

# TURRIALBA

REVISTA INTERAMERICANA DE CIENCIAS AGRICOLAS

VOLUMEN 40

TRIMESTRE OCTUBRE-DICIEMBRE 1990

NUMERO 4

CODEN TURRAB 40(4):421-574

Déficit Hídrico en Palma Aceitera ( <i>Elaeis guineensis</i> Jacq.) en Costa Rica. Irrigación y Fertilización con Potasio. E. Villalobos, C. Chinchilla, C.H. Umaña, H. León	421
Material de Desarrollo Avanzado en Viveros de Palma Aceitera ( <i>Elaeis guineensis</i> Jacq.). I. Espaciamiento y Volumen de Bolsa. C. Chinchilla, C.H. Umaña, D.L. Richardson	428
Material de Desarrollo Avanzado en Viveros de Palma Aceitera ( <i>Elaeis guineensis</i> Jacq.) II. Condiciones del Sustrato. C. Umaña, C. Chinchilla, D.L. Richardson	440
Polinización en Palma Aceitera ( <i>Elaeis guineensis</i> Jacq.) en Centroamérica. I. Población de Insectos y Conformación de Racimos. C. Chinchilla, D.L. Richardson	452
Polinización en Palma Aceitera ( <i>Elaeis guineensis</i> Jacq.) en Centroamérica. II. Comportamiento de Insectos. C. Chinchilla, M. Escalante, D.L. Richardson	461
Picudo de la Palma y Enfermedad del Anillo Rojo/Hoja Pequeña en una Plantación Comercial en Honduras. C. Chinchilla, R. Menjivar, E. Arias	471
Picudo de la Palma y Enfermedad del Anillo Rojo/Hoja Pequeña en una Plantación Comercial en Costa Rica. J.L. Morales, C. Chinchilla	478
Persistence and Lack of Absorption and Translocation of Streptomycin Sulfate in Passion Fruit Leaves. R.S. Romeiro, J.J. Muchovej	487
Patrones del Sistema Radical en Frijol Común ( <i>Phaseolus vulgaris</i> L.). S. Kuruvadi, D.M. Aguilar	491
Influence of Fertilizer Application on Browning and Polyphenol Oxidase Activity in Cut Tubers of Yam. E.O. Etejere, C.A. Ajibade, M.O. Fawole	499
Variaciones Anuales en Precipitación, Escurrimiento e Intercepción en un Bosque Adulto de <i>Pinus radiata</i> . A.W. Huber, C.E. Oyarzun	503
Changes in Inorganic Composition of Cocoa Cotyledons During Germination Under Different Nursery Shade Conditions. O.A. Ogunmoyela, E.B. Esan	509
Metabolismo del Nitrógeno en <i>Phaseolus vulgaris</i> L. Bajo Déficit Hídrico. M. Castrillo, D. Fernández, P. Fernández, B. Molina, A. Kasandjian	515
Estresse Hídrico em Cultivares de <i>Phaseolus vulgaris</i> L. em Simbiose com o <i>Rhizobium leguminosarum</i> biovar <i>phaseoli</i> . C. Pimentel, J. Neto Jacob, S.R. Goi, G.G. Pessanha	520
Efecto de la Aplicación de Glifosato como Madurador en Tres Cultivares de Caña de Azúcar. J.F. Subiros	527
Efeitos de Acido 2-Cloroetilfosfónico (Ethrel) Sobre o Pólen de Aveia. R.J. Pinto, F.E.F. de Carvalho, M.J.C. de M.S. Tavares, L.C. Federizzi	535
Poblaciones Extranjeras de Maíz como Fuente Potencial de Precocidad en el Trópico Mexicano. R.E. Preciado, F. Caballero	540
Selección Recurrente en un Maíz Criollo de la Raza Xnucnal. R. Castillo, G. Aguilar	548
Crecimiento de la Vaina y Semillas del Frijol. F. Díaz	553
Identificación del Marchitamiento Moteado del Tomate (TSVW) <i>Impatiens walerana</i> en Costa Rica. C. Rivera, R. Pereira, P. Ramírez	562
Reseña de Libros	569
Comunicaciones	570
Revisores del Vol. 40, 1990	574



INSTITUTO INTERAMERICANO DE COOPERACION PARA LA AGRICULTURA

San José, Costa Rica

CR ISSN 0041 - 4360

# Déficit Hídrico en Palma Aceitera (*Elaeis guineensis* Jacq.) en Costa Rica. Irrigación y Fertilización con Potasio<sup>1</sup>

E. Villalobos\*, C. Chinchilla\*\*, C.H. Umaña\*\*, H. León\*\*

## ABSTRACT

Premature bending of lower and intermediate leaves was observed in adult oil palm plantations during prolonged dry periods, on some soils of the Central Pacific coast of Costa Rica. This phenomenon was more noticeable from mid-February 1988 in nonirrigated plants, where stomata were partially closed. At the end of the dry season, about 30% of lower leaves which were still green, were drooping around the stem in these same plots. Bent leaves had their stomata open only for about one hour early in the morning. Higher values of abaxial water vapor conductivity (C) were observed in irrigated plants (irrigated C=1.14; nonirrigated C=0.15 cm s<sup>-1</sup>). Premature bending of lower leaves in irrigated plots was low. The C values in leaves 9, 17 and 25 varied inversely with leaf age. A faster response in C was observed in younger leaves upon rehydration. An experiment conducted in 1989 showed an increase in relative water content of eight-year-old plants during the dry season, in response to the application of potassium (K). However, C values were not affected by K use, either in the 1988 or the 1989 experiments. Potassium fertilization prior to the dry season may help to alleviate the negative effect of a severe water shortage.

## COMPENDIO

Se cuantificó el efecto del déficit hídrico en la conductividad del vapor de agua foliar (C) y en el doblamiento prematuro de las hojas inferiores de palma aceitera adulta (*Elaeis guineensis* Jacq.), durante la época seca y en un suelo con baja capacidad de retención de humedad, en el Pacífico Central de Costa Rica. Fue evidente, desde mediados de febrero de 1988, el doblamiento de las hojas inferiores aún verdes, que suele culminar con la muerte de estas. En esa fecha se empezó a notar el cierre de los estomas en las palmas crecidas en parcelas no irrigadas. Estas plantas mostraron aproximadamente el 30% de sus hojas dobladas o quebradas en la región del pecíolo, al final del período de sequía. Las hojas dobladas tuvieron sus estomas abiertos solamente durante aproximadamente una hora, temprano en la mañana. En las parcelas irrigadas por gravedad, las palmas denotaron altos valores de C (irrigadas C=1.14 cm s<sup>-1</sup>; no irrigadas C= 0.15 cm s<sup>-1</sup>) y una reducción considerable del número de hojas dobladas. Los valores de C en las hojas 9, 17 y 25 variaron inversamente con la edad de ellas. También se observó una mejor respuesta en C a la rehidratación en las hojas más jóvenes. La aplicación de dosis crecientes de potasio (K), en 1988, indujo un pequeño aumento en el contenido foliar de este elemento, casi proporcional a la dosis. Sin embargo, esto no tuvo relación con el cambio en la conductividad estomática. En la época seca de 1989, un aumento en la fertilización con K determinó un incremento en el contenido relativo de agua en plantas de ocho años de edad, respecto de las parcelas no fertilizadas. Esta diferencia en el balance hídrico entre las palmas fertilizadas y las no fertilizadas, se acentuó al avanzar la sequía, lo que indica que la aplicación de K al finalizar la estación lluviosa, podría ser una forma de aumentar la tolerancia a los períodos secos prolongados.

1 Recibido para publicación el 19 de noviembre de 1990. Los autores agradecen a la División Quepos de la Compañía Palma Tica, por brindar su autorización para publicar los resultados de la investigación y, en especial, al Dr. D. L. Richardson, Director del Programa de Investigación en Palma Aceitera por su colaboración durante el desarrollo del trabajo y la revisión del manuscrito.

