

Nas condições do presente experimento e considerando-se as sucessivas datas de observação, foram

Quadro 1. Valores médios horários da razão de Bowen ( $\beta$ ) para diferentes datas em cultura de soja na região de Campinas (SP).

Hora	Valores de $\beta$			
	30/01/76	11/02/76	12/03/76	17/03/76
6 - 7	0.469	-0.387	0.386	4.386
7 - 8	0.111	-0.594	0.808	0.257
8 - 9	0.402	-0.520	0.747	0.581
9 - 10	0.159	-0.235	0.231	0.073
10 - 11	0.483	0.178	0.450	0.339
11 - 12	0.358	0.409	0.348	0.331
12 - 13	0.127	-0.090	0.270	0.140
13 - 14	-0.127	-0.088	0.799	-0.143
14 - 15	-0.364	-0.230	0.447	0.018
15 - 16	-0.054	0.177	0.046	0.023
16 - 17	-0.468	0.046	0.439	0.862
17 - 18	-0.374	0.459	-0.032	1.307
18 - 19	0.830	0.488	-0.300	0.167

obtidos, respectivamente os seguintes valores da relação  $LE/R_n$ : 0.75, 0.81, 0.62 e 0.71 com um valor médio de 0.72. Este valor médio obtido em cultura de soja corresponde ao valor observado para a maioria das culturas que se encontra em torno de 0.75.

Os valores dos componentes do balanço de energia obtidos permitiram, de maneira geral, a obtenção da distribuição da radiação solar líquida disponível nos diferentes processos do balanço de energia para a cultura da soja (Figura 2). Em média a maior parte da radiação líquida disponível foi utilizada pela evapotranspiração (72%), enquanto que uma menor quantidade foi utilizada para o aquecimento do ar (13%) e aquecimento do solo (15%).

## Resumo

O método do balanço de energia foi utilizado para estimar a distribuição da energia líquida disponível em uma cultura de soja. São apresentados os resultados da determinação quantitativa desta distribuição nos diferentes componentes do balanço de energia: evapotranspiração, e aquecimento do ar e do solo.

## Literatura citada

1. BOWEN, I. S. The ratio of heat losses by conduction and by evaporation from any water surface. *Phys. Rev. Serv.* 2:779-87. 1926.
2. LEMON, E. Energy and water balance of plant communities. In: Evans, L. T. (ed.). *Environmental control of plant growth*. Nova York, Londres. Academic Press. 1963. 449 p.
3. TANNER, C. B. Energy balance approach to evapotranspiration from crops. *Soil Science Society of America Proceedings* 24:1-9. 1960.
4. VILLA NOVA, N. A.; PEREIRA, A. R. e PEDRO JÚNIOR, M. J. Balanço de energia numa cultura de arroz em condições de sequeiro. *Bragantia*, 34:171-176. 1975.
5. WEBB, E. K. Aerial Microclimate. *Meteorological Monographs*: 6:27-58. 1965.

# USO DE LA ISOTERMA DE ADSORCION PARA EVALUAR REQUERIMIENTOS DE FOSFORO. III. COMPARACION CON OTROS METODOS<sup>1</sup> /

I. CORONEL\*  
DANILO LOPEZ-HERNANDEZ\*

## Summary

*A comparison of the yield of Vigna unguiculata L. var. Tuy (Frijol bayo) as predicted by a traditional extraction method (Mehlich reagent) and two methods which make use of the sorption characteristics of the soils are presented.*

*North Caroline's extraction reagent (Mehlich) does not allow to define a "precise" P fertilizer dose for optimum yield and, besides that, the method gave a poor prediction. On the contrary, a method which define the P dose according to the fraction of the phosphorus maximum adsorption ( $X_{\text{max}}$ ) allows for a prediction between 90-99% in three of six cases. And finally the method proposed in this research (using the P adsorption isotherm and the P requirement of the crop) accounts for a prediction between 90-96% in five of the six analyzed soils.*

## Introducción

**E**n las contribuciones anteriores de esta misma serie se ha llamado la atención a las posibilidades que presenta el uso de las isotermas de adsorción como método que ayude a definir con precisión los niveles a dosis de fertilizantes fosforados necesarios, con el fin de "optimizar" la producción (rendimiento agrícola) en cultivos anuales (2, 7).

En esos mismos trabajos se hizo, en principio, un estudio detallado de las características físico-químicas (incluyendo los parámetros de adsorción) de varios suelos venezolanos (5); posteriormente las mismas series de suelos fueron utilizadas con el fin de definir el llamado requerimiento externo de fosfato (6). En el caso del frijol bayo (*Vigna unguiculata* L. var. Tuy) se encontró en experimentos de invernadero, que este valor era del orden de 1 ppm, valor que bajó significativamente (0.6 ppm) cuando el ensayo fue conducido en condiciones de campo (6). Si bien el empleo de

los diagramas de partición (I, Q) para la predicción del uso de fertilizantes tiene la ventaja de señalar dosis "exactas" de las enmiendas (2, 6, 7), su uso generalizado se ve impedido por varias razones: i) para cada suelo investigado es necesaria la construcción de una isoterma de adsorción, lo que significa mayor tiempo de experimentación cuando se compara con los métodos químicos tradicionales; ii) es necesario el conocimiento del requerimiento externo de la especie vegetal (cantidad de P en solución de equilibrio que es necesario para un óptimo de rendimiento); iii) el método es difícil de establecer para cultivos no anuales y iv) finalmente porque hay una multitud de parámetros externos e internos a la planta que afectan la medición (temperatura, forma de colocación del fertilizante, encalado, extensión radical, etapa del ciclo de vida del cultivo, etc.).

No obstante lo arriba expuesto, esta metodología comienza a tener, a nivel de investigación, una aceptación generalizada (8, 9), de manera tal que no se descarta que en un futuro cercano el método comience a sustituir o alternarse con los ensayos tradicionales. Obviamente, para que tal fenómeno tenga lugar es necesario un cierto cambio en el concepto que se tiene en la actualidad sobre los métodos rutinarios de laboratorio y su calibración en el campo.

<sup>1</sup> Recibido para publicación 10 de octubre de 1980.

\* Laboratorio de Estudios Ambientales, Instituto de Zoología Tropical, Facultad de Ciencias, Universidad Central de Venezuela.

En esta contribución se hace una comparación de los rendimientos obtenidos para *Vigna unguiculata* L. var. Tuy, cuando la dosis de fertilizantes son definidas por: i) un método tradicional: se usó la solución Carolina del Norte (1); ii) las fracciones del valor de saturación máxima definido por la ecuación de Langmuir; tal análisis fue presentado por Woodruff y Kamprath (10); y iii) el método que combina la determinación del requerimiento externo de la especie vegetal estudiada con la interpolación de la dosis de P a través de la isoterma de adsorción (método propuesto).

#### Materiales y métodos

Los análisis de los suelos (isotermas de adsorción) y los datos de los ensayos de invernaderos han sido presentados en publicaciones previas (4, 5, 6).

#### Disponibilidad y recomendaciones de fósforo de acuerdo con la solución de Menlich (Solución Carolina del Norte)

Se mezclan muestras de 10 g de suelo con 200 mg de Carbón Darco en 40 ml de la solución extractora (1). La suspensión se agita durante 5 minutos siendo finalmente filtrada. El fósforo extraído se analiza por el método del vanadiomolibdofosfórico (3). La dosis recomendada de P se deriva de la siguiente relación (Goedert, W. Comunicación personal. Información usada en EMBRAPA, Brasil):

Disponibilidad de P (ppm)	Tipo de Disponibilidad	Dosis (kg/ha de $P_2O_5$ recomendada)
0 - 3	muy baja	240
3 - 6	baja	120
6 - 9	medianamente alta	60
> 9	adecuada	0

#### Recomendación de dosis de fósforo con base en la capacidad máxima de retención de P ( $X_{\text{máx.}}$ )

Woodruff y Kamprath (10) señalan diferentes dosis de fertilizante fosforado de acuerdo con la capacidad de retención que tengan los suelos. El método consiste en determinar la isoterma de adsorción (Langmuir) y a partir de la gráfica encontrar el valor de saturación.

Las dosis de P se calculan de la manera siguiente:

Valor de $X_{\text{máx.}}$	Dosis recomendada
> 300 ppm	$X_{\text{máx.}}/4$
50 - 300 ppm	$X_{\text{máx.}}/2$
0 - 50 ppm	$X_{\text{máx.}}$

#### Dosis de fertilizante recomendada de acuerdo al requerimiento externo de la especie vegetal

El requerimiento externo de la especie se determinó mediante un experimento en invernadero en donde se utilizaron dosis progresivamente crecientes de P. La corrección de cualquier deficiencia en los otros macro y microelementos se previno añadiendo las enmiendas necesarias (6). Con base en ese experimento se determinó que el requerimiento externo (en la solución del suelo) de P para el frijol *Vigna unguiculata* L. var. Tuy es de 1 ppm. La dosis de P para llegar a ese requerimiento se obtiene por interpolación a partir de la isoterma de adsorción (5, 6).

#### Resultados y conclusiones

El Cuadro 1 presenta las dosis recomendadas de P, para cada uno de los suelos analizados de acuerdo con los criterios establecidos para la solución Carolina del Norte; tales dosis están comprendidas entre 0 kg/ha (no adición de P) para el suelo Majomal, el cual posee una disponibilidad de P altamente adecuada, hasta valores de 240 kg/ha que se recomiendan para los suelos Banco y Uverito, suelos que por el contrario poseen un nivel de P disponible extremadamente bajo. Si estas dosis de fósforo son ahora interpoladas en los diagramas de producción presentados en el Cuadro 2 (contribución II), se observa que la producción real obtenida (Cuadro 1) está: muy por debajo del nivel de rendimiento máximo en el caso de los suelos Majomal y Uracoa (34 y 41% respectivamente); intermedia en los casos de los suelos Tamaca y Banco; mientras que en el caso de los suelos Uverito y Calabozo el método da una gran aproximación (95 y 86%). En forma general, se puede concluir que el método de extracción de P con la solución Carolina del Norte resultó bastante inexacto para la predicción de dosis precisas de fertilizantes fosforados, en el caso particular de algunos de los suelos aquí estudiados.

Si se realiza un análisis similar utilizando el método de Woodruff y Kamprath (Cuadro 2) se pue-

Cuadro 1. Porcentaje de producción de *Vigna unguiculata* L. con relación a la dosis de fertilizante fosfatado recomendado para la solución Carolina del Norte.

Suelo	P disponible (ppm)	Dosis recomendada ppm	kg/ha	Producción %
Banco	0.0	120	240	75
Uverito	0.0	120	240	95
Calabozo	3.0	60	120	86
Tamaca	6.5	60	120	70
Majomal	41.0	0	0	34
Uracoa	6.0	60	120	41

den observar dos hechos: i) en primer lugar, la dosis a recomendar tiene un valor mucho más preciso que en el caso anterior, lo cual es una consecuencia de la mejor aproximación que resulta al definir el requerimiento con base en un valor más preciso que incluye los parámetros I y Q (5) (la capacidad máxima de retención es un parámetro característico de cada suelo, que se puede determinar con gran exactitud si se dispone de suficientes puntos experimentales); ii) en segundo lugar, la producción real obtenida se acerca en el mayor número de los casos estudiados a un rendimiento "óptimo"; así para tres de los suelos (Calabozo, Tamaca y Uverito) hubo una excelente aproximación. En el caso de los suelos Majomal y Banco, el uso del método conlleva a una predicción menor (75 y 67% respectivamente), mientras que para la serie Uracoa esta metodología resultó inapropiada.

La relación entre la producción en peso seco de *Vigna unguiculata* L. y las variaciones en el nivel de saturación de la capacidad máxima de adsorción ( $X_{max}$ ) calculada a partir de la ecuación de Langmuir (5) se muestra en la Figura 1. En la misma,

se observa claramente que para suelos con un alto poder de fijación (adsorción e inmovilización) de fos-

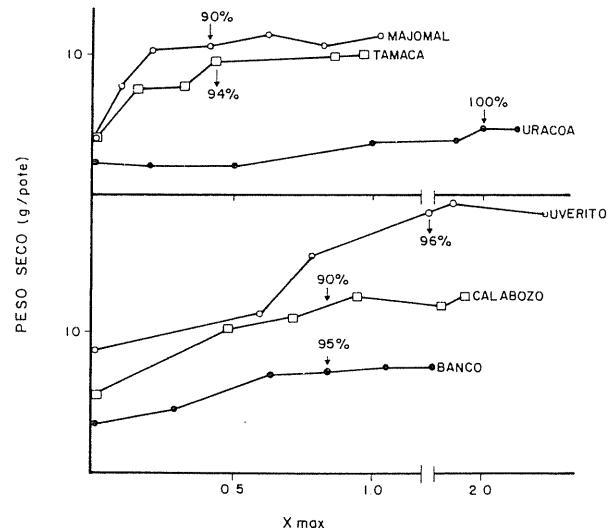


Fig. 1. Producción de materia seca de *Vigna unguiculata* L. (parte aérea) con relación a la saturación de la capacidad máxima de retención de P.

Cuadro 2. Porcentaje de producción de *Vigna unguiculata* L. con relación a las dosis recomendadas por Woodruff y Kamprath (10), con base en la saturación de la capacidad máxima de retención de fosfato para cada suelo.

Suelo	Saturación de X/máx.	Dosis recomendada ppm	kg/ha	Producción %
Banco	0.5	119	238	75
Uverito	1.0	51	102	90
Calabozo	1.0	85	170	99
Tamaca	0.5	234	468	95
Majomal	0.25	193	386	67
Uracoa	0.5	100	200	42

Cuadro 3. Porcentaje de producción de *Vigna unguiculata* L. con relación a la dosis de P requerida para alcanzar una concentración de P en la solución de equilibrio de 1 ppm.

Suelo	P equilibrio ppm	Dosis recomendada ppm	kg/ha	Producción %
Banco	1.21	200	400	95
Uverito	1.00	60	120	96
Calabozo	1.15	80	160	94
Tamaca	1.14	200	400	94
Majomal	0.96	400	800	90
Uracoa	1.00	175	350	70

fatos se obtiene una producción cercana al "óptimo" con dosis de fósforo que corresponden a la mitad de X max. Tal y como lo señalan Woodruff y Kamprath (10) para suelos de una menor capacidad tampon (por lo general suelos arenosos), la producción máxima se obtiene para valores correspondientes en forma aproximada a X max. (caso de los suelos Uverito, Calabozo y Banco). Ya se había señalado (6) que el suelo Uracoa presenta un comportamiento bastante anómalo con relación a los niveles de producción (peso seco) obtenidos y en la Figura 1 vuelve a reflejarse esa anomalía; así, la predicción más adecuada para ese suelo sería, de acuerdo con la Figura 1 bajo la utilización de enmiendas de fertilizantes correspondientes, de 2 X max (800 kg/ha).

Si se acepta que el requerimiento externo del frijol bayo (en invernadero) es de alrededor de 1 ppm de P, valor que fue definido por estudios preliminares (6), las dosis recomendadas de fertilizante oscilan entre 120 y 800 kg/ha para los suelos Uverito y Majomal respectivamente (Cuadro 3). En este caso la predicción es aceptable en 5 de los 6 suelos estudiados, puesto que las mismas varían entre 90-96% del valor "óptimo". La única excepción la constituye el suelo Uracoa cuya predicción del 70% se atribuye al bajo rendimiento obtenido en los ensayos en invernaderos. La información acá presentada señala la conveniencia del uso de estos métodos (isotermas de adsorción) en los ensayos de requerimientos de fertilizantes; y aunque los datos son promisorios, se deben tomar con la cautela que corresponde al análisis de un escaso número de suelos.

Como es de esperar, debido a que operan con técnicas similares (isotermas), hay una estrecha asociación en los resultados obtenidos por los dos últimos métodos. En una forma general, se puede señalar que, excepto un caso (suelo Uracoa), la predicción de fertilizante utilizando las dosis definidas

por la isoterma de adsorción es bastante precisa, pudiendo por tanto incluirse la gran ventaja potencial que representa la utilización de estos métodos sobre las pruebas o "tests" tradicionales.

#### Literatura citada

1. FITTS, J. W. Soil tests compared with field, greenhouse and laboratory tests. North Carolina. Agronomy Experimental Station Technical Bulletin, No. 121. 1956.
2. FOX, R. L. y KAMPRATH, E. J. Phosphate sorption isotherms for evaluating the phosphate requirements of soils. Soil Science Society of American Proceedings 34:902-907. 1970.
3. JACKSON, M. L. Análisis químico de los suelos. 2 Ed. Ediciones Omega. España. 1970.
4. LOPEZ-HERNANDEZ, D., ALVAREZ, L. y POLANCO, M. Phosphate requirement for *Vigna unguiculata* L. var. Tuy, growing in two contrasting Venezuelan soils. Proceedings International Seminary Soil Environment Fertilizing Management International Agronomy (SEFMIA) Tokyo. 517-524. 1977.
5. LOPEZ-HERNANDEZ, D., CORONEL, I. y ALVAREZ, L. Uso de la isoterma de adsorción para evaluar requerimientos de fósforo. I. Isotermas de adsorción de los suelos. Turrialba 3, pp. 169-179. 1981.
6. LOPEZ-HERNANDEZ, D., CORONEL, I. y ALVAREZ, L. Uso de la isoterma de ad-

- sorción para evaluar requerimientos de fósforo. II. Requerimiento externo de P para *Vigna unguiculata* L. var. Tuy. Turrialba 3:181-188. 1981.
7. OZANNE, P. C. y SHAW, T. C. Advantages of the recently developed phosphate sorption test over the older extractant methods for soil phosphate. International Congress Soil Science Trans 9th. (Adelaide Aust.) 2:273-280. 1968.
8. SHUMWAY, J. S. y JONES, J. P. Boron sorption isotherm. A method to estimate fertilizer requirement. Commission Soil Science and Plant Anal. 3:477-485. 1972.
9. SING, B. B. y JONES, J. P. Use of sorption isotherm for evaluating potassium requirements of plants. Soil Science Society of American Proceedings 39:881-886. 1975.
10. WOODRUF, J. R. y KAMPRATH, E. J. Phosphorus adsorption maximum as measured by the Langmuir isotherm and its relationship to phosphorus availability. Soil Science Society of American Proceedings 29:148-150. 1965.

## Reseña de libros

PARKER, W. H. *Health and disease in farm animals*. Pergamon Press. Third Edition. 1980. 307 p. (La Salud y Enfermedades en los Animales Domésticos).

Esta tercera edición de: "La Salud y Enfermedades en los Animales Domésticos", está publicada por Pergamon International Library, 1980. Tal como el autor lo dice, es una introducción de los principios generales sobre la salud y las enfermedades de los animales, haciendo énfasis al lector en una serie de conceptos que lo lleven a determinar lo importante que es para la producción el animal sano, así como la prevención de enfermedades en lugar de su tratamiento y control.

El conocimiento de las enfermedades, trastornos fisiológicos, daños y lesiones es importante, sin embargo, es más importante para el científico, veterinario, estudiante y productor, el conocimiento de cómo prevenir las enfermedades y el mantenimiento de un animal sano.

El contenido de la obra del Dr. Parker, en su primera parte, describe la estructura y funcionamiento del cuerpo animal como un punto de referencia donde las enfermedades, parásitos y trastornos fisiológicos perturban el estado de salud del animal.

En la segunda parte de la obra, el capítulo nueve es sumamente interesante e importante: el autor establece los principios generales de las enfermedades, la naturaleza de la enfermedad y su tipo. Describe claramente los diferentes tipos de lesiones y su tratamiento hasta la defensa natural del animal al ataque de las enfermedades y parásitos. Este capítulo y su contenido es poco común en esta clase de textos.

Dentro de los conceptos de prevención de la salud animal, el autor enfatiza lo importante que es el medio ambiente y lo relaciona con la infraestructura requerida para mantener un animal sano y en estado productivo.

Las enfermedades del sistema reproductivo animal, los desórdenes y deficiencias metabólicas del animal joven y en producción son tratados en una forma clara y concreta. Un énfasis especial es dado a la Mastitis como la principal enfermedad de la producción de leche. El último capítulo (21) se refiere a productos y plantas tóxicas que producen daños y muerte en el animal.

Este libro es recomendable para toda persona relacionada con la producción animal, especialmente para el estudiante y productor que podrán adquirir los principios generales de las enfermedades de los animales domésticos.

HECTOR MUÑOZ  
INSTITUTO INTERAMERICANO DE COOPERACION PARA LA AGRICULTURA  
SEDE CENTRAL

# EFEITO DE NÍVEIS DE CLORETO DE POTÁSSIO SOBRE A FORMAÇÃO DE GALHAS E A REPRODUÇÃO DE *Meloidogyne exigua* EM MUDAS DE CAFEEIRO<sup>1</sup> \*/

J. M. DOS SANTOS\*\*

S. FERRAZ\*\*\*

L. M. DE OLIVEIRA\*\*\*\*

## Abstract

*The effect of potassium chloride on Meloidogyne exigua in coffee transplants was studied under greenhouse conditions. The dosages were 0, 10, 20 and 30 g of KCl/pot of 4 l capacity and each plant was inoculated with 5 000 eggs at transplanting time. Number of galls and of eggs per root system, evaluated 50 days later, were proportionally reduced with the increase of KCl levels in the soil.*

## Introdução

**O**s produtos químicos na solução do solo podem afetar os fitonematóides indiretamente, através do crescimento da planta, ou diretamente, agindo como um estímulo na orientação ou então por um efeito metabólico direto (10). Os fertilizantes potássicos têm sido bastante estudados com relação aos efeitos causados nestes organismos. Para Heimann (5), estes adubos protegem as plantas contra os nematóides. Gupta e Mukhopadhyaya (4), trabalhando com tomateiros em vasos, corroboraram esta afirmativa ao observarem que um aumento no teor de potássio no solo correspondia a uma redução no número de galhas causadas por *Meloidogyne javanica*. Por sua vez, Eguiguren *et al.* (3) não notaram alterações significativas nas densidades populacionais de vários gêneros de nematóides presentes em cultura de batata, quando fizeram variar o teor

de potássio no solo. Marks e Sayre (7) também não observaram nenhum efeito de potássio sobre *M. hapla* e *M. javanica*. Contudo, alguns pesquisadores verificaram, em outras situações, que quanto menor o teor de potássio, menos suscetíveis eram as culturas (2) ou o desenvolvimento do fitonematóide era retardado (7, 8).

Devido a estas variações nas respostas aos adubos potássicos e também à falta de informações com relação a efeito destes produtos no complexo *M. exigua* x cafeiro é que se planejou o presente trabalho.

## Material e métodos

O ensaio foi conduzido em casa-de-vegetação do Departamento de Fitopatologia da Universidade Federal de Viçosa, MG. A temperatura média do ambiente foi de aproximadamente 27°C.

Com 10 meses de idade as mudas de cafeiro foram plantadas em vasos de argila, de 4 litros de capacidade, os quais continham uma mistura de terraço e areia, na proporção de 1:1, mistura esta previamente tratada com brometo de metila. Os resultados da análise química de uma amostra desse material, realizada no Laboratório de Fertilidade do Solo da Universidade Federal de Viçosa, são apresentados no Quadro 1.

1 Recebido para publicação em 25 de junho de 1981.

\* Parte de uma tese apresentada pelo primeiro autor ao Departamento de Fitopatologia da Universidade Federal de Viçosa, MG, como requisito parcial para obter o grau de "Magister Scientiae" em Fitopatologia

\*\* CPATSA-EMBRAPA. Caixa postal 23, 56 300 Petrópolis, PE, Brasil

\*\*\* Departamento de Fitopatologia, U. F. V., 36 570, Viçosa, MG, Brasil

\*\*\*\* Departamento de Matemática, U. F. V., 36 570, Viçosa, MG, Brasil

Quadro 1. Resultados da análise química de uma amostra da mistura de terraço e areia utilizada no estudo dos efeitos de níveis de cloreto de potássio sobre a formação de galhas e a reprodução de *Meloidogyne exigua* em mudas de cafeiro.

pH em água	ppm*	eq. meq/100 cm <sup>3</sup>	da amostra**
1:2,5	P    K	Ca <sup>++</sup> + Mg <sup>++</sup>	Al <sup>+++</sup>
4,3	4,0    44,0	1,3	1,3

\* Obtidos com o extrator de Mehlich.

\*\* Obtidos com KCl 1N.

Os tratamentos adotados foram os seguintes: 0, 10, 20 e 30 g de KCl por vaso, incorporados ao substrato antes do plantio das mudas e distribuídos no delineamento inteiramente casualizado, com 9 repetições.

A inoculação foi feita durante o plantio, vertendo-se 10 ml de uma suspensão de ovos de *M. exigua*, na concentração de 500 ovos/ml, sobre o sistema radicular de cada muda.

Cinquenta dias depois, as mudas foram cuidadosamente retiradas dos vasos e transportadas para o laboratório, em sacos de polietileno e determinou-se o número de galhas por sistema radicular. Ao microscópio estereoscópico, foram feitas observações relativas à presença de fêmeas adultas e de ootecas, bem como a contagem dos ovos extraídos pelo método de Hussey e Barker (6). Os dados foram submetidos à análise de regressão, testando-se modelos linear, exponencial e potencial, segundo recomendações de Chew (1). A escolha de modelo foi baseada no coeficiente de determinação, na significância dos coeficientes de determinação, na significância dos coeficientes de regressão testados pelo teste 't' de Student, na significância da regressão e nos desvios da regressão, testados pelo teste 'F', considerando um nível aceitável de até 5% de probabilidade.

### Resultados e Discussão

Quanto ao número de galhas, a análise de variância da regressão mostrou, pelo teste 'F', diferença significativa entre os tratamentos, ao nível de 5% de probabilidade. Pela Figura 1, observa-se que a média da raiz quadrada do número de galhas decresceu linearmente com o aumento do nível de cloreto de potássio disponível para o hospedeiro.

Resultados semelhantes foram obtidos em relação à reprodução desse nematóide, avaliada em função do

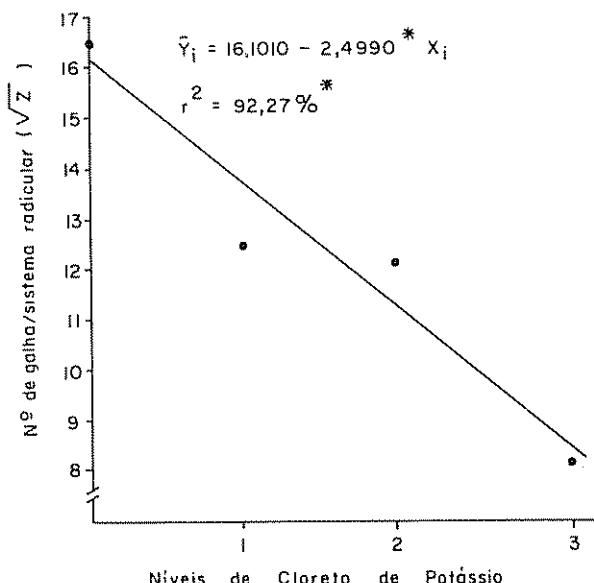


Fig. 1 Médias da raiz quadrada do número de galhas em mudas de cafeiro ( $\bar{Y}_i$ ) inoculadas com *Meloidogyne exigua*, em função de quatro níveis de cloreto de potássio ( $X_i$ ). \* Significativo, ao nível de 5% de probabilidade

número de ovos produzidos, por sistema radicular (Figura 2), embora a análise de variância da regressão tenha mostrado que o desvio independente da regressão também foi significativo ao nível de 5% de probabilidade.

A formação de galhas e a produção de ovos em raízes de plantas atacadas por *Meloidogyne* spp. são parâmetros recomendados por Taylor e Sasser (9)

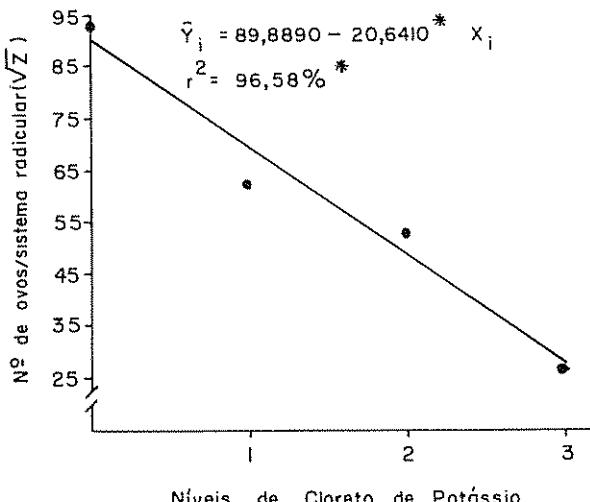


Fig. 2 Médias da raiz quadrada do número de ovos de *Meloidogyne exigua* ( $\bar{Y}_i$ ) por sistema radicular de mudas de cafeiro, em função de quatro níveis de cloreto de potássio ( $X_i$ ). \* Significativo, ao nível de 5% de probabilidade

para a avaliação da resistência de plantas a esses nematóides. Neste estudo, a redução no número de galhas (Figura 1) foi acompanhada de uma diminuição do número de ovos produzido por sistema radicular (Figura 2).

Esses resultados não coincidem com os relatos de Oteifa (8). Com efeito, esse pesquisador encontrou maior taxa de desenvolvimento de *M. incognita* em plantas de feijoeiro que receberam um nível ótimo ou excessivo de potássio que naquelas supridas com baixo nível desse nutrimento. Observou também que, quanto mais baixo era o nível de potássio disponível para o hospedeiro, mais prolongado se tornava o ciclo de vida do nematóide. Marks e Sayre (7) confirmaram esses resultados e verificaram que *M. hapla* e *M. javanica* não foram afetados pelo nutrimento em questão. Collins e Rodriguez-Kabana (2), por sua vez constataram que algumas culturas deficientes em potássio mostraram-se menos suscetível a *M. incognita*. Todavia, observaram que a cultura do milho, em tais condições, foi severamente atacada. Esses resultados, somados aos obtidos neste estudo, mostram que a influência de potássio sobre o desenvolvimento e reprodução de nematóide é função da planta hospedeira, além da espécie de nematóide envolvida. Para o caso particular de *M. exigua*, os resultados obtidos evidenciam a necessidade de maiores estudos com cloreto de potássio, no que concerne à sua utilização como medida auxiliar de controle de *M. exigua*, pois mesmo nas dosagens mais altas, o número de galhas e ovos por sistema radicular ainda era bastante elevado. Por outro lado recomendam cautela quando de sua aplicação como fertilizante em experimentos com esse nematóide, nos casos em que o efeito nematicida demonstrado seja indesejável.

### Resumo

O efeito de cloreto de potássio sobre *Meloidogyne exigua* foi testado em condições de casa-de-vegetação. As dosagens foram 0, 10, 20 e 30 g de KCl/vaso de 4 l de capacidade e cada planta foi inoculada com 5000 ovos na hora do transplante.

O número de galhas e o de ovos por sistema radicular, avaliados 50 dias depois, foram proporcionalmente reduzidos com o aumento dos teores de KCl no solo.

### Literatura citada

1. CHEW, V. Comparing treatment means: a compendium. Hort Science, 11(4):348-357. 1976.
2. COLLINS, R. J. e RODRIGUEZ-KAVANA, R. Influence of fertilizer treatments and crop sequence on populations of root-knot nematode *Meloidogyne incognita*. Phytopathology 62(8):802 (Abstr.). 1972.
3. EGUILUREN, R., TORRES, F. e ROBALINA, G. Influencia del N P K sobre la dinámica poblacional de varios géneros de nemátodos en papa. Nematropica 9(1):16-22. 1979.
4. GUPTA, D. C. e MUKHOPADHYAYA, M. C. Effect of N, and K on the root knot nematode *Meloidogyne javanica* (Treub) Chitwood. Science and Culture 37(5):246-247. 1971.
5. HEIMANN, H. Control of nematode by feeding. Australian Plants 52(6):366. 1972.
6. HUSSEY, R. S. e BARKER, K. R. A. Comparison of methods for collecting inocula of *Meloidogyne* spp. including a new technique. Plant Dis. Repr. 57(12):1025-1028. 1973.
7. MARKS, C. F. e SAYRE, R. M. The effect of potassium on the rate of development of the root-knot nematodes *Meloidogyne incognita*, *M. javanica* and *M. hapla*. Nematologica 10(2):323-327. 1964.
8. OTEIFA, B. A. Development of the root-knot nematode *Meloidogyne incognita*, as affected by potassium nutrition of the host. Phytopathology 43(4):171-174. 1953.
9. TAYLOR, A. L. e SASSER, J. N. Biology, identification and control of root-knot nematodes (*Meloidogyne* species). North Carolina, International *Meloidogyne* Project, 1978. 111 p.
10. WALLACE, H. R. The biology of plant parasitic nematodes. London, Edward Arnold (Publishers) Ltd., 1963. 280 p.

Viene de la página 292

**Unidades básicas del SI\***

Especie	Unidad	Símbolo	Especie	Unidad	Símbolo
Longitud	metro	m			
Masa	kilogramo	kg	Temperatura	kelvin	K
Tiempo	segundo	s	Intensidad luminosa	candela	cd
Corriente eléctrica	ampere	A	Cantidad de sustancia	mole	mol

**Unidades supplementarias**

Angulo plano	radián	rad	Angulo sólido	steradián	sr
--------------	--------	-----	---------------	-----------	----

**Unidades derivadas que tienen  
nombres y símbolos aprobados por el SI:**

Especie	Unidad	Sim- bolo	Fórmula	Especie	Unidad	Sim- bolo	Fórmula
Frecuencia	hertz	Hz	1/S	Conductancia eléctrica	siemens	S	A/V
Fuerza	newton	N	Kg m/s <sup>2</sup>	Flujo magnético	weber	Wb	V s
Presión	pascal	Pa	N/m <sup>2</sup>	Densidad de flujo	tesla	T	Wb/m <sup>2</sup>
Trabajo	joule	J	N m	Inductancia	henri	H	Wb/A
Potencia	watt	W	J/s	Flujo luminoso	lumen	lm	cd/sr
Cantidad electricidad	coulomb	C	A.s	Iluminación	lux	lx	1m <sup>2</sup>
Potencial eléctrico	volt	V	W/A	Radiactividad	bequerel	Bq	1/s
Capacidad eléctrica	farad	F	C/V	Dosis absorbida	gray	Gy	J/kg
Resistencia eléctrica	ohm	W	V/A				

**Definiciones de las unidades básicas del SI\***

**El metro.** Es la longitud equivalente a 1 650 763.73 longitudes de onda en el vacío de la radiación electromagnética emitida por el átomo de criptón 86, correspondiente a la transición entre  $2p_{1/0}$  y  $5d_5$  (su símbolo es m).

**El kilogramo.** Corresponde a la masa del kilogramo prototipo adoptado internacionalmente (su símbolo es kg).

**El segundo.** Es la duración de 9 192 631 770 períodos de la radiación electromagnética correspondiente a la transición entre dos niveles hiperfinos del estado base en el átomo de cesio 133 (su símbolo es s).

**El ampere.** Es la corriente eléctrica constante en dos conductores paralelos de longitud infinita y de sección transversal insignificante que, colocados a un metro de distancia entre si en el vacío, se atraen con fuerza igual a  $2 \times 10^{-7}$  newton por metro de longitud (su símbolo es A).

A. E. KLAR \*\*

### Resumen

Se cultivaron plantas de papa en macetas y se sometieron a potenciales decrecientes suelo/agua ( $\tau$ ) bajo condiciones controladas. Se aplicaron dos tratamientos de intensidad de luz: 1000 y 400  $\mu\text{E}/\text{m}^2\text{s}$ , dos humedades absolutas: 9.30 y 15.40  $\text{g}/\text{m}^3$  durante el día (16 horas), y 9.64 y 11.79  $\text{g}/\text{m}^3$  en la noche. El potencial de agua del follaje ( $\psi$ ) varió con la intensidad de la luz y la humedad del aire y estuvo correlacionado con  $\tau$ . Sin embargo, las plantas provenientes del tratamiento de aire húmedo mostraron una relación entre  $\psi$  y  $\tau$  siguiendo líneas rectas, en tanto que las provenientes de aire seco siguieron curvas hiperbólicas, para ambas intensidades de luz; las últimas tuvieron una tendencia a llegar a los umbrales de los potenciales de agua del follaje correspondientes al cierre de los estomas ( $\psi_{th}$ ) con valores de  $\tau$  más altos que cuando estuvieron bajo condiciones de humedad elevada. Las tasas de transpiración ( $E$ ) resultaron afectadas por la humedad del aire y la intensidad de la luz, y siguieron curvas hiperbólicas cuando se relacionaron con  $\psi$ . Los resultados muestran que se puede aplicar una analogía de la ley de Ohm a las plantas de papa, al menos bajo las condiciones estudiadas. En general, las plantas jóvenes (fase vegetativa) y las maduras (fase de floración) no mostraron diferencias estadísticas significativas para las comparaciones efectuadas, sin embargo, la tasa fotosintética ( $P$ ) tuvo comportamientos diferentes entre plantas jóvenes y maduras respecto a la conductividad del follaje ( $K_c$ ), siguiendo curvas hiperbólicas y líneas rectas, respectivamente; por otra parte,  $P$  siempre aumentó conforme incrementó  $K_c$ . Hubo fuertes diferencias en el ingreso de  $\text{CO}_2$  bajo condiciones de una elevada  $K_c$  con relación a los dos tratamientos de luz.

### Introduction

**P**hysiological characteristics of potato plants have been investigated by many researchers. Potato is a  $C_3$  plant with photorespiration based on its high  $\text{CO}_2$  compensation point; yet its productivity is high and even compared to that of some  $C_4$  crops (28). There are proportional hyperbolic increases in transpiration and photosynthesis rates of potato plants with increasing irradiance up to  $85 \mu\text{E}/\text{cm}^2\text{ s}$ ; water use efficiency, when considered at a constant vapour pressure gradient, increased with increasing irradiance.

Soil water movement, water uptake by roots, water movement through the plant, transpiration, and characteristics of the atmospheric environment are necessary data to study water flow in the soil-plant-atmosphere continuum (SPAC). Because of limited knowledge of the water pathway in the plant, the analysis has been based on Ohm's law analogue (10).

<sup>1</sup> Received for publication November 24, 1980.

\* This study was developed at Rothamsted Experimental Station, Harpenden, Herts, U. K., and partially supported by FAPESP SP, Brazil. I thank Drs. D. W. Lawlor, G. F. J. Milford and S. A. W. French for their many contributions to this paper.

\*\* Presently at Dept. of Agric. Eng FCA-UNESP - (18 610) Botucatu - SP - Brazil

Examining the validity of Ohm's law analogue, Hailey *et al.* (7) showed different responses by different plants and environments, finding conflicting views using the model to describe liquid water flow through plants during transpiration. Other authors (3, 16, 17, 22) continued finding contradictory results later. Therefore, complete interpretation is difficult because of few data involving small numbers of plants. The present report deals with the influence of plant water status on the control of transpiration and photosynthetic rates under different light intensity and air humidity treatments in potato plants grown in drying soil.