\* Centro de Investigaciones en Granos y Semillas (CIGRAS), Universidad de Costa Rica, San José, Costa Rica. El autor es beneficiario del Programa de Apoyo a Investigadores que patrocina el Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Tecnológicas de Costa Rica (CONICIT).

\*\* Programa de Investigación en Palma Aceitera, Compañía Palma Tica, Apartado 30-1000, San José, Costa Rica.

## INTRODUCCION

Algunos autores (4, 11) han demostrado que la palma aceitera cierra sus estomas, parcial o totalmente, conforme se acentúa el déficit hídrico. Rees (11) también encontró que las temperaturas altas contribuyen al cierre de aquellos, cuando las palmas están expuestas al déficit hídrico. Zobel y Liu (15) detectaron valores de conductividad estomática considerablemente mayores durante las

horas de la mañana que en las de la tarde. En Costa Rica, no se han documentado los efectos del déficit hídrico en las respuestas fisiológicas de la palma aceitera, a pesar de que sus síntomas son más frecuentemente visibles en la época seca.

Al cerrarse los estomas la palma aceitera evita la desecación; no obstante, esto impide la absorción del agua ( $\text{CO}_2$ ). Corley (4) estima que una conductividad estomática inferior que  $0.05 \text{ cm s}^{-1}$  en esta planta, reduce la tasa fotosintética mediante la saturación de luz en un 75 por ciento. Según ese autor, las plantas que cierran sus estomas por un lapso de 40 días al año, disminuirían su producción en un 10 por ciento.

Lahiri (8) resumió varios trabajos de investigación que apoyan la hipótesis de que la fertilización favorece la tolerancia de las plantas a la sequía. Beringer y Trolldenier (1) han aportado evidencias sobre el hecho de que la participación del K como osmorregulador en el funcionamiento estomático, puede jugar un papel importante en la reducción de los efectos negativos del déficit hídrico. Braconnier y d'Auzac (2) asociaron el K con la apertura de los estomas en palma aceitera. Thiyagarajan, citado por Corley (5), encontró que la resistencia estomática de plántulas de palma aceitera, que crecieron en una solución nutritiva sin K, disminuyó gradualmente cuando se adicionó ese elemento al medio. En algunos casos se informa que la fertilización con cloruro de potasio (KCl) causó un ligero cierre de los estomas, incluso cuando el contenido de K en el suelo era bajo (10).

El contenido relativo de agua (CRA) es considerado uno de los principales determinantes de la actividad metabólica y de la sobrevivencia foliar (13); al ser esta una característica muy estable (12, 13) ha sido estimada como un indicador importante de tolerancia a la sequía (3, 12).

Con la presente investigación, se pretendió documentar la respuesta de la palma aceitera al déficit hídrico y la fertilización potásica, con el empleo de la conductividad estomática y el CRA como indicadores.

#### MATERIALES Y METODOS

En 1988 se realizó un primer experimento en Quepos, Costa Rica, durante la época seca, en un lote comercial de palma aceitera (D x P, Malasia) de 17

años de edad, sembrado a una distancia de nueve metros en triángulo.

Al final de la anterior época lluviosa -diciembre de 1987-, se inició la irrigación por gravedad en un área aproximada de dos hectáreas, con la idea de mantener la humedad del suelo lo más cerca posible a su capacidad de campo durante todo el periodo experimental. Se seleccionaron tres parcelas con 50 palmas cada una, las cuales habían recibido  $20.75 \text{ kg ha}^{-1}$  de K en mayo de 1987. En diciembre de 1987 se les aplicó dosis adicionales de  $20.75 \text{ kg ha}^{-1}$  de K y  $62.25 \text{ kg ha}^{-1}$  de K (como  $\text{K}_2\text{SO}_4$ ) a dos parcelas únicamente, para completar los tratamientos de  $20.75 \text{ kg ha}^{-1}$  de K,  $41.50 \text{ kg ha}^{-1}$  de K y  $62.25 \text{ kg ha}^{-1}$  de K durante 1987, previamente al inicio de la época seca. Todas las parcelas recibieron en el año un total de  $114 \text{ kg ha}^{-1}$  de nitrógeno, en tres aplicaciones. De igual manera, se asignaron los mismos tratamientos de K en tres parcelas vecinas del mismo lote, las que no recibieron irrigación suplementaria. El suelo era de tipo esquelético, con alto contenido de grava.

Las lecturas de conductividad estomática ( $C = 1 \text{ rs}^{-1}$ ) se obtuvieron con un autoporómetro automático MK-II (Delta Morris, Inglaterra). Fueron tomadas en diferentes fechas durante la época seca entre el 6 de diciembre de 1987 y el 7 de abril de 1988, día en que se estableció la época lluviosa en forma ininterrumpida (Fig. 1). Las mediciones se hicieron en la superficie abaxial de las hojas, en la parte central de tres folíolos de la parte media de las hojas 9, 17 y 25, en cuatro plantas seleccionadas al azar en cada parcela experimental. El 6 y el 7 de abril -coincidentes con el final de la época seca y el establecimiento de la época lluviosa-, se lograron datos sobre la conductividad en diferentes horas del día, para documentar la respuesta de la planta ante la rehidratación.

El estudio de la humedad en el suelo se hizo mediante el método gravimétrico. Los análisis químicos del suelo y de la hoja 17 se efectuaron en dos ocasiones con métodos convencionales. Las muestras fueron recolectadas seis días después de la aplicación del fertilizante en diciembre y 33 días más tarde.

Durante la época seca de 1989 se realizó un segundo experimento en palmas de ocho años (D x P, Deli x AVROS), crecidas en un suelo arcillo-arenoso, sin gravillas ni guijarros en los primeros 110

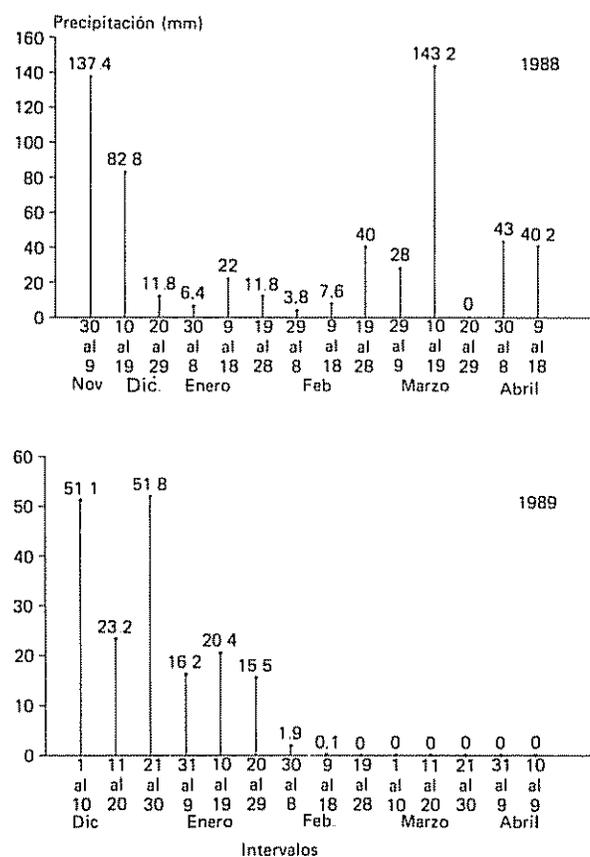


Fig. 1. Distribución de la precipitación, durante los períodos secos de 1988 y 1989 en Quepos, Costa Rica

centímetros y con buena capacidad de retención de humedad (30% de humedad en los primeros 55 centímetros de profundidad, al finalizar la época seca). Se adjudicaron cuatro dosis de K (0, 83.0, 124.50 y 166 kg ha<sup>-1</sup>, como K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) en sendas parcelas -irrigadas y no irrigadas-, al final de la época lluviosa. Durante el mes de mayo anterior las parcelas recibieron una fertilización-base de 20.75 kg ha<sup>-1</sup> de K, como K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>. Se empleó riego por subirrigación, para lo cual se obstruyó el flujo en los canales de avenamiento para elevar la tabla de agua y lograr su ascenso por capilaridad hasta las raíces.