### Materials and methods

The experimental plants were a commercial variety of potato "King Edward." Single-eye cores of uniform size were sprouted on a moist sand tray after being dipped in Benomyl solution. Ten days later sprouted cores were transferred to plastic pots with 3.5 kg of air-dried Kettering loam soil, 5 g of ammonium nitrate ( $\text{NH}_4\text{NO}_3$ ) and 5 g of potassium hydrogen phosphate ( $\text{K}_2\text{HPO}_4$ ). Mature plants were planted on March 12, 1976 (60 pots) and young plants on March 26, 1976 (60 pots), and were grown in the glass-house for 11 weeks and 9 weeks respectively, receiving water daily up to pot capacity ( $-0.05$  bars).

Three days before starting the measurements, mature plants initiated flowering, the pots were placed under growth-chamber conditions for acclimatizing. The growth chambers were kept at 15 and  $20^\circ\text{C}$ , night and day, respectively, with photoperiod of 16 hours. Two light intensity treatments were carried out: 1000, and  $400\mu\text{E/m}^2\text{ s}$  (400 – 700 nm Lambda Inst. sensor); two absolute humidities: 9.30 and  $15.40\text{ g/m}^3$  (continuously monitored with an aspirated wet and dry bulb psychrometer) during the day and 6.94 and  $11.79\text{ g/m}^3$  at night.

After reaching a steady state condition the evaporative flux density per unit leaf area ( $E$ ) was estimated over a period of two hours from the change in weight of the pot and plant. It was assumed that evaporation from the soil surface was negligible because it was covered by polyethylene granules.

The temperature difference between the leaf canopy and ambient air was continuously measured to within  $0.05^\circ\text{C}$  with four pairs of 40 s.w.g. constant – chromed P differential thermocouples connected in parallel: one junction of each pair was in the air, the other one threaded 4 mm into the lamina of leaves of different ages at different parts of the canopy. Two young expanding leaves and two mature fully expanded leaves (top leaflets) were used for measuring stomatal diffusive resistances ( $r_s$ ) (replicated two times) with a diffusion porometer (13). The same leaves were used for measuring photosynthetic rate ( $P$ ) and leaf water potential ( $\psi$ ). Photosynthesis was determined by uptake of radioactive carbon dioxide after feeding  $0.75\text{ cm}^2$  of leaf for 15 s at a flow rate of 100 ml/min with air containing 300 ppm of  $^{14}\text{CO}_2$  at a specific activity of 0.83 mCi/m mole using a modification of earlier designs made by Shimshi (25). Rates of photosynthesis were calculated from  $^{14}\text{C}$  concentrations in the leaves and were expressed as mg  $\text{CO}_2\text{ dm}^{-2}\text{ h}$ . Leaf water potential was determined with a pressure bomb (24).

Then the plant was removed from the pot and leaf area was measured through a leaf area meter (Patton Ind, Pty Ltd.) Soil water contents were measured on duplicate samples taken from the top, middle and bottom of the pot. Soil water potentials ( $\tau$ ) were estimated from the relationship between soil-water content and soil-water potential determined with a pressure membrane apparatus. The Fick's first law of diffusion is valid to describe the flux in the gaseous phase from the leaf to the atmosphere:

$$E = \frac{\Delta \chi}{r_a + r_c}$$

where  $\Delta \chi$  ( $\text{g/m}^3$ ) is the difference in water vapour content between the ambient air ( $x_a$ ) and air at the evaporating surfaces within the leaves ( $x_c$ ), which was assumed to be the saturation vapour pressure at the temperature of the canopy;  $r_a$  and  $r_c$  ( $\text{s/cm}$ ) are resistances to the diffusion of water vapour offered by the canopy boundary layer, and the stomata plus intercellular spaces of the leaves within the canopy, respectively. The air close to the plants was stirred vigorously, therefore  $r_a$  was neglected (16).

The relationship between  $r_s$  and  $r_c$  was:

$$\ln r_c = 1.15 + 0.06 (\pm 0.002) r_s; (r^2 = 0.79^{**})$$

The model of Ohm's law analogue (10) proposes that the steady state flux of water from the soil to the evaporating surfaces within the leaves can be calculated from:

$$F \cdot R = r_s - \psi_c$$

in which  $F$ , the flux of water through the plant, is obtained by  $E$ ;  $r_s$  and  $\psi_c$  are the mean water potentials of the soil and leaf canopy, respectively;  $R$  is the sum of  $R_s$  (soil water resistance) plus  $R_p$  (plant water resistances.)

### Results and discussion

#### Leaf water potential and canopy diffusive conductance

Figure 1 and Table 1 depict the relationship between  $k_c$  and  $\psi$ . There was higher canopy diffusive conductivity under greater light intensity in both young and mature plants. According to Fisher (6), light stimulates the uptake of potassium ions into the guard cells, and in conjunction with a suitable ion creates turgor changes that cause stomatal opening.

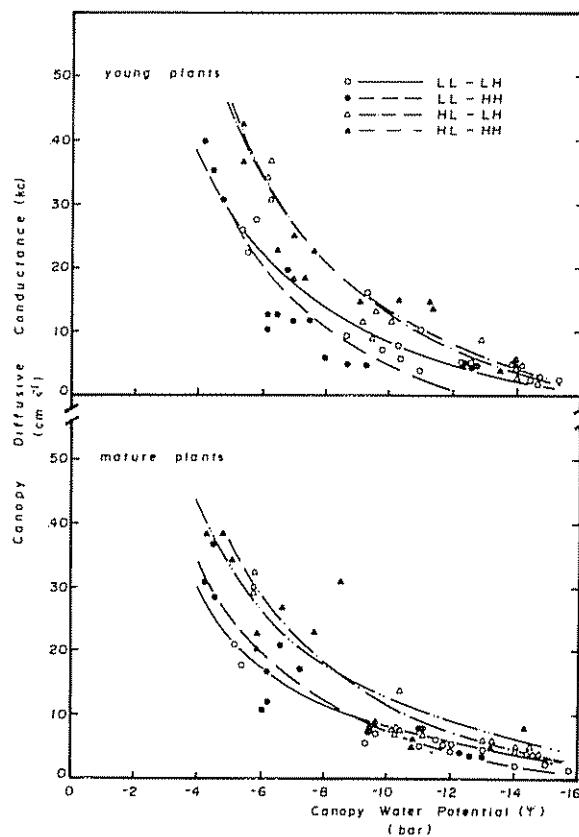


Fig. 1.

When water is not limiting, the stomata respond predominantly to light (27), but at low  $\psi$  stomata are controlled mainly by plant water stress (26). This last conclusion possibly explains why in Fig. 1, the curves tend to approach. Air humidity did not affect significantly the canopy diffusive conductance in relation to  $\psi$ . However, at low values of  $\psi$ , and under low light intensity, there were tendencies to have larger  $k_c$  in the treatment of low humidity in relation to the other one. That means a variation in the threshold canopy water potential for stomatal closure ( $\psi_{th}$ ) with varying environmental conditions. In young plants, the threshold canopy water potentials were -10 bars at low light and high humidity treatment and -12 bars at low light and low humidity treatment using  $k_c = 0.05 \text{ cm/sec}$  for  $\psi_{th}$  (14) (while, for mature plants  $\psi_{th}$  were -11.2 and -12.5 bars, respectively.) Stomatal closure must be affected by air humidity, because of the dependence on transpiration rate of vapor pressure gradient on leaf surface. Vapor pressure gradient influences transpiration rate, and an increase in E affects  $\psi$  that can result in stomatal closure. Different species behave differently under changes in humidity (8); for

instance, potato plants do not show a similar behaviour as sorghum (20), where  $\psi_{th}$  is quite evident.

Because of the dependence of  $k_c$  on  $\psi$ , it is to be expected that  $\psi$  and E would also be correlated (Figure 2 and Table 1.).

#### Photosynthesis, canopy diffusive conductance and canopy water potential

There was similarity in the relationships between P and  $\psi$  (Figure 3 and Table 1) and those between  $k_c$  and  $\psi$  (Figure 1): both followed hyperbolic

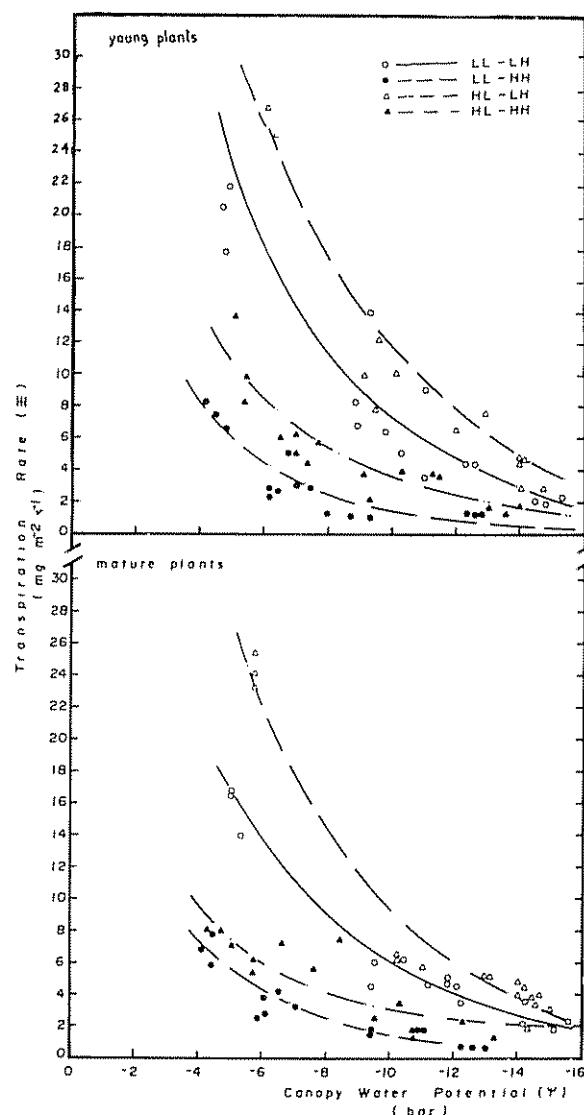


Fig. 2.

Table 1. Equations related to the curves from Fig. 1 to 5 for young and mature plants, high and low light intensities, and high and low humidities.

Young Plants		Mature Plants	
High Light (HL)		and	High Humidity (HH)
$k_c = -0.20 + 3.30/\psi$ ; $r = 0.90^{**}$		$k_c = -0.084 + 2.11/\psi$ ; $r = 0.89^{**}$	
$P = 12.78 + 4.15 \ln k_c$ ; $r = 0.89^{**}$		$P = 0.058 + 24.46 k_c$ ; $r = 0.96^{**}$	
$E = -3.71 + 71.53/\psi$ ; $r = 0.92^{**}$		$E = -1.12 + 43.59/\psi$ ; $r = 0.86^{**}$	
$\psi = 5.81 + 0.67\tau$ ; $r = 0.95^{**}$		$\psi = 5.18 + 0.62\tau$ ; $r = 0.96^{**}$	
$P = -4.14 + 76.92/\psi$ ; $r = 0.97^{**}$		$P = -1.91 + 52.46\psi$ ; $r = 0.89^{**}$	
Low Light (LL)		and	High Humidity (HH)
$k_c = -0.17 + 2.19/\psi$ ; $r = 0.93^{**}$		$k_c = -0.11 + 1.81/\psi$ ; $r = 0.93^{**}$	
$P = 7.81 + 2.05 \ln k_c$ ; $r = 0.91^{**}$		$P = 0.27 + 17.41 k_c$ ; $r = 0.96^{**}$	
$E = -3.27 + 45.90/\psi$ ; $r = 0.91^{**}$		$E = -2.23 + 38.11/\psi$ ; $r = 0.94^{**}$	
$\psi = 5.16 + 0.61\tau$ ; $r = 0.97^{**}$		$\psi = 4.60 + 0.60\tau$ ; $r = 0.97^{**}$	
$P = -1.26 + 31.80/\psi$ ; $r = 0.94^{**}$		$P = -1.79 + 33.07/\psi$ ; $r = 0.94^{**}$	
High Light (HL)		and	Low Humidity (LH)
$k_c = -0.20 + 3.31/\psi$ ; $r = 0.97^{**}$		$k_c = -0.14 + 2.55/\psi$ ; $r = 0.99^{**}$	
$P = 12.50 + 3.58 \ln k_c$ ; $r = 0.91^{**}$		$P = -0.44 + 29.47$ ; $r = 0.99^{**}$	
$E = -12.47 + 239.02/\psi$ ; $r = 0.96^{**}$		$E = -10.27 + 196.98/\psi$ ; $r = 0.99^{**}$	
$\psi = 10.27 \tau 0.11$ ; $r = 0.96^{**}$		$\psi = 10.46 \tau 0.13$ ; $r = 0.99^{**}$	
$P = -4.95 + 90.10/\psi$ ; $r = 0.95^{**}$		$P = -4.60 + 75.56/\psi$ ; $r = 0.98^{**}$	
Low Light (LL)		and	Low Humidity (LH)
$k_c = -0.12 + 2.07/\psi$ ; $r = 0.95^{**}$		$k_c = -0.07 + 1.46/\psi$ ; $r = 0.98^{**}$	
$P = 7.89 + 2.11 k_c$ ; $r = 0.92^{**}$		$P = -0.31 + 23.10 k_c$ ; $r = 0.97^{**}$	
$E = -8.63 + 159.28/\psi$ ; $r = 0.94^{**}$		$E = -5.04 + 109.94/\psi$ ; $r = 0.99^{**}$	
$\psi = 9.19 \tau 0.11$ ; $r = 0.92^{**}$		$\psi = 9.65 \tau 0.13$ ; $r = 0.98^{**}$	
$P = -2.40 + 45.02/\psi$ ; $r = 0.93^{**}$		$P = -2.08 + 34.13/\psi$ ; $r = 0.98^{**}$	

$k_c$  = canopy conductivity

$\psi$  = canopy water potential

P = photosynthetic rate

E = transpiration rate

$\tau$  = soil water potential

r = correlation coefficient

curvature. Photosynthesis was higher under high light intensity in both air humidities and four young and mature plants, mainly regarding high  $\psi$ . Air humidity influenced slightly photosynthesis at high values of  $\psi$ , producing higher values of P under both light intensities for young plants. This influence was not so evident for mature plants.

The decrease of P with  $\psi$  is, according to Moorby *et al.* (21), that there is a gradual decrease in P with increased stress.

The photosynthetic rate had a different behaviour for young and mature plants under the variation of  $k_c$  (Figure 4 and Table 1). While the fitted curves were hyperbolic for young plants, they were straight lines for mature ones. P and  $k_c$  decrease with leaf age and the decrease of P with leaf age is often associated with a reduction in the activity of photosynthetic enzymes and increase in leaf diffusive resistance (21). Thus, as mature plants have more mature leaves, different curves in young and mature plants are expected.

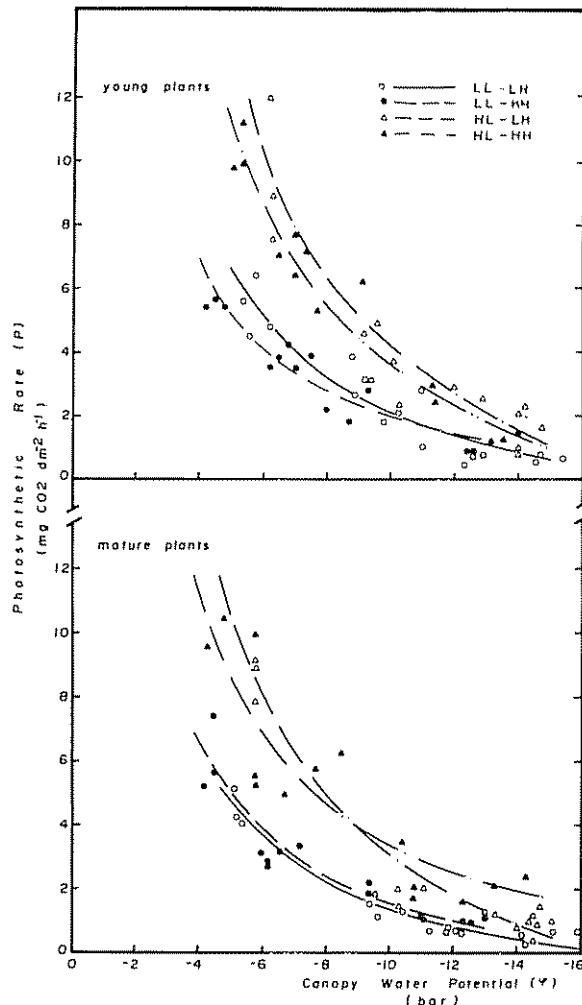


Fig. 3.

There were strong differences in the CO<sub>2</sub> uptake under high  $k_c$ , regarding the two light intensity treatments, while at low  $k_c$  (or at the threshold water potentials) P was very low, because the stomata were closed. Air humidity did not have significant influence on P as occurred in relation to  $\psi$ , (Figures 3 and 4).

#### Relationships among soil water potentials, leaf water potentials, and transpiration rates

Canopy water potential ( $\psi$ ) varied with light intensity and air humidity (Figure 5 e and Table 1). Plants subjected to high air humidity had 1 bar  $\psi$  difference, approximately, for the young plants and a little less for the mature ones, under the two light intensity treatments. Plants subjected to low

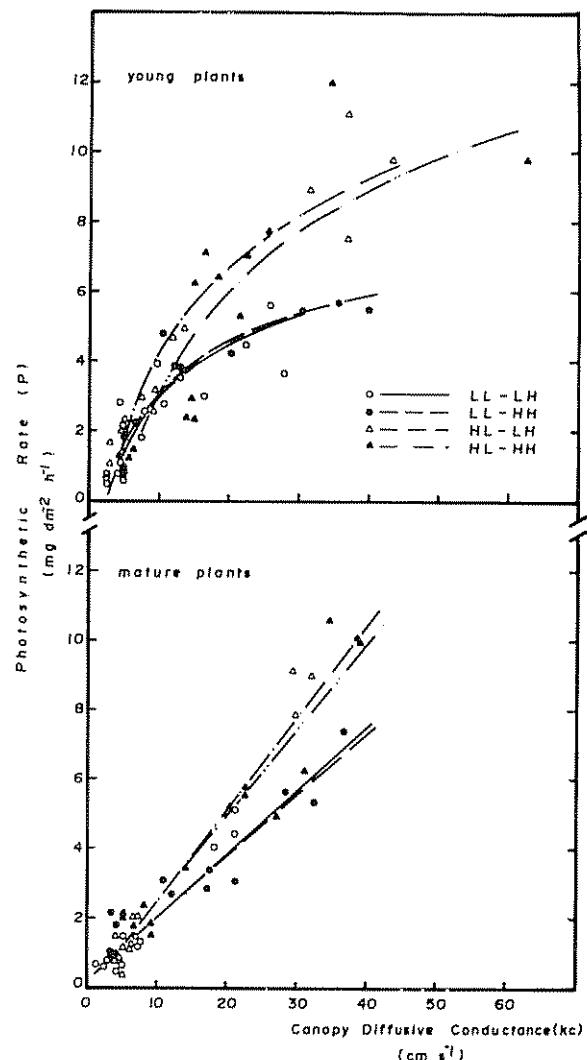


Fig. 4

humidity had similar behaviour in relation to the influence of light intensity, the high light treatment presenting the highest  $\psi$ ; however, there was a tendency to follow a hyperbolic curve instead of a straight line from the wet air treatment. So, plants under high atmospheric evaporative demand were closer to the threshold canopy water potential at high  $\tau$ , because of the lack of balance between E and water uptake which forced plants to lose water from the tissue and to show visible signs of water stress. According to Epstein and Grant (5), potato plants exhibit water stress when  $\tau$  drops below -0.25 bars under field conditions. Plant water stress is caused by either excessive loss of water from the plant or an inadequate supply of water to the roots; thus, the internal water equilibrium of the plant is a

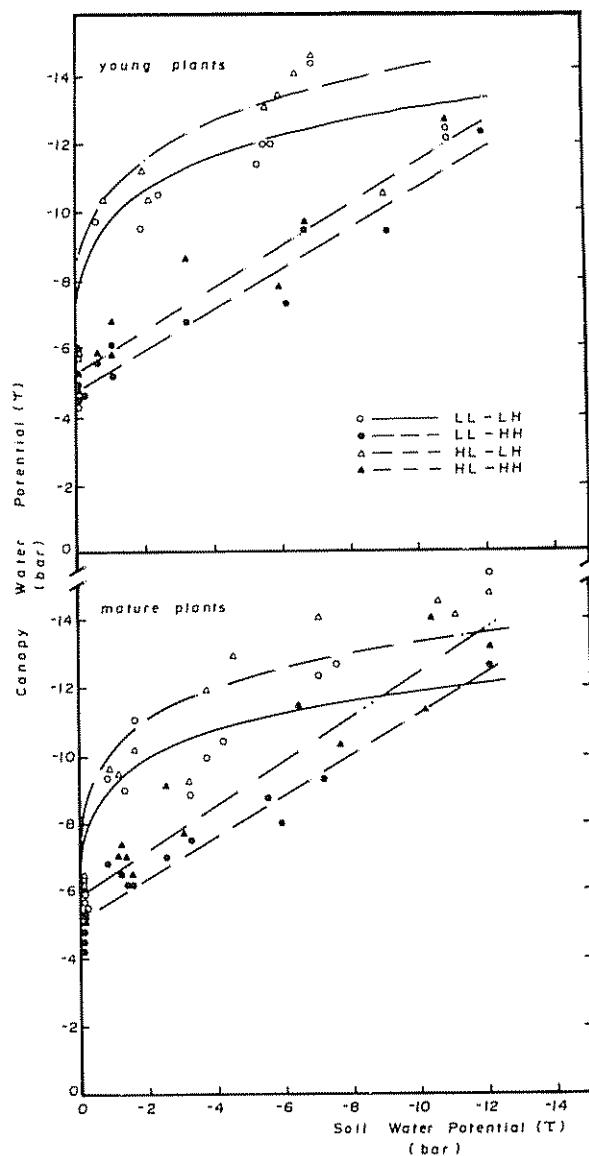


Fig. 5

function of both soil and atmosphere (15). Sugar beet behaviour was different with straight lines in both air humidity treatments used by Lawlor and Milford (17). Possibly, sugar beet is more resistant to water stress than potato;  $\psi_{th}$  seems lower for sugar beet than for potato. The same authors did not find significant differences in  $\psi$  under the influence of air humidity treatments. This conclusion is opposite to these results and those obtained by Hoffman (9) who worked with nine crops in sunlit climate chambers; he reported that plants grown at low humidity had lower  $\psi$  than plants grown at high humidity. However, different species respond differently to the variation of atmospheric humidity.

The nine crops used by Hoffman showed different ranges of variation in water, osmotic and turgor potentials in leaves under air humidity treatments; the difference in  $\psi$  under high and low air humidity treatments ranged from 1 bar in onion, radish and wheat to almost 8 bars in corn; the leaf osmotic potential of pepper and the leaf turgor potential of cotton were exceptions comparing the behaviour of the nine crops studied by Hoffman.

Figure 2 depicts the influence of light and humidity treatments on the transpiration rate ( $E$ ) under variation in  $\psi$ . Equal  $E$  values had different  $\psi$  in relation to different atmospheric evaporative demands;  $\psi$ , for young plants and  $E = 6 \text{ mg/m}^2 \text{ s}$ , was  $-5.0$ ,  $-7.5$ ,  $-11.0$  and  $-13.0$  bars under low light – high humidity, high light – high humidity, low light – low humidity and high light – low humidity treatments, respectively. Mature plants had  $-4.8$ ,  $-6.0$ ,  $-10.0$  and  $-12.0$  bars for the same  $E = 6 \text{ mg/m}^2 \text{ s}$  and following for young plants, they were straight other hand, the largest differences in  $E$  under the same  $\psi$  occurred at high  $\psi$  values. The curves were hyperbolic in all cases. Janes (12) found that the relationship between  $E$  and water potential gradient from the soil to the leaf ( $\Delta\psi$ ) in pepper plants varied with light intensity. Elfving *et al.* (4), working with *Citrus sinensis*, found deviations of the Van den Honert model, when  $\tau$  was lower than  $-0.3$  bar or soil temperatures were lower than  $15^\circ\text{C}$ , with more negative  $\psi$  than the predicted transpirational flux. Liu *et al.* (18) reported that at a given  $E$ ,  $\Delta\psi$  was always higher in the afternoon, when the New York Vineyard plants were rehydrating under field conditions. However, Lawlor and Lake (16) concluded that decreasing  $E$  by changing light intensity or humidity had no effect on  $\psi$  of *Lolium*, *Trifolium* and *Lysimachia*, this means that flux of water-resistance ( $R_p$ ) through the plants varied and Ohm's law analogue did not apply. Brower (1) and Macklon and Weatherley (19) suggested that the change in  $R_p$  with change in  $E$  is due to alterations in number and size of pores that are functioning in the roots. Water stress increases tension in the xylem and some water columns in the vessels break or cavitate and stress can be aggravated by the increased resistance to water flow (11). On the other hand, Dimond (2) reported that only a small  $\Delta\psi$  is required to maintain flow in large bundles in tomato plants; water flows through primary xylem in accordance to Poiseuilles law. Each plant reacts differently to the environment and possibly Ohm's law analogue does not always apply. The magnitude of flow is governed by resistances (membranous, frictional and diffusive) and the energy gradient imposed across the xylem (12). It is obvious that Ohm's law analogue is an oversimplification of the soil-plant-atmosphere continuum system (23),

and cannot always describe adequately the flow in the plant and its environment.

### Summary

Potato plants were grown in pots with decreasing soil water potential ( $\psi$ ), under controlled conditions. Two light intensity treatments were carried out: 1000 and 400  $\mu\text{E}/\text{m}^2 \text{ s}$ ; two absolute humidities: 9.30 and 15.40 g/m<sup>3</sup> during the day (16 hours), and 6.94 and 11.79 g/m<sup>3</sup> at night. Canopy water potential ( $\psi$ ) varied with light intensity and air humidity and was correlated with  $\tau$ . However, plants from wet air treatment showed a relationship between  $\psi$  and  $\tau$  following straight lines and those from dry, hyperbolic curves, for both light intensities: the latter had a trend to reach threshold canopy water potentials for stomatal closure ( $\psi_{th}$ ) with higher values of  $\tau$  than under high humidity. Transpiration rates (E) were affected by air humidity and light intensity and followed hyperbolic curves when related to  $\psi$ . The results showed that Ohm's law analogue can be applied for potato plants, at least under the conditions studied. In general, young (vegetative phase) and mature (flowering phase) plants did not show statistically significant differences for the comparisons made; however photosynthetic rate (P) had different behaviour for young and mature plants in relation to canopy conductivity ( $k_c$ ), following hyperbolic curves and straight lines, respectively; on the other hand, P always increased with  $k_c$ . There were strong differences in the CO<sub>2</sub> uptake under high  $k_c$ , regarding the two light treatments.

### Literature cited

1. BROWER, R. The regulating influence of transpiration and suction tension on the water plants. *Acta Botany of Netherland*. 3:264-312. 1954.
2. DIMOND, A. E. Pressure and flow relations in vascular bundleless of the tomato plant. *Plant Physiology* 41:119-131. 1966.
3. DUBE, P. A.; STEVENSON, K. R.; THURTELL, G. W. and NEUMANN, H. H. Steady state resistance to water flow in corn under well watered conditions. *Canadian Journal Plant Science* 55:941-948. 1975.
4. ELFVING, D. C.; KAUFMANN, M. R. & HALL, A. E. Interpreting leaf water potential measurements with a model of the soil-plant-atmosphere continuum. *Physiologia Plantarum* 27:161-168. 1972.
5. EPSTEIN, E. and GRANT, W. J. Water stress relations of the potato plant under field conditions. *Agronomy Journal* 65:400-404. 1973.
6. FISHER, R. A. Stomatal opening in isolated strips of *Vicia faba*, I. Response to light and CO<sub>2</sub> free air. *Plant Physiology* 43:1 947-1952. 1968.
7. HAILEY, J. L.; HILER, E. A.; JORDAN, W. R. and VAN BAEL, C. H. M. Resistance to water flow in *Vigna sinensis* L. at high rates of transpiration. *Crop Science* 13:264-267. 1973.
8. HALL, A. E. and HOFFMAN, G. J. Leaf conductance response to humidity and water transport in plants. *Agronomy Journal* 68: 876-881. 1976.
9. HOFFMAN, G. J. Humidity effects on yield and water relations of nine crops. *Transactions of ASAE* 16:164-167. 1973.
10. HONERT, VAND DEN, T. H. Water transport in plants as a catenary process. *discussions Faraday Society* 3:146-153. 1948.
11. HSIAO, T. C. Plant responses to water stress. *Annual Review of Plant Physiology* 24:519-570. 1973.
12. JANES, B. E. Effect of carbon dioxide, osmotic potential of nutrient solution and light intensity on transpiration and resistance to flow of water in pepper plants. *Plant Physiology* 45:95-103. 1970.
13. KANEMASU, E. T.; THURTELL, G. W. and TANNER, C. B. Design, calibration, and field use of a stomatal diffusion porometer. *Plant Physiology* 44:881-885. 1969.
14. KLAR, A. E.; USBERTI, J. A. and HENDERSON, D. W. Differential responses of Guinea Grass (*Panicum maximum*, Jacq) populations to drought stress. *Crop Science* 18: 853-858. 1978.
15. KRAMER, P. Plant water relationships. McGraw-Hill, New York. 1969. 482 p.

16. LAWLOR, D. W. and LAKE, J. V. Evaporation rate, leaf water potential and stomatal conductance in *Lolium*, *Trifolium* and *Lysimachia* in drying soil. *Journal of Applied Ecology* 12:639-646. 1975.
17. LAWLOR, D. W. and MILFORD, G. The control of water and carbon dioxide flux in water-stressed sugar-beet. *Journal of Experimental Botany* 26:657-665. 1975.
18. LIU, W. T.; WENKERT, W.; ALLEN, J. R. L. H. and LEMON, E. R. Soil-plant water relations in New York Vineyard resistance to water movement. *Journal of American Society of Horticultural Science* 103:226-230. 1978.
19. MACKLOW, A. E. S. and WEATHERLEY, P. E. Controlled environment studies of the nature and origins of water deficits in plants. *New Phytologist* 64:414-427. 1965.
20. McCREE, K. J. Changes in the stomatal response characteristics of grain sorghum produced by water stress during growth. *Crop Science* 14: 273-278. 1974.
21. MOORBY, J.; MUNNS, R. and WALCOTT, J. Effect of water deficit on photosynthesis and tuber metabolism in potatoes. *Australian Journal of Plant Physiology* 2: 323-333. 1975.
22. NEUMANN, H. H.; THURTELL, G. W. and STEVENSON, K. R. In situ measurements of leaf water potential and resistance to water flow in corn, soybean, and sunflower at several transpiration rates. *Canadian Journal of Plant Science* 54:175-184. 1974.
23. PHILIP, J. R. Plant water relations: some physical aspects. *Annual Review of Plant Physiology* 17:245-268. 1966.
24. SCHOLANDER, P. F.; HAMMEL, H. T.; BRADSTREET, E. D. and HEMMINGSEN, E. A. Sap pressure in vascular plants. *Science* 148: 339-346. 1965.
25. SHIMSHI, D. A rapid field method for measuring photosynthesis with labelled carbon dioxide. *Journal of Experimental Botany* 20:381-340. 1969.
26. TURNER, N. C. Stomatal behaviour and water status of maize, sorghum, and tobacco under field conditions. *Plant Physiology* 53:360-365. 1974.
27. TURNER, N. C. and BEGG, J. E. Stomatal behaviour and water status of maize, sorghum and tobacco under field conditions. I. At high soil water potential. *Plant Physiology* 51:31-36. 1973.
28. ZELITCH, I. Improving the efficiency of photosynthesis. *Science* 188:626-633. 1975.

# UNA METODOLOGIA PARA LA ESTIMACION—SIMULACION DE AREAS DE CAPTACION DE LLUVIA *in situ* QUE OPTIMICEN EL APROVECHAMIENTO DE LAS PRECIPITACIONES EN AGRICULTURA DE SECANO<sup>1</sup> /

JAVIER GARCIA BENAVIDES\*  
MANUEL ANAYA GARDUÑO\*\*  
EURO RINCON VELAZCO\*\*\*

## Abstract

*Methods and procedures are described for the estimation-simulation of rain water harvest areas in situ (rain harvest-run on lands) to maximize yield considering climates variability. Emphasis is given to the introduction of estocastic components into the model considering univariate an multivariate probabilities. The simulation is made for two tropical sites: Tizayuca in Mexico and Pedregal in Venezuela. To determine optimum rain harvest lands a compound system of models which includes distribution functions for rainfall, evaporation, plant density, probability integration, rain harvest-lands – calculations, etc., is used.*

## Introducción

La agricultura de secano en las zonas áridas y semiáridas se caracteriza generalmente por encontrarse en ecosistemas potencialmente degradables, por poseer una baja estabilidad productiva de las tierras y por una alta variación de las condiciones climatológicas (precipitación). Todo esto provoca un alto riesgo de las inversiones que se realizan, además de una constante migración de las poblaciones, hacia áreas con mejores condiciones ecológicas y económicas.

Con objeto de subsanar en parte lo anterior, se vienen llevando a cabo en distintos países, prácticas de captación de agua de lluvia *in situ*. Esta práctica es en realidad necesaria y conveniente en regiones con

precipitaciones deficientes, para la producción agrícola. Necesaria, en el sentido de mitigar las deficiencias de agua reinantes y conveniente por sus técnicas implícitas antierosivas que ayudan en la conservación del suelo (1, 10).

La microcaptación de agua *in situ*, universalmente conocida para cultivos en hileras como el maíz, caso que aquí nos ocupa, se refiere básicamente a la “cosecha de agua” o captación que se realiza en parte del espacio de terreno comprendido entre las hileras, para su mejor aprovechamiento por las plantas. La parte del terreno dedicada a esta cosecha, deberá poseer un coeficiente de escurrimiento mayor que el del suelo en condiciones naturales. El agua de escurrimiento captada se dirige entonces a la otra parte del espacio entre hileras, acondicionada para la mejor infiltración y aprovechamiento del agua de lluvia.

1 Recibido para publicación el 30 de julio de 1981

\* Dirección de Investigaciones. Universidad Nacional Experimental Francisco de Miranda, Coro, Venezuela.

\*\* Rama de Suelos. Colegio de Postgraduados Chapingo, México.

\*\*\* Ciencias del Agro y del Mar. Universidad Nacional Experimental Francisco de Miranda, Coro, Venezuela.

El tamaño de la microcuenca o de la distancia entre hileras, en este caso para un suelo dado, es función de los coeficientes de escurrimiento del área de cosecha, así como de la precipitación y uso consumtivo del cultivo, entre otros factores. Un sistema de tipo empírico-lógico que involucre los factores anteriores, podrá entonces aplicarse para detectar *a priori*, aproximadamente, en una localidad dada,

si conviene o no captar agua, así como el área de captación más adecuada. Estas estimaciones pueden realizarse, sin embargo, con cierta precisión, si algunos factores como la densidad de siembra son añadidos en el sistema, así como la inclusión de las componentes estocásticas del proceso productivo (precipitaciones). Las estimaciones y simulaciones del área de captación, que optimicen las condiciones ambientales de un lugar dado deben realizarse bajo el criterio de la necesidad de conocer la distribución de probabilidades de las precipitaciones en el sitio bajo estudio y recomendación. Este análisis probabilístico constituye la base necesaria para un análisis de riesgos, teniendo en cuenta la contribución a las aportaciones de agua, de las posibles áreas de captación a instalarse y por lo tanto su contribución al rendimiento máximo por obtener. En este artículo se presentan algunos procedimientos y metodologías para determinar el área de captación que pudiera lograr el rendimiento máximo para un lugar, en una serie suficientemente larga de años, en función de su variabilidad climática.

### Materiales y métodos

#### Áreas bajo estudio

Las estimaciones-simulaciones se llevarán a cabo en dos áreas:

- 1) Pedregal, Edo. Falcón, Venezuela. Lat: 11°01'N.  
Long: 70°07'0. Alt: 169 m.s.n.m.
- 2) Tizayuca, Edo. de Hidalgo, México. Lat: 19°47'N.  
Long: 98°57'0. Alt: 2270 m.s.n.m.

Ambas localidades tienen fuertes y frecuentes deficiencias de agua durante el ciclo del cultivo (Cuadro 1).

#### Alternativas metodológicas

Con objeto de ilustrar mejor el procedimiento metodológico a seguir acerca de la inclusión estocástica (probabilística) en los sistemas que estimen — simulen las áreas de captación se barajan varias alternativas:

- 1) Probabilidad univariada. Los factores involucrados en el sistema se consideran como los totales en el ciclo del cultivo (caso Tizayuca).
- 2) Probabilidad multivariada (trivariada en este caso). Los factores involucrados se consideran actuando en tres fases del ciclo del cultivo (caso Pedregal).
- 3) Función de producción para déficits y excesos de agua (caso Tizayuca).

- 4) Función de producción para precipitación (caso Pedregal).

#### Probabilidades de lluvia

Las precipitaciones y sus probabilidades de ocurrencia pueden ser observadas (Pedregal) o estimadas (Tizayuca). En el área mexicana, bajo estudio, no se dispone de una estación climatológica. En este caso, las probabilidades de lluvia fueron estimadas para un área extensa de 27 000 km<sup>2</sup>, bajo un proyecto de zonificación de cultivos (5). En dicha área se analizaron espacialmente los parámetros de una distribución de probabilidades de mejor ajuste (5, 6). Las unidades espaciales en las cuales se subdividió el área general anterior, y donde se hipotetizó que para toda la unidad la precipitación y su distribución de probabilidad son homogéneas, tienen una superficie de 13.6 km<sup>2</sup>. Luego el diagnóstico del caso Tizayuca corresponde a una área de 13.5 km<sup>2</sup> cuyo centro geográfico son las coordenadas indicadas anteriormente. Los valores observados ( $n = 27$ ) de la precipitación en Pedregal fueron ajustados a una distribución gamma incompleta truncada cuya función de repartición es:

$$P(P \leq P_i) = F_o + (1 - F_o) \frac{1}{r(\alpha)} \int_0^{P_s} x^{\alpha-1} e^{-x} r(\alpha) = \int_0^{\infty} x^{\alpha-1} e^{-x} \quad [1]$$

donde:  
 $\alpha$  = parámetro de forma  
 $\beta$  = parámetro de escala  
 $F_o$  = frecuencia empírica de valores igual a 0 en la serie.

$$P_s = \text{Valor estandarizado} = \frac{P_i}{\beta}$$

$$\hat{\alpha} = \frac{1 + \sqrt{1 + 4/3 D}}{4D} \quad (\text{método de Thom})$$

$$D = \ln \bar{P} - \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \ln P_i$$

$$\hat{\beta} = \frac{\bar{P}}{\hat{\alpha}}$$

Como prueba de bondad de ajuste se utilizó, por su eficiencia, la prueba de omega cuadrada de Smirnov (9) con la fórmula de trabajo:

$$n\omega^2 = \frac{1}{12n} + \sum_{k=1}^n [F(P_k) - \frac{2K-1}{2n}]^2 \quad [2]$$

$F(P_k)$  = probabilidad acumulada calculada a través de la función gamma incompleta.