Debido al agotamiento del agua como consecuencia de la severidad de la sequía, solamente fue posible subirrigar en enero y febrero. El análisis estadístico del CRA, como respuesta a las dosis crecientes de K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, se efectuó según un diseño de bloques completos al azar, con ocho tratamientos -cuatro en cada parcela de irrigación- y cuatro repeticiones en el tiempo -fechas para la evaluación-.

Se determinó el CRA a partir de la sección media de los folíolos centrales de la hoja 17 en tres plantas seleccionadas al azar en cada unidad experimental. Los segmentos foliares se colocaron en bolsas completamente herméticas (tipo Zip Lock<sup>®</sup>), a las que se les sacó el aire antes de ponerlas en un recipiente con hielo. Dos horas después, se extrajeron 12 discos con un sacabocados de 25 milímetros de diámetro y se obtuvo su peso fresco (PF). Posteriormente los discos fueron mantenidos por tres horas en una bandeja entre dos capas de gasa ("cheese cloth") saturadas con agua. Observaciones previas habían mostrado que en este lapso los tejidos alcanzaron la máxima imbibición. Los discos fueron secados superficialmente con una toalla absorbente y se determinó su peso túrgido (PT). Luego se les dejó secar por dos días a 65°C para establecer su peso seco (PS). El CRA se calculó mediante la fórmula:

$$\text{CRA} = (\text{PF} - \text{PS} / \text{PT} - \text{PS}) \times 100$$

## RESULTADOS Y DISCUSION

### Evidencia del estrés hídrico

Las observaciones sobre el comportamiento estomático durante el período seco de 1988 (Fig. 2), muestran claramente el efecto detrimental del déficit hídrico acumulado en las plantas, en las parcelas no irrigadas.

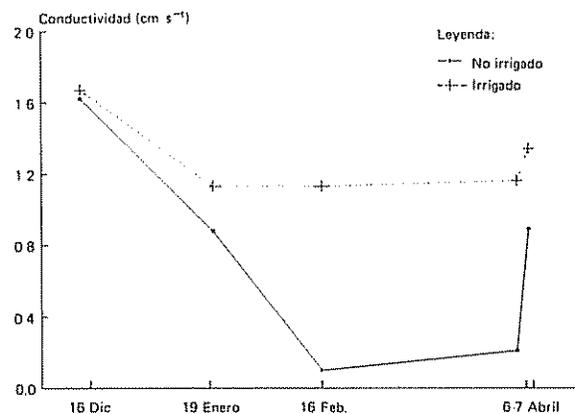


Fig. 2. Conductividad del vapor de agua foliar al mediodía (promedio de las hojas 9 y 17) en plantas de palma aceitera de 17 años de edad, bajo diferentes suministros de agua durante la época seca de 1988.

El cierre de los estomas se evidenció en el mes de febrero. Al final de la época seca (6 de abril), la humedad del suelo en las parcelas no irrigadas fue de 9.5 % y 11.5 % entre 0 - 25 centímetros y 25 - 50 centímetros de profundidad, respectivamente; en contraste con el 27.1 % y 25.7 % de humedad en las parcelas irrigadas. El cierre estomático no sólo ocurrió durante las horas del mediodía, como se ha demostrado que sucede durante la época seca en otras regiones donde se cultiva esta oleaginosa (11). Las palmas no irrigadas abrieron sus estomas ligeramente en las primeras horas de la mañana y los mantuvieron cerrados total o parcialmente y sin variaciones hasta las 15:00 horas (Fig. 3). A partir de ese momento, la disminución en la radiación solar indujo también el cierre de los estomas en las palmas irrigadas.

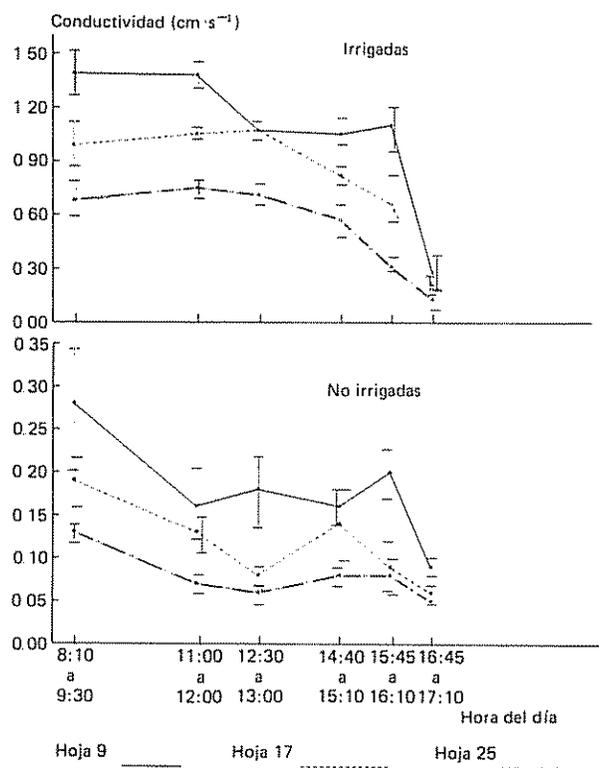


Fig 3 Conductividad del vapor de agua foliar a diferentes horas del día, en las hojas 9, 17 y 25 de plantas de palma aceitera de 17 años de edad, bajo diferentes suministros de agua durante la época seca de 1988. Las líneas verticales indican el error estándar

En forma consistente, la conductividad estomática disminuyó con la edad de la hoja. Zobel y Liu (15) atribuyen este comportamiento a la exposición de la hoja ante la radiación solar, como se ha demostrado en varias especies (14). Por otra parte, el

doblamiento prematuro de los peciolos de las hojas inferiores aún verdes -ocurre también en forma natural por el desarrollo de los racimos y se acentúa durante la cosecha-, influye en el flujo del agua y, consecuentemente, en la conductividad estomática. Incluso en las parcelas irrigadas las hojas dobladas no lograron satisfacer su demanda hídrica y cerraron sus estomas parcial o totalmente. Los aguaceros cortos y dispersos que ocurren durante la época seca, no parecen influir significativamente en el comportamiento de los estomas. Esto puede deberse, en parte, a la muerte de raíces superficiales en la época seca.

Las lecturas obtenidas el 7 de abril en las parcelas no irrigadas, un día después de la ocurrencia de una precipitación de 34.6 milímetros, mostraron una recuperación parcial de la conductividad estomática en las hojas 9 y 17 en la mañana, la que disminuyó nuevamente al aumentar la transpiración en el mediodía (Fig. 4). Los datos sobre conductividad

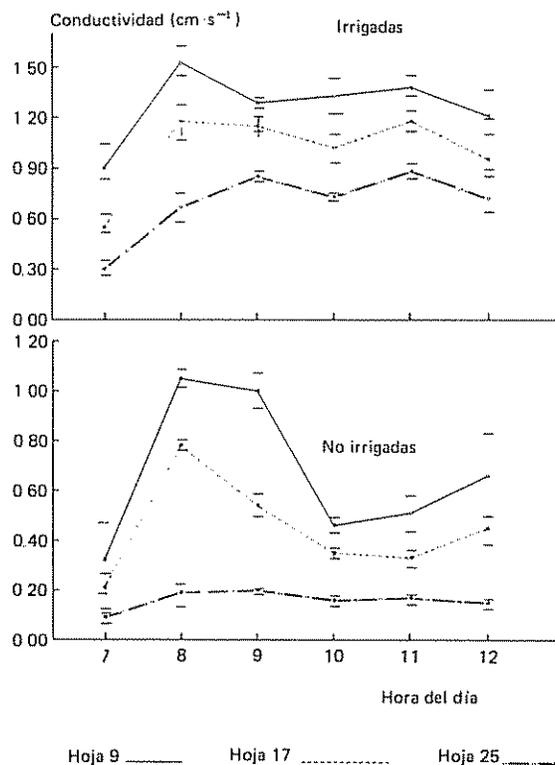


Fig 4 Conductividad del vapor de agua foliar a diferentes horas del día, en las hojas 9, 17 y 25 en plantas de palma aceitera de 17 años de edad, sujetas a diferentes suministros de agua un día después de recibir 34.6 mm de precipitación, durante la época seca de 1988. Las líneas verticales indican el error estándar

logrados en esta fecha, indican una respuesta a la rehidratación en las hojas 9 y 17; mientras que la hoja 25 no denotó ningún cambio durante las horas de la mañana, a pesar de la nubosidad y las temperaturas frescas, que culminaron con lluvias en la tarde.