$\frac{2K-1}{2n}$  = Probabilidad empírica.

$K$  = número de orden de un valor dado, en una serie ordenada crecientemente.

En toda la presentación de probabilidades en este trabajo se omitirán aquellas superiores o inferiores al 95% y 5%, respectivamente, debido a la falta de precisión en ambas colas.

### Uso consuntivo

El uso consuntivo fue estimado por la expresión general

$$UC = Ev \times Kc \quad [3]$$

donde:  $Ev$  = evaporación al sol (tanque)

$Kc$  = coeficiente del cultivo

Para la estimación de la evaporación al sol ( $Ev$ ) se generó el siguiente modelo generalizado para el área (Tizayuca):

$$Evi = 0.1597 (1.0409)^{Tx_i} (1.2351)^{Ii} (0.9979)^{Pi}$$

$$R^2 = 0.795 \quad [4]$$

donde:  $Evi$  = evaporación al sol en mm/día para el mes  $i$

$Txi$  = temperatura máxima media del mes  $i$  en °C

$Ii$  = insolación astronómica en horas y décimos para el mes  $i$  (tablas)

$Pi$  = precipitación del mes  $i$  en mm

Asimismo, cualquier  $Txi = f(AL)$ .  $AL$  = altura en metros del lugar ( $r^2 > 0.82$ ).

Para el cálculo de  $Kc$  se eligió un modelo que relaciona el consumo de agua por las plantas con el índice de área foliar (11). El modelo es una función cúbica incompleta propuesta por Norero (11):

$$Kci = K + IAF(Ci^2 - Ci^3)$$

$K$  = parámetro de la función que indica la proporción de evaporación del suelo desnudo.

$IAF$  = índice medio del área foliar.

$C$  = edad de la planta como porcentaje del ciclo vegetativo.

$$\bar{K}_c = \int_0^1 [K + IAF(Ci^2 - Ci^3)] dC$$

de donde

$$\bar{K}_c = K + \frac{IAF}{12} \quad [5]$$

El valor de  $k$  utilizado en esta ocasión es 0.27, valor encontrado por Palacios (11) en condiciones climáticas similares a las que nos ocupan.

De los valores obtenidos en (2 y 3) se ajustó un modelo cuadrático que relaciona el  $IAF$  y la densidad de siembra:

$$IAF = 0.10359 D - 0.000307 D^2 \quad [6]$$

donde:

$$D = \text{densidad de siembra (plantas) en miles} \frac{\text{ha}}{\text{ha}}$$

De esta manera el  $UC$  puede ser calculado a través de las expresiones [3], [4], [5] y [6] para cualquier combinación climática y densidad de siembra.

### Areas de captación;

Las áreas de captación pueden calcularse por una fórmula de fácil aplicación, ampliamente usada (1, 10).

$$Ac = As + \frac{1}{C} (\frac{UC - P}{P} \times As) \quad [7]$$

donde:  $A_c$  = Tamaño de la microcuenca o distancia entre hileras.  
 $A_s$  = Área de siembra o distancia tradicional entre hileras (90 cm en este caso).  
 $C$  = Coeficiente de escurrimiento (valor utilizado 0.5).  
 $U_C$  = Uso consuntivo del cultivo durante su ciclo vegetativo.  
 $P$  = Precipitación acumulada en el ciclo.

La aplicación de esta fórmula se utiliza tradicionalmente, trabajando con valores al 50% de probabilidad ( $P$  y  $U_C$  para una distribución normal).

### Funciones de producción

La estimación del rendimiento se estableció a través de dos funciones. Para Tizayuca se consideró como variable independiente a ( $P - P_n$ ), donde:  $P$  = precipitación total en el ciclo del cultivo y  $P_n$  = precipitación necesitada, para satisfacer el uso consuntivo, en un área de captación dada. Luego dicha diferencia puede considerarse como las deficiencias o excesos de agua.  $P_n$  se calcula:

$$P_n = \frac{180 \times U_{ci}}{A_{cj} + 90} \quad [8]$$

siendo  $P_n$  la precipitación necesitada para satisfacer un uso consuntivo  $i$ , en un área de captación establecida  $j$ .

El rendimiento se estima:

$$R = R_d \times R_1 \quad [9]$$

donde:  $R$  = índice de productividad relativa del maíz (0-1)

$R_d$  = Factor del índice de productividad por densidad de siembra.

$R_1$  = Factor del índice de productividad por deficiencia o excesos de agua.

$R_d$  y  $R_1$  se ajustaron a funciones cuadráticas de la forma:

$$R_1 = 0.881 + 0.002084 (P - P_n) - 0.00000919 (P - P_n) \quad [10]$$

$$R_d = 0.0708 + 0.3188 (IAF) - 0.02735 (IAF)^2 \quad [11]$$

Las funciones se ajustaron a partir de datos procedentes de múltiples ensayos regionales en México (5, 12) para  $R_1$  y de valores encontrados en las referencias (2, 3) para  $R_d$ .

Para Pedregal, la función de producción también toma la forma de un modelo multiplicativo de la forma:

$$R = R_d \times R_1^{b1} \times R_2^{b2} \times R_3^{b3} \quad [12]$$

$R_d$ ,  $R_1$ ,  $R_2$  y  $R_3$  son los factores de los índices de productividad que corresponde a la densidad de siembra y a tres precipitaciones consideradas ( $P_1$ ,  $P_2$  y  $P_3$ ). Estas precipitaciones se refieren a las ocurridas durante la floración ( $P_3$ ), las de un mes anterior a esta ( $P_2$ ), y las ocurridas durante el mes de la siembra ( $P_1$ ). Asimismo:

$$\begin{aligned} R_1 &= -0.674 + 1.522 P_1 - 0.346 P_1^2 \\ R_2 &= -0.929 + 1.543 P_2 - 0.3086 P_2^2 \\ R_3 &= -1.086 + 1.604 P_3 - 0.3086 P_3^2 \\ b_1 &= 0.37, b_2 = 0.34, b_3 = 0.29 \end{aligned} \quad [13]$$

A su vez, para una área de captación dada, los valores de precipitación observada (pluviómetro) sufrirán un incremento por la captación misma. Luego teniendo en cuenta a [7]:

$$P_i = \frac{P_{oi} [90 + C (A_c - 90)]}{90} \quad [14]$$

para  $i = 1, 2, 3$ .

$P_{oi}$  = precipitación observada en el periodo  $i$  (pluviómetro).

$A_c$  = área de captación dada.

$C$  = coeficiente de escurrimiento.

Para una área de captación dada, existirá una densidad propia en el límite, ya que el área de captación correspondería a la distancia entre hileras. De esta manera, la densidad de siembra podría aumentar por disminución de la distancia entre plantas. En el límite, se usó la restricción de una distancia entre plantas de 25 cm para un arreglo topológico de 2 : 1. Luego, la densidad en el límite para cualquier  $A_c$  sería:

$$D = \frac{1000}{A_c \times 0.125} \text{ (miles plantas/ha)} \quad [15]$$

Estimación-simulación del máximo rendimiento a obtenerse en una serie larga de años en función de una área de captación óptima

### Caso Tizayuca

Si para una localidad o punto se conoce la función de producción donde se relaciona el rendimiento con una variable independiente y a su vez se conoce una

función de frecuencia o la distribución de probabilidad de ocurrencia de la variable en el tiempo, el rendimiento a obtenerse en una serie de años suficientemente larga, será aquel que se obtiene determinando la contribución al rendimiento de cada uno de los valores alcanzados por la variable en cada intervalo de probabilidad. Es decir:

$$R \left|_{Ac, D} \right. = \int_{x_1}^{x_n} P(x) f(x) dx \quad [16]$$

donde  $P(x)$  = función de producción,  $f(x)$  = función de frecuencia,  $R$  = rendimiento a obtenerse en una serie suficientemente larga de años para un área de captación y densidad de siembra dadas. En este caso  $x = (P - P_n)$ . Para realizar el cálculo se puede discretizar la función de frecuencia en intervalos de probabilidad. De acuerdo a esto se puede utilizar el principio de que la contribución al rendimiento de un intervalo de la variable independiente con valores comprendidos entre  $x$  y  $x + dx$  es igual a la probabilidad de ocurrencia entre  $x$  y  $x + dx$  multiplicada por el promedio del rendimiento entre  $x$  y  $x + dx$  (4, 7).

Los intervalos de probabilidad elegidos para discretizar la función serán: 5, 10, 20 . . . 80, 90, 95%.

El intervalo de probabilidad se calculará por diferencia, por ejemplo:

$$\mid X_{20} - X_{10} \mid$$

donde  $X_{20}$  y  $X_{10}$  son los límites (al 20% y 10%) superior e inferior, respectivamente, de un intervalo. Aquí se tienen 8 intervalos del 10% y 2 del 5% de probabilidad. Asimismo, para el cálculo del rendimiento correspondiente a ese intervalo se tendrá:

$$(RX_{10} + RX_{20})/2$$

donde  $RX_{10}$  y  $RX_{20}$  son los rendimientos a obtenerse para los límites del intervalo de probabilidad  $\mid X_{20} - X_{10} \mid$ .

El problema a resolver sería averiguar cuál combinación  $Ac - D$ , producirá el máximo rendimiento para una distribución probabilística de  $(P - P_n)$  conocida, o lo que es lo mismo, distribuciones conocidas de  $P$  y  $E_P$ . El primer paso sería calcular una matriz de valores  $(P - P_n)$ . Cualquier elemento de la matriz para una área de captación y densidad dadas será:

$$(P - P_n)_{ij}$$

y representa el agua faltante o sobrante que se obtendría cuando se establece una área de captación correspondiente al nivel de probabilidad de precipitación  $i$  y ocurre una precipitación al nivel de probabilidad  $j$ . Sustituyendo en la función de producción los elementos  $(P - P_n)_{ij}$  de la matriz se obtendrá una nueva matriz de elementos  $R_{ij}$  para la combinación dada  $Ac - D$ . El siguiente paso será sumar las contribuciones de cada intervalo de probabilidad y efectuar la comparación para cada combinación  $Ac - D$ , buscando la óptima.

La suma de las contribuciones sería para toda  $Ac - D$ :

$$\frac{(RX_5 + RX_{10})(X_{10} - X_5)}{2} + \frac{(RX_{10} + RX_{20})(X_{20} - X_{10})}{2} + \dots$$

#### Caso Pedregal

El mismo procedimiento anterior para tres variables independientes se hace muy complejo. En anterior comunicación (8), se indicaba que dada una función generalizada del tipo:

$$R \left|_{X_1, \dots, X_j} \right. = f(P_1, P_2, \dots, P_n)$$

donde  $R$  = rendimiento en una localidad con factores de sitio  $X_1, X_2, \dots, X_j$  conocidos y  $P_1$  y  $P_2, \dots, P_n$ , variables estocásticas como precipitación, etc., la probabilidad de obtener un rendimiento  $R \geq R_i$  era, para tres variables independientes:

$$P(R \geq R_i) = \int_{P_1=0}^{\infty} \int_{P_2=f(P_1)}^{\infty} \int_{P_3=f(P_1, P_2)}^{\infty} f(P_1) f(P_2) f(P_3) d(P_1) d(P_2) d(P_3) \quad [17]$$

Esta expresión representa el cálculo del volumen a un lado del isocuanto correspondiente al rendimiento  $R_i$ , para tres variables independientes, cuyas distribuciones de probabilidad son conocidas. El cálculo se repite sistemáticamente para una serie de  $R_i$  establecidos dentro de una serie de combinaciones elegidas para los factores de sitio, en esta oportunidad  $Ac - D$ . El procedimiento también es complejo. En esta ocasión se pretende obtener resultados similares a través del ajuste de la distribución probabilística de los rendimientos encontrados, sustituyendo sucesivamente una serie ( $n$ ) de combinaciones de  $P_1, P_2, P_3$  suficientemente larga (datos históricos + simulados) en la función de rendimiento dada:

$$R_i(j, k) = f[(P_1, P_2, P_3)_i] \quad [18]$$

para  $i = 1, 2, \dots, n$ ,  $j = 1, 2, \dots, 1$ ,  $k = 1, 2, \dots, m$  siendo  $R_i$  el rendimiento que se obtiene para la combinación  $(P_1, P_2, P_3)_i$  y la combinación  $A_{cj} - D_k$ .

Para cualquier combinación  $A_{cj} - D_k$  y para  $n$  combinaciones  $(P_1, P_2, P_3)_i$  se obtendrá una serie de  $n$  valores de  $R$ :

$$R_1(j, k), R_2(j, k), R_3(j, k) \dots R_n(j, k)$$

la cual se ajustará a una distribución gamma incompleta truncada, antes indicada [1], probando su bondad de ajuste mediante [2]. De la misma manera anterior si:

$$\frac{\sum R_i(3, 5)}{n} > \frac{\sum R_i(6, 2)}{n} \dots > \frac{\sum R_i(h, g)}{n}$$

entonces la combinación  $A_{c3} - D_5$  será la óptima ya que produce un  $\bar{R} = \sum R_i/n$  mayor.

El tamaño de  $n$  debe influir en los resultados. La distribución probabilística de los rendimientos tendrá una mayor concordancia con la realidad en la medida que la serie de combinaciones trivariadas  $(P_1, P_2, P_3)$  sea más larga. De hecho una serie histórica raramente será lo suficientemente larga como para satisfacer esa condición. Los algoritmos construidos para operar según la expresión [17] en trabajos anteriores, equivalían a 3840 combinaciones posibles entre  $P_1, P_2$  y  $P_3$  (8). Por lo tanto, es necesario un alargamiento de la serie mediante simulación estocástica.

A partir de las series históricas disponibles de precipitación ( $n = 27$ ) se simularon otras series, con objeto de alargar la primera. Para ello se utilizaron modelos de componentes autorregresivas de 1º y 2º orden:

$$P_i = b_0 + b_1 P_{i-1} + e_i$$

$$P_i = b_0 + b_1 P_{i-1} + b_2 P_{i-2} + e_i \quad [19]$$

donde  $P_i$  = precipitación en el período  $i$ .  
 $e_i$  = desviación aleatoria de la distribución que caracteriza los datos en el período  $i$ .

$e_i$  está afectada por  $r_{(i, i-1)}$ , siendo  $r$  el coeficiente de correlación entre los períodos  $i, i-1 \dots$

### Diagrama de los principales componentes del modelo empleado

En la Figura 1 se indica el diagrama de los principales componentes del sistema empleado, incluyendo los dos casos de Tizayuca y Pedregal.  $\Sigma R_{ij}$  expresada en la figura, debe verse como la sumatoria de las contribuciones al rendimiento de los varios intervalos de probabilidad.

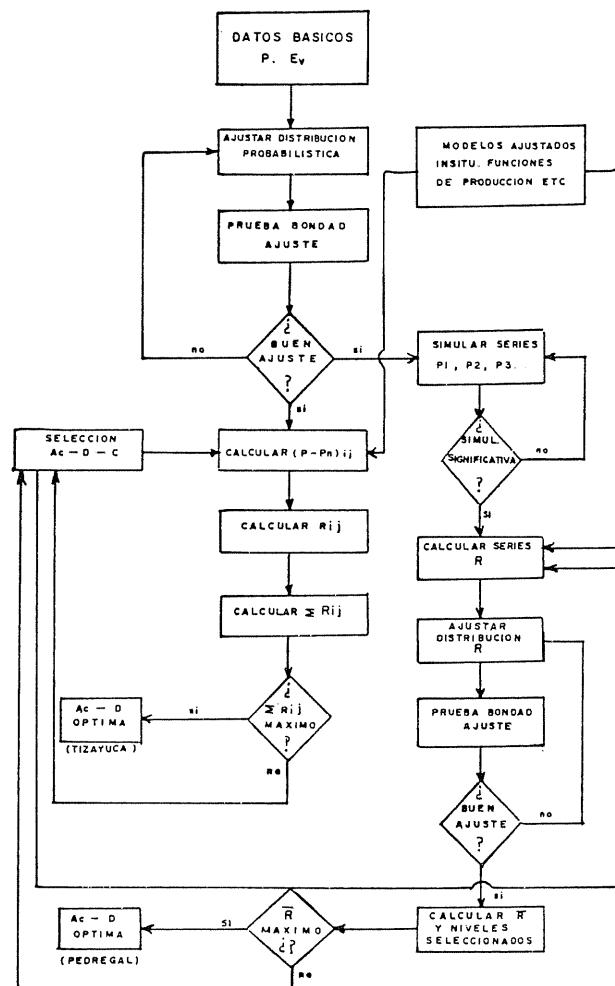


Fig. 1. Diagrama de los principales componentes del modelo empleado.

### Resultados y discusión

#### Probabilidades de lluvia

En el Cuadro 1 se indican las probabilidades de lluvia y evaporación para los niveles indicados ( $\leq P_i$ ). Los valores de Tizayuca para el ciclo del cultivo (5 meses) correspondientes a una distribución gamma, presentaron para A, S y O, respectivamente, valores de  $n\omega^2$ : 0.091 ( $> 50\%$ ), 0.102 ( $> 50\%$ ) y 0.089

Cuadro 1. Probabilidades de lluvia y evaporación en mm para los niveles indicados ( $\leq P_i$ ).

	% 95 90 80 70 60 50 40 30 20 10 5											
Tizayuca												
(lluvia, ciclo)	846.8	766.5	668.4	597.0	536.9	480.0	423.1	363.0	291.6	193.5	125.2	
(evap., ciclo)	676.2	698.3	728.6	751.8	771.7	791.1	811.1	832.8	859.2	897.1	924.3	
Pedregal												
(lluvia, agosto)	220.4	164.8	114.0	87.2	66.6	49.8	36.4	25.5	16.1	7.8	3.8	
(lluvia, setiembre)	177.6	154.5	130.5	114.6	102.0	99.4	81.2	71.4	61.1	48.5	39.4	
(lluvia, octubre)	284.4	237.5	186.6	152.6	129.1	108.8	90.5	73.5	56.4	38.0	26.5	

(> 50%), todos indicando un buen ajuste a la distribución gamma. De este cuadro puede observarse que ambas localidades tienen altas probabilidades de registrar precipitaciones limitantes, siendo aparentemente práctica conveniente la captación de agua.

#### Área de captación óptima para precipitaciones y evaporaciones al 50% de probabilidad (Tizayuca)

Calculando  $\frac{\partial R_1}{\partial (P - P_n)} = 0$ , en [10], se obtiene el máximo rendimiento, ( $R_1^* = 1$ ) para 113.4 mm.

Trabajando con:

$$P - P_n = 113.4$$

si se tiene en cuenta las expresiones [3], [5], [6], [7], y [8] y se sustituye  $P(50\%) = 480.0$  y  $Ev(50\%) = 791.1$  se obtiene:

$$Ac = 14.875 + 3.353D - 0.009937D^2 \quad [20]$$

donde se relaciona  $Ac$  y  $D$  para  $R_1^*$ ; no obstante, muchas de las soluciones no serán lógicas, por la limitación [15]. Considerando esta limitación y sustituirla en [20] se tiene:

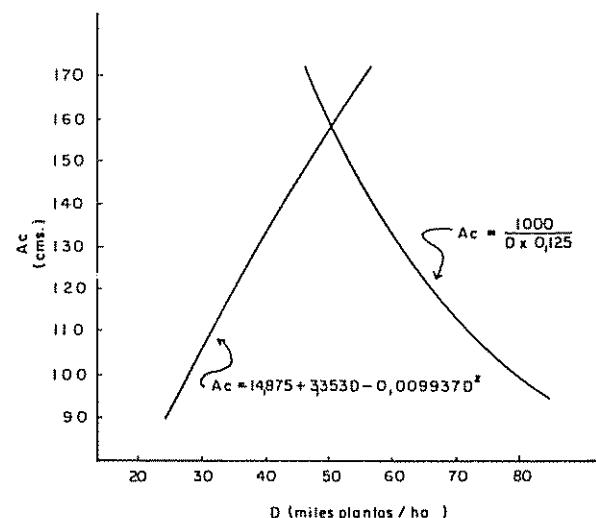
$$Ac^3 - 14.875Ac^2 - 268244c + 635968 = 0$$

que presenta una raíz lógica para  $Ac \approx 158.67$  cm, ( $D \approx 50,400$  plantas/ha) la cual será el área de capta-

ción que maximiza el rendimiento para los valores,  $P$  y  $Ev(50\%)$ . En la Figura 2 puede observarse lo anterior gráficamente, es decir, la interrelación entre las expresiones [15] y [20]. El punto de corte es la solución  $Ac \approx 158.67$  cm; a la derecha de [15] las soluciones no son lógicas. Cualquier otra densidad inferior a 50,400 plantas/ha, producirá según [6] y [11] un rendimiento inferior. De acuerdo a [9]:

$$R = Rd \times R_1 = 0.947 \times 1 = 0.947\%$$

que indica el máximo potencial de rendimiento a obtenerse, correspondiendo a la combinación  $Ac = D$  anterior, para  $P$  y  $Ev$  al 50% de probabilidad.

Fig. 2 Relación entre  $Ac$  y  $D$  para la condición  $P$  y  $Ev$

**Estimación-simulación del máximo rendimiento a obtenerse en una serie larga de años**

**Caso Tizayuca**

En el Cuadro 2 se presentan algunos elementos  $R_{ij}$  de la matriz indicada en materiales y métodos, para distintos niveles de probabilidad de ocurrencia de la precipitación-evaporación y combinaciones de  $Ac - D$ . También se indican las contribuciones al rendimiento de los varios intervalos de probabilidad considerados y la sumatoria de dichas contribuciones. Así, 0.526 corresponde al rendimiento relativo a esperarse cuando  $Ac = 90$  cm (no hay captación) y  $D = 70\ 000$  plantas/ha y se obtiene de sustituir en [10] un  $P - P_n$  calculado para  $P(95\%) = 846.8$  mm y  $E_v(95\%) = 676.2$  mm. Siguiendo, 0.684 es el rendimiento promedio esperado para un intervalo de probabilidad del 5%:

$$(0.526 + 0.843)/2 = 0.684$$

Asimismo el rendimiento a obtenerse en una serie larga de años será la sumatoria de las contribuciones:

$$R_1 = (0.684)x0.05 + (0.92)x0.1 + (0.969)x0.1 + \dots + (0.0)x0.1 + (0.0)x0.05 = 0.4195$$

$$R = R_d \times R_1 = 0.4193$$

la sumatoria de las contribuciones totalizan en esta oportunidad 90% por no trabajar con los intervalos del 5% en cada cola. En el mismo cuadro también se presenta el área de captación y la densidad de siembra que maximizan  $R$ ; éstas son:

$$Ac^* = 144, D^* = 55\ 500$$

valores encontrados por procedimientos iterativos para incrementos  $\Delta Ac = 2$  cm y  $\Delta D = 500$  plantas/ha, respectivamente. El valor de la densidad que maximiza la condición  $Ac = 90$  cm, es decir, sin captación, es  $D^* \approx 48\ 000$  plantas/ha. La captación presentó las siguientes ventajas a raíz de la comparación entre estas últimas dos alternativas:

- 1) En cuanto al incremento de  $R$ , ( $\Delta R = +7.4\%$ ) indicando que se logra un aumento significativo del rendimiento.

**Cuadro 2. Algunos elementos  $R_{ij}$  seleccionados. Contribuciones al rendimiento de los intervalos de probabilidad indicados y rendimientos obtenidos para distintas combinaciones  $Ac - D$ .**

%														
	95	90	80	70	60	50	40	30	20	10	5	R1	R	
Ac = 90	0.526	0.843	0.998	0.941	0.780	0.530	0.184	0	0	0	0	0	0.4195 (0.4193)	
D = 70 000	0.684	0.920	0.969	0.860	0.655	0.357	0.092	0	0	0	0	0		
Ac = 90	0.364	0.742	0.978	0.985	0.881	0.688	0.403	0	0	0	0	0	0.458 (0.4514)	
D = 60 000	0.553	0.860	0.981	0.933	0.748	0.545	0.201	0	0	0	0	0		
Ac = 110	0.116	0.571	0.910	0.998	0.966	0.847	0.638	0.320	0	0	0	0		
D = 60 000	0.344	0.740	0.954	0.982	0.906	0.742	0.479	0.160	0	0	0	0	0.5135 (0.5061)	
Ac = 130	0	0.399	0.818	0.971	0.997	0.935	0.787	0.536	0.110	0	0	0		
D = 60 000	0.200	0.608	0.894	0.984	0.966	0.861	0.662	0.323	0.055	0	0	0	0.5453 (0.5375)	
Ac = 150	0	0.063	0.607	0.858	0.972	0.998	0.943	0.796	0.502	0	0	0		
D = 50 000	0.032	0.335	0.732	0.915	0.985	0.970	0.870	0.649	0.251	0	0	0	0.5723 (0.5402)	
Ac = 90	0.113	0.568	0.908	0.997	0.967	0.848	0.640	0.323	0	0	0	0		
D* = 48 000	0.170	0.738	0.952	0.982	0.907	0.744	0.481		0	0	0	0	0.5139 (0.4794)	
c* = 144	0	0.209	0.703	0.914	0.993	0.983	0.890	0.702	0.354	0	0	0		
D* = 55 500	0.052	0.456	0.808	0.953	0.988	0.937	0.796	0.528	0.177		0	0	0.5699 (0.5534)	

- 2) En cuanto al número de años negativos ( $R = 0$ ), se logra una disminución también significativa ( $\approx -10\%$ ).

Mucha información práctica se puede obtener de resultados presentados según el Cuadro 2. Así por ejemplo, sin necesidad de construir la distribución de frecuencias, se puede observar que para la combinación  $A_c = 144$ ,  $D = 55\,500$  se tiene:

$$\begin{aligned} P(R \geq 0.7) &\approx 50\% \\ P(R \leq 0.9) &\approx 70\% \end{aligned}$$

información muy útil para generar modelos de riesgo y contribuir en la toma de decisiones racionales. Puede observarse, también, que la introducción de las componentes probabilísticas en esta estimación-simulación presentó un  $A_c$  óptima diferente a la encontrada trabajando con los valores promedios de  $P$  y  $E_v$  (158.6 Vs. 144 cm).

#### Caso pedregal

#### Simulaciones de la precipitación

La matriz de correlación para las tres precipitaciones empleadas se ve así:

	P1	P2	P3	
P1	1.00			
P2	0.196	1.00		
P3	0.332	0.079	1.00	n = 27

ninguno significativo al 5% de probabilidad (prueba de  $t$ ). La condición de independencia entre precipitaciones podría entonces aplicarse. No obstante, se prefirió adoptar la condición de no independencia, para mayor exhaustividad metodológica.

Las componentes autorregresivas encontradas son:

$$P_2 = 83.6 + 0.191(P_1) \pm \epsilon(\gamma)$$

$$P_3 = -16.96 + 1.165(P_1) + 0.296(P_2) \pm \epsilon(\gamma)$$

Las desviaciones  $\epsilon(\gamma)$  son generadas por la distribución gamma incompleta. Las determinaciones son  $r^2 = 0.0384$  y  $r^2 = 0.1516$  para  $P_2$  y  $P_3$ , respectivamente.

En la Figura 3 se presenta, como ejemplo, la comparación de las series simuladas y las observadas, para el valor acumulado  $P_1 + P_2 + P_3$  y para  $P_1$ , obteniéndose valores de  $r \geq 0.967$ . Puede considerarse que los valores simulados representan bien las series históricas. Los valores de  $\alpha$ ,  $\beta$  y  $F_0$  para las series simuladas y la histórica no difieren significativamente. Para  $P_2$  se tiene:

	$\alpha$	$\beta$	$F_0$
Serie histórica ( $P_2$ )	5.256	18.504	0
la simulación ( $P_2$ )	4.831	22.456	0.037
2a simulación ( $P_2$ )	5.489	18.034	0

Las 3 series disponibles, 1 histórica y 2 simuladas, presentan un total de 81 meses, los cuales al ser sustituidos en grupos de  $n = 20, 30, 40 \dots 80$  en la

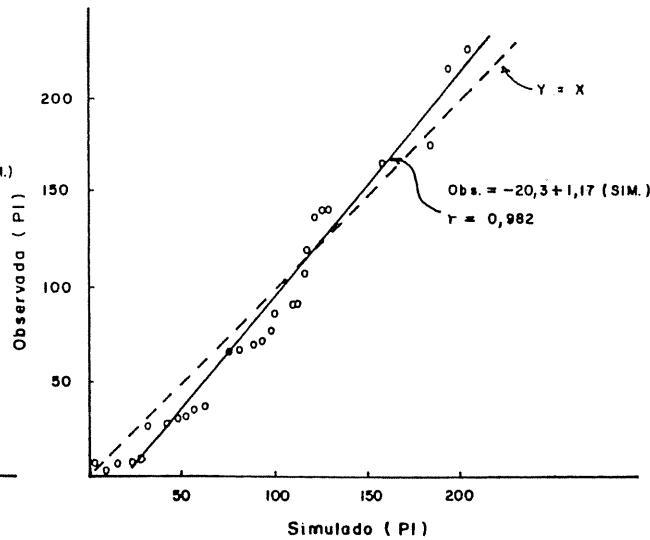
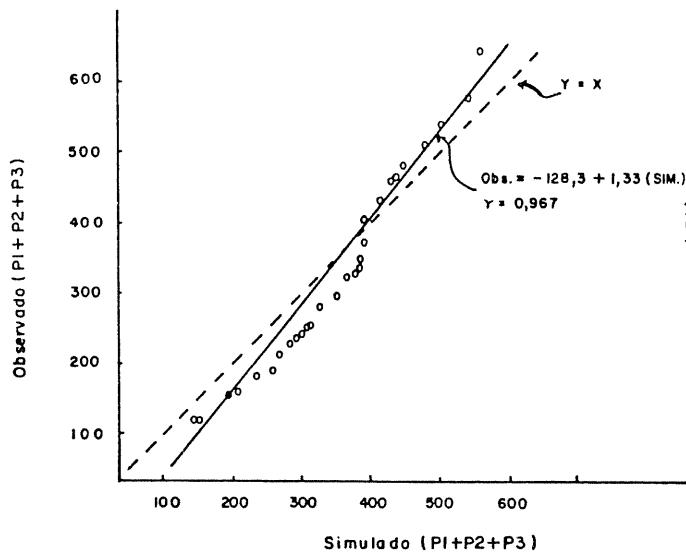


Fig. 3. Comparación entre series históricas y simuladas.

función [12] originaron las distribuciones gamma cuyos parámetros están indicados en el Cuadro 3. En él, puede observarse que el parámetro  $\alpha$  varía considerablemente como una función del tamaño de  $n$ . El mismo valor de la variable a distribuir ( $R$ ) tendrá entonces distintas probabilidades de ocurrencia. Como se indicaba en materiales y métodos, una serie histórica de 27 años es a todas luces insuficiente para trabajar con una probabilidad trivariada, debido al alto número de combinaciones de los tres factores que se puede presentar, afectando, como lo hace, al parámetro  $\alpha$  y por lo tanto a la distribución probabilística. El alargamiento de la serie histórica a través de la simulación se justifica. Aquí posiblemente hubiese sido necesario trabajar con valores de  $n > 80$ .

Cuadro 3. Parámetros de la distribución gamma de los rendimientos simulados para distintos valores de  $n$ .

$n$	$F_0$	$\alpha$	$\beta$
20	0.550	7.695	0.0775
30	0.500	7.632	0.0751
40	0.475	8.599	0.0694
50	0.520	9.667	0.0621
60	0.433	11.010	0.0554
70	0.471	11.527	0.0538
80	0.487	10.003	0.0602

Por procedimientos iterativos con incrementos de  $Ac = 2$  cm, se detecta que  $R^*$  corresponde para  $Ac = 190$  cm y  $D = 42\ 100$  plantas/ha. Los niveles de probabilidad y los valores de  $R$  procedentes de las distribuciones gamma a las cuales se ajustaron los valores de  $R$  simulados para las alternativas  $Ac = 190$  (máximo) y  $Ac = 90$  (sin captación) son:

$$\begin{array}{ccccccc} 40 & 50 & 60 & 70 & 80 & 90 & 95\% \\ 190 & 0 & 0.29 & 0.451 & 0.543 & 0.636 & 0.759 & 0.859 \\ 90 & 0 & 0 & 0 & 0.264 & 0.404 & 0.566 & 0.699 \end{array}$$

Esto indica por ejemplo:

$$\begin{aligned} P(R \geq 0.759) &= 10\%, \quad Ac = 190 \\ P(R \geq 0.264) &= 30\%, \quad Ac = 90 \end{aligned}$$

En la Figura 4 se observan las funciones de repartición para las áreas de captación antes indicadas. Las bondades del ajuste son significativas según la prueba  $\omega^2$  de Smirnov:  $n\omega^2(190) = 0.0815 (> 50\%)$  y  $n\omega^2(90) = 0.159 (\approx 34\%)$ . De estas funciones de repartición o probabilidad acumulada puede obtenerse cualquier nivel de  $R$  deseado.

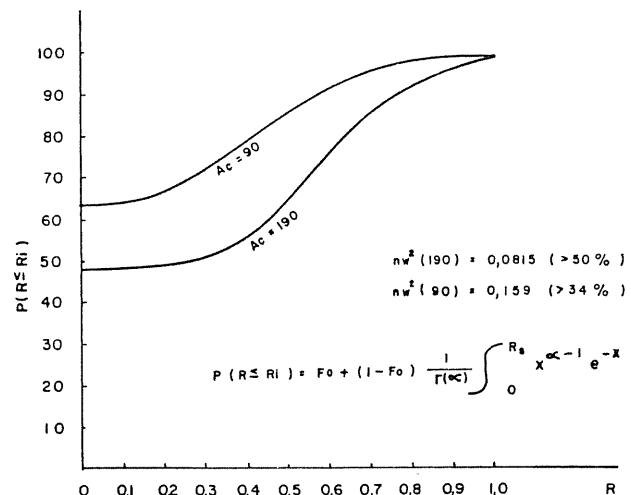


Fig. 4. Probabilidades acumuladas de obtener valores de  $R$  para dos áreas de captación.

Por comparación entre las alternativas de  $Ac = 190$  y  $Ac = 90$  se puede inferir si presenta ventaja captar o no lluvia. Así se tiene:

	90	190	△
$F_0$	63.7	48.7	15.0 %
$\bar{x}$ (todos)	0.167	0.316	0.149
$\bar{x}$ (sólo ≠ 0)	0.463	0.602	0.139

- 1) La frecuencia de años negativos baja del 63.7% al 48.7% con una ganancia del 15% de años con posibilidad de cosechas.
- 2) El promedio del potencial de rendimiento incluyendo los años negativos ( $R = 0$ ) pasa de 0.167 a 0.316 indicando un aumento en el rendimiento del 14.9%; analizándolo a través del promedio del rendimiento para los años con cosecha se logra un incremento del 13.9%.

La ventaja de captar agua se agranda, por el alto valor que tiene en la agricultura de subsistencia el aumento en el número de años no negativos ( $R \neq 0$ ). La función de producción [12] si bien creemos que sobreestima el número de años negativos encontrados, no lo hace por comparación con otras alternativas, en un orden mayor del 6%. La elección de este modelo se sustenta en que por su simplicidad y su concepción empírico-lógico ajustado *in situ* aparece mejor para la presentación metodológica.

La discordancia encontrada entre el área de captación que maximiza el rendimiento a través de la inclusión probabilística y aquella calculada para  $P$  y  $E_v(50\%)$ , que aquí fue de 14.6 cm, puede ser considerablemente mayor, dependiendo de la forma de la función probabilística de ajuste de las precipitaciones.

Para otros ejemplos y localidades se detectaron diferencias de hasta 32 cm, reafirmando la mayor precisión que se alcanza cuando la Ac óptima se calcula por integración probabilística y no simplemente a través de los valores medios de P y Ev. Cambios de valor del coeficiente C como entrada al sistema, pueden variar considerablemente la Ac óptima. Existe, sin embargo, una relación entre el valor de C y el costo. Para un análisis exhaustivo de la conveniencia de aumentar el valor de C, una inclusión económica es necesaria en el sistema, mediante la confrontación entre costos del aumento de C y su relación con el aumento en rendimiento al poderse incrementar la densidad de plantas (menor Ac). Esto último va aparejado a la incorporación de rastrojo para mejorar los coeficientes de infiltración en el área receptora de agua. Experimentos donde se involucran fertilización, materia orgánica (rastrojo), áreas de captación, densidad de siembra, etc., se realizan actualmente en el Colegio de Postgraduados de Chapingo, México.

### Resumen

Se presentan en este artículo, técnicas y procedimientos metodológicos para la estimación-simulación del área de captación de lluvia *in situ*, y la densidad de siembra, que maximicen el rendimiento en agricultura de secano, en una serie suficientemente larga de años. Lo anterior se logra mediante la inclusión de las componentes estocásticas (precipitaciones) en el proceso productivo. El sistema creado presenta dos alternativas en cuanto a la inclusión probabilística: probabilidad univariada y multivariada. Los ejemplos se llevan a cabo para Tizayuca (México) y Pedregal (Venezuela), ambas localidades sometidas a intensos y frecuentes déficits de agua. Todos los ajustes probabilísticos se realizaron en esta oportunidad con la función gamma incompleta truncada.

### Bibliografía

1. ANAYA, G. M., J. TOVAR S. y A. MACIAS. Métodos de captación de agua de lluvia para zonas agrícolas con temporal deficiente. Colegio de Postgraduados, Chapingo, México, 1976.
2. CROP. PHYSIOLOGY, edited by L. T. Evans. Cambridge University Press London 1975, 374 p.
3. FERY, F. L. and JANICK J. Response of corn (*Zea mays* L.) to population pressure. Crop Science 11 - pp. 220-224.
4. FORSYTHE, W. M. Importancia de la variabilidad de las propiedades del suelo para evaluarlas en su manejo. Turrialba 20(4):445-451. 1970.
5. GARCIA BENAVIDES, J. Estructura metodológica para la caracterización agroecológica de áreas por procedimientos cuantitativos de análisis y su posterior zonificación. Tesis de Doctor en Ciencias. Colegio de Postgraduados. Chapingo, México, 1979. 455 p.
6. GARCIA BENAVIDES, J. y R. ARTEAGA. Estimación de probabilidades de lluvia por un análisis espacial de los parámetros de una distribución de probabilidades de mejor ajuste. In: III Congreso Mundial de Recursos de Agua. México, y Boletín Técnico No. 4. Universidad Autónoma Chapingo. Departamento de Irrigación, 1979. 27 p.
7. GARCIA BENAVIDES, y E. SOTO NEGRIN. Zonificación ecológica de cultivos. V. Relación entre el rendimiento y variables climáticas simples. Modelos de Predicción Rev. Fac. Agron. (Maracay) IX(2):69-95. 1977.
8. GARCIA BENAVIDES, J. y A. TURRENT F. Predicción del rendimiento de maíz a través de análisis probabilísticos para una localidad dada y sus interrelaciones con el manejo. Turrialba, Vol. 30, No. 4, pp. 427-438. 1980.
9. LEON ZAMUDIO, S. Bondad de ajuste de algunas funciones probabilísticas a la distribución de la lluvia. Tesis de Maestro en Ciencias. Colegio de Postgraduados, Chapingo, México, 1976, 104 p.
10. MANUAL DE CONSERVACION DEL SUELO Y DEL AGUA. Colegio de Postgraduados, Chapingo, México 1077. 599 p.
11. PALACIOS VELEZ, E. Estimación de los requerimientos de agua de los cultivos para conocer el cuándo y cuánto regar. Colegio de Postgraduados. Chapingo, México, 1978, 25 p.
12. VOLQUE, H. V. Generación de Tecnología para agricultura de temporal y subsistencia: El caso del maíz en la región del Plan Puebla. Tesis de Doctor en Ciencias. Colegio de Postgraduados. Chapingo, México, 1977. 208 p.