Se supone que el estrés hídrico tiene un efecto negativo en la producción (7), aunque resulta difícil cuantificar el efecto de las lluvias esporádicas que ocurren durante la época seca en lugares como Quepos. Determinar la magnitud de la reducción en la producción de racimos, atribuida al déficit hídrico, es muy importante para justificar los programas de irrigación cuando es posible aplicar este insumo.

### Influencia del potasio en la conductividad estomática

No se observó durante el año 1988 una respuesta en la conductividad estomática con la adición del fertilizante potásico. Esto ocurrió, a pesar de obtenerse un ligero aumento en el contenido de K foliar, con dosis mayores de K (Cuadros 1 y 2 y Fig. 5). Esta respuesta puede explicarse parcialmente en

Cuadro 1. Palma aceitera: Influencia de la irrigación y fertilización con K, sobre la conductividad del vapor de agua foliar (promedio de las hojas 9 y 17), en plantas de 17 años de edad durante la época seca (1988).

Fecha de observación	Nivel de K (kg ha <sup>-1</sup> )	Conductividad (cm s <sup>-1</sup> )*	
		Parcelas irrigadas	Parcelas no irrigadas
16 diciembre	20.75	1.39	1.40
	41.50	1.74	1.60
	83.00	1.48	1.71
19 enero	20.75	0.91	0.96
	41.50	1.19	0.78
	83.00	1.23	0.92
20 enero	20.75	1.35	0.96
	41.50	1.36	0.89
	83.00	1.64	1.37
16 febrero	20.75	1.13	0.09
	41.50	0.90	0.10
	83.00	1.36	0.11
6 abril	20.75	1.12	0.27
	41.50	1.17	0.20
	83.00	1.16	0.16

\* Los valores son el promedio de 12-18 lecturas.

Cuadro 2. Palma aceitera: Contenido de K y Ca\* (porcentaje de materia seca) en la hoja 17 de plantas de ocho años de edad, bajo diferentes dosis de K, aplicado como K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, en la época seca (1989).

Nivel de K (kg ha <sup>-1</sup> )	Plantas irrigadas		Plantas no irrigadas	
	K	Ca	K	Ca
20.75	1.03	0.78	0.98	0.86
41.50	1.11	0.74	1.08	0.83
83.00	1.12	0.79	1.05	0.95

\* Valores son el promedio de dos análisis hechos seis y 39 días después de la aplicación de 20.75 kg ha<sup>-1</sup> de K y 62.25 kg ha<sup>-1</sup> de K, requeridos para completar los niveles del segundo y tercer tratamiento al final de la época lluviosa. Todas las parcelas recibieron 20.75 kg ha<sup>-1</sup> de K en mayo de 1989.

las parcelas irrigadas, ya que al existir una hidratación adecuada, la concentración alta de K pierde su importancia osmorreguladora, especialmente cuando el contenido foliar de ese elemento se encuentra en los límites óptimos. En condiciones hidropónicas se ha encontrado una reacción positiva al K en la conductividad estomática, pero cuando este elemento se encuentra en niveles deficientes (4). Tampoco se obtuvo respuesta a la adición del fertilizante en las

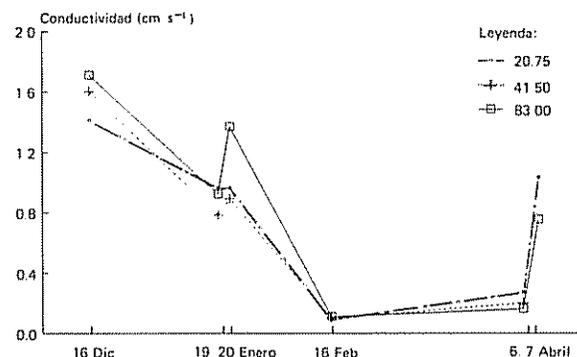


Fig 5 Conductividad del vapor de agua foliar al mediodía (promedio de las hojas 9 y 17), en plantas de palma aceitera de 17 años de edad, bajo diferentes niveles de K (kg·ha<sup>-1</sup>), durante la época seca de 1988

parcelas no irrigadas, donde el efecto osmorregulador del K en la apertura estomática sería importante durante la época del déficit hídrico. Incluso en las parcelas que recibieron las dosis menores de K, el contenido foliar de éste se encontraba en una condición muy cercana a la considerada como óptima

(Cuadro 1). Esto es de esperar ante el alto contenido de K en el suelo (más de 1.0 meq 100 ml<sup>-1</sup> de suelo), lo cual probablemente impide una reacción positiva en la acumulación foliar de K, aunque se utilicen dosis mayores de 83.0 kg ha<sup>-1</sup> de potasio.

### Doblamiento de las hojas inferiores

El efecto detrimental del estrés hídrico en las parcelas no irrigadas, se manifestó también en el doblamiento prematuro de las hojas inferiores, que invariablemente culmina con el quebramiento del pecíolo y en la muerte de aquellas (Cuadro 3). El doblamiento prematuro de las hojas empezó a notarse en las parcelas no irrigadas simultáneamente con el cierre de los estomas en febrero de 1988. Las hojas dobladas mantuvieron sus estomas cerrados durante la mayor parte del día, excepto por un corto período en la mañana. El doblamiento prematuro de las hojas

-aproximadamente un 30% del área foliar en las parcelas no irrigadas- tiene, sin duda, un efecto negativo en la producción; no solamente por la reducción en la superficie fotosintética, cuyo efecto es mayor al doblarse las hojas jóvenes, sino por la dificultad para la movilización de nutrimentos a través de los haces vasculares del pecíolo dañado. Las hojas dobladas permanecen verdes por poco tiempo y eventualmente se secan, por lo que no se justifica dejarlas en la planta durante un ciclo rutinario de poda. Las áreas mayormente expuestas al déficit hídrico y al doblamiento de las hojas inferiores en Quepos, son frecuentemente también las más afectadas por la fractura de la corona, lo cual concuerda con las observaciones de Duckett y Chan (6).

La ocurrencia esporádica de palmas con hojas dobladas y quebradas en las parcelas que recibieron riego suplementario (Cuadro 3), indica que otros

Cuadro 3. Palma aceitera: Doblamiento de las hojas inferiores en parcelas con plantas\* de 17 años de edad, que recibieron diferentes tratamientos de irrigación y fertilización potásica.

K (kg ha <sup>-1</sup> )	Planta	Parcelas irrigadas		Planta	Parcelas no irrigadas	
		Total de hojas dobladas	Hoja más joven afectada		Total de hojas dobladas	Hoja más joven afectada
20.75	1	2	27	19	11	20
	2	1	42	20	11	17
	3	1	41	21	3	20
	4	0	—	22	3	19
	5	1	39	23	4	27
	6	0	—	24	0	—
Medias		0.83	37.3		5.33	20.6
41.50	7	2	40	25	8	19
	8	0	—	26	5	27
	9	11	27	27	9	22
	10	0	—	28	5	24
	11	0	—	29	0	—
	12	0	—	30	6	12
Medias		2.17	33.5		5.50	20.8
83.00	13	0	—	31	2	25
	14	0	—	32	10	17
	15	0	—	33	3	22
	16	1	27	34	13	20
	17	1	33	35	1	25
	18	0	—	36	8	11
Medias		0.33	30.0		6.17	20.0

\* Las palmas evaluadas fueron seleccionadas del centro de la parcela, al final de la estación seca de 1988

factores además del déficit hídrico, están involucrados en el doblamiento prematuro de las hojas. Sin embargo, es claro que el fenómeno se acentúa con el déficit hídrico.

### Contenido relativo de agua

Las palmas fertilizadas con  $K_2SO_4$ , en 1989, mostraron un CRA mayor ( $\hat{O} < 0.01$ ) que aquellas no fertilizadas (Fig. 6). Estas diferencias, aunque pequeñas en apariencia, son comparables con las observadas entre cultivares tolerantes y susceptibles a la sequía en trigo (12) y en soja (Carter, 1989, comunicación personal). No obstante, a pesar de una prolongada sequía, no se observaron plantas con hojas quebradas o dobladas en esta área de la plantación, lo cual se atribuye a una mayor capacidad de almacenamiento de agua en estos suelos.

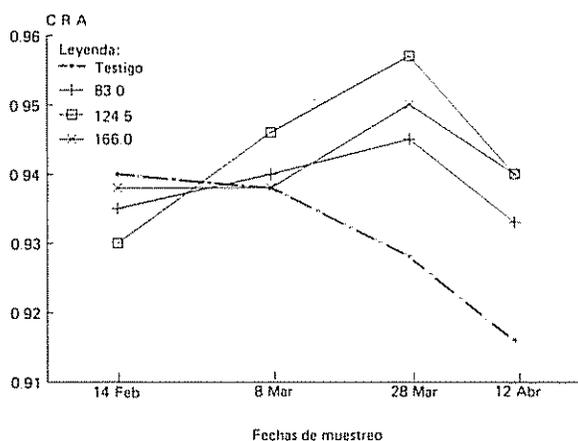


Fig 6. Contenido relativo de agua (CRA) en la hoja 17, de plantas de palma aceitera de ocho años de edad, bajo diferentes niveles de K ( $kg \cdot ha^{-1}$ ), durante la época seca de 1988

Este efecto positivo de la aplicación de K en la retención del agua en palma aceitera, durante la época seca, alienta la investigación en este campo. Dosis altas de K al final de la época lluviosa, podrían ser importantes para aumentar la eficiencia en el uso del agua y para modificar la frecuencia de riego, como se ha confirmado que ocurre con la aplicación de sales en algunas especies (9), o bien como una forma de reducir los efectos negativos de los períodos secos prolongados.

### LITERATURA CITADA

- BERINGER, H.; TROLL DENIER, G 1978. Influence of K nutrition on the response to environmental stress In Potassium Research Review and Trends. Bern, Suiza, International Potash Institute. p 189-222.
- BRACONNIER, S.; D'AUZAC, J. 1985 Etude anatomique et mise en évidence cytologique des mouvements de potassium et de chlore associés à la ouverture des stomates de palmier à huile et de cocotier Oléagineux (Francia) 40(11):547-551.
- CARTER, T. 1989. Breeding for drought tolerance in soybean -where do we stand? In World Soybean Conference (4., Buenos Aires, Arg.) Buenos Aires, Arg. (In press).
- CORLEY, R.H.V 1973. Midday closure of stomata in the oil palm in Malaysia. Mardi Research Bulletin 1:1-4.
- CORLEY, R.H.V 1976. Photosynthesis and productivity. In Oil Palm Research. Holanda, Elsevier Scientific Publishing p 55-75.
- DUCKETT, J.E.; CHAN, S.K. 1978. Crown fracture and palm type - initial findings. Planter (Malasia) 54:142-148.
- HARTLEY, C.W.S 1989. The Oil Palm (*Elaeis guineensis* Jacq.) 3a ed. London, G.B., Longman. p 95-139.
- LAHIRI, A.N. 1980. Interaction of water stress and mineral nutrition on growth and yield. In Adaptation of Plants to Water Stress and High Temperatures. New York, EE.UU., Wiley. p 341-352.
- McCREE, K.J.; RICHARDSON, S.G 1987. Salt increases the water use efficiency in water stressed plants. Crop Science (EE.UU.) 27:543-547.
- OLLAGNIER, M. 1985. Réactions ioniques et conduite de la fertilisation en liaison avec la résistance à la sécheresse des oléagineux pérennes (palmier à huile et cocotier) I. Oléagineux (Francia) 40(1):1-10
- REES, A.R. 1961. Midday closure of stomata in the Oil Palm (*Elaeis guineensis* Jacq.). Journal of Experimental Botany (G.B.) 12:129-146.
- SCHONFELD, M.A.; JOHNSON, R.C.; CARVER, B.F.; MORNHINWEG, D.W. 1988. Water relations in winter wheat as drought resistance indicators. Crop Science (EE.UU.) 28:526-531.
- SINCLAIR, T.R.; LUDLOW, M.M. 1985. Who taught plants thermodynamics? The unfulfilled potential of plant water potential. Australian Journal of Plant Physiology (A.C.T.) 12:213-217.
- SOLAROVA, J.; POSPISILOVA, J. 1983. Photosynthetic characteristics during ontogenesis of leaves. 8. Stomatal characteristics during ontogenesis of leaves. 8. Stomatal diffusive conductance and stomata reactivity. Photosynthetica. International Journal for Photosynthesis Research (Checoslovaquia) 17(1):101-151.
- ZOBEL, D.; LIU, V. 1980. Leaf conductance patterns of seven palms in a common environment. Botanical Gazette (EE.UU.) 141:283-289.

# Material de Desarrollo Avanzado en Viveros de Palma Aceitera (*Elaeis guineensis* Jacq.). I. Espaciamiento y Volumen de Bolsa<sup>1</sup>

C. Chinchilla\*, C.H. Umaña\*, D.L. Richardson\*

## ABSTRACT

The reduction of the non-productive period after transplanting oil palm is desirable in order to shorten investment payback. This can be achieved by producing larger, more vigorous plants during the nursery phase. These experiments measured the growth response in nursery palms subjected to several agronomic practices. Growth and early bunch production after field transplanting were also measured. Eighteen-month-old nursery seedlings from advanced stage nurseries show better growth in the field one year after transplanting than 13-month-old seedlings from conventional nurseries. The most important factor affecting vegetative growth in both nursery and field was nursery-bag spacing. Plants kept during 18 months in nursery spaced at 0.9 m were severely etiolated adversely affecting growth and precocity. On the other hand, plants spaced 1.37 m in the nursery grew more vigorously and yielded earlier after transplanting. Larger bags and higher fertilization rates also improved vegetative growth in nursery, but this effect tended to fade out after transplanting. Leaf pruning of nursery palms before transplanting, facilitated handling but negatively affected precocity.

## COMPENDIO

En este trabajo se midió el efecto que sobre el desarrollo vegetativo en vivero y campo y sobre la precocidad, tienen varias prácticas agronómicas durante la fase de vivero. La reducción del período improductivo después del trasplante al campo en palma aceitera (*Elaeis guineensis* Jacq.) es importante para reducir los costos de establecimiento de la nueva plantación. Esto se puede lograr con plantas más vigorosas que soporten mejor el estrés de trasplante y que reinicien prontamente el crecimiento. Plantas de 13 meses de edad en vivero presentan en el campo al año de edad, un desarrollo inferior que el del material avanzado de siembra -18 meses en vivero-. En plantas de edad avanzada, el factor de mayor influencia sobre el desarrollo fue el espaciamiento entre bolsos. Plantas mantenidas a 90 centímetros de distancia sufrieron una fuerte etiolación, lo que afectó adversamente el desarrollo y la precocidad. Por otro lado, un espaciamiento de 1.37 metros produjo plantas más vigorosas y más precoces. El uso de bolsos de mayor tamaño (40 cm x 53 cm vs. 51 cm x 61 cm) y dosis mayores de fertilizante en vivero, también incidieron favorablemente en el desarrollo pero, en menor grado, que el factor de espaciamiento; cuyo efecto tiende a desaparecer tempranamente después del trasplante al campo. La poda del follaje en vivero facilitó el manejo durante el trasplante pero afectó adversamente la precocidad.