## Reseña de libros

KNOTT'S HANDBOOK FOR VEGETABLE GROWERS. Segunda Edición.

Hace 25 años el Dr. James E. Knott publicó la primera edición de su *Handbook for Vegetable Growers* que es un manual para productores de hortalizas. Este manual ha sido ampliamente utilizado y citado por lo conciso, claro y fácil de encontrar información específica concerniente al cultivo de hortalizas. Recientemente dos distinguidos horticultores, el Dr. Oscar Lorenz de la Universidad de California en Davis, y el Dr. D. N. Maynard en la Universidad de Florida en Gainesville, realizaron una meritaria labor ampliando el manual original, poniendo al día la mayoría de los datos pero manteniendo el formato y conceptos básicos de la obra original del recordado gran maestro J. E. Knott. En esta nueva 2a. edición (Wiley 1980) el usuario se encontrará con 10 secciones en lugar de 7, empezando con una sección en que se identifica botánicamente

a estos cultivos, citando sus nombres comunes en siete idiomas; se da, además, la composición química y vitamínica. También se han agregado nuevos temas de actualidad como efecto de la polución del aire y plaguicidas y más datos sobre agua, riego y herbicidas. Al final de este Manual de 390 páginas, se presenta un índice de materias que constituye un ejemplo por lo claro y completo que es.

Las estadísticas ofrecidas en el Manual conciernen a los Estados Unidos de América donde la producción, distribución, industrialización y consumo de hortalizas constituyen una gran industria; sin embargo, la información tabulada y abreviada sobre los factores de producción sigue siendo muy útil para cualquier interesado pues permite localizar y comparar gran número de datos en poco tiempo. Como referencia rápida, el Manual de Knott en su Segunda Edición seguirá ocupando un lugar de preferencia con productores, investigadores y estudiantes de muchos países.

ERNESTO CASSERES  
INSTITUTO INTERAMERICANO DE COOPERACIÓN PARA LA AGRICULTURA  
SANTIAGO, CHILE

# ANÁLISE COMPARATIVA ENTRE O USO DE VAZÃO CONSTANTE E REDUÇÃO DA VAZÃO INICIAL E SEU EFEITO NA EFICIÊNCIA DE IRRIGAÇÃO POR SULCO\*/

JOSE MONTEIRO SOARES\*\*  
SALASSIER BERNARDO\*\*\*  
RICARDO A. LOPES BRITO\*\*  
PAULO AFONSO FERREIRA\*\*\*

## Abstract

*A comparison study was made between two kinds of furrow irrigation with short furrows. One consisted of the application of constant flow on the furrow, by means of siphons, for R values of 0.26, 1.0, and 2.0. The other was characterized by a semi-automatic reduction of the initial flow at the end of the advanced time, utilizing "spiles" to reduce the flow to half, for R equal to 1.0. It was observed that percolation losses tended to decrease whereas efficiencies of application and distribution increased, together with runoff losses, for the case of constant flow, when the value of R went up. When reduction of flow occurred runoff losses were reduced to half, for R equal to 1.0. Additional observations were made regarding the suitability of empirical equations to estimate runoff; a good correlation was found.*

## Introdução

**A** maioria dos usuários do método de irrigação por sulcos interrompe o fornecimento de água ao sulco, quando a frente de avanço atinge a sua extremidade final, por ter em mente que o escoamento superficial no final do sulco ("runoff") representa uma perda desnecessária de água. Outros usuários aplicam água em excesso, proporcionando perdas consideráveis de água por "runoff".

A interrupção da irrigação, quando a frente de avanço atinge a extremidade final dos sulcos, ou após um período insuficiente para aplicar-se a lámina de irrigação desejada, resulta na infiltração de pequenas láminas de água no final do sulco, reduzindo assim, a disponibilidade de água para as plantas, o que pode concorrer para um menor desenvolvimento destas, especialmente no trecho final do sulco.

As baixas eficiências de aplicação e de distribuição de água nos sulcos, normalmente alcançadas nos perímetros irrigados do Nordeste brasileiro, constituem um dos fatores que pode concorrer para o obtenção das baixas produtividades das culturas. Por outro lado, as perdas de água por percolação e por "runoff", não se destacam apenas como um desperdício de água, mas também de energia, principalmente, quando as estações de bombeamento estão localizadas a grandes diferenças de nível e/ou grandes distâncias, em relação as áreas irrigadas. Este problema tende a agravar-se em virtude da limitada disponibilidade de recursos hídricos da região semi-árida do Nordeste e da elevação das tarifas de energia elétrica e dos combustíveis.

Um dos fatores responsáveis pelas baixas eficiências de irrigação alcançadas nos perímetros irrigados por sulcos, no Nordeste, é a deficiência de mão-de-obra qualificada para o manejo de água e solo. Além do uso de vazões constantes e inadequadas às características físicas do solo e da interrupção do fornecimento de água, quando a frente de avanço atinge a extremidade final dos sulcos, os irrigantes deparam-se com grandes obstáculos para controlar o manejo de água na exploração das culturas. Tais obstáculos são: dificuldade de uniformizar a carga hidráulica entre sifões durante as irrigações, variação da declividade dos sulcos entre setores ou mesmo durante as rotações de culturas, falta de padronização de sifões,

\* Recebido para publicação el 6 de Julho de 1981. Trabalho baseado em tese de Mestrado apresentado pelo primeiro autor ao Departamento de Engenharia Agrícola da Universidade Federal de Viçosa, em dezembro de 1980.

\*\* Pesquisadores em Irrigação e Drenagem, da EMBRAPA, Petrolina-PE, Brasil

\*\*\* Professores do Departamento de Engenharia Agrícola da UFV, Viçosa-MG, Brasil.

ausência de controle de umidade no solo para irrigação e o manejo inadequado da dotação de água por colono.

O sistema de irrigação por sulco com redução semi-automática da vazão inicial, apresenta-se com grande potencial, diante das condições atuais das áreas irrigadas no Nordeste. Entretanto, tal sistema necessita de informações que caracterize sua viabilidade e eficiência por ser quase totalmente desconhecido no Brasil.

### Materiais e métodos

Este trabalho foi realizado no Campo Experimental pertencente ao Perímetro Irrigado de Bebedouro, Petrolina-PE, num solo da classe oxisol, unidade 37 BB, cuja profundidade média é de 1.50 m, com textura variando de arenosa na superfície e barro-argilo-arenosa, a partir de 0.50 m, com presença de mosqueado abaixo desta profundidade (11).

Os testes foram constituídos das análises das eficiências de aplicação e de distribuição, bem como das perdas de água por percolação e por "runoff". Utilizou-se um sistema de irrigação com sifão, e um sistema de irrigação com redução semi-automática da vazão inicial através de "spiles". Com exceção do sistema com "spiles" que foi analisado apenas para o valor da relação entre o tempo de oportunidade e o tempo de avanço ( $R$ ) igual a 1, o outro sistema foi conduzido para valores de  $R$  iguais a 0.26; 1.0 e 2.0. Todos os testes foram repetidos quatro vezes.

O sistema de irrigação com sifão consistiu da aplicação de uma vazão constante, aproximadamente igual a máxima não erosiva, durante todo o tempo de irrigação, utilizando-se três sulcos por repetição. O sistema de irrigação com redução semi-automática da vazão inicial, consistiu de um canal parcelar com uma série de setores em nível. Em cada setor foram instalados tubos de PVC rígidos, não necessariamente em nível, denominados "spiles", com 40 mm de diâmetro e 75 cm de comprimento, sendo uma das extremidades cortadas em bisel, num ângulo de 45°, transversalmente à parede do canal (Figura 1). A diferença de elevação entre dois setores consecutivos é igual à diferença de carga hidráulica requerida nos "spiles"

para transformar a vazão inicial em reduzida. Cada setor era constituído de dez sulcos, onde três sulcos por setor foram selecionados para medições periódicas da vazão de "runoff". O manejo da irrigação consistiu da aplicação de uma vazão inicial aproximadamente igual à máxima não erosiva, durante o tempo de avanço, tendo sido reduzido à metade automaticamente e permanecendo assim durante o tempo de oportunidade, pelo abaixamento sequencial do nível da água acima dos "spiles". (Figura 2).

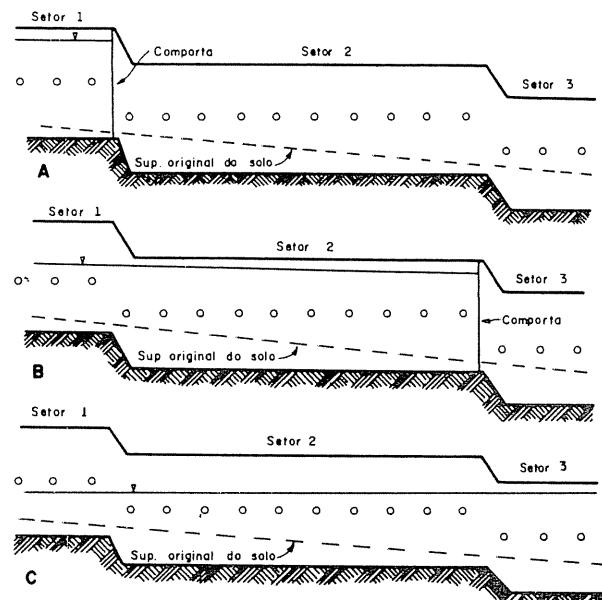


Fig. 2. Esquema funcional do sistema de irrigação com redução semi-automática da vazão inicial.

A avaliação dos sistemas de irrigação estudados, compreendeu as análises das perdas de água e das eficiências de distribuição e de aplicação, tendo como base a infiltração acumulada aproximada. Os cálculos desses parâmetros obedeceram a metodologia recomendada por Bernardo *et al.* (1), enquanto o manejo de água no sistema de irrigação com redução da vazão inicial seguiu a metodologia apresentada por Garton *et al.* (4) e Humpherys (7).

### Resultados e discussão

#### — Parâmetros de Irrigação

Os sulcos usados tinham as seguintes dimensões: 45 cm de largura, 9.5 cm de profundidade, 90 m de comprimento e uma declividade média de 0.27% .

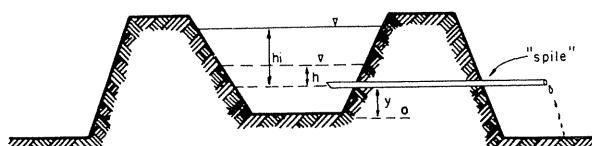


Fig. 1. Seção transversal do canal parcelar c/spile.

A Figura 3 mostra as curvas de avanço obtidas para uma declividade média dos sulcos de 0.27% e vazão de 1.23; 1.60 e 1.94 l/s.

A vazão máxima não erosiva teórica de 1.60 l/s, obtida pela equação citada por Hamad e Stringham (5), causou uma erosão muito pequena ao longo dos sulcos. Para esta mesma declividade, a vazão máxima não erosiva teórica, calculada pela equação apresentada por Cridle *et al.* (3), seria 2.34 l/s, o que superestima a vazão tomada como referência.

Como a água de "runoff" apresentava-se praticamente limpa, foi usado o critério visual para a identificação da vazão máxima não erosiva real. Com a finalidade de minimizar-se os efeitos da erosão, foi escolhida a vazão de 1.52 l/s como a máxima não erosiva real.

A grande aproximação entre a vazão máxima não erosiva teórica, calculada através da equação citada por Hamad e Stringham (5) e a vazão máxima não erosiva real, é causada pela inclusão de um coeficiente relativo ao tipo de solo, além do fator declividade do sulco.

O interrelacionamento entre a vazão de entrada e o avanço da água no sulco causa o decréscimo da lâmina infiltrada a partir do início dos sulcos.

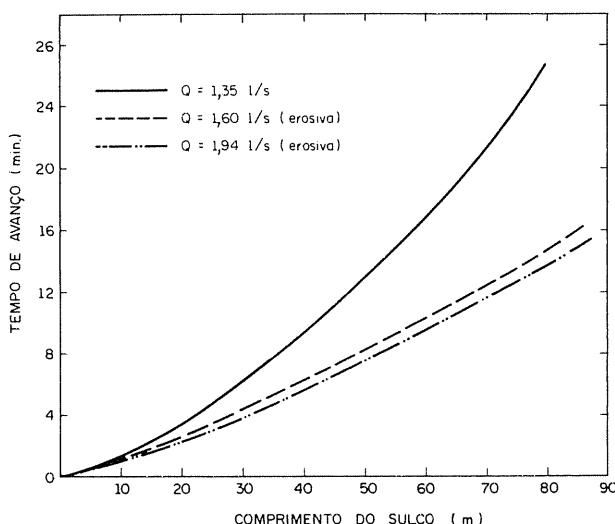


Fig. 3. Curvas de avanço para as vazões de 1.35; 1.60 e 1.84 l/s para uma declividade de sulco de 0.27% para um oxisol unidade 37 BB.

#### – Infiltração

Utilizou-se, no experimento, três alternativas para a vazão; vazão máxima não erosiva, vazão inicial

reduzida à metade quando a frente de avanço alcança o final do sulco e vazão reduzida. Os valores das vazões, bem como as equações de infiltração acumulada e de velocidade de infiltração encontram-se no Quadro 1. As equações foram obtidas através do método de entrada-saída, recomendada para o método de irrigação por sulcos (2).

Quadro 1. Equações de infiltração acumulada (D), velocidade de infiltração (VI) e respectivos coeficientes de determinação ( $r^2$ ), para diferentes vazões.

Vazões (l/s)	Infiltração acumulada (mm)	Velocidade de infiltração (mm/h)	Coefi- ciente deter- mina- ção ( $r^2$ )
1.52	$D = 5.29 T^{0.52}$	$VI = 180.92 T^{-0.43}$	0.98
1.52 (inicial reduzida à 0.76)	$D^* = 6.83 T^{0.40}$ $D^{**} = 6.46 T^{0.44}$ $D = 2.56 T^{0.64}$	$VI = 163.92 T^{-0.60}$ $VI = 170.54 T^{-0.54}$ $VI = 98.30 T^{-0.34}$	0.99 0.98 0.99

\* Para o início do sulco.

\*\* Para o final do sulco.

Durante a realização de testes de infiltração, para determinação da equação de infiltração acumulada, correspondente à redução de vazão inicial, deve-se fazer uma leitura no instante da redução de vazão e esperar um determinado período para o reinício das leituras, em virtude da superioridade da vazão de recessão na calha de saída em relação à calha de entrada. Sugere-se tomar a vazão média do período acima mencionado para o cálculo da infiltração no intervalo.

#### – Perdas de Água e Eficiência de Irrigação

Como se trata de diferentes sistemas de irrigação por sulcos, as análises das eficiências de irrigação foram feitas em separado. Inicialmente, avaliou-se o sistema de irrigação com sifão, manejado de maneira tradicional. Em seguida analisou-se outra modificação do sistema de irrigação por sulcos.

#### – Sistema de Irrigação com Sifão

O Quadro 2 apresenta os resultados dos cálculos obtidos com o emprego da metodologia recomendada por Bernardo *et al.* (1), tendo como base a

equação de infiltração acumulada  $D = 5.29 T^{0.57}$ , para um valor de  $R$  igual a 1. Para o cálculo da lâmina média aplicada no sulco, levou-se em consideração a vazão constante de 1.52 l/s e uma faixa umedecida de 0.80 m por sulco, ajustada em função das perdas reais de "runoff".

Quadro 2. Perdas de água por percolação profunda ( $P_p$ ) e por "runoff" ( $P_r$ ) e eficiências de distribuição ( $E_d$ ) e de aplicação ( $E_a$ ) para  $R$  igual a 1.

Repetição	$P_p$ (%)	$P_r$ (%)	$E_d$ (%)	$E_a$ (%)
1	13.94	28.44	80.52	57.62
2	14.25	26.88	80.50	58.78
3	13.94	28.44	80.52	57.62
4	13.94	28.44	80.52	57.62
Média	14.02	28.05	80.52	57.93

A Figura 4 foi construída com base nos dados obtidos em condições de campo (Quadro 2 e valores de  $R$  iguais a 0.26 e 2) e com dados simulados para valores de  $R$  iguais a 3 e 4.

Observa-se pela Figura 4, que as perdas por percolação tendem a decrescer quando o valor de  $R$  aumenta, em virtude ao aumento da lâmina infiltrada no final do sulco. Por outro lado, as perdas por "runoff" tendem a crescer como o valor  $R$ , para um mesmo comprimento de sulco, devido à diminuição da velocidade de infiltração do solo com o aumento do tempo de irrigação.

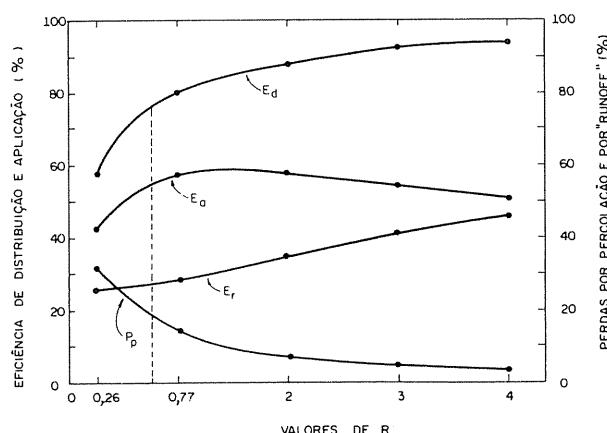


Fig. 4. Curvas de perdas de água por percolação ( $P_p$ ) e por "runoff" ( $P_r$ ) e eficiência de distribuição ( $E_d$ ) e de aplicação ( $E_a$ ) em função de  $R$ .

Verifica-se também que a eficiência de distribuição aumentou bruscamente para valores de  $R$  entre 0.26 e 1, e tendeu a crescer como valor de  $R$ , acima de 1, porém de modo menos acentuado.

Pode-se observar ainda, que a eficiência de aplicação aumentou rapidamente para valores de  $R$  entre 0.26 e 1, manteve-se praticamente constante para valores de  $R$  entre 1 e 2, quando então passou a decrescer.

Portanto, para se aumentar a eficiência de uso da água através de redução das perdas por "runoff", torna-se necessário a adoção de um sistema de irrigação que possibilite a redução da vazão inicial, ou que permita a reutilização da água de "runoff" para valores de  $R$  iguais ou maiores que 1. A adoção destas práticas terá um efeito ainda maior, na medida em que a textura do solo passa de arenosa para argilosa, devido ao aumento da vazão máxima não erosiva, redução da velocidade de infiltração e aumento da capacidade de retenção de umidade e do tempo de irrigação, o que concorre para o aumento das perdas por "runoff".

As perdas médias de água por percolação e por "runoff" e as eficiências médias de distribuição e de aplicação, para unidades de solo 37 BB da classe oxissol, encontradas por Leal (8) para a área irrigada de Bebedouro, Petrolina-PE, assumindo uma faixa de umedecimento por sulco de 1.00 m, foi de 32.72%. Tal resultado retrata um manejo deficiente de água, mesmo quando comparado com os resultados para  $R = 0.26$ , ou seja, para um tempo de oportunidade no final do sulco de apenas 5 minutos, e considerando que a faixa de umedecimento por sulco foi de 0.80 m (Figura 4).

Relacionando-se o acréscimo da lâmina infiltrada no início, com a infiltrada no final do sulco, em termos de percentagem, verifica-se diferenças bastante altas para valores de  $R$  inferiores a 1. Essas diferenças tendem a decrescer, embora de modo menos acentuado, para valores de  $R$  maiores do que 1 (Figura 5). Merriam *et al.* (9) encontraram uma diferença aproximada de 50% entre as lâminas infiltradas no início e no final dos sulcos para um valor de  $R$  igual a 2. Esta diferença pode ser devida ao tipo de solo e/ou as condições iniciais de umidade no solo e ao comprimento do sulco.

O uso de vazões inferiores à máxima não erosiva, provavelmente implicará na obtenção de um gráfico com variação ainda mais brusca que na Figura 5, o que significa um manejo de água cada vez mais eficiente.

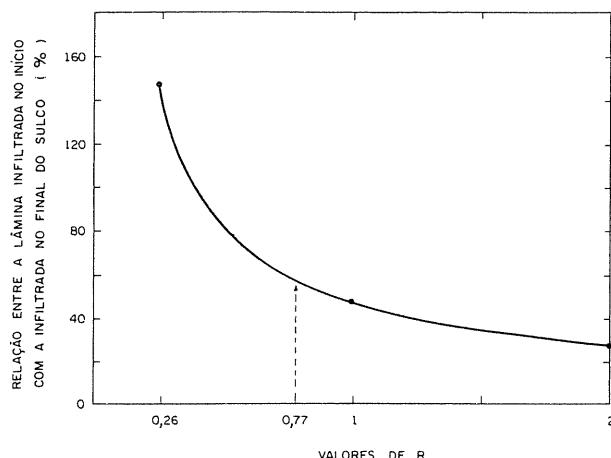


Fig. 5. Variação da lâmina infiltrada no início com a infiltrada no final do sulco versus valores de R.

O efeito do acréscimo entre a lâmina infiltrada no início em relação a infiltrada no final do sulco, acentua-se ainda mais, se for considerada a redistribuição de umidade no perfil do solo até a condição de equilíbrio dinâmico. Segundo Nielsen *et al.* (11), quanto menor o teor inicial de umidade no solo e quanto menor a lâmina infiltrada, maior é o efeito de redistribuição de umidade no perfil, reduzindo assim a disponibilidade de água para as plantas e consequentemente a sua produtividade.

A defasagem de aproximadamente 10 minutos entre o tempo de interrupção do fornecimento de água ao sulco e o tempo necessário para que toda a água remanescente no leito do sulco desapareça, (tempo de recessão) proporcionou um aumento marcante para o tempo de oportunidade ao longo do sulco, especialmente para valores de R inferiores a 1 (Figura 5). Isto significa que o uso de sulcos com declividade ligeiramente inferiores a 0.27% tenderão a amenizar as diferenças das lâminas infiltradas no início, em relação a infiltrada no final do sulco — principalmente para a condição em que a irrigação é manejada com pequeno tempo de oportunidade no final do sulco — devido ao aumento do tempo de recessão.

Levando em consideração o tempo de oportunidade ao longo do sulco, (incluindo o tempo de recessão), verificou-se que o valor de  $R = 0.26$  passou para  $R = 0.77$ , correspondendo a um aumento de 196% e a eficiência real de aplicação passou de 43 para 55% (Figura 5). Pode-se constatar ainda através da Figura 5, uma redução marcante das diferenças entre as lâminas infiltradas no início e no final dos sulcos, quando comparados com os valores obtidos pela equação ( $D = 5.29 T^{0.57}$ ). Porém, para valores de R superiores a 1, essas tendem a tornar-se bastante pequenas.

Portanto, torna-se necessário determinar para que tipo de solo, vazão, comprimento e declividade do sulco e valor de R, em que é realmente desprezível, o tempo de recessão.

A Figura 6, mostra as curvas das percentagens médias acumuladas de "runoff" em função do tempo. Verifica-se que a percentagem acumulada de "runoff" aumenta progressivamente com o valor de R. Verifica-se também, que as perdas de água por "runoff", mesmo após a interrupção do fornecimento de água ao sulco, são consideráveis, pelo menos para sulcos de declividades em torno de 0.27%.

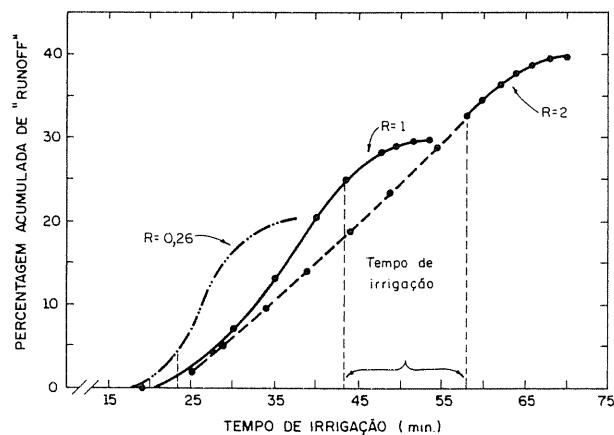


Fig. 6. Percentagem média acumulada de "runoff", em relação ao tempo de irrigação, para o sistema de irrigação com sifão, para R iguais a 0.26; 1 e 2.

A Figura 7, ilustra a influência da componente "C" (largura da faixa umedecida por sulco) no cálculo da lâmina média aplicada, calculada de acordo com Bernardo *et al.*, (1) sobre os parâmetros que são utilizados para a avaliação do sistema de irrigação por sulcos, uma vez que na maioria das vezes "C" tem seu valor assumido, ao invés de ser determinado. Pode-se constatar que a eficiência de aplicação e as perdas por percolação aumentaram com o valor da largura da faixa umedecida pelo sulco, enquanto as perdas por "runoff" diminuíram. Constatou-se também, que a superestimação do valor de "C" concorreu para a obtenção de "runoff" negativo.

Portanto, verifica-se que é de extrema importância a determinação da largura da faixa umedecida pelo sulco, em condições de campo, para que a avaliação do manejo de água no sistema de irrigação por sulcos, seja a mais real possível. A largura da faixa umedecida pelo sulco poderá ser obtida pela medição da largura do bulbo molhado, em trincheiras abertas em vários pontos ao longo do sulco, logo após a irrigação ou por meio de ajustamento em função da percentagem total de "runoff",

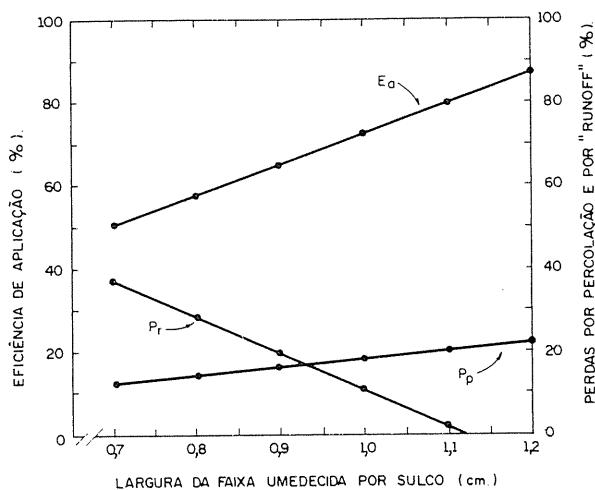


Fig. 7. Influencia da largura da faixa umedecida por sulco sobre a eficiência de aplicação ( $E_a$ ), perdas por percolação ( $P_p$ ) e por "runoff" ( $P_r$ ), no sistema de irrigação com sifão para  $R$  igual a 1.

medido diretamente no final do sulco, em relação ao volume total aplicado de água.

Uma limitação marcante do uso de sifão, no sistema de irrigação por sulcos, é a grande variação da carga hidráulica entre sifões, normalmente verificada em condições de campo, o que proporciona a aplicação de lâminas de água bastante diferente entre sulcos de um mesmo setor e/ou entre irrigações, principalmente quando os canais parcelares são muito declivosos. Para minimizar estas variações, é recomendável a construção de canais com ressaltos, nos terrenos com declividades além de 0,50%, na ocasião de instalação dos projetos.

Um outro fator que condiciona o irrigante ao uso de pequeno tempo de oportunidade no final dos sulcos, nos perímetros de irrigação, ou seja, valores de  $R$  inferiores a 1, é a distribuição de água por tempo pré-estabelecido e não por demanda.

#### – Sistema de Irrigação com Redução da Vazão

As análises das perdas de água e das eficiências de distribuição e de aplicação seguiram a mesma metodologia empregada para avaliação do sistema de irrigação com sifão.

O Quadro 3, apresenta os resultados obtidos com o emprego das equações de infiltração acumulada  $D = 6.83 T^{0.40}$  e  $D = 6.46 T^{0.44}$  para o cálculo das lâminas infiltradas no início e no final do sulco, respectivamente. Para o cálculo da lâmina média aplicada no sulco, levou-se em consideração a vazão

inicial constante de 1.52 l/s durante o tempo de avanço, quando então foi reduzida à metade, utilizando-se uma feixa de umedecimento de 0.80 m por sulco.

O Quadro 4 mostra os resultados obtidos com o emprego das equações de infiltração acumulada  $D = 5.29 T^{0.57}$  e  $D = 2.56 T^{0.64}$  para o cálculo das lâminas infiltradas durante os tempos de avanço e de oportunidade, respectivamente, conforme propuseram Bernardo *et al.* (1).

Quadro 3. Perdas de água por percolação profunda ( $P_p$ ) e por "runoff" ( $P_r$ ) e eficiência de distribuição ( $E_d$ ) e de aplicação ( $E_a$ ) para  $R$  igual a 1, com redução da vazão inicial, para as equações  $D = 6.83 T^{0.40}$  e  $D = 6.46 T^{0.44}$ .

Repetição	$P_p$ (%)	$P_r$ (%)	$E_d$ (%)	$E_a$ (%)
1	8.37	24.76	88.90	66.87
2	7.17	32.33	89.39	60.50
3	7.32	31.60	89.29	61.08
4	6.84	28.26	90.44	64.89
Média	7.42	29.24	89.50	63.34

Comparando-se os resultados do Quadro 3 obtidos com o emprego das equações  $D = 6.83 T^{0.40}$  (início do sulco) e  $D = 6.46 T^{0.44}$  (final do sulco) com o Quadro 4, obtidos pela metodologia apresentada por Bernardo *et al.* (1) para um valor de  $R$  igual a 1, verifica-se que esta superestima as lâminas infiltradas no início e no final do sulco, respectivamente. A subestimação da lâmina infiltrada no final do sulco, associada à superestimação da lâmina infiltrada no início, ocasiona uma distorção no esquema do perfil

Quadro 4. Perdas de água por percolação profunda ( $P_p$ ) e por "runoff" ( $P_r$ ) e eficiência de distribuição ( $E_d$ ) e de aplicação ( $E_a$ ) para  $R$  igual a 1, com redução da vazão inicial, para as equações  $D = 5.29 T^{0.57}$  e  $D = 2.56 T^{0.64}$ .

Repetição	$P_p$ (%)	$P_r$ (%)	$E_d$ (%)	$E_a$ (%)
1	28.95	24.37	67.72	46.68
2	25.89	29.07	63.50	45.04
3	28.73	26.21	61.08	45.06
4	29.73	24.81	60.94	45.82
Média	28.32	26.12	61.81	45.65

de infiltração, provocando um aumento teórico das perdas por percolação, assim como uma redução das eficiências de distribuição e de aplicação.

Portanto, verifica-se que para uma avaliação mais precisa do sistema de irrigação por sulcos com redução de vazão inicial, deve-se utilizar equações de infiltração acumulada obtidas em teste de infiltração usando às duas vazões em sequência.

O incremento da lámina infiltrada no inicio do sulco com relação à infiltrada no final do sulco, em termos de percentagem, para  $R$  igual a 1, é de 23,40% (comparados a 48% no sistema com sifão e vazão constante). Verifica-se, portanto, que a redução da vazão inicial apresentou uma melhor uniformidade das láminas infiltradas ao longo do sulco, quando comparado com o sistema de irrigação com sifão, utilizando vazão constante para o mesmo valor de  $R$ .

O sistema de irrigação com redução da vazão inicial, por meio do "spiles", para um valor de  $R$  igual a 1, condiciona uma redução da lámina infiltrada no final do sulco, quando comparado com o sistema de irrigação com sifão utilizando vazão constante. Assim, por exemplo, para infiltrar-se uma lámina de irrigação de 30 mm, adotando-se a redução de vazão inicial, seria necessário um tempo de oportunidade, no final do sulco, de 33 minutos, comparados a 21 minutos necessários na irrigação com sifões. Isso equivale a um valor de  $R$  igual a 1,65, ou seja, 1,65 vezes o tempo de oportunidade para aplicar-se esta mesma lámina, utilizando-se vazão constante.

Quando se considera a recessão de aproximadamente 10 minutos como parte de tempo real de oportunidade no final do sulco, esse tempo de oportunidade, proporcionou a infiltração de uma lámina de aproximadamente 29 mm, bem como uma redução das perdas de água e, consequentemente, um aumento acentuado das eficiências de distribuição e de aplicação, que passaram de 89 a 63% para 94 e 73%, respectivamente (12).

O sistema de irrigação com redução semi-automática da vazão inicial, por meio de "spiles", para  $R$  igual a 1, em sulcos de cerca de 90 m de comprimento, para culturas com sistema radicular além de 35 cm de profundidade, requererá uma maior frequência de irrigação, uma vez que trabalha com uma lámina de reposição limitada. Sugere-se ainda uma modificação no manejo de água deste sistema, de modo que o tempo de oportunidade possa ser aumentado, pelo retardamento na redução da vazão inicial, por algum tempo além do tempo de avanço. Para isto, é necessário que a obtenção das equações de infiltração acumulada seja compatível com a condição escolhida.

Uma outra alternativa, seria o uso de obstáculos instalados no final do sulco, que permita a drenagem do excesso de água e que condione um maior acúmulo de água no trecho final do sulco, de modo a proporcionar uma maior uniformidade de distribuição, e consequentemente uma redução ainda maior das perdas de água por "runoff".

Dependendo da topografia do terreno, o sistema de irrigação com redução semi-automática da vazão inicial poderá ser projetado para uma redução gradual da vazão de entrada, para valores de  $R$  iguais a 2, 3 ou 4, o que concorre para um manejo mais adequado da água de irrigação (9). Porém, parece não ser muito prático reduzir a vazão inicial mais de uma vez.

O sistema de irrigação com redução semi-automática da vazão inicial por "spiles", quando bem instalado, apresenta a vantagem de uniformizar a lámina d'água aplicada entre sulcos de um mesmo setor durante uma irrigação ou mesmo entre irrigações, devido à redução da variação de carga hidráulica entre "spiles" num mesmo setor. Além disso, reduz a necessidade de mão-de-obra, bem como de sua qualificação (6).

Apesar dos "spiles" com diâmetro igual ou maior do que 50 mm apresentarem-se bastante sensíveis ao nível de instalação, (6), eles parecem tornar-se mais viáveis, por exigir canais de paredes mais baixas e portanto mais resistentes ao desmorramento. Para estas condições, o comprimento dos "spiles" podem variar de 80 a 100 cm.

O sistema de derivação de água do canal para sulcos de irrigação por meio de "spiles", poderá permitir uma interrupção automática ou semi-automática do fornecimento de água ao sulco, pelo simples abaixamento do nível da água no canal para abaixo das aberturas do "spiles", ou mesmo manualmente, pelo simples fechamento das aberturas dos "spiles" que ainda se encontram submersos após o segundo abaixamento do nível da água no canal referente a um setor específico, para o caso de  $R$  igual a 1.

## Conclusões

Nas condições em que os testes foram realizados, os resultados deste trabalho proporcionaram as seguintes conclusões:

A vazão máxima não erosiva teórica calculada pela equação citada por Hamad e Stringham (5) apresentou uma melhor aproximação da vazão máxima não erosiva real.

As perdas por percolação tenderam a decrescer e as perdas por "runoff" a crescer quando o valor de R aumenta, para um mesmo comprimento de sulco, sob condições de vazão constante.

A eficiência de distribuição aumentou bruscamente para valores de R entre 0.26 e 1, e tendeu a crescer com o valor de R, acima de 1, porém de modo menos acentuado, sob condições de vazão constante. A eficiência de aplicação aumentou rapidamente para valores de R entre 0.26 e 1, manteve-se praticamente constante entre 1 e 2, quando então passou a decrescer.

Verificou-se que as perdas de água por "runoff" obtidas por equações empíricas são praticamente iguais às perdas determinadas por medição direta em condições de campo, tanto para vazão constante quanto para vazão inicial reduzida. O volume total acumulado de "runoff" por sulco, obtido no sistema de irrigação manejado sob vazão constante é praticamente o dobro de volume acumulado obtido no sistema de irrigação em que a vazão inicial foi reduzida à metade, para R igual a 1.

#### Resumo

Foi feito um estudo comparativo entre dois tipos de irrigação por sulcos. Um dos tipos constou da aplicação de uma vazão constante através de sifões, para valores de R iguais a 0.26; 1.0 e 2.0. O outro tipo consistia na redução semi-automática da vazão inicial no final do tempo de avanço, usando-se "spiles", que reduziam a vazão à metade, para R igual a 1.0

Observou-se que as perdas por percolação tenderam a decrescer, enquanto as eficiências de aplicação e distribuição aumentarem, juntamente com as perdas por "runoff", no caso da vazão constante, quando o valor de R aumentou. No caso em que houve redução de vazão, as perdas por "runoff" foram reduzidas à metade, para R igual a 1.0.

Outras observações complementares foram feitas quanto à adequabilidade das equações empíricas para estimar perdas por "runoff", obtendo-se correlação satisfatória com as medições diretas.

#### Literatura citada

1. BERNARDO, S.; RESENDE, M. e ARAUJO, J. J. Eficiência de irrigação em sulco com redução da vazão inicial. Revista Ceres, Viçosa, 24(133):261-277. 1977.
2. BERNARDO, S. Água no solo. Viçosa, U. F. V., 1977. 23 p. Boletim de Extensão, 1.
3. CRIDDLE, W. D.; DAVIS, S.; PAIR, C. H. e SHOCKLEY, D. G. Methods for evaluating irrigation systems. Washington D. C., USDA, 1969. 24 p. Agriculture Handbook, 82.
4. GARTON, E. J.; BRASLEY, R. P. e BAREFOOT, A. D. Automation of cutback furrow irrigation. Agricultural Engineering 328-329. 1964.
5. HAMAD, S. e STRINGHAM, G. E. Maximum nonerosive furrow irrigation stream size. Journal of the Irrigation and Drainage Division. New York, 104 IR 3:275-281. 1978.
6. HART, N. E. Irrigation reuse systems (A proposed new ASAE engineering practice) ASAE, St. Joseph. Paper N° 75-2542. 1975. 24 p.
7. HUMPHERRYS, A. S. Automatic furrow irrigation systems. Transactions of the ASAE, St. Joseph, 14(3):466-470. 1971.
8. LEAL, M. V. P. Determinação da eficiência de irrigação a nível de parcela no Projeto de Irrigação Bebedouro - Petrolina, Pernambuco, Viçosa, Imprensa Universitária, 1974. 94 p. (Tese M. S.).
9. MERRIAM, J. L.; KELLER, J. e ALFARO, J. F. Irrigation system evaluation and improvement. Logan, Utah State University, 1973. (pag. irreg.).
10. NICOLAESCU, I., e KRUSE, E. G. Automatic cutback furrow irrigation systems design. Journal of the Irrigation and Drainage Division, New York, 97 IR 3:343-353. 1971.
11. NIELSEN, D. R.; BIGGAR, J. W. e ERB, K. To spatial variability of field-measured soil-water properties. Hilgardia. 42(7):214-259. 1973.
12. PEREIRA, J. M. A. e SOUZA, R. A. Mapeamento detalhado da área de Bebedouro, Petrolina, PE. Recife, MINTER/SUDENE, 1967. 57 p. (Relatório).
13. WU, I. P. Recession flow in surface irrigation. Journal of the Irrigation and Drainage Division, New York. 98 IR 1:77-90. 1972.