## INTRODUCCION

La renovación de plantaciones viejas de palma aceitera (*Elaeis guineensis* Jacq.) acarrea, además del costo intrínseco de la operación, la pérdida de dinero durante el período improductivo de la nueva siembra. La reducción de este período improductivo después del trasplante puede lograrse mediante: a) el uso de material genético precoz; b) la aplicación de buenas prácticas agronómicas; c) el mantenimiento de la plantación vieja por un tiempo prudencial luego de la siembra del nuevo material o d) el empleo de plantas de vivero vigorosas en estado avanzado de desarrollo (2, 3, 4, 6)

La tercera opción acarrea el riesgo de favorecer ciertas plagas y enfermedades (9) y representa dificultades en la eliminación de la plantación vieja, una vez establecida la nueva siembra.

La siembra en el campo de plantas de vivero de 10 meses de edad o menos es económicamente inconveniente. Las plantas de mayor desarrollo tienen un período improductivo menor; producen más en los primeros años, y los racimos son más grandes y de mejor calidad (6). Esta respuesta parece mantenerse durante los primeros años después del trasplante en el campo.

En general es posible obtener plantas de mayor desarrollo vegetativo en menor tiempo, si se utilizan bolsos de mayor tamaño y se aumentan la fertilización y el espaciamiento entre bolsos en el vivero (8). La poda de plantas anterior al trasplante facilita el manejo y, probablemente, disminuye el estrés después del mismo (4, 5).

<sup>1</sup> Recibido para publicación el 21 de enero de 1991

Los autores expresan su agradecimiento a la Compañía Palma Tica de Costa Rica por su colaboración y permiso para publicar estos resultados. Especialmente a la Sra. E. Rojas por su labor mecanográfica

\* Compañía Palma Tica, Programa de Investigación en Palma Aceitera, Apdo. 30-1000 San José, Costa Rica.

El presente trabajo tuvo como objetivo medir la respuesta en crecimiento de plantas Deli x AVROS en vivero, utilizando prácticas agronómicas que favorecen un mayor desarrollo vegetativo. También se evaluó el desempeño de estas plantas en cuanto al crecimiento, floración y producción de fruta en el campo definitivo.

#### MATERIALES Y METODOS

El experimento en el vivero incluyó 16 tratamientos colocados en un arreglo factorial según un diseño de bloques completos al azar, con 12 repeticiones. Cada parcela estuvo formada por 25 plantas y una parcela útil de nueve plantas. Se utilizaron dos tamaños de bolsas (40 x 53 cm y 51 x 61 cm); dos niveles de fertilización (Cuadro 1); dos espaciamientos entre bolsas (90 cm y 137 cm en triángulo) y dos niveles de poda de follaje (0 y 30 %), realizados una semana antes del trasplante al campo definitivo.

Cuadro 1. Palma aceitera: Programa de fertilización básica realizada durante la fase de vivero.

DDS*	Fórmula	Dosis (g/planta)	
		X1	X2
117	18-46-0	1	2
138	18-46-0	1	2
173	18-46-0	7	14
201	18-46-0	7	14
229	15-15-15	14	28
266	15-15-15	14	28
295	15-15-15	21	42
321	15-15-15	21	42
355	15-15-15	28	56
394	15-15-15	28	56
420	15-15-15	28	56
446	15-15-15	28	56
477	15-15-15	35	70
502	15-15-15	35	70
530	15-15-15	35	70

DDS = Días después de la siembra en previvero. El lapso de 117 días corresponden a un mes después del trasplante. No se incluye la fertilización en previvero.

Un testigo absoluto —práctica usual— fue sembrado directamente en bolsas convencionales (40 cm x 53 cm), espaciadas a 90 centímetros y fue llevado al campo 13 meses después, con los demás tratamientos.

Todas las plantas, con excepción del testigo absoluto, fueron mantenidas en un previvero durante aproximadamente dos y medio meses y quince y medio meses en el vivero; y fueron trasplantadas al

campo en los últimos días de mayo de 1989, lapso que corresponde al inicio de la época lluviosa.

Los datos obtenidos en la fase de vivero fueron comparados estadísticamente para cada fecha de evaluación y también se utilizó el área bajo la curva de crecimiento hasta la última evaluación, realizada a los 482 días después de la siembra (DDS) en previvero.

La comparación estadística entre tratamientos durante la fase de vivero no incluye el testigo absoluto ni tampoco se consideran los tratamientos de poda.

Los materiales sembrados provinieron de cinco cruces comerciales Deli x AVROS; el 76.6 % de las semillas correspondía a dos cruces específicos.

Medidas rutinarias de crecimiento se tomaron a intervalos de aproximadamente un mes durante la fase de rápida diferenciación de la morfología foliar y luego, fueron, espaciadas cada dos meses.

Todas las variables se determinaron según los criterios de Corley y Breure (1), excepto el área foliar total por planta que se obtuvo al sumar el área de cada hoja individual presente en cada evaluación. El área por hoja se estimó de acuerdo con su forma, según las siguientes fórmulas:

- A) Hojas lanceoladas = largo x ancho x 0.57 centímetros.
- B) Hojas bilobuladas = largo x ancho máximo x 0.5 centímetros.
- C) Hojas con folíolos diferenciados = largo x ancho x 0.55 centímetros x número de folíolos.
- D) Hojas en transición = B + C.

El experimento fue trasplantado al campo definitivo 546 DDS (17.9 meses) en Coto en el Pacífico Sur de Costa Rica. En esta etapa de campo, se miden las variables morfométricas cada seis meses y los componentes del rendimiento. Las plantas fueron dispuestas en un arreglo factorial, que incluyó los cuatro factores aplicados en vivero —nivel de bolsa, fertilización, tamaño de bolsa y espaciamiento—, montado según un diseño de bloques completos al azar con seis repeticiones.

Aparte de los factores bajo estudio, el manejo que se dio a las plantas en el vivero y en la plantación, correspondió a las prácticas normales aplicadas por la empresa: riego durante el período seco, aspersiones preventivas de fungicidas y combate manual y químico de malezas durante la fase de vivero.

## RESULTADOS Y DISCUSION

## Fase de vivero

**Crecimiento.** El mayor espaciamiento de las bolsas en el vivero (137 cm) aumentó tanto la tasa de emisión foliar, esto es 2.39 hojas por mes comparado con 1.86 hojas por mes para el espaciamiento de 90 centímetros como el área foliar promedio de las hojas producidas entre evaluaciones (28.31 cm<sup>2</sup> vs. 26.93 cm<sup>2</sup>) y el área foliar total por planta (4.27 m<sup>2</sup> vs. 3.77 m<sup>2</sup>) a los 482 DDS. Ese efecto positivo sobre el crecimiento del factor distancia, se observó desde muy temprano en el desarrollo de la planta (Cuadro 2 y Figs. 1, 2 y 3).

Al término de la última evaluación, las plantas separadas a 137 centímetros tenían un mayor número de hojas (15.21 hojas) con respecto de aquellas producidas a 90 centímetros (14.0 hojas), pero estas diferencias no fueron significativas (Cuadro 2).

En general, el aumento en el nivel de fertilización tuvo menor impacto que el espaciamiento para producir plantas más vigorosas en el vivero. Este efecto fue también observado por Hashin *et al.* (4, 5). No obstante, una mayor fertilización estuvo ligada a la producción de un área foliar más extensa; también se observó una tendencia en incrementar la tasa de emisión foliar y del largo del raquis (Cuadro 2).

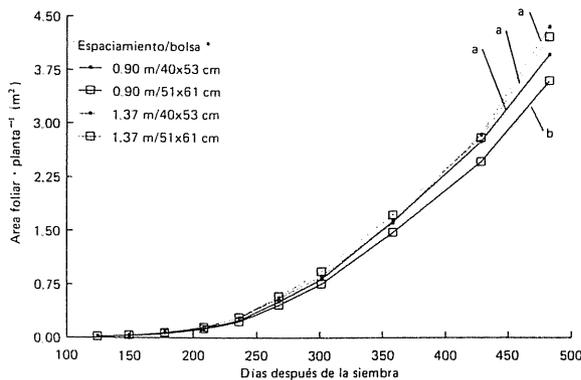


Fig. 1. Área foliar  $\cdot$  planta<sup>-1</sup> en material Deli x AVROS, desarrollado bajo diferentes combinaciones de tres prácticas agronómicas en el vivero. Asterisco indica significancia de la comparación del área bajo la curva. Separación de medias por Duncan (P: = 0.05).

El área foliar por planta se incrementó significativamente cuando se utilizó la combinación de un mayor espaciamiento con un mayor nivel de fertilización, efecto evidente a partir de los 236 días de edad de las plantas. La mayor área foliar por planta estuvo

asociada, en este tratamiento, con un área mayor de los folíolos.

Contrariamente a este efecto, la combinación de bolsas grandes con la menor distancia de siembra o con el nivel inferior de fertilización, fue aparentemente negativa para el desarrollo vegetativo de la planta (Figs. 1 y 2). Esta respuesta se inició probablemente antes de los 10 meses de edad de las plantas y estuvo asociada con una menor área foliar promedio, que ocurrió especialmente a 90 centímetros de las nuevas hojas producidas. La menor área foliar estuvo a su vez asociada con una menor área media del folíolo en las plantas a 90 centímetros, sembradas en bolsas grandes (Cuadro 3).

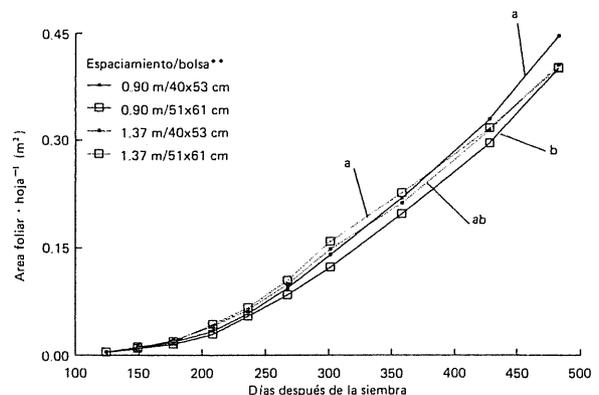


Fig. 2. Área foliar  $\cdot$  hoja<sup>-1</sup> en material Deli x AVROS, desarrollado bajo diferentes combinaciones de tres prácticas agronómicas en el vivero. Asteriscos indican significancia de la comparación del área bajo la curva (P: \*\* = 0.01). Separación de medias por Duncan (P: = 0.05).

Se observó que el índice del área foliar (IAF) se incrementó más rápidamente en las plantas sembradas a 90 centímetros. Sin embargo, incluso con esta distancia, el IAF aumentó a una tasa aún mayor en las bolsas de menor tamaño (Cuadro 3). Esta respuesta es consecuencia de una mayor acumulación del área foliar en estos tratamientos, particularmente después de un año de edad de las plantas (Fig. 1). A los 16 meses de edad, el IAF fue 2.15 veces mayor que el promedio de los tratamientos a 1.37 metros en las plantas a 90 centímetros y con niveles inferiores de fertilización y tamaño de bolsa; en donde no hubo interacción con el tamaño de bolsa o fertilización (Cuadro 3).

Este aparente efecto negativo de las bolsas de mayor tamaño, espaciadas a 90 centímetros sobre algunos parámetros vegetativos, probablemente está relacionado con un crecimiento inicial más vigoroso de las plantas, lo cual conduce a una competencia más temprana por luz.

Cuadro 2. Palma aceitera: Efecto de dos espaciamientos, dos tamaños de bolsa y dos niveles de fertilización en vivero sobre el crecimiento vegetativo de palmas Deli x AVROS.

DDS*	Tratamiento	Índice de área foliar	Área foliar planta <sup>-1</sup> (m <sup>2</sup> )	Núm. de hojas/planta	Área foliar hoja <sup>-1</sup> (m <sup>2</sup> )	Tasa de emisión foliar · mes <sup>-1</sup>	Largo del raquis (cm)	Núm. de folíolos · n <sup>-1</sup>	P x S (cm <sup>2</sup> )	Largo de un folíolo (cm)	Ancho del folíolo (cm)	
Distancia (cm)												
236 (28)	90	0.3318	0.2333	9.3	0.0557	2.12	34.55	55.49		29.11	2.04	
	137	0.1706 c	0.2772 c	9.4	0.0647 c	2.10	35.92	52.51		30.49	2.14	
358 (57)	90	2.2051	1.5469	13.1	0.2082	2.09	77.15	48.36	1.006	35.35	2.88	
	137	1.0201 c	1.6581 c	12.5 c	0.2191 b	2.05 a	78.61	47.30 b	1.106 c	37.44 b	2.86	
482 (54)	90	5.363	3.7709	14.0	0.4235	1.86	154.27	35.31	1.513	44.47	3.21	
	137	2.627 c	4.2715 c	15.2	0.4037 a	2.39	128.90 c	41.39 c	1.496 c	42.89 c	3.20	
Tamaño de la bolsa (cm)												
236	40 x 53	0.257	0.2582	9.5	0.0602	2.10	35.49	53.28		30.18	2.05	
	51 x 61	0.245	0.2524	9.2	0.0602	2.12	35.15	54.36		29.59	2.13	
358	40 x 53	1.649	1.6118	12.7	0.2155	2.05	79.17 b	46.63	1.042	36.96	2.86	
	51 x 61	1.576	1.5932	12.8	0.2119	2.09	76.59	49.04 c	1.070	35.72 b	2.87	
482	40 x 53	4.154	4.1481	14.9	0.4257	2.17	145.10	37.49	1.499	45.05	3.23	
	51 x 61	3.8370 c	3.8946 c	14.3 c	0.4014 b	2.08 b	138.03 c	39.21 c	1.510	42.31 c	3.18	
Fertilización**												
236	X1	0.248	0.2484	9.4	0.0591	2.09	34.87	53.75		29.75	2.08	
	X2	0.254	0.2621	9.3	0.0614	2.13	35.76	53.89		30.02	2.10	
358	X1	1.576	1.5540	12.8	0.2103	2.07	76.82	48.20	1.046	36.09	2.86	
	X2	1.649	1.6512 b	12.7	0.2171	2.07	78.96	47.46	1.067	36.59	2.88	
482	X1	3.897	3.8980	14.5	0.4064	2.09	139.44	38.78	1.483	43.48	3.17	
	X2	4.094	4.1448 b	14.7	0.4208	2.16	143.71	37.92	1.526	43.88	3.23	
Testigo***												
212		--	0.1486	8.52	0.0173	1.11	33.09					
282		--	0.3225	9.46	0.0631	1.34	38.81	51.97	0.319	27.87	2.10	
336		--	0.7327	10.18	0.1183	2.07	54.69	49.47	0.596	30.79	2.57	

\* DDS = días después de la siembra. Previvero de 2 1/2 meses. Número en paréntesis corresponde al número de días desde la evaluación inmediatamente anterior.  
 \*\* Fertilización según Cuadro 1.  
 \*\*\* Siembra directa en bolsas de 41 x 53 cm, espaciadas a 90 cm y con el nivel bajo de fertilización.  
 Nota: ANDEVA separado para cada variable en cada fecha (a: P = 0.1; b: P = 0.05; c: P = 0.01).  
 El testigo fue excluido de las comparaciones entre tratamientos. Los datos son el promedio de 48 parcelas con nueve plantas útiles cada una. Las medias para los folíolos a los 236 días se calcularon para las hojas pinnadas presentes, pero no se incluyen en el ANDEVA.

Cuadro 3. Palma aceitera: Efecto combinado (interacciones dobles) de dos prácticas agronómicas en vivero, sobre el crecimiento vegetativo de plantas Deli x AVROS.