# INFLUENCE OF SPECIFIC GRAVITY OF SEEDS ON EARLY SEEDLING GROWTH AND DEVELOPMENT IN CACAO<sup>1</sup> /

P. N. RAVINDRAN\*

## Resumen

Las semillas de cuatro tipos forasteros de cacao fueron asignadas a seis grupos en función de su gravedad específica (g.e.) utilizando un sistema agua-azúcar (sacarosa). Tales grupos fueron g.e. menor de 1.00; de 1.00 a 1.03; de 1.03 a 1.06; de 1.06 a 1.09; de 1.09 a 1.12; y superior a 1.12. Las semillas de cada grupo fueron estudiadas en relación a su influencia sobre la germinación, desarrollo del tallo y la raíz, producción foliar, y peso fresco y peso seco de tallos y raíces. Se tomó nota de las variaciones entre los tipos respecto a la distribución de semillas por cada grupo de gravedad específica, así como por su influencia en las características de las plántulas. Así, un incremento en gravedad específica fue altamente correlacionado con un incremento en desarrollo y en producción de materia seca. Debido a esta relación, el método puede ser utilizado en la selección masal de semillas de cacao para mejor desarrollo de las plántulas y posiblemente también para una mayor habilidad en llegar a establecer. La selección a favor de semillas de elevada gravedad específica asegurará una mayor uniformidad de plántulas vigorosas y puede resultar beneficiosa en promover una mayor habilidad en llegar a establecer así como tolerancia a la sequía durante el período crítico inicial de crecimiento.

## Introduction

**M**ass selection based on seed weight and specific gravity is being used in selection programmes in soybeans (6, 7, 14). Seed weight and density are known to influence germination, seedling growth and vigour and later performance in rice (15), wheat (12), barley (4), rye (7) *Phalaris* (19), *Lolium* (16) and *Bromus* (17). Seed characters were reported to be influencing establishment ability also (1, 12, 20). Mc Daniel (9) has shown that seed weight was positively associated with seedling vigour and mitochondrial metabolism. Heavy seeds have got greater growth potential than light seeds and this was shown

by enhanced mitochondrial protein synthesis, greater enzyme production and higher respiratory rate.

The available literature on the subject mostly are related to annuals or perennial grasses and only very few studies are made on perennial tree species. Heavier seeds were reported to influence the quality and vigour of seedlings in arecanut (3, 4) cashew (11, 18) and rubber (13). Menon, Ravindran and Nair (10) recently showed that in cashew specific gravity of seeds has got significant influence on germination rate, germination period and seedling vigour. The present work was undertaken to study whether specific gravity differences have any bearing on seedling growth and vigour in cacao. A major limiting factor for cocoa cultivation in India is the long spell of drought for about 5-6 months. This in turn leads to poor establishment of seedlings under field conditions. Hence it became necessary to explore the possibilities to identify seedlings that have got better establishment ability and greater vigour. This was the aim to initiate this work which forms part of a long term programme on breeding for drought resistance in cocoa.

1 Received for publication April 9, 1980.  
Contribution No. 146 from Central Plantation Crops Research Institute, Regional Station, VITTAL-574 243 Karnataka State, India. I am thankful to Mr BP Nair for helping in statistical analysis and to Mr. MA Rao and U Annayya for technical assistance

\* Present address: CPCRI Regional Station Calicut, 673 012, Kerala, India

### Materials and Methods

In the present study more stress was given to specific gravity (sg.) of seeds than seed weight because the latter might be influenced by moisture content. Specific gravity of seeds has been defined as the ratio of the weight of a given volume of seed to that of an equal volume of another substance used as a standard (6). A graded series of sugar solutions with increasing sg were used for classifying seeds of four forastero cocoa genotypes. The material for the study came from the seedling progenies of cocoa genotypes introduced from Malaysia and maintained at the CPCRI Regional Station at Vittal. The seeds from mature pods were cleaned and were grouped into different sg classes by immersing them in distilled water and sugar solutions of increasing sg. The seeds were kept for 4-5 minutes before taking them to the next higher sg solution. After each, the seeds were blotted dry. Six sg groups were recognized: (1) below 1.00; (2) 1.00-1.03 (3) 1.03-1.06 (4) 1.06-1.09 (5) 1.09-1.12 and (6) above 1.12.

A sample of seeds from each sg group was sown in washed river sand in polybags, kept in uniform shade in a polyethylene-roofed house, and under uniform conditions. Germination, growth, and other characters were recorded for a sample of 25 seedlings from each treatment. On the 40th and 80th days a 2% solution of an NPK fertilizer mixture (Suphal) was given at the rate of 250 ml per bag. On the 100th day the seedlings were taken out by cutting open the polybags and immersing them in water so that the root system could be obtained without damage. Shoot length, root length, number of leaves, fresh and dry weight of root and shoot were recorded. Dry weight was recorded after drying the roots and shoots at 100°C for 48 h.

### Results and Discussion

The distribution of seeds in the various sg groups was found to differ in the four genotypes studied (Figure 1). In one, the distribution was almost normal while in others it was very much uneven and the majority of the seeds were concentrated in one or two sg groups. Only one type gave a few seeds having sg. above 1.12. In all the types the highest number of seeds were in the 4th sg. group (1.06-1.09). In one case the first group (below 1.00) was also absent. In three out of four, the percentage of seeds falling in different sg groups increased sharply as the sg. increased from the third (1.03-1.06) to fourth (1.06-1.09) group.

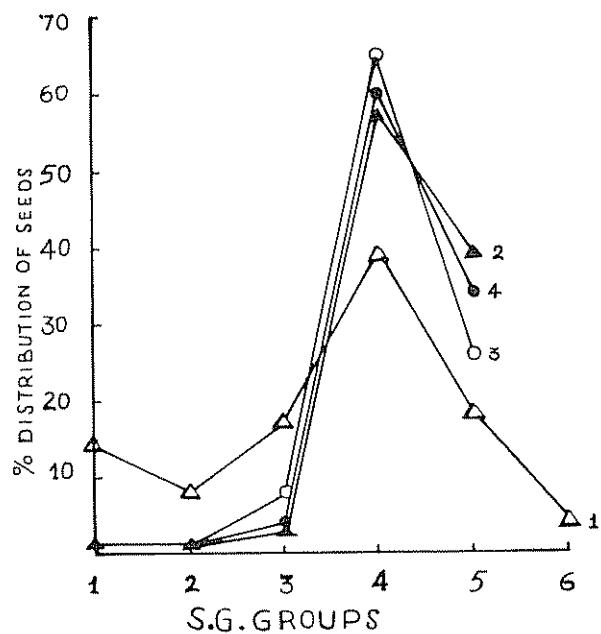


Fig. 1 Distribution of seeds in different sg groups in four cacao cultivars

Certain amount of variability could be expected in cocoa because of its heterogenous nature. Still the distribution pattern of sg. groups was probably an inherent character because the same pattern was noticed when seeds were collected from different trees of the same genotypes and studied. Seed weight was found to be not influenced by sg. in two types while in other two, seeds of higher sg. had higher seed weight.

Germination rate and the time required for germination (germination period) were not very much affected by the sg. differences. Reduction in germination rate was noted only at the two lower sg. groups. The seeds with sg. below 1.00 gave only 36% germination and the second group (sg. 1.00-1.03) gave only 72%. All the other sg. groups gave uniformly high germination. The reduction in germination noted at low sg. might be due to the improper development of the embryo or cotyledons or both. In cashew significant differences were recently reported (10) in germination rate and germination period among the different groups of seeds. They calculated a vigour index based on these parameters that could be of use in seed selection. Such marked differences were not found in the case of cacao. Differences between the two species could be expected because of the difference in their physiological condition; in cocoa the seeds were fresh and physiologically active and the process of germination started immediately after sowing while in cashew the seeds were dormant and dry.

Though growth rate was recorded after 30 days and 100 days, only the final observation was analysed. After 100 days, shoot length was significantly different in the various sg. groups. In all the types, there was general increase in shoot length as the sg. increased, reaching the highest values in fourth and fifth groups (Figure 2). Deviation from this general relationship was noted only in the last sg group of type 1. This deviation could not be explained, but here the sample was too low (only six plants) for a reliable estimation. In the other cases high correlation was noted between sg and shoot length (Table 1). The coefficient of correlation was highly significant in one of the types, but not so in the others. Similar results were also obtained in the case of cashew (10). The results also indicated that if the two lower sg groups were discarded it could be possible to produce vigorous seedlings of uniform stand.

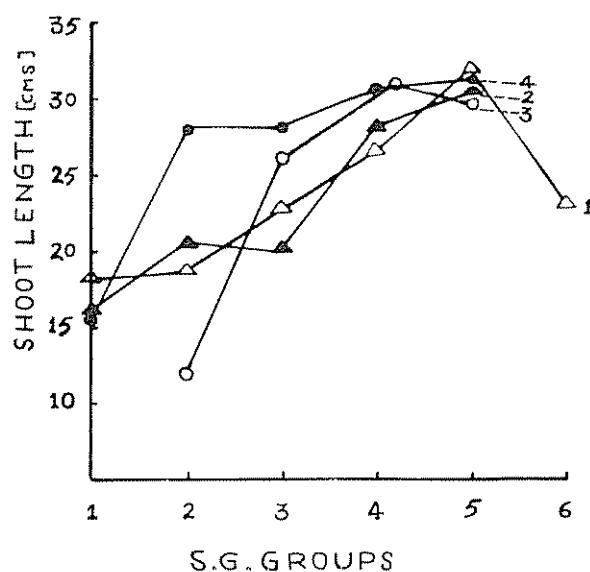


Fig. 2 Influence of sg of seeds on length of shoots in four cacao cultivars

Similarly as the sg. increased, a proportionate increase in root length was noted. This relationship was most evident in type 2, less evident in 3 and 4 and least in 1. In all the cases the higher sg groups gave considerably higher root growth, the maximum being in 4th and 5th groups. In cashew it has been reported that sg. differences did not affect root growth significantly. This lack of effect has been explained by the authors to be due to the spatial constraint imposed by the container bag.

Fresh shoot and root weights increased with the increasing sg. of seeds. In the case of shoot weight the increase was proportionate, deviation observed only in one case (Figure 4). The highest values were obtained in the highest sg. class (1.09-1.12). In all the types the weight increases were very sharp between the lowest and other sg. groups. Correlation between sg. and shoot growth was high in all the cases

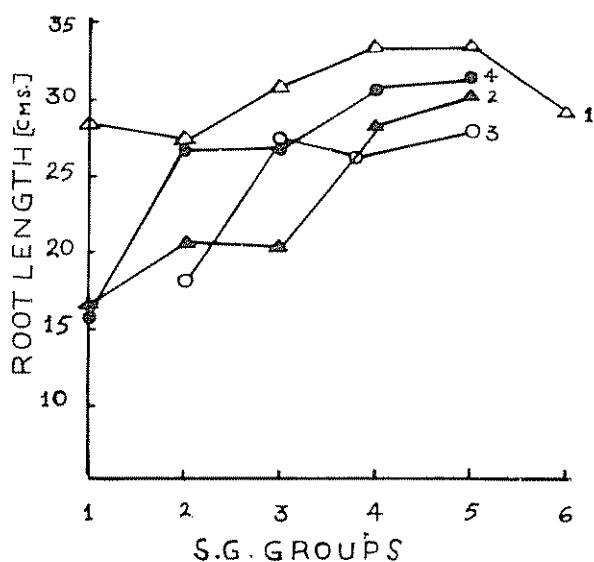


Fig. 3 Influence of sg of seeds on root length in four cacao cultivars

Table 1. Correlation coefficients of different sg. groups and their early growth characters.

Variety	Shoot length	Root length	Fresh shoot weight	Fresh shoot weight	Dry shoot weight	Dry root weight
1	0.60	0.44	0.66	0.65	0.48	0.66
2	0.98**	0.77**	0.97**	0.90*	0.97**	0.96**
3	0.84	0.77	0.76	0.75	0.62	0.60
4	0.74	0.41	0.78	0.88*	0.83	0.98*

\* Significant at P = 0.05 level.

\*\* Significant at P = 0.01 level.

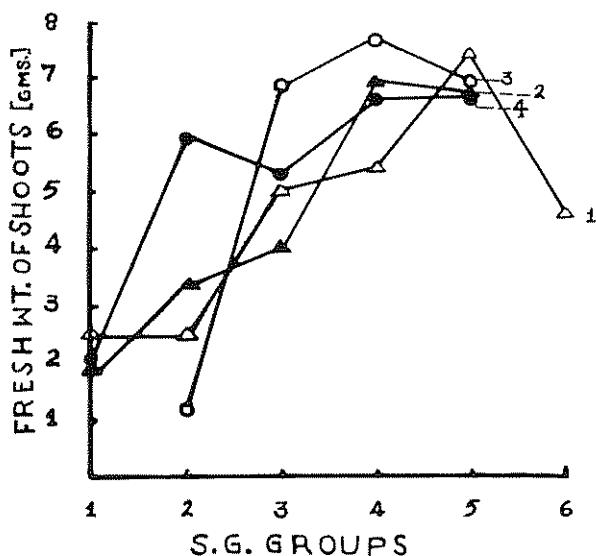


Fig 4 Influence of sg of seeds on fresh weight of shoots in four cacao cultivars.

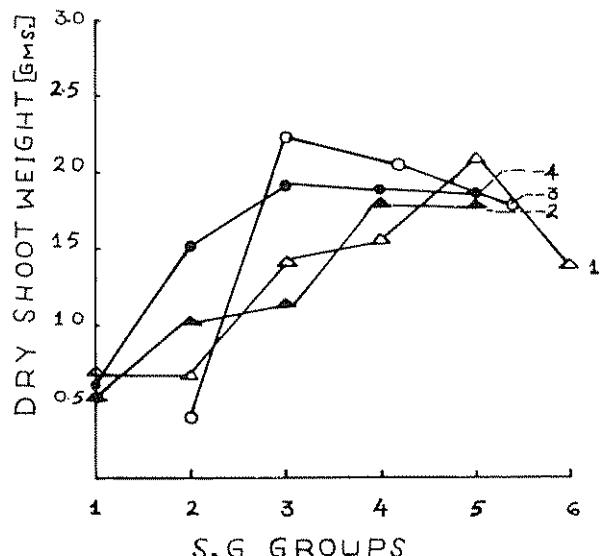


Fig 6 Influence of sg of seeds on dry shoot weight in four cacao cultivars

(Table 1). Similarly root weight was also found to have high correlation with sg (Figure 5, Table 1). Similar results were also recorded for cashew (10) for shoot weight while for root weight the differences were not significant.

Dry matter production as noted from dry weight of shoot and root was significantly more in the higher sg. groups (Figures 6, 7). High coefficient of

correlation was observed in all the cases except in type 1 (Table 1). This increase in dry matter production could be the cumulative effect of better root and shoot system development, better assimilation rate and enhanced mitochondrial activity. Studies (9) have shown that heavier seeds have enhanced enzyme production, respiratory rate and mitochondrial protein synthesis. The net result of these effects is reflected in greater dry matter accumula-

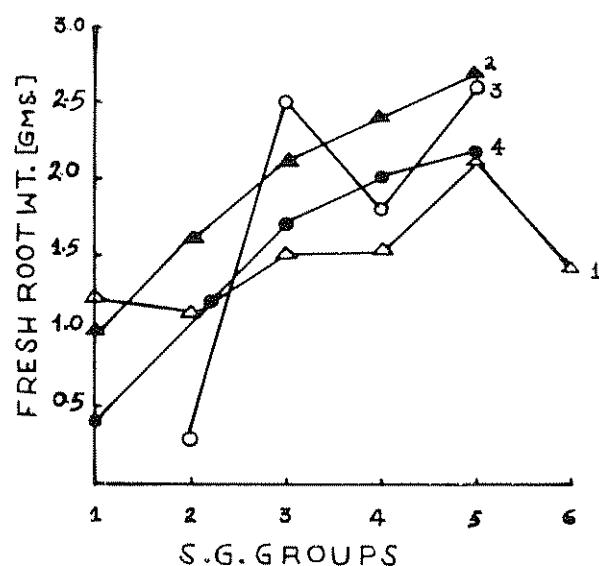


Fig 5 Influence of sg. of seeds on fresh weight of roots in four cacao cultivars.

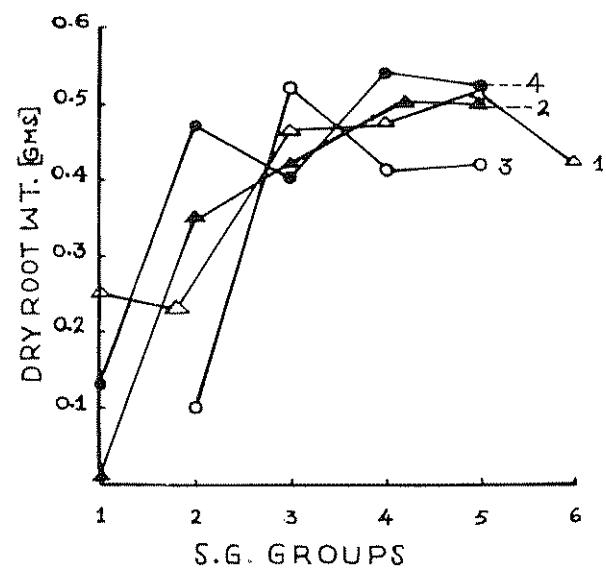


Fig 7 Influence of sg of seeds on dry root weight in four cacao cultivars.

tion and more vigorous growth of seedlings. Similar results were also reported in cashew (10).

Leaf production was not significantly different in any of the cases. Interestingly leaf production was found to have no correlation with any other seedling characters in cashew too, and leaf number was found to be not influenced by the sg differences of seeds (10). This perhaps indicates that the greater shoot growth can be due to an enhancement in cell elongation rather than an accelerated cell cycle leading to more leaf production, which in turn is related to endogenous levels of growth factors such as gibberellic acid.

The results indicated variability between types both in regard to distribution of seeds in the various sg groups and in their influence on seedling characters. In type 2, all the characters were significantly correlated with sg, and in other types the coefficients of correlation were high for many of the characters studied. In general, growth and vigour increased with an increase of sg. At least in the case of many annuals and perennial grasses the available evidences show that a positive association exists between seed weight and seedling vigour during both germination and early growth stages. Mac Daniel (9) has shown that heavier seeds have got greater growth potential and that this was shown by enhanced mitochondrial protein synthesis, greater enzyme production and higher respiratory rate. The higher root and shoot development and dry matter production may be indicating a better efficiency of the root system and assimilatory organs, an accelerated cell growth which in turn is related to endogenous levels of growth factors. All these may be important in the successful establishment of the seedling in the early critical period of growth.

Seed vigour is an indication of its potential and for a tree crop like cocoa, selection of seed is of primary importance. Specific gravity of seeds can be employed as an easy mass selection criterion for selecting vigorous seeds that can give seedlings of greater vigour, and may prove beneficial in enhancing establishment ability and drought tolerance in the initial critical period of growth. Since selection can shift the population mean, selecting for higher sg could be useful in raising the population mean of the progenies with respect to the character. It has been shown in the case of soybean that sg is related to protein and fat contents of the seeds. If such a relationship exists in cocoa, which is very likely, then sg selection becomes useful in raising the population mean with respect to fat or protein contents. This character is thus worth including in the future breeding programmes.

In India at present no high yielding selections or hybrids are available; and no selection of parent trees or seeds is being practiced. Under these circumstances the results of the present study assume greater significance as it suggests a method of selecting cocoa seeds, that could lead to more vigorous seedlings, better establishment ability and subsequently more robust trees.

### Summary

Seeds from four cacao forastero types were grouped into six specific gravity (sg) groups using a water-sucrose system. The groups were as follows: sg. below 1.00; 1.00-1.03; 1.03-1.06; 1.06-1.09; 1.09-1.12; and above 1.12. The seeds from each group were studied in relation to their influence on germination, shoot and root growth, leaf production, fresh and dry weight of shoots and roots. Variations among the types were noted both in respect to the distribution of seeds in the various sg groups, as well as in their influence on seedling characters. An increase in sg was strongly correlated with an increase in growth and dry matter production. Because of the relationship existing between high sg and growth and dry matter production, this method could be used in mass selecting cocoa seeds for better seedling growth and possibly also for better establishment ability. Selection for high specific gravity seeds will ensure uniformly vigorous seedlings, and may prove beneficial in enhancing establishment ability and drought tolerance in the initial critical period of growth.

### Literature cited

- ALLAN, R. E., VOGEL, O. A., RUSSEL, T. S., and PETERSON, C. J. Relation of seeds and seedling characteristics to stand establishment of some dwarf wheat selections. *Crop Science* 5:5-8. 1965
- AUSTENSON, P. M., and WALTON, P. D. Relationships between initial seed weight and mature plant characters in spring wheat. *Canadian Journal Plant Science* 50:53-58. 1970.
- BAVAPPA, K. V. A. and ABRAHAM, K. J. Influence of seed weight on the quality of seedlings in arecanut. *Arecanut Journal* 12:129-135. 1961.

4. BAVAPPA, K. V. A., RAMACHANDER, P. R., and VELAPPAN, E. Correlation studies in *Areca catechu* Linn. I. Time of germination, Barlett's index, vigour of sprouts, and seedlings. *Arecanut Journal* 15:62-66. 1964.
5. BOYED, W. J. R., CORDON, A. G., and La CROIX, L. J. Seed size, germination resistance and seedling vigour in barley. *Canadian Journal Plant Science* 51:93-99. 1971.
6. FEHR, W. R. and WEBER, C. R. Mass selection by seed size and specific gravity in soybean populations. *Crop Science* 2:159-162. 1968.
7. HARTWIG, E. C. and COLLINS, F. I. Evaluation of density classification as a selection technique in breeding soybeans for protein or oil. *Crop Science* 2:159-162. 1962.
8. LAWRENCE, T. A comparison of methods of evaluating Russian wild rye grasses for seedling vigour. *Canadian Journal Plant Science* 43:307-312. 1963.
9. McDANIEL, R. G. Relationship of seed weight, seedling vigour and mitochondrial metabolism in barley. *Crop Science* 9:823-827. 1969.
10. MENON, M. A., RAVINDRAN, P. N. and NAIR, B. P. Influence of seed vigour on seedlings of cashew (*Anacardium occidentale* L.) Planter, Kuala Lumpur 55:199-205. 1979.
11. NORTHWOOD, P. J. The effect of specific gravity of seed on the growth and yield of cashew (*Anacardium occidentale* L.) E. Afr. Agricultural For. Journal 33:159-162. 1967.
12. RAFII, Z. E. and BARNETT, F. L. Seed characteristics and field establishment in indiangrass. *Sorghastrum nutans* (L.) E. A. Nash. *Crop Science* 10:258-262. 1970.
13. SARASWATHY AMMA, C. K. and NAIR, V. K. B. Relationship of seed weight and seedling vigour in *Hevea*. *Rubber Board Bull.* 13(2):28-29. 1976.
14. SMITH, R. R. and WEBER, C. R. Mass selection by specific gravity for protein and oil in soybean populations. *Crop Science* 8:373-377. 1968.
15. SUNG, T. Y. and DELOUCHE, J. C. Relation of specific gravity to vigour and viability in rice seed. *Proceedings Ass. Off. Seed Analysis* 52:162-165. 1962.
16. THOMAS, R. L. The influence of seed weight on seedling vigour in *Lolium perenne*. *Annual Botany* 30:111-121. 1966.
17. TOSSEL, W. E. Early seedling vigour and seed weight in relation to breeding of smooth bromegrass, *Bromus inermis*. Leyss. *Canadian Journal Plant Science* 40:268-270. 1960.
18. TURNER, D. J. Some observations on the germination and grading of cashewnuts. E. African Agricultural Journal 22:35-39. 1956.
19. WHALLEY, R. D. B. and McKELL, C. M. Interrelation of carbohydrate metabolism, seedling development and seedling growth rate of several species of *Phalaris*. *Agronomy Journal* 69:223-226. 1967.
20. WRIGHT, L. N. Drought influence on germination and seedling emergence. In *Drought Injury and Resistance in Crops* pp 19-44. CSSA, Madison, U.S.A. 1971.

FLUTUAÇÃO POPULACIONAL DE PARASITOS E PREDADORES DE  
*Perileucoptera coffeella* (Guérin-Mèneville, 1842) EM TRÊS LOCALIDADES DO ESTADO  
DE SÃO PAULO<sup>1</sup> /

J. R. P. PARRA\*  
W. GONÇALVES\*\*  
A. A. C. M. PRECETTI\*

Abstract

The fluctuation of parasites and predators of the coffee leaf miner *Perileucoptera coffeella* (Guérin-Mèneville, 1842) (*Lepidoptera-Lyonetiidae*) was studied in Campinas, Franca and Pindorama in the State of São Paulo, Brazil, from 1975 to 1977. The objective of this research was to identify the species as well as to study the frequency of their occurrence in those three localities.

The highest populational levels occurred from September to February, during the rainy season.

A variation was observed among the parasitic species (Braconidae, Eulophidae) and their frequencies according to the geographic region. This pattern was not observed among the predators (Vespidae). It seems that alterations have occurred among parasites and predators species of the coffee leaf miner in the last years.

The possibility of a higher incidence of the coffee leaf miner due to the destruction of natural enemies by inadequate use of pesticides on the coffee plantations is discussed, based on the results of this period of study.

Introdução

O bicho-mineiro *Perileucoptera coffeella* (Guérin-Mèneville, 1842) é originário da Etiópia, de onde se espalhou para outras regiões produtoras

1 Recebido para publicação 12 junho, 1981. Trabalho parcialmente executado com auxílio do Instituto Brasileiro do Café (I. B. C.). Agradecimentos ao Dr. Luis De Santis, da Facultad de Ciencias Naturales y Museo, La Plata, Argentina e Dra. Ines del Carmen Redolfi da Universidad Nacional de Córdoba pela identificação das espécies de Braconidae e Eulophidae, e à Dra. Vilma Maule Rodriguez da Faculdade de Filosofía, Ciências e Letras de Rio Claro – UNESP, pela confirmação das espécies de Vespidae.

\* Bolsistas do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq). Professor Assistente Doutor do Departamento de Entomologia da ESALQ-USP; Aluno do CPG em Entomologia da ESALQ-USP.

\*\* Secão de café, Instituto Agrônomo de Campinas.

de café. Fonseca (10) relatou que o bicho-mineiro provavelmente entrou no Brasil em 1851, embora a primeira referência como pragá do cafeiro seja de 1860-1861, quando o inseto se manifestou em quantidades alarmantes nos cafezais das províncias do Rio de Janeiro, Minas Gerais e Bahia. Após alguns anos, a praga já ocorria em todas as regiões cafeiras do Brasil. Os ataques desse inseto eram, porém, esporádicos e sempre na época seca do ano, ocorrendo surtos maiores em apenas alguns anos, como em 1912 e 1944 (22). Nos últimos anos, no entanto, vem atacando com intensidade maior e com uma incidência anormal pois, em algumas regiões, vem ocorrendo em altos níveis populacionais mesmo no período chuvoso do ano. Nesses locais, o inseto constitui-se no principal problema fitossanitário da cultura, ocasionando a redução de 37 a 50% na produção dos cafeeiros (1,20).

Segundo Parra *et al.* (19) diversos fatores podem estar influindo na incidência anormal da praga, tais

como alteração do sistema de condução da cultura devido ao aparecimento da ferrugem, fatores climáticos, ciclo bienal do café ligado a problemas nutricionais; presença ou ausência de ervas daninhas nos cafezais, aplicação de cúpricos para combater o fungo da ferrugem, etc. O fato é que todos esses fatores, atuando isolados ou conjuntamente, poderão determinar maiores ou menores infestações da praga.

Diversos trabalhos relacionam o parasitismo com os níveis populacionais do bicho-mineiro, como os de Ihering (11), Ferrière (9), Tapley (23), Eveleens (7, 8), Kerrich (12), Crowe (4) e Weaving (25).

Embora no Brasil vários autores tenham relacionado os parasitos e predadores de *P. coffeella* (15, 17, 19, 26) ainda não se conhece a distribuição das espécies e a época de ocorrência destes inimigos naturais nas principais regiões cafeeiras do Estado de São Paulo. Esse conhecimento é necessário para racionalizar o controle da praga, evitando-se, dentro do possível, a destruição desses inimigos naturais.

Na presente pesquisa estudou-se a flutuação populacional das espécies de inimigos naturais de *P. coffeella* que ocorreram em Campinas, Franca e Pindorama, no período de 1975-1977, correlacionando-a com os surtos da praga.

#### Material e métodos

Foram estudadas três áreas cafeeiras do Estado de São Paulo: Campinas, Franca e Pindorama (Figura 1).

Em Campinas, o ensaio foi realizado no Centro Experimental do Instituto Agronômico, em comunidades da cultivar Catuai, de 3 a 10 anos de idade, plantadas no espaçamento de 3.5 x 2.0 metros; em Franca, a área experimental foi instalada na Fazenda Santa Rosa, em cafeeiros da cultivar Catuai, espaçados de 4.0 x 2.5 m, com 3 anos de idade; em Pindorama, o ensaio foi conduzido em cafeeiros pertencentes à linhagem Catuai, espaçados de 3.5 x 2.0 metros, com 4 anos de idade, localizados na Esta-

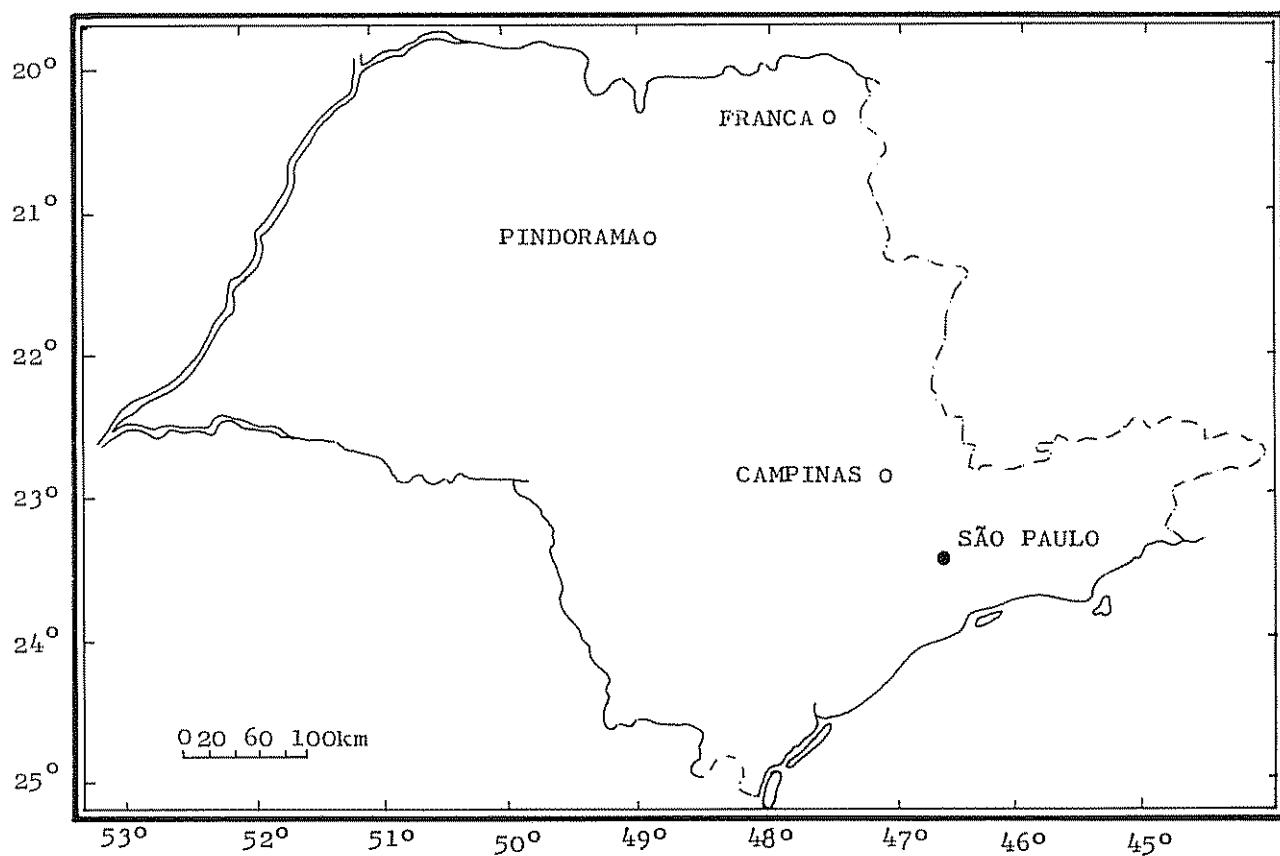


Fig. 1. Localidades onde foram realizados os estudos de flutuação populacional de parasitos e predadores de *P. coffeella* 1975-1977.

ção Experimental do Instituto Agronômico. Foram selecionados cafezais conduzidos em espaçamentos mais largos, por serem mais atacados pela praga (18).

Para efeito de amostragens, consideraram-se parcelas com 15 plantas, com 5 repetições, sendo consideradas úteis para coleta, somente as 3 plantas centrais das parcelas. Essas plantas, durante o período experimental, não receberam nenhum tratamento fitossanitário.

As amostragens foram realizadas mensalmente (quinzenalmente nos meses de maiores ataques) no período de agosto de 1975 a maio de 1977, coletando-se 5 folhas atacadas pelo bicho-mineiro, por planta, num total de 75 folhas por tratamento e 25 crisálidas para emergência de adultos da praga e de seus parasitos.

As folhas foram coletadas do 3º e 4º internódios na parte superior da planta, por serem as mais atacadas pela praga (16, 24).

Contou-se o número de lesões causadas por *P. coffeella* por folha, as quais eram abertas sob um microscópio estereoscópico, registrando-se o número de lagartas vivas, parasitadas, mortas não parasitadas e pupas de parasitos (Eulophidae) encontradas ao lado das lagartas parasitadas. Anotava-se também a predação, visualizada através dos sinais característicos das mandíbulas das vespas na parte inferior

(*Brachygastra lecheguana* Latreille e *Polybia occidentalis scutellaris* White) ou superior (*Protonectarina sylveirae* Saussure) das lesões.

As crisálidas do bicho-mineiro eram colocadas no interior de recipientes de vidro de 3 x 6 cm para a emergência dos adultos e dos parasitos. Os exemplares de predadores foram coletados com auxílio de redes entomológicas.

## Resultados e discussão

No Quadro 1 e Figura 2 são relatadas as espécies de parasitos de *P. coffeella* coletadas em Campinas,

Quadro 1. Espécies de parasitos coletadas em Franca, Campinas e Pindorama, com as respectivas porcentagens de ocorrência. 1975-1977.

	Pindorama	Campinas	Franca
<b>Braconidae</b>			
<i>C. letifer</i>	51.41	13.98	11.76
<i>E. punctatus</i>	11.97	6.45	2.94
<i>Mirax</i> sp.	0.70	—	—
<b>Eulophidae</b>			
<i>P. coffeae</i>	7.04	30.11	44.12
<i>Tetrastichus</i> sp.	8.45	9.68	—
<i>Horismenus</i> spp.	20.43	39.78	41.18

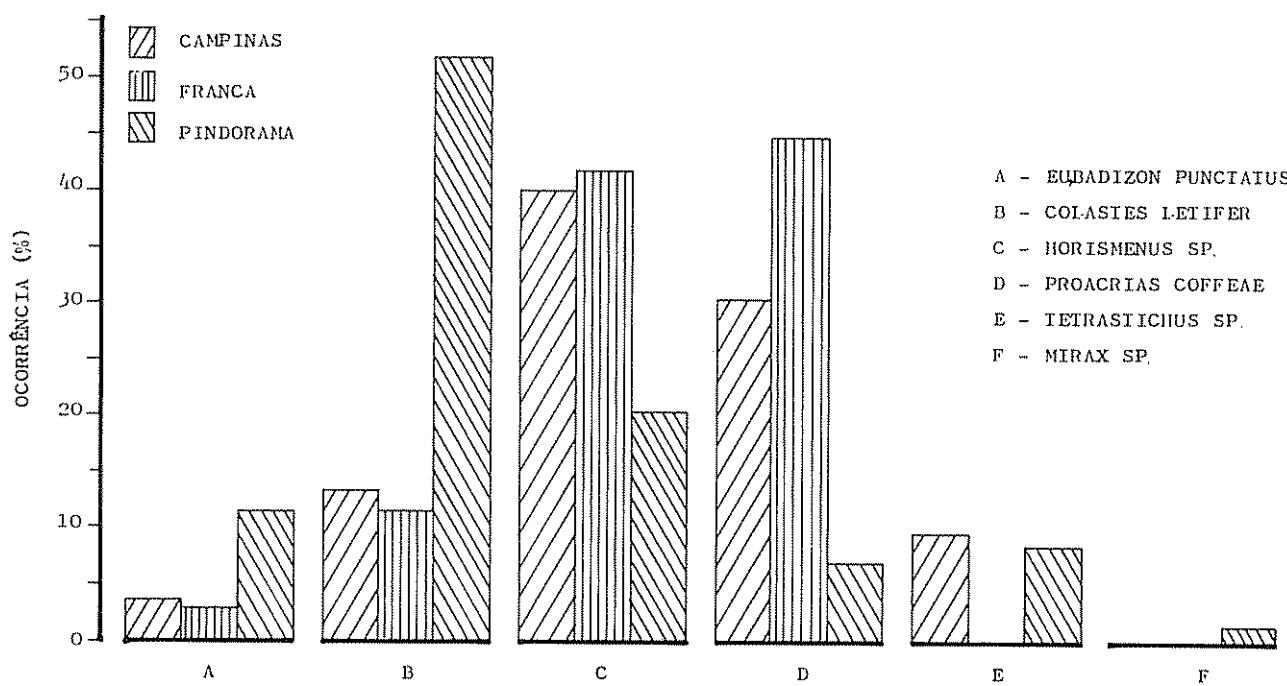


Fig. 2. Porcentagem de ocorrência de parasitos de *P. coffeella* em Campinas, Franca e Pindorama 1975-1977

Franca e Pindorama. Observa-se que houve em Pindorama predominância de braconídeos em relação a eulofídeos. Os resultados obtidos concordam com os observados por Parra (18), que registrou a predominância de braconídeos, quando considerou Campinas e Pindorama de uma forma conjunta. Para Campinas e Franca, verificou-se maior ocorrência de eulofídeos. Le Pelley (13) relatou também para a América do Sul e Antilhas uma predominância de eulofídeos.

Quanto à ação predatória de vespas, verificou-se a predominância de *B. lecheguana* em relação a *P. occidentalis scutellaris* e a quase inexistência de *P. sylveirae* em todas as regiões estudadas.

Assim como Tapley (23) observou alteração na ocorrência das espécies que parasitavam o bichomineiro em Lyamungu (África), também em São Paulo parece estar ocorrendo fato semelhante, pois *Eubadizzon punctatus* Redolfi, que nunca fora referido no Brasil (18), foi coletado nas três regiões analisadas, sendo que em Pindorama ocorreu na proporção de 11.97% das espécies estudadas (Quadro 1 e Figura 2).

O mesmo fenômeno parece estar ocorrendo com os predadores, pois Nogueira Neto (17) citou as espécies *B. augusti* e *P. sylveirae* como predadores, tendo coletado essas vespas no Centro Experimental de Campinas. Exemplares coletados nesse local, em Pindorama e Franca, na presente pesquisa, foram

identificados como *B. lecheguana* e *P. occidentalis scutellaris*. Como *B. lecheguana* é de tamanho bem maior que *B. augusti* e, portanto, difíceis de serem confundidas, é de supor que esteja ocorrendo uma mudança nas espécies predadoras.

Na Figura 3 estão indicados dados sobre o número médio de lagartas vivas de *P. coffeella*, em folhas lesionadas e o número de pupas de Eulophidae encontradas. Observa-se que a praga pode ocorrer, em algumas regiões, em altos níveis populacionais, inclusive, no período chuvoso do ano (setembro-março), o que contraria a hipótese de tratar-se de uma praga que preferencialmente ocorre no período seco. Nota-se que a flutuação da praga varia segundo as localidades estudadas.

A Figura 4 mostra as porcentagens de lagartas mortas e de sinais das mandíbulas das vespas nas lesões das folhas. Pelas Figuras 3 e 4 nota-se que os níveis populacionais dos parasitos e predadores foram maiores, de um modo geral, de setembro a fevereiro. O motivo da maior ocorrência desses inimigos naturais, nesse período, talvez seja devido aos altos níveis populacionais da praga em julho-agosto. Portanto, a maior população dos inimigos naturais ocorreria alguns meses depois, ou seja, no período chuvoso do ano.

A Figura 5 mostra a porcentagem de lagartas mortas (parasitadas e não parasitadas), em relação ao

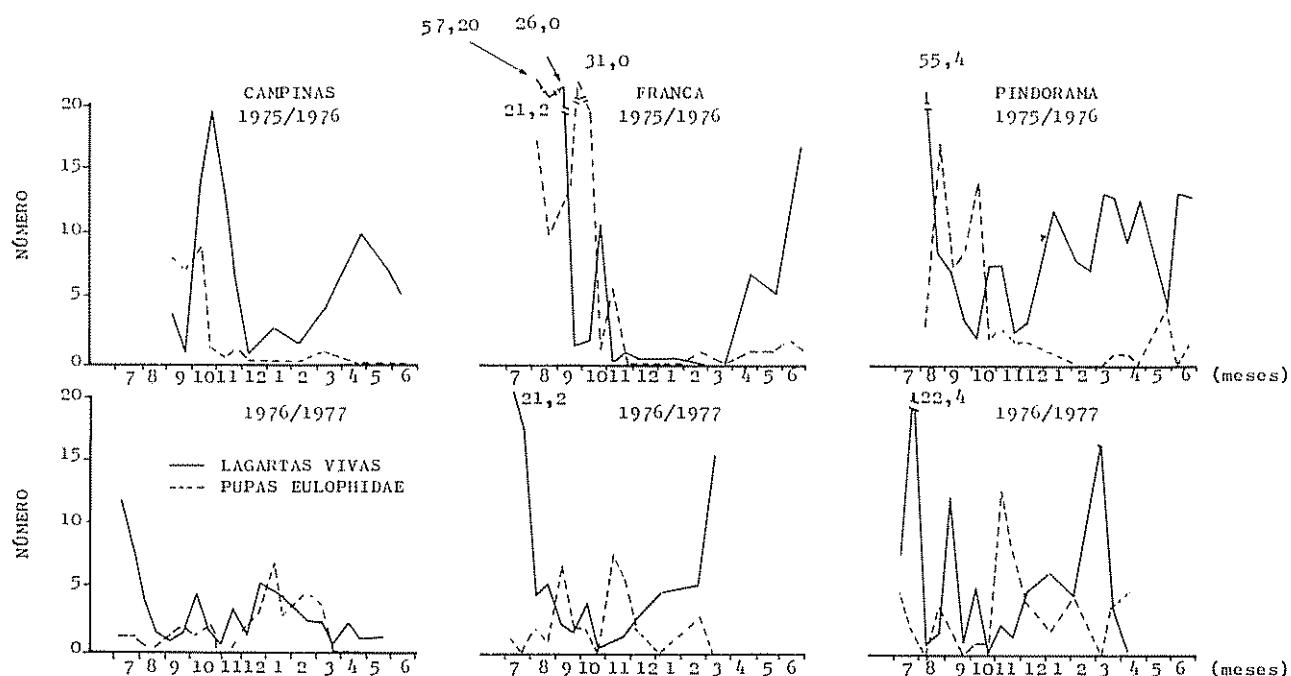


Fig. 3 Número médio de lagartas vivas de *P. coffeella* em folhas lesionadas e número de pupas de Eulophidae, em Campinas, Franca e Pindorama

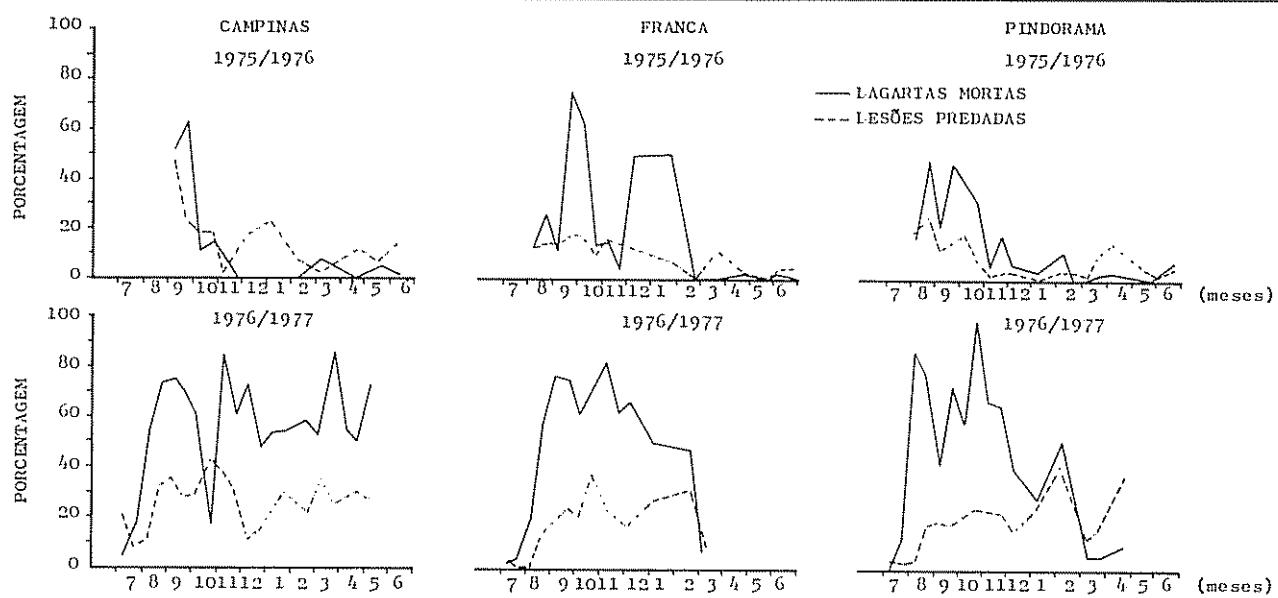


Fig. 4 Porcentagem de lagartas mortas e de lesões de *P. coffeella* predadas por vespas, em Campinas, Franca e Pindorama.

número total de lagartas encontradas, no período de agosto a dezembro de 1975.

Analisando as Figuras 3, 4 e 5 vê-se que é importante o papel dos parasitos e predadores na flutuação

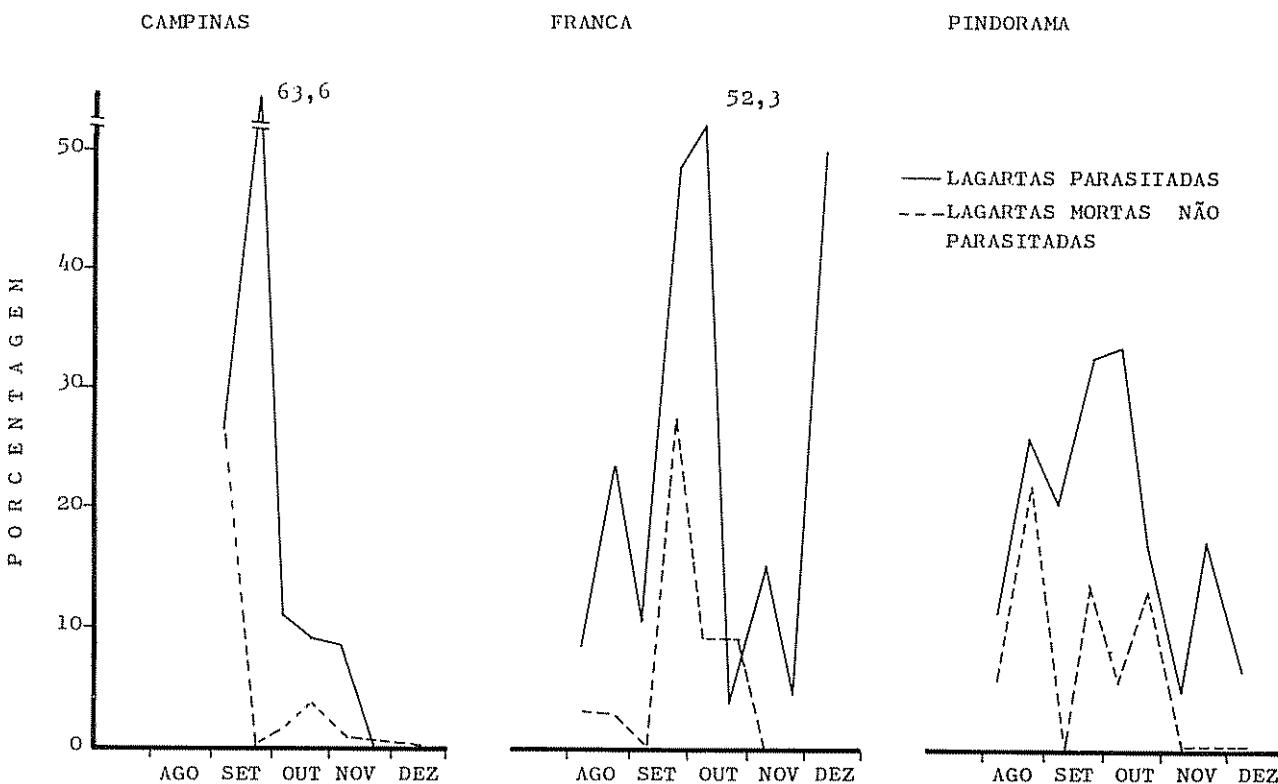


Fig. 5 Porcentagem de lagartas de *P. coffeella* (parasitadas e não parasitadas), em Campinas, Franca e Pindorama. 1975.

do bicho-mineiro. A praga atingiu maiores níveis populacionais no período 1975/76, quando a porcentagem de lagartas mortas e minas predadas foi menor. Observa-se que no período 1976/77, os inimigos naturais atingiram maiores níveis e, consequentemente, o bicho-mineiro ocorreu em menor nível populacional, em relação ao período anterior, evidenciando-se a ação de controle natural dos parasitos e predadores da praga. Apesar deste aumento de 1975/76 para 1976/77, não houve diferença entre as áreas estudadas com relação a predadores, pois o seu nível populacional foi aproximadamente igual nas três localidades (Figura 4). Já o mesmo não ocorreu com os parasitos, pois na região de Pindorama, onde o parasitismo de lagartas foi menor (Figura 5), evidenciou-se a eficiência destes microhimenópteros no controle do bicho-mineiro, através do aumento de infestação nesta área (Figura 3), sendo que o inverso ocorreu em Franca e Campinas onde, devido ao maior parasitismo, a infestação de *P. coffeella* foi relativamente menor.

Os resultados obtidos sugerem que, possivelmente, essa incidência anormal do bicho-mineiro em algumas regiões cafeeiras, seja devido à eliminação de seus inimigos naturais, ou a algum outro fator, que esteja atuando no complexo praga-parasitos-predadores. Sabe-se que o período de maior ocorrência dos inimigos naturais estudados (setembro-fevereiro) coincide com as épocas de pulverizações contra a ferrugem do cafeeiro (outubro-abril); talvez essas aplicações de cúpricos feitas preventivamente e associadas a inseticidas contra a broca do café e bicho-mineiro, estejam eliminando os inimigos naturais da praga, ocasionando maiores infestações em lavouras tratadas contra a ferrugem. Esse fato já foi comprovado no Brasil (14, 21) e em outros países (3, 6). D'Antonio e Parra (5) e Crocomo e Parra (2), citaram que em algumas regiões de São Paulo, Paraná e Minas Gerais, onde os defensivos são aplicados de forma maciça, lagartas que eram consideradas pragas esporádicas em cafeeiros, passaram a ocorrer quase que anualmente. Este fenômeno também deve estar associado à destruição dos parasitos e predadores que, provavelmente, mantinham as populações destes insetos em equilíbrio.

Pesquisas para avaliar a real eficiência das espécies de parasitos e predadores, estudos taxonômicos, biológicos e ecológicos dos principais inimigos naturais, hiperparasitismo, criação massal dos parasitos, conservação e manutenção de predadores ("vespeiros") nos cafezais estudos de pesticidas seletivos, etc., tornam-se necessários para poder esquematizar com eficiência o controle integrado da praga, já que a cultura e a praga possuem duas características importantes para esse tipo de controle, ou

seja, ser permanente e possuir inimigos naturais eficientes.

### Resumo

Durante os anos de 1975 a 1977 estudou-se a flutuação dos parasitos e predadores do bicho-mineiro *Perileucoptera coffeella* (Guérin-Mèneville, 1842) (Lepidoptera-Lyonetiidae) nas localidades de Campinas, Franca e Pindorama, no Estado de São Paulo, com o objetivo de se conhecer as espécies e épocas de ocorrência.

Observou-se que as espécies de parasitos (Braconidae e Eulophidae) e as suas porcentagens de ocorrência variam de acordo com as áreas estudadas, sendo que o mesmo não ocorreu com os predadores (Vespidae). As observações parecem indicar a ocorrência de uma alteração das espécies dos parasitos e predadores que atacam o bicho-mineiro. Os maiores níveis populacionais desses inimigos naturais ocorreram de setembro a fevereiro, portanto, na época chuvosa do ano, coincidindo com os picos populacionais de *P. coffeella* nos últimos anos (18).

Baseando-se nos resultados obtidos durante o período de estudo, discute-se a possibilidade de os maiores ataques de *P. coffeella* observados, serem devido à destruição de seus inimigos naturais, por aplicações inadequadas de defensivos na cultura.

### Literatura citada

1. ALMEIDA, P. R. de. O "bicho-mineiro" *Perileucoptera coffeella* (Guérin-Mèn.) como fator de restrição na produção do cafeeiro. In: Reunião Anual da Sociedade Entomológica do Brasil, Viçosa. 1973. p. 31. (Resumo).
2. CROCOMO, W. B. e PARRA, J. R. P. Biologia e nutrição de *Eacles imperialis magnifica* Walker, 1856 (Lepidoptera, Attacidae) em cafeeiro. Revista Brasileira Entomologia. 23(2):51-76, 1979.
3. CROWE, J. J. Coffee leaf miners in Kenya. II. Causes of outbreaks. Kenya Coffee, Nairobi. 29(342):223-231. 1964.
4. CROWE, J. J. Parasites of *Leucoptera* spp. (Lepidoptera, Lyonetiidae) on coffee in East Africa an annotated list. East African Agricultural and Forestry Journal, Nairobi. 35(4):364-371. 1970.

5. D'ANTONIO, A. M. e PARRA, J. R. P. Uma nova praga de café no sul de Minas Gerais. In: Congresso Brasileiro de Pesquisas Cafeeiras, 3, Curitiba, 1975. p. 174. (Resumo).
6. EVANS, D. E. Investigación de las plagas del café en Kenya. Span. 11(3):190-193. 1968.
7. EVELEENS, K. G. Control biológico del minador del café. In: Reunión Técnica Internacional sobre Plagas y Otras Enfermedades de los Cafetos, 1º, San José, Costa Rica. 1965. (Publicações Miscelâneas, 23) pp. 60-65.
8. EVELEENS, K. G. Control biológico del minador del café. Revista Cafetalera, Guatemala. 54:12-16. 1966.
9. FERRIERE, C. The parasites of the coffee leaf miners (*Leucoptera* spp.) in Africa. Bulletin of Entomological Research, London. 24:477-491. 1936.
10. FONSECA, J. P. da. O "bicho-mineiro" das folhas do café e seu combate. O Biológico, São Paulo. 15(9):167-172. 1949.
11. IHERING, R. VON. Três chalcídidas parasitas do bicho-do-café *Leucoptera coffeella* (Tineid.) com algumas considerações sobre o hyperparasitismo. Revista do Museu Paulista, São Paulo. 9(364):85-104. 1913.
12. KERRICH, G. J. Sistematic studies on *Eulophid parasites* (Hym., Chalcidoidea), mostly of coffee leaf miners in Africa. Bulletin of Entomological Research, London. 59(2): 195-228. 1968.
13. LE PELLEY, R. H. Pests of coffee. London, Logmans. 1968. 590 p.
14. MARCONATO, A. R.; GRAVENA, S.; ROCHA, A. D. da. Eficiência de alguns inseticidas, influência do oxicloreto de cobre e parasitos sobre a população de *Perileucoptera coffeella* (Guérin-Mènev.) em Oswaldo Cruz, sp. In: Congresso Brasileiro de Pesquisas Cafeeiras, 4º, Caxambu. 1976. pp. 206-207. (Resumo).
15. MENDES, L. O. T. Os parasitos do "bicho-mineiro" das folhas de café *Leucoptera coffeella* (Guér.-Mènev., 1842). Revista do Instituto de Café, São Paulo. 25:6-12. 1940.
16. NANTES, J. F. D. e PARRA, J. R. P. Avaliação de danos causados por *Perileucoptera coffeella* (Guérin-Mènev., 1842) (Lepidoptera-Lyonetiidae), em três variedades de café (*Coffea* spp.). O Solo, Piracicaba. 69(2):26-29. 1977.
17. NOGUEIRA NETO, P. Dois predadores do "bicho-mineiro" *Perileucoptera coffeella* (Guér. e Mènev., 1842) Vespoidea-Polybiinae. Bragantia, Campinas. 2(10-12):331. 1951.
18. PARRA, J. R. P. Bioecologia de *Perileucoptera coffeella* (Guérin-Mènev., 1842) (Lepidoptera-Lyonetiidae) em condições de campo. Piracicaba, ESALQ. 1975. 114 p. (Tese de Doutoramento).
19. PARRA, J. R. P.; GONÇALVES, W.; GRAVENA, S.; MARCONATO, A. R. Parasitos e predadores do bicho-mineiro do cafeiro *Perileucoptera coffeella* (Guérin-Mènev., 1842) em São Paulo. Anais da Sociedade Entomológica do Brasil. 6(1):138-143. 1977.
20. PAULINI, A. E.; ANDRADE, I. P. R.; MATIELLO, J. B.; MANSK, Z.; PAULINO, A. J. Eficiência de controle ao bicho-mineiro do café (*Perileucoptera coffeella* - Guér.-Mèn., 1842) e sua relação com produtividade. In: Congresso Brasileiro de Pesquisas Cafeeiras, 3º, Curitiba, 1975. pp. 1-3. (Resumo).
21. PAULINI, A. E.; MATIELLO, J. B.; PAULINO, A. J. Oxicloreto de cobre como fator de aumento da população do bicho-mineiro do café (*Perileucoptera coffeella* - Guérin-Mènev., 1842). In: Congresso Brasileiro de Pesquisas Cafeeiras, 4º, Caxambu, 1976 pp. 48-49.
22. SPEER, M. Observações relativas à biologia do "bicho-mineiro" das folhas do cafeiro *Perileucoptera coffeella* (Guérin- Mènev.) (Lepidoptera-Buccolatricidae). Arquivos do Instituto Biológico, São Paulo. 19:31-47. 1949.
23. TAPLEY, R. G. Natural mortality of eggs and early instars of leaf miner. Tanganyika, Coffee Research Station Lyamungu and Coffee Research Services. 1961. pp. 48-49. (Research Rept.).
24. WALKER, D. W. e QUINTANA, V. Mating and oviposition behavior of the coffee leaf

- miner, *Leucoptera coffeella*. Proceedings Entomological Society Washington. 71(1): 88-90. 1969.
25. WEAVING, A. J. S. A preliminary screening trial of insecticides for the control of the coffee leaf miner, *Leucoptera meyricki* Ghesq. (Lepidoptera: Lyonetiidae) in Rhodesia. Rhodesian Journal of Agricultural Research. 10(1):79-89. 1972.
26. ZUCCHI, R. A.; PRECETTI, A. A. C. M.; PARRA, J. R. P. Chave ilustrada para alguns parasitos e predadores de *Perileucoptera coffeella* (Guérin-Mèneville, 1842). Ecossistema, Pinhal. 4:141-142. 1979.

# EFFECT OF GIBBERELLIC ACID ( $GA_3$ ) AND PRE-CHILLING ON GERMINATION PER CENT OF *Nothofagus obliqua* MIRB. AND *N. Procera* OERST. SEEDS<sup>1</sup>

Y. SHAFIQ\*

## Resumen

*El humedecimiento de las semillas de N. obliqua Mirb y N. procera Oerst. en soluciones de 50, 100, 150 y 200 ppm de  $GA_3$  durante 24 horas, tuvo un efecto altamente significativo en la tasa y el por ciento de germinación. El periodo de germinación se redujo a 8-14 días y 6-10 días respectivamente, en vez de 28 días.*

*El pre-enfriamiento de N. obliqua y N. procera durante intervalos diferentes incrementó significativamente la tasa y el por ciento de germinación y disminuyó el periodo de germinación a 8-14 días, solamente en N. procera.*

*Las combinaciones de tratamientos tuvieron un efecto altamente significativo en la tasa y el por ciento de germinación en ambas especies. Las mejores combinaciones para N. obliqua fueron 100, 150 y 200 ppm  $GA_3$ , con 14 y 42 días de pre-enfriamiento, mientras que las mejores combinaciones para N. procera fueron de 150 ppm con 7 días de pre-enfriamiento y de 200 ppm con 14 días de pre-enfriamiento.*

## Introduction

Many authors have shown gibberellic acid ( $GA_3$ ) to promote germination of seeds (1, 2, 3, 6, 9, 13). On the other hand, pre-chilling or stratification has been found to be an effective method for germinating seeds (7, 10, 11, 12).

*Nothofagus obliqua* Mirb. and *N. procera* Oerst. are fast-growing species: they grow fairly well under Mediterranean climatic and soil conditions. Their timber is rather lighter than *Fagus* spp. timber; it is easily worked, split, and has resistance to rot;

therefore it is used for buildings, bridges, posts, railway sleepers, shingles and weather-boarding, etc. (8). There is also evidence that plantations of *Nothofagus* may be more profitable in Britain than those of some other commonly planted conifers and hardwoods (4).

Seeds of *Nothofagus* species have been found to possess a substantial degree of dormancy and irregularity in germination, and because no detailed investigations have been made on these species, this study was undertaken to investigate the effects of gibberellic acid ( $GA_3$ ), pre-chilling and the combination of  $GA_3$  with pre-chilling on the germination of *N. obliqua* and *N. procera* seeds.

1 Received for publication July 29, 1979.

The author would like to express his thanks to Dr J. Burley (Forestry Department, University of Oxford) and staff members of the Forestry Commission Research Station (Seed & Statistics Branches), Alice Holt Lodge, Farnham, Surrey, England, for their help and for the use of facilities and materials.

\* College of Agriculture and Forestry, Mosul, Iraq.

## Materials and methods

Seeds of *N. obliqua* and *N. procera* were collected from artificial stands at Weston Common, Hampshire, England in 1976. A purity test was done. A Dakota

blower was used for discarding empty seeds, and X-radiographs used for a quick check of soundness of seeds. Cleaned and dried seeds were used for the following specific treatments:

Seeds were pre-chilled at 3-5°C for 0, 7, 14, 28, 35 and 42 days, after soaking for 24 hours in 0, 50, 100, 150 and 200 ppm GA<sub>3</sub> (solutions prepared with distilled water).

Seeds were germinated on filter paper in Copenhagen tanks at the Forestry Commission Research Station, Alice Holt Lodge, Farnham, Surrey, England, with four replications of 25 seeds for each treatment. The tanks were maintained at 30/20°C (day/night) temperature and maximum deviation of the temperature was 2°C. The room temperature was 27/19 (day/night). Light was provided by fluorescent tubes for eight hours daily (intensity 1200 - 1400 lux). Daily counts of germination were made for 28 days (ISTA, 1976). Germinated seeds were removed from the tanks.

### Results and discussion

#### *Nothofagus obliqua*

Table 1 and Figure 1 indicate that soaking the seeds for 24 hours in solutions of different concentrations of GA<sub>3</sub> had a significant ( $p < 0.001$ ) effect on the rate and average germination percentage. The mean average germination percentage obtained from

treated seeds was 100 per cent, while the mean average germination percentage of untreated (control) seeds was 20 per cent. Simultaneously GA<sub>3</sub> treatments caused an appreciable decrease in germination period to 8 days with treatment 200 ppm GA<sub>3</sub>, 10 days with treatments 100 and 150 ppm GA<sub>3</sub> and to 12 days with 50 ppm GA<sub>3</sub>.

Likewise, pre-chilling for different intervals had a significant ( $p < 0.001$ ) effect on the rate and average percentage of germination. The mean average germination percentages obtained from pre-chilling for 0, 7, 14, 21, 28, 35 and 42 days were 20, 41, 45, 60, 74, 87.5 and 88.5 per cent respectively.

On the other hand, the combination of GA<sub>3</sub> with pre-chilling had a significant ( $p < 0.001$ ) effect on

Table 1. Analysis of variance of germination percentage of *Nothofagus obliqua* after gibberellic acid and pre-chilling treatments.

Source	df	MS	Var/Ratio
Blocks	3	31.16681	0.78
Gibberellic Acid (GA <sub>3</sub> )	4	10172.33596	214.40***
Pre-chilling (pc)	6	579.15673	12.20***
GA <sub>3</sub> x pc	24	352.36700	7.42***
Residual	102	47.44406	
TOTAL	139		

\*\*\* Significant at level  $p < 0.001$ .

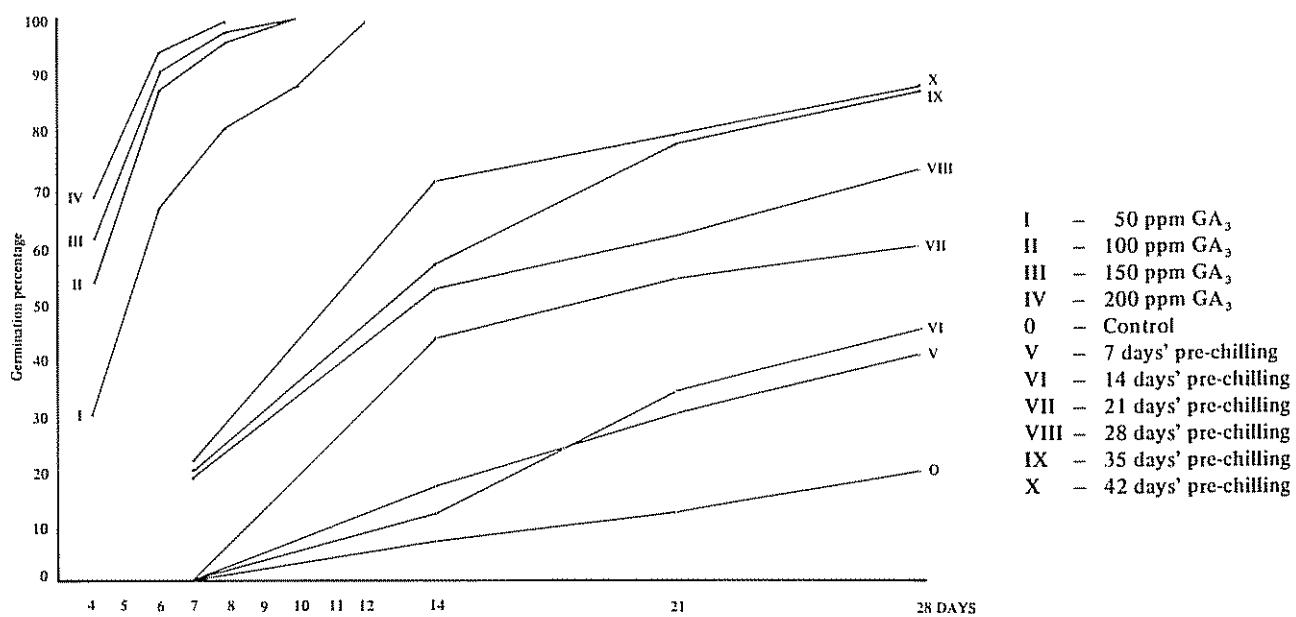


Fig. 1 Effect of Gibberellic acid (GA<sub>3</sub>) and pre-chilling on germination percentage of *N. obliqua* seeds

rate and average percentage of germination and decreased the period of germination to 7-14 days instead of 28 days. According to the results obtained, 200 ppm GA<sub>3</sub> or 42 days pre-chilling or 100 ppm GA<sub>3</sub>, + 14 days pre-chilling could be recommended as a best treatment for *N. obliqua* seeds.

#### *Nothofagus procera*

The data in Table 2 and Figure 2 show that GA<sub>3</sub> and pre-chilling had a significant ( $p < 0.001$ ) effect on the rate and average percentage of germination. The period of germination decreased to six days with treatments of 150 and 200 ppm GA<sub>3</sub> and to ten days with 50 and 100 ppm GA<sub>3</sub> instead of 28 days. Pre-chilling decreased the period of germination to 8-14 days; furthermore, pre-chilling for 42 days produced 100 percent germination in eight days.

On the other hand, treatment combinations decreased the germination period to 4-10 days. Combinations of 150 ppm with seven days pre-chilling and 200 GA<sub>3</sub> with 14 days pre-chilling yielded 100 percent germination in four days. In comparison with GA<sub>3</sub>, pre-chilling and combination treatments no significant differences were detected among them, but treatments of 200 ppm GA<sub>3</sub>, 42 days pre-chilling and 150 ppm GA<sub>3</sub> with 7 days pre-chilling, obtained better results in a shorter period; therefore they could be recommended for treating *N. procera* seeds.

Table 2. Analysis of variance of germination percentage of *Nothofagus procera* after gibberellic acid and pre-chilling treatments.

Source	df	MS	Var/Ratio
Blocks	3	73.50727	2.00
Gibberellic acid (GA <sub>3</sub> )	4	310.59088	8.25***
Pre-chilling (pc)	6	204.89535	5.57***
GA <sub>3</sub> x pc	24	91.21144	2.48***
Residual	102	36.72161	
TOTAL	139		

\*\*\* Significant at level  $p < 0.001$ .

#### Abstract

Soaking *N. obliqua* Mirb and *N. procera* Oerst. seeds in 50, 100, 150 and 200 ppm GA<sub>3</sub> solution for 24 hours had a highly significant effect on rate and percentage of germination; it decreased the germination period to 8-14 days and 6-10 days instead of 28 days, respectively.

Pre-chilling *N. obliqua* and *N. procera* for different intervals significantly increased rate and percentage of germination and decreased the period of germination to 8-14 days only with *N. procera*.

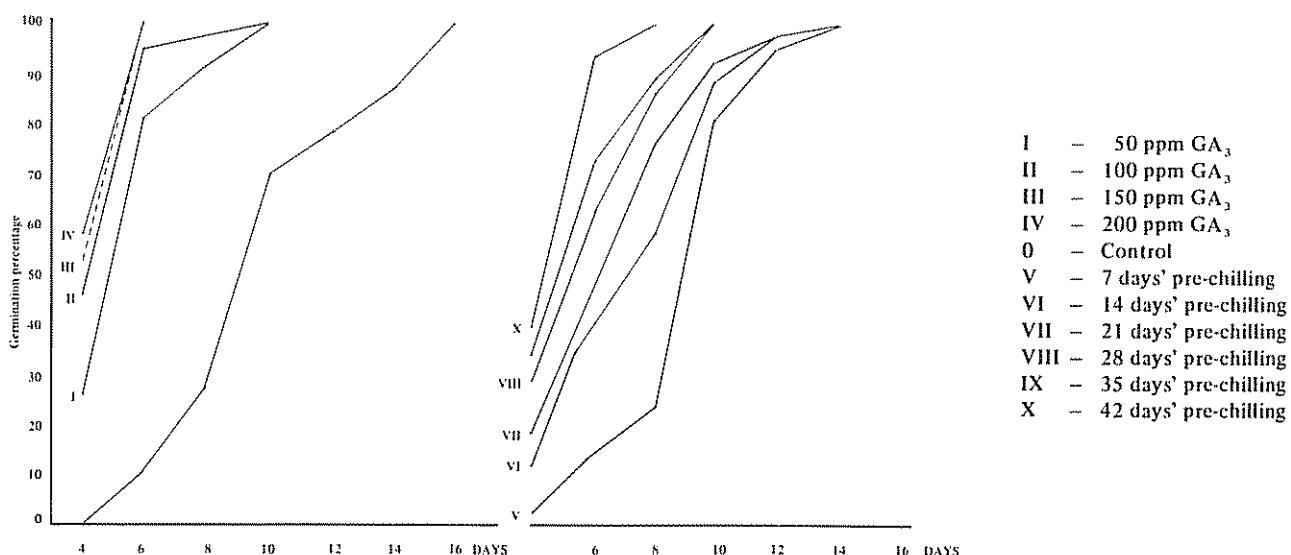


Fig. 2. Effect of Gibberellic acid (GA<sub>3</sub>) and pre-chilling on germination percentage of *N. procera* seeds

Treatment combinations had a highly significant effect on germination rate and percentage for both species. The best combinations for *N. obliqua* were 100, 150 and 200 ppm GA<sub>3</sub>, with 14 and 42 days pre-chilling, while the best combinations for *N. procera* were 150 ppm with 7 days pre-chilling and 200 ppm with 14 days pre-chilling.

#### Literature cited

1. ABU-DAHOUN, M. A., Y. SHAFIQ, and A. AL-KINAMY. Effect of gibberellic acid, B-nine and scarification on germination of seeds of *Pistacia Khinjuk* Stock. Mesopo. J. Agric. Vol. 10, Nos. 1-2, 13-19. 1975.
2. ALBERT, R. Vogt. Effect of gibberellic acid on germination and initial seedling growth of northern Red oak. For. Sci. Vol. 16(4):453-459. 1970.
3. CHANDRA, J. P. and P. S. CHANHAN. Note on germination of spruce seeds with gibberellic acid. Indian Forester, 721-725. 1976.
4. CHRISTIE, J. M., A. C. MILLER, and L. E. BRUMM. *Nothofagus* yield tables. Forestry Commission Research and Development paper 106. 1974.
5. INTERNATIONAL SEED TESTING ASSOCIATION (ISTA). International rules for seed testing. Proc. Int. Seed Test. Assoc. Seed Sci. and Technol., 4:51-177. 1974.
6. MARTIN, C. C. Germination of seeds of *Duboisia leichhardtii*. Aust. For. Res. Vol. 3(4):21-24. 1968.
7. MILLER, W. F. Duration of stratification period for *Pinus elliottii*. Floresta 3(2):83-85. 1971.
8. KOZDAN, P. San Carlos de Bariloche, Die *Nothofagus* Arten der Kordillere. Zeitshrift für weltforest wirtschaft Vol. 18, No. 1. 7-16. 1955.
9. KRISHNAMORTHY, H. N. Gibberellins and plant growth. Wiley Eastern Limited, New Delhi, 356:19-114. 1973.
10. SHAFIQ, Y. and M. OMER. The effect of stratification on germination of *Pinus brutia* Ten. Mesopo. J. Agric. Vol. 5-6, 96-99. 1969.
11. SHAFIQ, Y. Effect of gibberellic acid (GA<sub>3</sub>), pre-chilling and scarification on germination per cent of *Pinus brutia* Ten. seeds (unpublished). 1976.
12. STILINOVIC, S. and A. TUCOVIC. Preliminary study on seed of *Abies concolour* Lind. from the seed stand at Avala (Yugoslavia), 95-102. Quoted from For. Abstr. 1974, Vol. 35 (10). 1971.
13. VENATOR, C. R. Effect of gibberellic acid on germination of low vigour Honduras pine seeds. For. Sci. Vol. 18 (4), 331. 1972.

---

## FOREST SUCCESSION ON A DEFORESTED AREA IN SURINAME<sup>1</sup> /

---

H. ZWETSLOOT\*

### Compendio

*En un terreno desmontado mecánicamente se estudió la sucesión vegetal dentro de una parcela de 0.45 ha durante 11 años. Se describió el desarrollo de la vegetación con base en la composición florística, el porcentaje de cobertura de las especies, el perfil longitudinal y el incremento del área basal. En general, después de una extensión vigorosa de plantas anuales y de gramíneas, ciperáceas y solanáceas arbustivas, se desarrolla en 2 – 3 años un bosque secundario de Cecropia obtusa, que en 5 años alcanza su altura máxima de 17 m. Ahora en este bosque un grupo de otros pioneros arbóreos, que antes formaba un segundo estrato, está penetrando el dosel y ganando dominancia (*Vismia guianensis*, *Iseria sp.*, *Inga sp.*). En un sitio con drenaje impedido gramíneas y ciperáceas se han mantenido y en otro sitio con quema intensiva y acumulación de cenizas los árboles se han desarrollado solamente cerca de los fustes caídos y troncos derribados.*

### Introduction

#### Objective

A better knowledge of cause and effects of man-induced disturbances is a pre-requisite to tropical forest ecosystem manipulation and sylviculture" (FAO 1978, p. 230).

In this respect succession studies are of major importance. In tropical America the first succession studies were made by Kenoyer (10) in Panama (1929), Marshall (12) in Trinidad (1934) and Benoit

(2) in French Guyana. More recently Budowski (4) and Gómez-Pompa & Vázquez-Yanes made important contributions to our knowledge of secondary succession of tropical lowlands. Despite these studies this knowledge is still very incomplete.

In Suriname in 1967 a series of succession experiments was started by the Centre for Agricultural Research in Suriname as a part of studies of rainforest regeneration after selective timber exploitation. The object of these experiments was to obtain detailed information of the course of the succession after human interference at different levels of intensity in the original forest.

<sup>1</sup> Received for publication July 17, 1981

This paper is the result of the combined efforts of the scientists and students who worked on this experiment. I wish to thank all those who participated at any time in this study. The help and encouragement of the late Mr. J. Procter of the Centre for Agricultural Research in Suriname and the advises of Dr. ir. J. H. A. Boerboom of the Agricultural University in Wageningen were greatly appreciated. Last but not least I thank Mr. H. Sabajo for his assistance in the field.

\* Centre for Agricultural Research in Suriname (CELOS), University of Suriname; Department of Silviculture, Agricultural University Wageningen

Experimental plots were laid out in virgin forest, exploited forest, on deforested areas and on areas deserted after shifting cultivation. This paper deals with an experiment on an area deforested with heavy machinery. The author summarizes the data recorded during the first 11 years of this experiment by his predecessors and the data he recorded himself.

#### Site

The experimental plot is situated at Blakawatra in the north-eastern part of Suriname at about 70 km

from the coast. The location is near the edge of a dissected plateau of late Tertiary age at 20 m above sea-level. The soil is a well-drained sandy to slightly sticky loam, as contrasted with the surroundings of the plot which consist of bleached white sands. The relief varies from nearly flat to slightly concave.

In August 1966 the area was cleared by heavy equipment for the purpose of planting pines. An area of 80 x 120 m was set aside for the experiment. Since 1967 the experimental plot has been surrounded by plantations of *Pinus caribaea* Morelet.

Detailed information on the forest covering the area before clearing, is not available. Some data were obtained later, from the analysis of wood samples collected in the windrows that were left after clearing. Probably the original vegetation was a mesomorph evergreen seasonal forest with a tendency towards the xeromorphic forest, locally called savanna-forest (Heyligers (9)). The nearest high forest to the plot is a swampy forest along a small creek, at a distance of about 250 m. The distance to the nearest savanna-shrubland is 100 m.

### Climate

Suriname has a permanently humid tropical climate with a mean annual rainfall between 2000 and 2500 mm. In the driest months, September and October, precipitation generally does not drop below 60 mm. Yearly variation in total rainfall and rainfall distribution is considerable. The temperature is fairly constant throughout the year. In the capital Paramaribo the monthly mean temperature varies between 26.1°C in January and 28.3°C in October, the yearly mean temperature being 27.1°C. Schulz (15) give more details of the Suriname climate.

### Methodology

#### Lay-out

In August 1966 the experimental area was deforested with heavy machinery. An attempt to burn the debris at the time of clearing was unsuccessful. Afterwards the debris was piled in windrows of about 10 m wide which were burned in November 1966. From this month on no more human interferences took place. November 1966 is considered as the starting point of the succession. In February 1967 a permanent measuring plot of 50 x 90 m was laid out. This was divided into 45 subplots of 10 x 10 m. A surround of 15 m width separates the measuring plot from the pine-plantations. Five sub-

plots coincide with the windrow that lies centrally in the measuring plot (Figure 1).

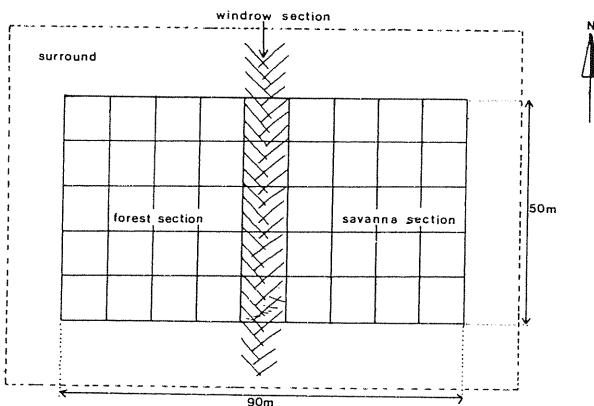


Fig. 1. The experimental plot; explanation: see text.

### Recordings

Since the start of the experiment several scientists and students have been working on this experiment. The following methods of recording the vegetation were used:

- mapping. The first recording, 3 months after burning, was a mapping of all young plants that were established on the bare ground. This was done in 7 subplots and repeated 6 months later in 2 of the 7 subplots. The author made a mapping of the groundcover in 4 of these 7 subplots 133 months after the beginning of the succession.
- estimation of cover. In several subplots the cover percentage of every species was estimated. This was done 6 times during the course of the experiment. The number of measured subplot varied from 23 to 6 in different recording years. The first estimation was done 3 months after burning. The last one by the author, 133 months after burning. These data are summarized in diagrams (Figures 2, 4, 6) which show the cover percentages plotted against time.
- description of the structure of the vegetation. Additionally the structure was described by measuring maximum heights and estimating mean heights of the different vegetation strata.
- girth measurements. Thirty-five months after the burning, girth measurements of the trees that by then had colonized the plot, were started. Above a lower girth limit of 200 mm, measurements

were regularly repeated and the last one was done by the author, 134 months after the burning.

- profile diagrams. The author drew profile diagrams on 3 plots that were considered to be characteristic for each of the three vegetation types that developed. This was done 134 months after the beginning of the succession.
- floristic inventory. The author made a floristic inventory of all the species in the experimental plot 132-134 months after the burning.

The data of the earlier recordings were published in internal reports by Consen *et al.* (5), Van 't Leven (11), Visser (16) and in Anon. (1). The results over 1967-1974 were described by Boerboom (3) and summarized in FAO 1978 (7).

The experiment was not designed with the aim of statistical analysis of the data. The variability of the number of recorded plots and the different recording methods hinder the interpretation of the data. Consequently the data have only a relative value, but they offer a good basis for a description of the succession in this particular plot.

## Results

### Differentiation within the experimental plot

Within the experimental plot the succession proceeded along different lines. Three definite series can be distinguished.

In the western part no deviating conditions occurred. Here, soon after clearing, trees became the dominant component of the vegetation.

In the central part of the plot the burning left a thick layer of ash in the windrow of charred trunks and stumps. Here the burning released a large amount of nutrients and killed all the viable diaspores in the soil. These factors established that in the windrow the starting point of the succession differed from the rest of the experimental area. Consequently a different series developed.

The eastern part, characterized by a slightly ponded topography and a somewhat heavier sticky loam soil, was nearly completely flooded for a few weeks owing to extremely heavy rainfalls 7-8 months after the burning. This inundation caused a radical deflection of the succession by killing most of the dicotyledonous seedlings, established a few months earlier. Thus a savanna-like vegetation developed.

The succession in the experimental plot will be dealt with separately for the forest, the windrow and the savanna section.

### The course of the succession

#### A. The forest section

##### The first colonization

In the forest section seedlings became established during the first wet season after the burning. At the first recording in February 1967 the total cover of the vegetation was less than 0.1%. The seedlings were fairly evenly distributed over the area. Half of them belonged to monocotyledonous species (Gramineae and Cyperaceae) and half to dicotyledonous ones (Figure 2). There were also a few sprouts from roots that had remained in the soil after clearing.

At the age of 9 months the vegetation already covered 40% of the area and reached a height of 1.5 m. It was an unevenly distributed vegetation of scattered single-species colonies together with some shrubs and tree seedlings. Species having the ability to spread rapidly were dominant. Herbs, mostly annual plants, covered 7% of the area. *Scleria secans* L. (Urb.) that had spread by the formation of long lateral shoots covered 2%. The shrub-forming Solanaceae grew vigorously and formed the most conspicuous feature of the vegetation at this time.

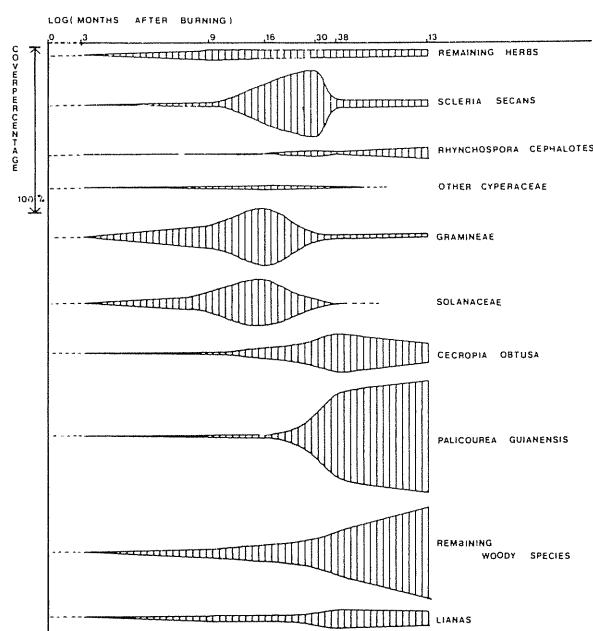


Fig. 2. Cover percentage diagram of the forest section.

*Solanum subinerme* Jacq. had spread by means of subterranean shoots. Thirteen percent of the area was covered by Gramineae. Since the first recording, nearly no new seedlings of woody species had become established apart from a few of *Cecropia obtusa* Miq.

#### Development of a stratified vegetation

Sixteen months after the burning the cecropias had grown vigorously and formed a very open upper layer of 4.5 m height. At the same time *Scleria secans* and the Solanaceae had continued their growth and formed an impenetrable layer 1.5 m high, interspersed with young secondary trees.

Thirty months after the beginning of the succession a clearly stratified wood had been formed comprising an open 8-11 m high *Cecropia* layer, sharply separated from a 3-7 m high layer, mainly consisting of *Palicourea guianensis* Aubl., *Isertia* sp. and partly moribund *Scleria*. A third layer was formed by overgrown Solanaceae and *Scleria*, including some small trees of the species mentioned above and a few others. The Gramineae had been greatly reduced, probably as result of the increasing shade of the tree layers. Lianas had developed and covered 7% of the area.

#### Developments in the later stages

After the third year changes were less rapid. In 60 months *Cecropia obtusa* reached its maximum height of 11-17 m, whereas 75 months after the burning a process of slow decline started. Gradually trees were losing branches and leaves until whole crowns broke off and new shoots developed at lower parts of the stem. Finally the trees die. The decline is a slow process and 133 months after the beginning of the succession about 55% of the cecropias were still alive.

The species of the second layer on the other hand kept growing vigorously. In particular *Palicourea guianensis* showed a remarkable growth and covered after 133 months about 60% of the area. But the trees did not reach the top of the canopy and still form a dense second layer of relatively small trees at about 12 m height. However, some of the other woody species succeeded in penetrating the upper layer, in particular *Isertia* sp., *Inga* sp. and *Vismia guianensis* (Aubl.) Choisy. After 30 months the cover percentage of *Scleria secans* had sharply decreased, but after 133 months some remnants still survived as a thin ground cover. The *Solanum* shrubs had vanished. So the undergrowth became sparse in the dark interior of the forest section. But

it harbours an increasing number of species including components of all strata of the original forest, e. g. *Dicorynia guianensis* Amsh., *Paypayrola guianensis* Aubl. and *Astrocaryum paramaca* Martius, each represented by a small number of individuals.

A hundred and thirty-three months after clearing 35 tree species were counted on the 0.2 ha of the forest section. It is remarkable that all the trees forming the canopy were established in the first months after the burning. In the dense shade no more seedlings of the pioneer species were found. Figure 3 gives an impression of the situation of the forest at that time.

#### B. The windrow section

##### The first colonization

In the windrow a very heterogenous vegetation sprang up. Where the site was covered with a thick ash layer, algae were the first colonizers, soon forming a dark crust. Five to six months after the burning annuals became established in the central parts of the windrow. *Portulaca oleracea* L. and *Erechtites hieracifolia* Rafin., the most common species, produced two or three generations within a few months. Then they gave way to invading Cyperaceae, Gramineae and Solanaceae (Figure 4).

Remarkable were a few herbaceous species that in the early stages of the succession were found only near or at the charred stems: *Phytolacca rivinoides* H. et B. and the ferns *Pityrogramma calomelanos* (L.) Link and *Pteridium aquilinum* (L.) Kuhn.

##### Tree establishment and later stages

No tree seeds germinated in the ash layers but where stems and uprooted stumps are found and some soil had been accumulated, i. e. mainly along the edges of the windrow, the secondary species mentioned for the forest section, became established. Three months after the burning their cover percentage was less than 0.1%, but after 30 months particularly *Cecropia obtusa* had demonstrated a vigorous growth. The dominance of this species in the windrow is much more striking than in the forest, while *Palicourea guianensis* is represented by only a few trees. During the succession *Scleria secans* behaved the same as in the forest. The Cyperaceae, Gramineae and Solanaceae slowly disappeared when after 30 months the shade became more dense. But 133 months after the burning remnants could

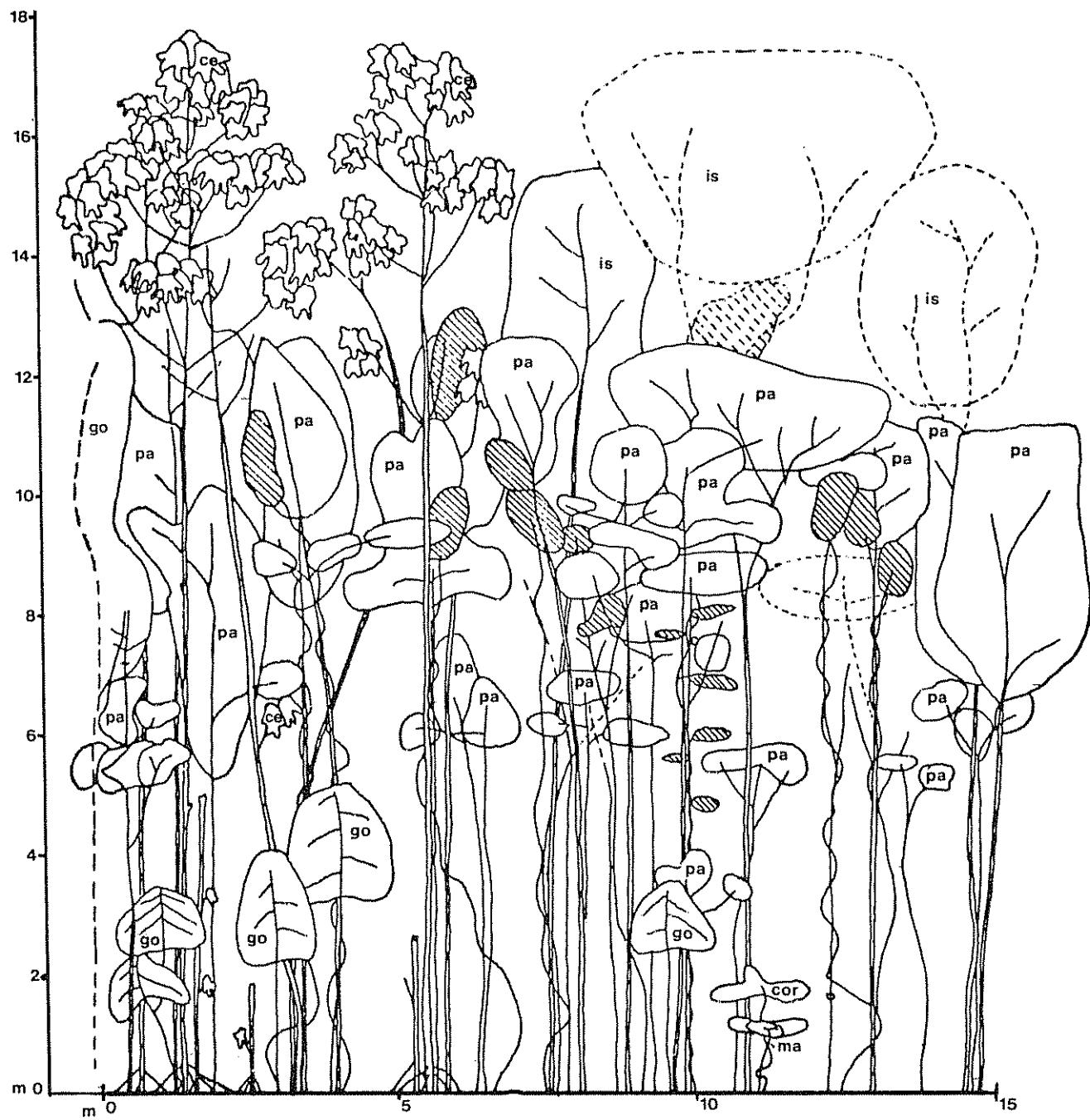


Fig. 3. Profile diagram of the forest section; 134 months after burning ce: *Cecropia obtusa*; cor: *Cordia Nodosa*; go: *Gouania glabra*; is: *Isertia* sp.; ma: *Maprounea guianensis*; pa: *Palicourea guianensis*.  
— dotted individuals stand outside the plot, while their crowns hang over the plot.

lianas

Plot size: 15 x 5 m<sup>2</sup>.

still be found and still no big trees were growing in the central part of the windrow (Figure 5).

*Cecropia obtusa* is declining slowly, but the process started much later than in the forest section and was still not very obvious after 133 months. The main other tree species are *Vismia cayennensis* (Jacq.)

Persoon, *Gouania glabra* Aubl., *Laetia procera* (Poepp. et Endl.) Eichler and *Tapirira guianensis* Aubl.

#### C. The savanna section

At first the succession, the "savanna" seemed to develop in the same direction as in the "forest", but

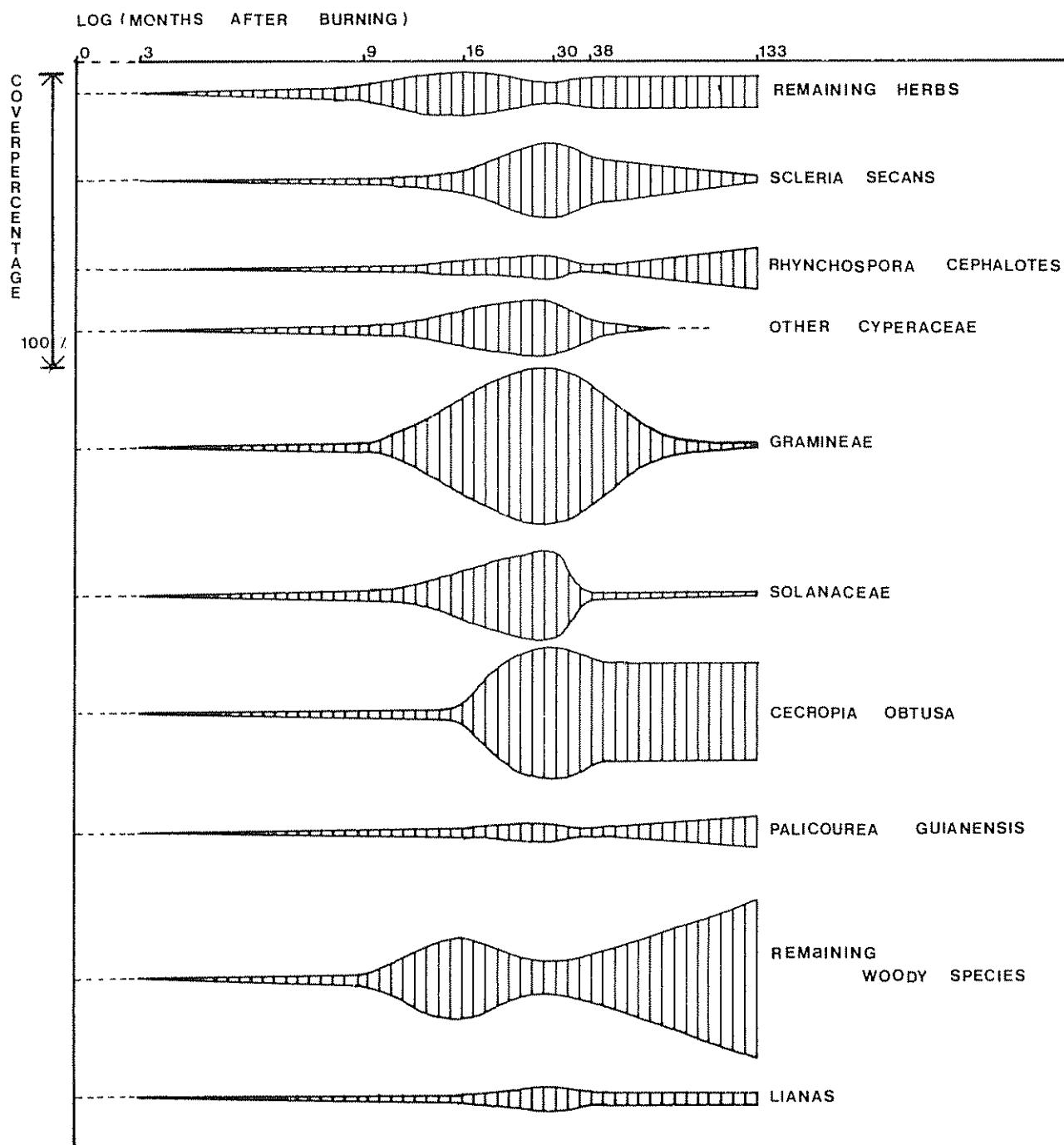


Fig. 4 Cover percentage diagram of the windrow section

most of the area was flooded and the greater part of the dicotyledonous seedlings died. Only on a few higher spots tree seedlings survived. After about 30 months a closed vegetation of Cyperaceae and Gramineae had developed with *Rhynchospora cephalotes* Vahl as the most dominant species.

Thus a savanna-like vegetation resulted.

During the next 100 months nearly no new woody species became established. However the trees on the small elevations grew up and their crowns began to spread laterally over the low vegetation.

Moreover two *Vismia* species occurring in the border penetrated the grassland by means of suckers arising from horizontal roots (see Figures 6 and 7).

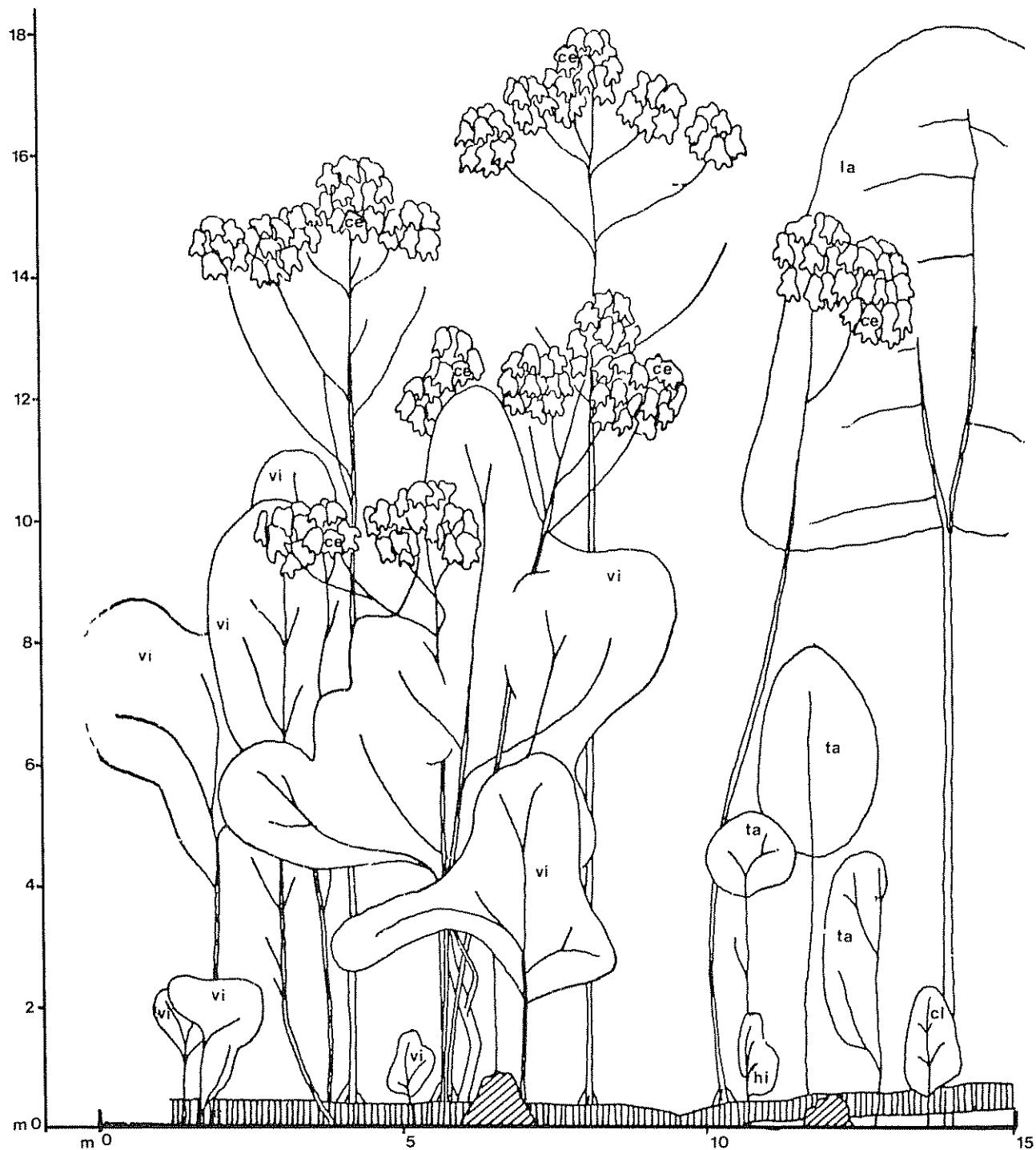


Fig. 5 Profile diagram of the windrow section: 134 months after burning ce: *Cecropia obtusa* cl: *Clusioides fockeana*, hi: *Hirtella hispida* ta: *Tapirira Guianensis* vi: *Vismia guianensis* la: *Lactia procera*

Fallen stems

Uprooted stumps

Plot size: 15 x 5 m<sup>2</sup>

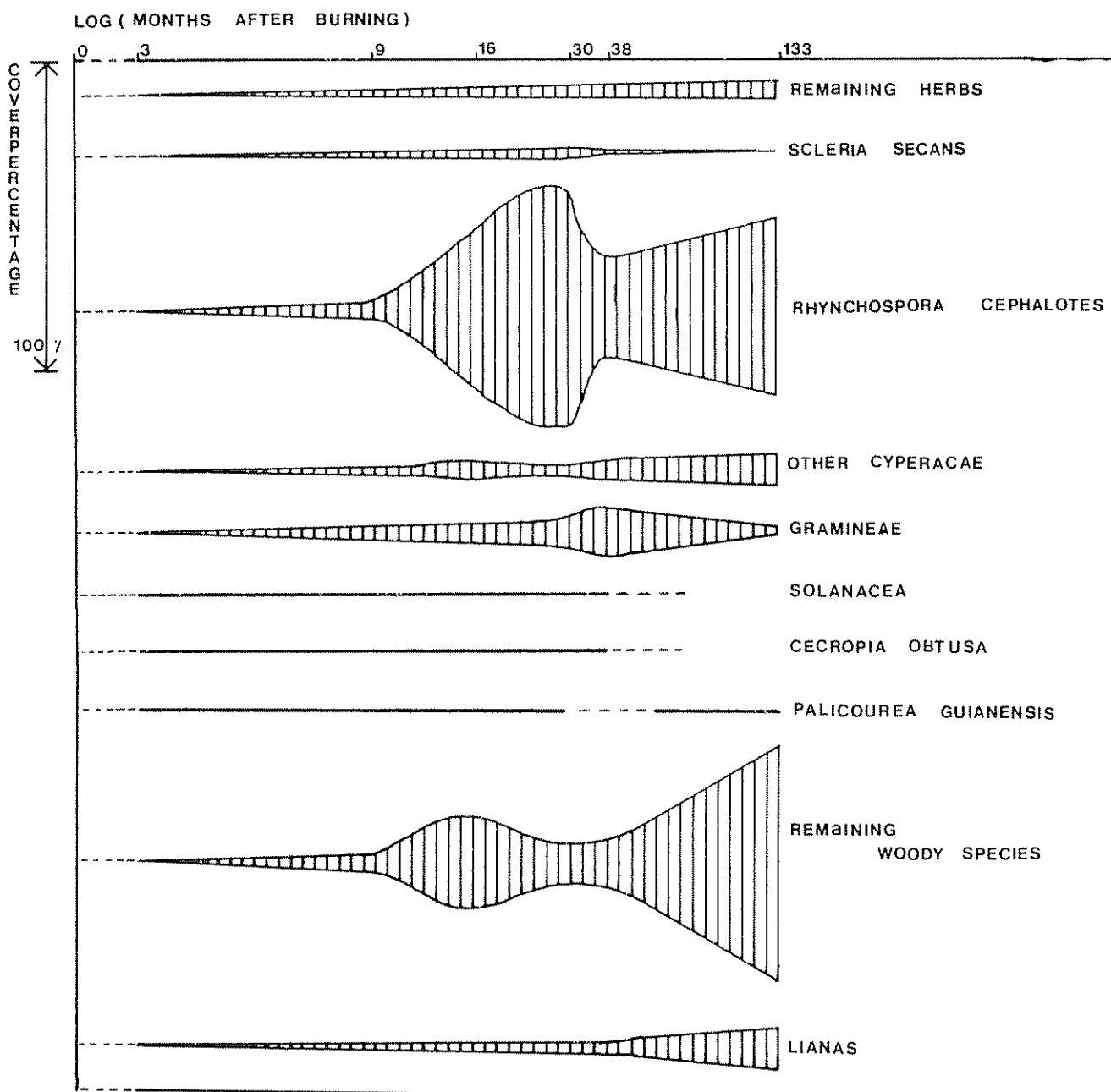


Fig. 6 Cover percentage diagram of the savanna section

Other species colonizing the grassland are *Gouania glabra*, *Maprounea guianensis* Aubl. and *Parinari campestris*. All these species occur in the original forest.

#### Basal area

The graphs of the development of the basal area show the same general features as the cover percent-

age diagrams (Figure 8). The total basal area of the windrow is the highest of the three sections. This is due to the very vigorous growth of the cecropias, which may be ascribed to the accumulation and burning of organic material in the windrow.

In the forest-section *Cecropia obtusa* held the biggest portion of the total basal area in the first 75 months after the beginning of the succession.

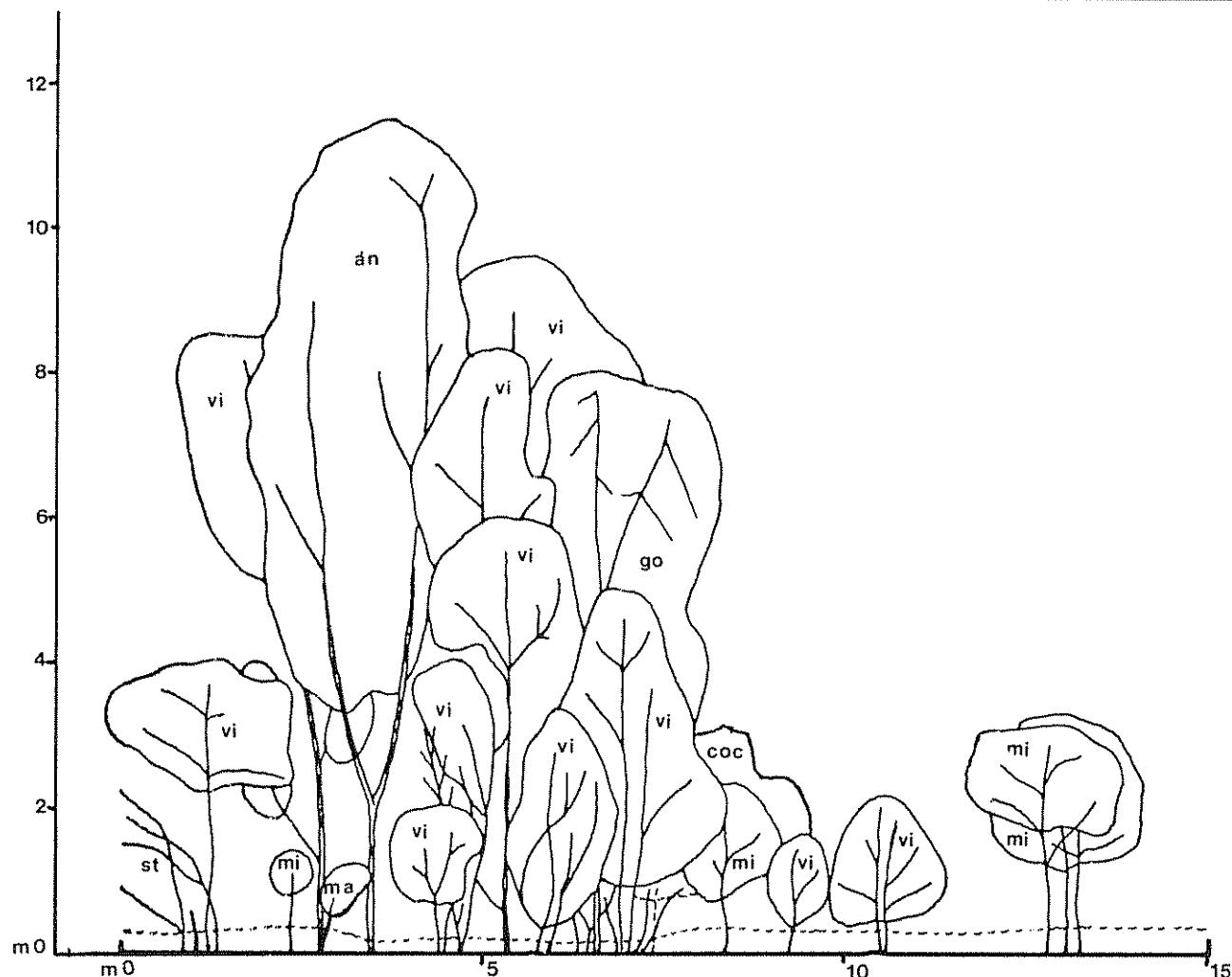


Fig. 7 Profile diagram of the savanna section: 134 months after burning an: *Aniba hostmanniana*, coc: *Coccoloba marginata* go: *Gouania glabra* ma: *Maprounea guianensis* mi: *Miconia tomentosa*, st: stems of species of which the crowns are outside the plot; vi: *Vismia* sp.

Plot size: 15 x 5 m<sup>2</sup>

After that a decline of *Cecropia* started and other species like *Palicourea guianensis* developed. Although the crowns of *Palicourea guianensis* cover a bigger area than those of *Cecropia* (Figure 2), the basal area is less (Figure 8). Figure 3 indicates that this species is represented by many small trees.

In the windrow section *Cecropia* still covered the major part of the basal area 133 months after burning, but other species were growing vigorously. *Palicourea guianensis* is of minor importance. On the savanna the total basal area is low, but gradually increasing; *Cecropia obtusa* and *Palicourea guianensis* make only a small contribution to the total.

#### Discussion

This experiment clearly shows the course of the succession during the first eleven years after deforestation. After a vigorous expansion of annuals, grasses, sedges and shrubby Solanaceae, accompanied by rapid growth of a small number of pioneer tree species, a second set of tree species, like *Isertia* sp., *Inga* sp., *Vismia guianensis* and *Gouania glabra*, is now gradually taking over. It is remarkable that this second set of tree species established soon after the beginning of the succession, at the same time as the first set of pioneer species. They developed steadily in the shade of the rapidly growing pioneer species

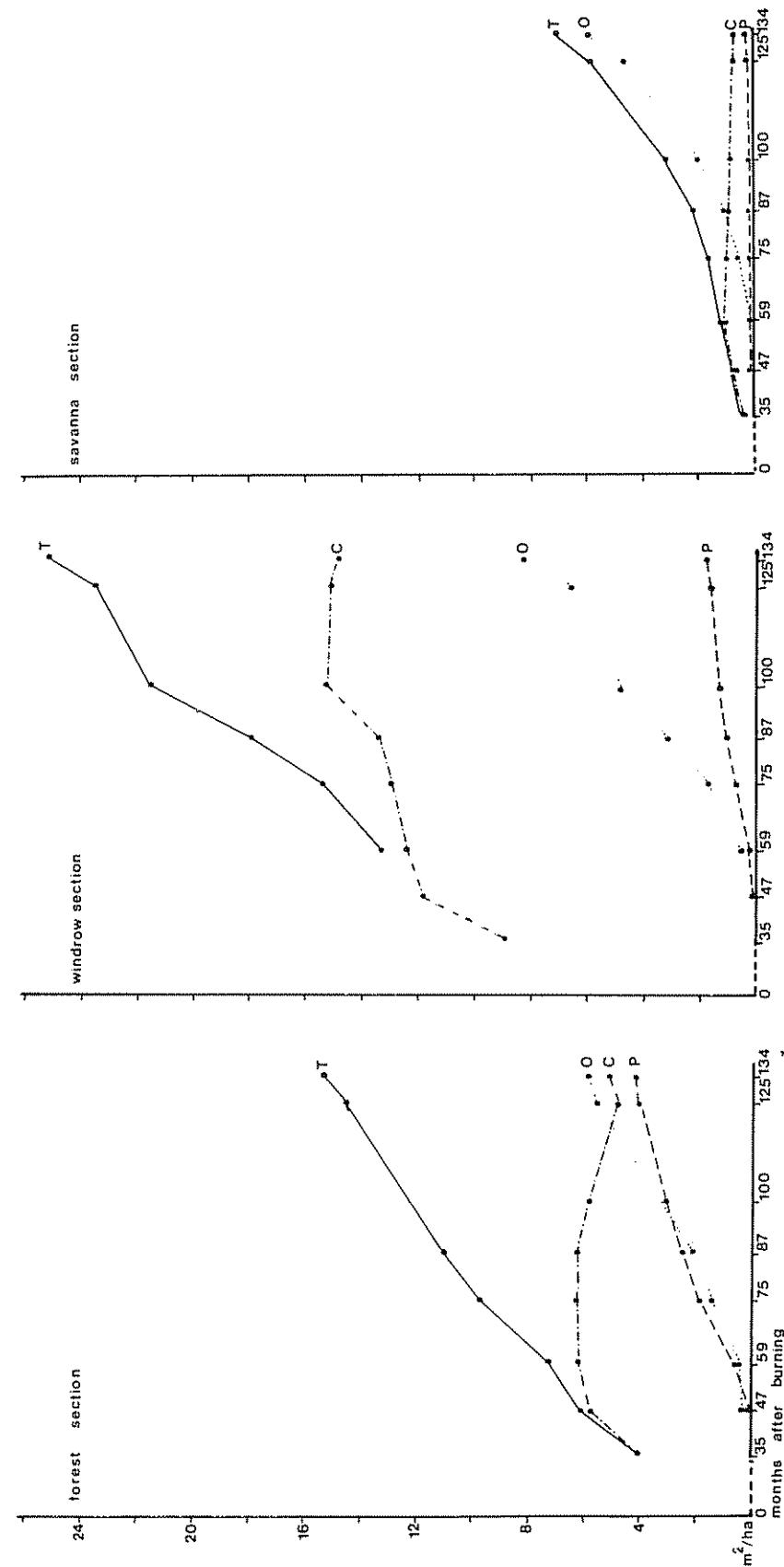


Fig. 8 Graphs of the basal area.  
 C: *Cecropia obtusifolia*; P: *Peltogyne guanensis*; R: remaining woody species; T: total.

and penetrated the canopy after the decline of these pioneer species had started. All the trees forming the canopy 133 months after the beginning of the succession, established soon after the clearing. From the regeneration that established in later stages of the succession trees did not yet develop.

The present study shows that the succession is still in its early stages, 11 years after the beginning. To obtain more information about the following stages this unique experiment should be continued in the following decades.

This experiment also demonstrates that relatively small environmental changes early in the succession, such as a temporary inundation and the burning of organic material, may cause remarkable divergences in the development of the vegetation.

Once more it should be stressed that caution be exercised in generalizing on the basis of the results of this single experiment.

### Summary

The succession on a mechanically deforested area of approximately 0.5 ha has been studied for 11 years. Cover percentage diagrams, species composition, profile diagrams and basal area increment are used to describe the course of the succession. After a vigorous expansion of annuals, grasses, sedges and shrubby Solanaceae accompanied by rapid growth of a small number of pioneer tree species, a second set of tree species is now gradually taking over.

### Literature cited

1. ANONYMUS, Celos bulletins nr. 5 (1965, 1966, 1967), 9 (1969), 13 (1970), 16 (1971), 18 (1972), 31 (1974, published in 1976).
2. BENOIST, R. La végétation de la Guyane française (suite). Bulletin Society Botany France 1925, 72, pp. 1066-78.
3. BOERBOOM, J. H. A. Succession studies in the humid tropical lowlands of Suriname. Proceedings International Congress Ecology. The Hague 1974, pp. 343-347.
4. BUDOWSKI, G. Studies on forest succession in Costa Rica and Panama. Diss. Yale University. 1961.
5. CONSEN, J. R., LAVIEREN, L. P. van, BOERBOOM, J. H. A. Successie op ontbost terrein. CELOS rapporten no. 8. CELOS, Landbouwhogeschool, Wageningen, Nederland, 1968, 47 p.
6. DAVIS, R. B. Seasonal differences in internodal lengths in *Cecropia* trees; a suggested method for measurement of past growth in height. *Turrialba* 20(1):100-104. 1970.
7. FAO, Tropical forest ecosystems, a state-of-knowledge report prepared by UNESCO/UNEP/FAO, 1978.
8. GOMEZ-POMPA, A., VAZQUEZ-YANES, C. Studies on the secondary succession of tropical lowlands: the life cycle of secondary species. Proceedings I. International Congress Ecology. The Hague 1974, pp. 336-342.
9. HEYLIGERS, P. C. Vegetation and soil of a white-sand savanne in Suriname. The vegetation of Suriname. Vol. III. Edited by J. Lanjouw and P. J. P. Versteegh, 1963, 148 p.
10. KENOYER, L. A. General and successional ecology of the Lower Tropical rainforest at Barro Colorado Island, Panama. *Ecology*, 1929, 10, pp. 201-22.
11. LEVEN, E. van 't. Successie op ontbost terrein. CELOS rapporten no. 101. CELOS, Landbouwhogeschool, Wageningen, Nederland, 1974, 12 p.
12. MARSHALL, R. C. The physiography and vegetation of Trinidad and Tobago. Oxf. For. M., 1934.
13. PULLE, A. A., LANJOUW, J. Flora of Suriname, 1968.
14. RICHARDS, P. W., The tropical Rain Forest, An ecological study. Cambridge at the university press, 1964. 423 p.
15. SCHULZ, J. P. Ecological studies on rain forest in northern Suriname. The vegetation of Suriname Vol. II. Edited by I. A. de Hulster and J. Lanjouw, 1960. 267 p.
16. VISSER, P. A. Successie op ontbost terrein. CELOS rapporten no. 113. CELOS, Universiteit van Suriname, 1976, 12 p.

## Notas y comentarios

### IV CONGRESO LATINOAMERICANO DE ENTOMOLOGIA Y VI CONGRESO VENEZOLANO DE ENTOMOLOGIA

En dos congresos entomológicos reunidos en la primera semana de julio de 1981, se reunieron también diversas agrupaciones de esa especialidad, como las Sociedades Internacionales de Acridiología, Lepidopterología Neotropical, de Ecología de Culicidos, y Afidología. Las conferencias y simposia comple-

mentaron la presentación de trabajos de alrededor de 360 especialistas de diversos países latinoamericanos, norteamericanos y europeos.

El Dr. Pedro Casals, de la Facultad de Ciencias Agropecuarias de la Universidad de Concepción, sede Chillán, asistió al evento con el apoyo de la Oficina del IICA en Chile, y presentó el trabajo "Dinámica poblacional y actividad de *Empoasca curvella*". La acción de este insecto disminuyó el rendimiento del frijol cv. Pinto en 10.1 porciento en el estudio hecho en los campos de la Facultad de Ciencias Agropecuarias e Instituto de Investigaciones Agropecuarias en Chillán.

## COMUNICACIONES

### Role of certain morphological characters in relation to boll rot resistance in *Gossypium hirsutum* L.

**Sumario.** Se evaluaron cinco líneas bracteoladas de esta planta en comparación con diversos tipos comerciales tomando en cuenta diferentes caracteres como bracteola, ausencia de las glándulas y de los nectarios, la hoja y el dosel cuando estos caracteres se encuentran individualmente y en combinación, para determinar la incidencia de la enfermedad de la podredumbre de la cápsula. Se observó que funcionaron dos tipos de mecanismos, uno externo y otro interno y que estos dos tipos de mecanismos tienen entre ellos una relación negativa. El daño causado por inoculación artificial y por incidental natural tuvo una semejanza cercana entre ellos. Cuando se combinan estos caracteres en una variedad adaptada puede resultar una reducción considerable del daño causado por la podredumbre de la cápsula.

Boll rot caused by a complex of pathogens is of considerable economic importance in many cotton growing regions of the world. Previous studies have indicated that certain plant characters contribute to minimization of disease damage (1, 2, 5, 6, 7, 8, 9). However information on the precise role of these characters, when present singly and in combination and extent of resistance, is not available. In this communication, data gathered on the above aspects have been presented and discussed.

#### Materials and method

Five frego bracteole lines of different character backgrounds namely, glandless frego, glandless-nectariless frego, semiglanded frego, red super bayou okra frego and narrow frego, were tested along with different canopy types like Laxmi, BJA 592, PRS 74, Roil 12 (bayou okra leaf) and okra leaf derivatives of Reba x race *punctatum* and Roil 12 x race *palmeri*, for boll rot incidence. These

types were grown both in irrigated and rainfed conditions in randomized block design with three replications and normal cultural practices adopted. Inoculation was done at appropriate stage of the crop under favourable humid weather.

For inoculation, the isolation of disease causing pathogens was made by cutting tissue fragments from the necrotic areas of rotten boll tissue, disinfecting in 0.1 per cent mercuric chloride for 2-3 minutes followed by thorough rinsing in sterilized water. Such fragments were then transferred to Petri-dishes having agar media. The boll rot complex in the field consisted of pathogens like *Nematospora gossypii* Ashby and Nowell in large proportion followed by *Fusarium moniliforme* Sheldon, *Aspergillus niger* Van Teigh, *Alternaria macrospora* Zimm, *Colletotrichum gossypii* Southw and *Rhizophus nigricans* Ehrenb. After 3-4 days of growth in the petri-plates, the pathogens were isolated individually in another agar media and allowed to grow (3).

Inoculation for the disease was done in suitable humid weather. Two kinds of inoculations were done following Cauquil (4). Bolls were tagged accordingly and evaluated for the degree of rotting, on and within the boll, periodically at five days interval. Final grading of the disease was done 15 days after the date of inoculation. Control plants were also evaluated for natural incidence and compared with the treatments.

#### Results and discussion

##### External capsular resistance:

The data (Table 1) indicated that frego bracteole has some advantage over the standard types in

Table 1. Boll rot disease incidence after artificial inoculation.

Genotype	Damage by inoculation %	
	External	Internal
Glandless frego	1.88	7.03
Glandless-nectariless frego	1.35	6.70
Semiglanded frego	2.24	6.21
Red frego	2.09	7.30
Narrow frego	0.22	2.56
Glanded frego	2.18	6.04
BJA 592	1.15	5.92
Roil 12	2.22	5.53
Laxmi	2.75	6.99
PRS 74	2.96	6.62
Reba x <i>punctatum</i> derivative	3.05	2.44
Roil 12 x <i>palmeri</i> derivative	2.89	2.07
S.E. ±	0.16	0.54

conferring resistance. Disease attack varied very much with different lines. The narrow frego and glandless-nectariless frego showed lesser attack than others. The glandless frego came next in rank. The semi-glanded frego was on par with other glanded frego types. Laxmi and *punctatum* derivatives showed very high external rot incidence.

The frego bracteole appeared to inhibit the disease spread. Roncadori (9) reported also that the frego bracteole provided an escape mechanism but actual resistance was dependent upon the genotype. In the present study also, BJA 592 showed better resistance to external capsular inoculation, indicating the role of genotype.

#### Internal capsular resistance:

Plants bearing smaller bolls and derivatives of *punctatum* and *palmeri* showed considerable resistance. All frego bracteole lines showed susceptibility when artificially inoculated (Table 1).

Damage observed in field conditions and under artificial inoculation was more or less similar (Table 2). The influence of punctures on boll rot also varied with genotypes. The glandless-nectariless frego, narrow frego and glandless frego showed lesser number of bollworm punctures and boll rot damage. PRS 74, Red frego, BJA 592 and glanded frego showed the largest number of bollworm punctures (Table 2). Glanded frego and BJA 592 had lesser boll rot incidence in spite of the occurrence of large number of bollworm punctures.

Table 2. Boll worm punctures in relation to boll rot incidence under natural conditions.

Genotype	Natural Incidence	
	Number of boll worm punctures	% of boll rot in bolls with punctures
Glandless frego	12.85	2.62
Glandless-nectariless frego	9.01	1.43
Semiglanded frego	21.69	5.47
Red frego	30.11	7.24
Narrow frego	10.48	1.66
Glanded frego	26.45	7.53
BJA 592	26.89	3.04
Roil 12	18.92	6.93
Laxmi	27.52	10.57
PRS 74	36.99	11.86
Reba x <i>punctatum</i> derivative	14.56	5.31
Roil 12 x <i>palmeri</i> derivative	17.13	5.26
S.E. ±	1.32	0.44

Breeding for resistance to boll rot disease involves two distinct kinds of resistances, namely external capsular resistance and internal capsular resistance. A negative relation was observed between these two resistances. Genotype plays an important role in boll rot control and hence these novel plant characters and forms, when brought together by breeding, have good value in imparting resistance to the disease.

#### Abstract

Lines possessing different bracteole, glandless, nectariless, leaf and canopy characters were evaluated, these characters being present singly and in combination, for boll rot disease incidence. Two kinds of capsular resistance mechanisms, one being external and the other internal, were found to operate which showed negative relationship between them. Damage by artificial inoculation and natural incidence showed close resemblance to each other. When these characters were combined together into an adaptive variety, a considerable reduction of boll rot damage is expected to result.

December 19, 1980

S. F. A. AMALRAJ\*

M. K. MESHRAM\*\*

\* Scientist S-1 in Plant Breeding, Central Institute for Cotton Research, Nagpur - 10 (India).

\*\* Scientist S-1 in Plant Pathology, Central Institute for Cotton Research, Nagpur - 10 (India).

## References

1. ANDRIES, J. A., JONES, J. E., SLOANA, L. W. and MARSHALL, J. G. Effect of okra leaf shape on boll rot, yield and other important characters of upland cotton, *Gossypium hirsutum* L. Crop Science. 9:705-710. 1969.
2. ASHWORTH, L. J. and HINE, R. B. Structural integrity of the cotton fruit and infection by microorganisms. Phytopathology. 61: 1245-1248. 1971
3. BAGGA, H. S. and RANNEY, C. D. An *in vitro* method of determining pathogenicity of organisms involved in the cotton boll-rot complex. Phytopathology. 57:1398-1399. 1967
4. CAUQUIL, J. Cotton boll rot. Laying out a trial of a method of control. New Delhi. Amerind Publishing Co., 1975.
5. JONES, J. E. and ANDRIES, J. A. Effect of frego bract on the incidence of cotton boll rot. Crop Science. 9:426-428. 1969.
6. LUKE, W. J. and PINCKARD, J. A. Modification of the cotton bract as a controlling agent in cotton boll rot. Phytopathology. 57:463. 1967.
7. LUKE, W. J. and PINCKARD, J. A. The role of the bract in boll rot of cotton. Cotton Growing Review. 47:20-28. 1970.
8. RANNEY, C. D., HURSH, J. S. and NEWTON, O. H. Effect of bottom defoliation on microclimate and reduction of boll rot of cotton. Agronomy Journal. 63:259-263. 1971.
9. RONCADORI, R. W. Comparative susceptibility of cotton bolls with standard and frego bracts to rot fungi. Plant Disease Reporter. 61:132-134. 1977

Effect of artificial defoliation on the yield of two indeterminate bean (*Phaseolus vulgaris* L.) cultivars

**Resumo.** Dois cultivares de feijão de hábito de crescimento indeterminado "S-182-N" e "Carioca" foram submetidos a 33 e 66% de desfolhamento artificial, quando as plantas tinham 20, 30, 40, 50 ou 60 dias de idade. Verificou-se que 66% de desfolhamento é muito prejudicial ao rendimento da cultura, quando realizado nos estádios de florescimento e formação das vagens. O cv. "Carioca" é algo mais tolerante ao desfolhamento que o "S-182-N".

There are in Brazil several leaf-feeding pests that attack the common bean crop, such as the beetles *Diabrotica speciosa* (Germar), *Cerotoma unicicornis* (Germar) and *Lagria villosa* F; the slugs, and others. They can be controlled by appropriate pesticides but the farmers have no information on when the pesticide should be used in relation either to the foliar area destroyed or to the growth stage of the bean plants.

Leaf removal has been used to simulate pest or disease damage. Galvez *et al.* (5) reduced the foliar area of two bean cultivars to 80, 60, 40, 20, and 0% when they reached the following growth stages: first three trifoliolate leaves, flowering initiation, pod formation, and the beginning of maturation. They found that, for any stage, yield reduction followed the increase of percentage of defoliation, with the greatest yield losses when defoliation occurred at the flowering and pod formation stages. Chagas *et al.* (3) removed 0, 1, 2, and 3 leaflets of each leaf from two determinate type cultivars. The defoliations were done once at each of the following ages: 20, 30, and 40 days after seedling emergence. Total defoliation at any age always brought about a strong decrease in yield. At the age of 20 days the other levels of defoliation were not detrimental to the bean yields; however, the removal of 2 leaflets was detrimental to the bean plants when they were 30 and 40 days old.

The tolerance to defoliation among bean cultivars is variable, as shown by several authors (1, 3, 4). According to Edje *et al.* (4), seed yield reduction due to defoliation is much less in indeterminate than in determinate cultivars.

This communication reports the results of an investigation as to the effect of leaf removal on bean yield, carried out at Viçosa, state of Minas Gerais, Brazil. Two indeterminate cultivars were used, since in a previous investigation, at the same locality, two determinate cultivars were included (3).

### Material and methods

A factorial design with five growth stages x three levels of defoliation was employed, the treatments being distributed in a randomized complete-block experiment with four replications. Each plot included four rows, five meters long and 50 cm apart. The two external rows plus 20 cm of each end of the internal rows were considered as border. Seeds were planted 8-10 cm apart.

The defoliations were carried out 20, 30, 40, 50 or 60 days after seedling emergence. The degrees of defoliation were 0, 33, and 66%, which were obtained by cutting with scissors 0, 1, and 2 leaflets from each leaf of each entire plant, respectively.

Three experiments were carried out, two with the black bean "S-182-N" and one with the cv. "Carioca." The cultivar "S-182-N" has an indeterminate growth habit, erect main stem and limited guide development. According to CIAT (2) classification, it has the plant type II. "Carioca" also has an indeterminate growth habit, but with prostate, long branches (type III).

### Results and discussion

In both experiments, "S-182-N" took approximately 40 days to flower and 85 days to mature; the cv. "Carioca" took 30 and 75 days, respectively. One of the experiments with the black

bean was carried out under the condition of water stress, which resulted in low yields.

Average results are given in Table 1. The three experiments showed that 66% defoliation is very detrimental to the yield when made during the flowering and pod-formation stages, principally under water stress. With one exception (33% at 20 days in the first trial with "S-182-N"), no significant difference was found between the yields of the check and the 33% defoliation treatments. No explanation was found for that exception, since normally young bean plants recover very well from defoliation damage. Considering the three experiments, the most damaging treatment was 66% at 40 days, i.e., severe defoliation when the plants were flowering.

The data also show that the cultivar "Carioca" was more tolerant to defoliation than the cv. "S-182-N." The maximum yield decrease in the former was 23%, whereas in the latter it was 37%, under conditions of good water supply. As pointed out before, this difference among cultivars has been reported by others.

In a previous investigation with two determinate cultivars (3) it was found that 66% defoliation at 40 days caused approximately 36% yield reduction in one cultivar and 28% in the other. Thus, the cv. "S-182-N" was less tolerant to leaf removal than one of the determinate cultivars. Apparently, there is no relationship between this tolerance and the growth habit. It seems that leaf number, leaf size and leaf orientation are the traits which determine the level of tolerance to defoliation.

Table 1. Effect of defoliation on the yield of the bean cultivars "S-182-N" and "Carioca."

Defoliation (%)	Plant age (days)	S-182-N()		S-182-N		Carioca	
		kg/ha	%	kg/ha	%	kg/ha	%
0 (check)		762	100	1742	100	1828	100
	20	574*	75	1523	87	1734	95
	30	656	86	1793	103	1779	97
	40	656	86	1490	85	1768	97
	50	624	82	1619	93	1542	84
	60	638	84	1640	94	1576	86
33	20	593	78	1527	88	1614	88
	30	524**	69	1512	87	1458*	80
	40	417**	55	1096**	63	1410*	77
	50	504**	66	1417*	81	1409*	77
	60	618	81	1345**	77	1615	88

\*and \*\* significantly different from the check at the 5% and 1% level, respectively.

() Grown under water stress

**Summary**

Two indeterminate bean cultivars "S-182-N" and "Carioca" were subjected to 33 and 66% artificial defoliation, when they were 20, 30, 40, 50, or 60 days old. It was found that 66% defoliation is very detrimental to yield when made during the flowering and pod-formation stages. The cv. "Carioca" is somewhat more tolerant to the leaf removal than the cv. "S-182-N".

April 2, 1981

CLIBAS VIEIRA\*

\* Departamento de Fitotecnia Universidade Federal de Viçosa, 36570 Viçosa, MG, Brazil

**References**

1. CECÍLIA, F. C. S., RAMALHO, M. A. P. and GOMIDE, M. B. Efeito do desfolhamento sobre a produção de feijão (*Phaseolus vulgaris* L.). Ciência e Prática 4:66-72. 1980.
2. CENTRO INTERNACIONAL DE AGRICULTURA TROPICAL (CIAT). Annual Report 1977. CIAT, Cali, Colombia, 1978. p. B-83.
3. CHAGAS, J. M., VIEIRA, C., MAESTRI, M. and CARDOSO, A. A. Resposta de duas variedades de feijão (*Phaseolus vulgaris* L.) ao desfolhamento artificial. Ciência e Cultura 31:683-687. 1979.
4. EDJE, O. T., MUGHOGHO, L. K. and AYONOADU, U. W. U. Effect of leaf removal on the yield of *Phaseolus* beans. Malawi Journal of Science 1:10-14. 1972.
5. GALVEZ, G. E., GALINDO, J. J. and ALVAREZ, G. Defoliación artificial para estimar pérdidas por daños foliares en frijol (*Phaseolus vulgaris* L.). Turrialba 27:143-146. 1977.

**Relación entre el rendimiento y la forma de la panoja en la quinua\***

**Summary.** Quinua's panicle shape, which could be glomerulated or amaranthiform, does not relate to yield neither to other yield components such as earliness, height of plant, panicle length and grain diameter.

El mejoramiento genético de la quinua (*Chenopodium quinoa* Wild), que es un cultivo muy difundido en la meseta andina y los valles interandinos desde Colombia hasta el norte Argentino, ha merecido especial atención en los últimos años. Sin embargo, en los programas de mejoramiento no se ha tomado en cuenta la relación entre el rendimiento de grano y la forma glomerulada o amaranthiforme de su inflorescencia, habiéndose seleccionado indistintamente cualquiera de las formas.

El carácter morfológico más importante de la planta de quinua para su clasificación, ha sido la forma de la panoja. De las 17 razas descritas por Gendarillas (3), diez son de inflorescencia glomerulada y siete amaranthiforme. La forma ancestral fue la glomerulada, ya que todas las especies silvestres de este género tienen esta forma, lo cual significa que la amaranthiforme es un mutante relativamente reciente de aquella (2).

Estudios efectuados por Espíndola (1) y Pereira (4), sobre la interrelación existente entre el rendimiento y otros caracteres de la planta que pudieran ser componentes de aquella, muestran correlaciones consistentes. Los autores mencionados encontraron que la altura de la planta, la longitud de la panoja y el diámetro del tallo, muestran una correlación positiva con el rendimiento.

En el presente trabajo, se estudia la relación entre el rendimiento de grano y la forma de la panoja glomerulada y amaranthiforme. Además, se hacen observaciones de algunos caracteres como la precocidad, altura de la planta, longitud de la panoja, diámetro del tallo y diámetro del grano con el objeto de observar su distribución entre las dos formas.

**Materiales y métodos**

Para observar la relación entre el rendimiento y la forma de la panoja, se estableció un experimento muy simple en parcelas pareadas de 16 muestras glomeru-

\* Trabajo realizado por el Proyecto Quinua IBTA-CIID Canadá, financiado por el Centro Internacional de Investigaciones para el Desarrollo

Cuadro 1. Rendimiento y otros caracteres de muestras de quinua glomeruladas y amarantiformes.

Muestra	Rendimiento kg/ha	Días madurez días	Altura planta cm	Longitud Panoja cm	Diámetro tallo cm	Diámetro grano mm
GLOMERULADAS						
0026	1902	182	73	21	1.3	1.88
0037	1465	158	69	24	1.3	1.86
0045	1560	152	72	23	1.3	2.10
0073	1570	170	79	24	1.2	1.73
0083	2564	170	101	26	1.7	1.97
0093	2595	170	97	32	1.4	1.60
0113	2065	164	110	30	1.6	1.77
0138	784	166	71	21	1.2	1.94
0149	1494	152	76	22	1.2	1.99
0154	2584	164	76	27	1.4	1.90
0158	2620	164	93	31	1.5	1.80
0163	2840	158	92	27	1.4	2.05
0167	1400	152	73	25	1.2	1.88
0175	2047	154	78	26	1.3	2.20
0181	1836	162	80	24	1.3	2.02
0187	2250	170	93	28	1.4	1.70
Promedio	1973	163	83	25	1.36	1.90
Desviación estándar	556	8.1	12.0	3.2	0.14	0.15
AMARANTIFORMES						
0027	1834	170	79	22	1.5	2.07
0036	2224	152	69	20	1.1	2.03
0046	1720	178	86	23	1.3	1.70
0072	2204	171	89	23	1.2	1.92
0084	2065	164	97	29	1.8	2.22
0092	1643	164	94	25	1.6	2.25
0112	2304	171	76	17	1.2	2.11
0139	2675	152	86	22	1.5	2.05
0146	2180	164	85	22	1.5	2.14
0155	1469	151	66	22	1.1	2.10
0159	1565	164	84	24	1.2	2.06
0162	1643	162	83	26	1.4	1.86
0118	974	154	78	25	1.3	1.82
0174	2247	162	83	24	1.3	1.98
0180	1507	170	89	25	1.4	2.04
0186	2599	172	88	31	1.5	2.14
Promedio	1928	163	83	23	1.36	2.03
Desviación estándar						
$t + 0.27$	443	7.8	8.5	3.2	0.18	0.14

ladas y 16 amarantiformes, extraídas al azar del Banco de Germoplasma almacenado en la Estación Experimental de Patacamaya, Bolivia. Cada parcela constaba de un solo surco de 5 metros de largo, con un promedio de 50 plantas espaciadas a 10 centímetros. La distancia entre surcos fue de 90 centímetros. El rendimiento fue calculado sobre la base de la producción de toda la parcela.

Se observó la precocidad tomando en cuenta los días transcurridos, desde la siembra hasta la madurez fisiológica. La altura de la planta, la longitud de la panoja y el diámetro del tallo fueron determinadas midiendo 10 plantas de altura promedio en cada una de las muestras. El diámetro del grano se estimó midiendo 10 granos con un calibrador mecánico.

### Resultados

El rendimiento de grano de cada una de las muestras incluidas en el experimento, así como el promedio de rendimiento de las glomeruladas y amarantiformes se presenta en el Cuadro 1. El rendimiento promedio de las primeras fue de 1973 kg/ha y de las amarantiformes de 1928 kg/ha y la desviación estándar de 556 y 443 g respectivamente. Las glomeruladas en promedio rindieron 45 kg más que las amarantiformes, que de acuerdo a la prueba de  $t$  (0.27) no representa una diferencia mínima significativa, lo que indica que las dos formas son igualmente productivas.

En el Cuadro 2, se muestra la distribución de la frecuencia de rendimiento de las dos formas de panoja, la cual ha sido tabulada desde menos de 1500 kg/ha hasta más de 2001 kg/ha. Se puede observar que la distribución no sigue una tendencia determinada, resultando que 8 muestras glomeruladas y 9 amarantiformes rindieron más de 2001 kg/ha, 4 glomeruladas y 6 amarantiformes entre 1501 y 2000 y, 4 glomeruladas y 2 amarantiformes menos de 1500.

Cuadro 2. Frecuencia de distribución de panojas glomeruladas y amarantiformes.

Panoja	Menos de 1500	1501-2000	Más de 2001
Glomeruladas	4	4	8
Amarantiformes	2	6	9

Además de la relación del rendimiento con la forma de la panoja, se estudió la relación de otros caracteres con la anterior. El promedio de días a madurez

acusó una cifra de 163 días, tanto para inflorescencia glomerulada como para amarantiforme. El promedio de altura de la planta para ambos caracteres, fue de 83 centímetros y una desviación estándar de 12.0 y 8.5 respectivamente. La longitud de la panoja fue ligeramente más grande en el caso de las glomeruladas, aunque la desviación estándar fue similar. El diámetro del tallo, que está positivamente correlacionado con el rendimiento, tampoco mostró diferencia. Finalmente, el diámetro del grano fue algo más alto en las amarantiformes.

Por todo lo anotado, se puede concluir que la forma de la panoja no afecta al rendimiento ni a los otros caracteres que tienen influencia, o que son componentes del rendimiento. En ciertas localidades parece que tuvieran preferencia por cierta clase de inflorescencia; al sur de Bolivia, la quinua Real, que se caracteriza por sus granos grandes, tiene inflorescencia amarantiforme. En el valle de Cochabamba, las variedades que se cultivan son glomeruladas. En cambio, en la cuenca del lago Titicaca y en el Cuzco se cultivan indiferentemente cualquiera de las formas.

### Resumen

En la quinua la forma de la inflorescencia que puede ser glomerulada o amarantiforme no tiene relación con el rendimiento, tampoco con otros caracteres que sí están correlacionados con el rendimiento, como precocidad, altura de la planta, longitud de la panoja y diámetro del tallo.

14 de agosto de 1981

HUMBERTO GANDARILLAS SANTA CRUZ\*\*  
GUALBERTO ESPINDOLA CANEDO\*\*\*

\*\* Asesor del Proyecto Quinua IBITA-CHD Canadá.

\*\*\* Técnico del Proyecto Quinua – Estación Experimental Patacamaya

### Literatura citada

1. ESPINDOLA, G. Estudio de Componentes Directos e Indirectos del Rendimiento en Quinua (*Chenopodium quinoa*, Wild). Cochabamba, Universidad Boliviana Mayor de San Simón, Facultad de Ciencias Agrícolas y Pecuarias "Martín Cárdenas", Tesis Ing. Agr. 1980. 91 p.

2. GANDARILLAS, H. Estudios de Herencia de la Quinua. Bolivia, Ministerio de Agricultura, División de Investigaciones, Boletín Experimental No. 35. 1968. 10 p.
3. GANDARILLAS, H. Razas de Quinua. Bolivia, Ministerio de Agricultura, División de Investigaciones, Boletín Experimental No. 34. 1968. 53 p.
4. PEREIRA, F. Evaluación de 300 Accesiones del Germoplasma de Quinua, Potosí, Universidad Boliviana Tomás Frías, Facultad de Ciencias Agrícolas y Pecuarias. Tesis Ing. Agr. 1980. 88 p.

#### Preliminary studies on the pattern of accumulation of proline in coffee cultivars during drought

**Abstract.** Experiments are planned and realized to investigate whether proline can be used as a parameter for drought tolerance/resistance in coffee.

It is well known and established that adverse climato-edaphic factors like higher light intensity, atmospheric temperature and low moisture status of the soil during drought lead to die-back of arabica coffee plants which is a common physiological disorder occurring in coffee-growing tracts of southern India, resulting in death and defoliation of the plants (2). The need for protecting the plants during such a period is of utmost importance from the point of view of practical agriculture. One such method is to protect the coffee plants by providing judicious overhead shade by both permanent and temporary shade trees, and also mulching the plants, which helps to conserve soil moisture during hot weather (3, 10, 11); another method is to evolve strains which are tolerant/resistant to drought.

Earlier work has shown that the chlorophyll stability index can be considered a reliable test to know whether a cultivar is drought resistant or not (5). More recently, it was found that accumulation of proline, an important aminoacid, during water stress can be used as a parameter for drought tolerance or resistance (6, 9). It is pertinent to mention here the correlation established in barley between proline accumulation and drought tolerance (7).

The present communication deals with results of the study on proline accumulation in leaves of coffee cultivars during drought.

Young and mature leaves were collected from San Ramon, S.288, S.795, Tafarikela and Kents materials from the Central Coffee Research Institute Estate. The leaf samples collected at random from the above source came from different blocks with different degrees of shade intensities. Quantitative estimation of proline was carried out in both young and mature leaves of the above five cultivars from December 1979 to March 1980, by following the method of Bates *et al.* (1), using a Unicam spectrophotometer.

The results of the study indicate that proline content in young leaves ranged from 2.31 (Tafarikela) to 13.10 (S.288) whereas in mature leaves it ranged from 1.64 (San Ramon) to 5.29  $\mu$  moles/g fresh weight (S.795) (Figure 1). However, if the mean value

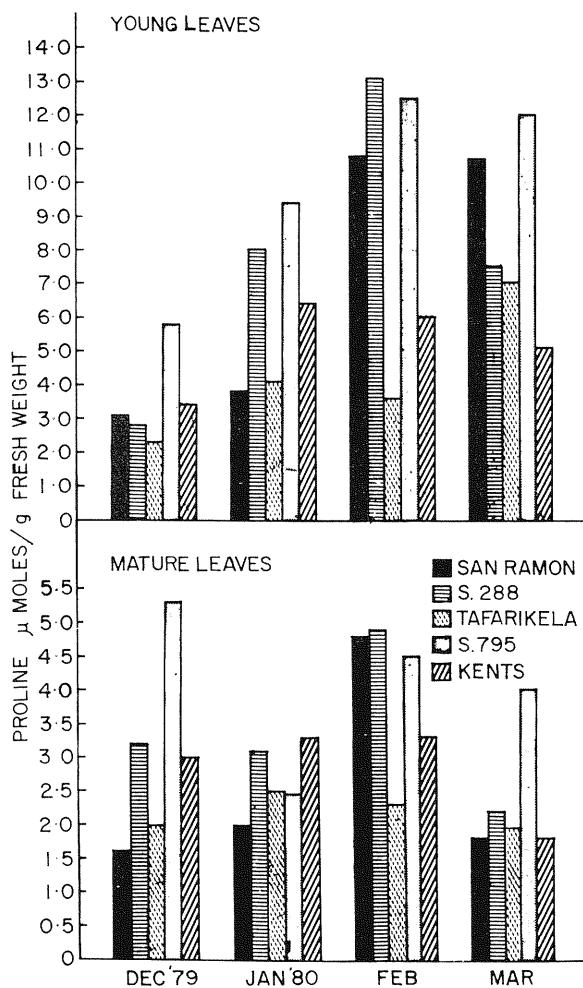


Fig. 1. Proline accumulation in leaves of coffee cultivars during drought period.

Table 1. Percent increase/decrease in proline content in young leaves of five different plant types of coffee from December 1979 to March 1980.

Plant type	Young leaves			
	1 20th Dec - 23rd Jan	2 23rd Jan - 23rd Feb	3 23rd Feb - 20th Mar	4 TOTAL OF 1 To 3 (Dec 79 to Mar 80)
San Ramon	25.08	179.95	- 0.37	204.66
S. 288	184.10	62.94	- 42.44	204.60
Tafarikela	77.49	- 12.93	97.20	161.76
S. 795	62.13	32.48	- 3.69	90.92
KENTS	87.98	- 7.18	- 13.61	67.19

for the entire period of experimentation (four months) is considered, Tafarikela recorded the minimum proline content, while the maximum was in S.795. The same trend was observed in both young and mature leaves.

Though no definite trend was observed in the accumulation of proline in leaves during different periods of drought, the following points can be made out:

1. In young leaves, maximum increase in proline content was recorded from December to January in S.288, S.795 and Kents. In San Ramon, the maximum increase was observed during January and February. In the case of Tafarikela, maximum accumulation of proline was recorded during February and March (Table 1). Regarding mature leaves, the pattern of accumulation was entirely different; Tafarikela and Kents recorded maximum increase from December to January; whereas, S.288, S.795 and San Ramon recorded maximum increase from January to February (Table 2).

2. If cumulative increase is taken for the entire period of drought, San Ramon recorded maximum per cent increase in proline content in both young and mature leaves and Kents showed minimum proline content (Table 1 and 2). The order of proline accumulation in the different plant types studied is as follows:

Young leaves - San Ramon > S.288 > Tafarikela > S.795 > Kents.

Mature leaves - San Ramon > S.795 > Tafarikela > S.288 > Kents.

The climatological factors during the period of drought are given below:

1. Total hours of sunshine (per month) ranged from 249.5 to 297.1.
2. Mean minimum temperature ranged from 11.3°C to 14.4°C.

Table 2. Percent increase/decrease in proline content in mature leaves of five different plant types of coffee from December 1979 to March 1980.

Plant type	Mature leaves			
	1 20th Dec - 23rd Jan	2 23rd Jan - 23rd Feb	3 23rd Feb - 20th Mar	4 TOTAL OF 1 to 3 (Dec 79 to Mar 80)
San Ramon	21.95	138.00	- 62.39	97.56
S. 288	- 3.74	59.87	- 55.06	1.07
Tafarikela	25.50	- 9.56	- 14.10	1.84
S. 795	- 53.69	84.08	- 11.09	19.30
KENTS	12.16	- 1.20	- 44.51	- 33.55

3. Mean maximum temperature ranged from 29.4°C to 34°C.
4. The soil moisture, in general, starts decreasing from October onwards and reaches minimum level in the month of March (4).

The present investigation has shown maximum increase of proline in San Ramon (in both young and mature leaves) during drought, indicating the possible correlation between proline accumulation and drought tolerance/resistance. This was further substantiated by an earlier report that the San Ramon cultivar is drought-hardy (8); the practical performance of the material in the field also confirms the drought-hardy nature of San Ramon.

In addition to proline accumulation during drought, the aspect of water requirement of coffee cultivars during different periods of the year, is also important and needs detailed study. The water requirement of different cultivars of the same species may be different based on age, size and spread of the bush. Therefore, the cultivar which has the inherent ability to economize in the utilization of water during drought, plays a significant role in crop production, since coffee is predominantly a rain-fed crop.

September 22, 1980

N. VASUDEVA\*  
D. VENKATARAMANAN\*  
K. I. RAJU\*  
M. C. RATAGERI\*

\* Division of Plant Physiology, Central Coffee Research Institute, Coffee Research Station, 577117, Chikmagalur District, KARNATAKA, INDIA.

#### References

1. BATES, L. S., WALDREN, R. P. and TEARE, I. D. Rapid determination of free proline for water-stress studies. *Plant and Soil* 39:205-207. 1973.
2. GOPAL, N. H. and RAMAIAH, P. K. Studies on wilting and die-back of arabica coffee plants. *Indian Coffee* 35:249-252 and 257. 1971.
3. GOPAL, N. H., RAMAIAH, P. K. and NARASIMHASWAMY, R. L. Shade for arabica coffee in India. *Indian Coffee* 34:265-267. 1970.
4. GOPAL, N. H. and VASUDEVA, N. Physiological studies on flowering in arabica coffee under South Indian conditions. 1. Growth of flower buds and flowering. *Turrialba* 23:146-153. 1973.
5. KALOYEREAES, S. A. A new method of determining drought resistance. *Plant Physiology* 33:232-233. 1958.
6. SASHIDHAR, V. R., MEKHRI, A. A. and KRISHNASASTRY, K. S. Proline accumulation in relation to seed hardening in groundnut genotypes. *Indian Journal of Agricultural Science* 47:595-598. 1977.
7. SINGH, T. N. ASPINALL, D. and PALEG, L. G. Proline accumulation and varietal adaptability to drought in barley; a potential metabolic measure of drought resistance. *Nature (New Biology)* 236:188-190. 1972.
8. SRINIVASAN, C. S. and VISHVESWARA, S. Cultivation of San Ramon (Dwarf) Hybrid Coffee. *Indian Coffee* 43:44-44, 1979.
9. TYMMS, M. J. and GAFE, D. F. Proline accumulation during water stress in resurrection plants. *Journal Experimental Botany* 30:165-168. 1979.
10. VASUDEVA, N. Role(s) of carbohydrates in growth and development of coffee. *Indian Coffee* 43:127-128 and 136. 1979.
11. VASUDEVA, N. and RAMAIAH, P. K. The growth and development of arabica coffee under South Indian conditions. *Journal Coffee Research* 9:35-45. 1979.

*Viene de la página 322*

**El kelvin.** Corresponde a 1/273.16 de la temperatura termodinámica del punto triple del agua (su símbolo es K).

**La candela.** Es la intensidad luminosa —en dirección perpendicular y con una superficie igual a 1/600 000 de metro cuadrado— de un cuerpo negro, a la temperatura de solidificación del platino a una presión de 101 325 newton por metro cuadrado.

**La mole.** Es la cantidad de sustancia de un sistema que contiene tantas entidades elementales como átomos hay en 0.012 kilogramos de carbono 12.

**El radián.** Es la medida de un plano cuyo vértice coincide con el centro de un círculo y cuya abertura es igual a la longitud de su radio subtendido como arco.

**El steradián.** Es la medida de un ángulo sólido con su vértice al centro de una esfera y que abarca sobre su superficie el área de un cuadrado cuyos lados tienen la longitud del radio.

Dirección de Información Pública  
y Comunicaciones  
IICA

---

\* Tomado y adaptado de: Francisco Campos y Asociados, S.A. – Berlín No. 321, México 21, D.F.