Distancia (cm)	Tratamiento Tamaño de bolsa (cm)	Edad (DDS)*	Índice de área foliar	Área foliar planta <sup>-1</sup> (m <sup>2</sup> )	Tasa de emisión foliar · mes <sup>-1</sup>	Área foliar hoja <sup>-1</sup> (m <sup>2</sup> )	Área media del folíolo (cm <sup>2</sup> )
90	40 x 53	236(28)	0.346	0.243	2.18	0.057 bc	32.91
90	51 x 61		0.318	0.224	2.04	0.054 c	32.56
137	40 x 53		0.168	0.274	2.10	0.063 b	35.62
137	51 x 61		0.173	0.281	2.13	0.066 a	36.50
90	40 x 53	358(57)	2.31 a	1.624 a	2.15 a	0.220 a	58.17
90	51 x 61		2.09 b	1.470 b	2.05 b	0.197 b	53.89
137	40 x 53		0.98 c	1.600 a	2.03 b	0.212 a	58.31
137	51 x 61		1.06 c	1.716 a	2.05 b	0.226 a	59.19
90	40 x 53	482(54)	5.64	3.95	1.85	0.450 a	83.03
90	51 x 61		5.09	3.59	1.87	0.401 b	74.37
137	40 x 53		2.67	4.34	2.48	0.405 b	77.02
137	51 x 61		2.58	4.20	2.29	0.402 b	74.17

Cuadro 3. (Continuación)

Distancia (cm)	Tratamiento Tamaño de bolsa (cm)	Edad (DDS)*	Largo del raquis (cm)	Largo del folíolo (cm)	Ancho del folíolo (cm)	Número de folíolos n <sup>-1</sup>
90	40 x 53	236(28)	34.89	29.76	2.00	54.14
90	51 x 61		34.14	28.30	2.09	57.14
137	40 x 53		36.03	30.56	2.11	52.50
137	51 x 61		35.82	30.44	2.16	52.52
90	40 x 52	358(57)	80.93 a	36.59 a	2.89	46.44 b
90	51 x 61		73.29 b	33.90 b	2.87	50.36 a
137	40 x 53		77.40 a	37.34 a	2.84	46.82 b
137	51 x 61		79.83 a	37.53 a	2.87	47.78 b
90	40 x 53	482(54)	164.05 a	46.91 a	3.22	33.24 c
90	51 x 61		144.41 b	42.07 b	3.20	37.43 b
137	40 x 53		126.16 c	43.20 b	3.24	41.75 a
137	51 x 61		131.65 c	42.58 b	3.16	40.03 a

\* DDS = Días después de la siembra. Incluye un previvero de 2 1/2 meses. Número en paréntesis corresponde al número de días desde la evaluación inmediatamente anterior.

ANDEVA separado para cada variable y cada fecha. Letras iguales en la misma columna indican diferencias no significativas (Duncan: P = 0.5).

Medias para los folíolos a los 236 días se calcularon para las hojas pinnadas presentes, pero no se incluyeron en el ANDEVA.

Una interacción observada entre el nivel de fertilización y el tamaño de la bolsa, se debe tomar en cuenta para definir las recomendaciones de fertilización en vivero: plantas en bolsas grandes y con un nivel bajo de fertilizante produjeron un crecimiento relativamente pobre. Además, la dosis menor de fertilizante en combinación con bolsas pequeñas, presentó un crecimiento similar al obtenido con la duplicación de las dosis en ambos tipos de bolsas utilizados. Una mejor fertilización estimuló un mejor desarrollo en bolsas grandes, con ambas distancias de siembra; y las diferencias en el área foliar se notaron tempranamente—ocho meses de edad—

Aunque sin una significación estadística con respecto de los demás tratamientos, la combinación de los niveles más altos de distancia, tamaño de bolsa y fertilización, produjeron plantas de mejor vigor y apariencia: su efecto positivo fue evidente desde la sexta evaluación de crecimiento, realizada cuando las plantas tenían 8.8 meses de edad.

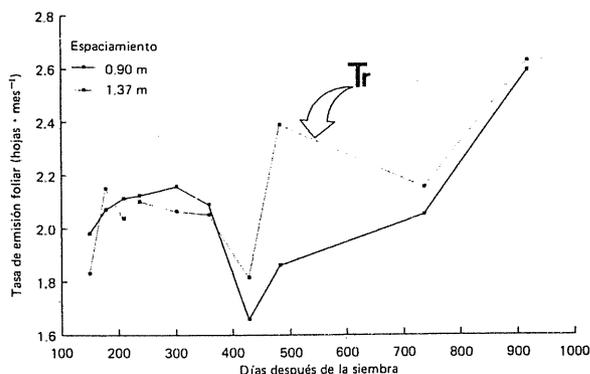


Fig. 3. Tasa de emisión foliar en vivero y campo, de material Deli x AVROS, según distanciamiento en el vivero. Tr = Transplante.

**Etiolación.** El mantenimiento de las plantas a 90 centímetros en el vivero por un período superior al año, causó etiolación, la que se manifestó en un aumento en la tasa de elongación de los raquis de las hojas nuevas producidas (Fig. 4). Este efecto se acentuó al hacerse más crítica la competencia por espacio alrededor del año de edad y, como consecuencia, el número de folíolos por metro de raquis fue significativamente menor en las plantas mantenidas a la distancia de 90 centímetros (Cuadro 2).

Es notable la tendencia en las plantas más espaciadas —en bolsas grandes y con fertilización extra— a tener una tasa mayor de elongación del raquis durante los primeros meses en el vivero. Posterior a esta etapa y, probablemente, entre los ocho y nueve meses de

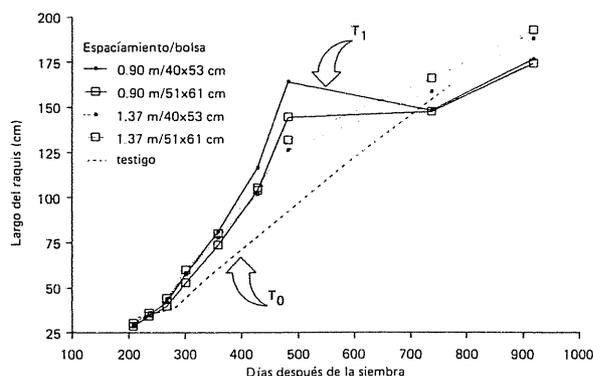


Fig. 4. Largo del raquis en vivero y campo en material Deli x AVROS, desarrollado bajo diferentes combinaciones de dos prácticas agronómicas en el vivero. T = Transporte, O = testigo, 1 = tratamientos.

edad, el efecto de competencia por luz a 90 centímetros, es cada vez más fuerte; asimismo los raquis de estas plantas aumentaron rápidamente su tasa de elongación (Fig. 4).

Al término de la evaluación a los 482 DDS, la mayor longitud promedio del raquis (165.50 cm) se observó en plantas sembradas en bolsas pequeñas, espaciadas a 90 centímetros y que habían recibido más fertilizante. Las plantas espaciadas a 1.37 metros tenían una longitud promedio del raquis de 129 centímetros (Cuadros 2 y 3), sin evidencia estadística de que, a esta distancia, este factor fuera afectado por el tamaño de bolsa o la fertilización. El efecto de bolsas más pequeñas, que aparentemente favorecían la etiolación, no es fácil de explicar, pero obedecería a una tendencia en la planta por mantener un equilibrio en su crecimiento aéreo y radicular.

Aquellas plantas fuertemente etioladas tenían folíolos más largos, pero el ancho promedio de cada uno de ellos no difería de aquel en plantas no etioladas; aunque sí hubo una tendencia a producir folíolos con un ancho promedio superior en el espaciamiento de 1.37 metros. La combinación de una distancia corta con una bolsa pequeña produjo raquis más largos (Cuadro 3) y presentó folíolos durante las últimas evaluaciones que, en promedio, eran estadísticamente más largos que en el resto de los tratamientos. No obstante, el área media del folíolo fue mayor en este tratamiento, excepto durante la última evaluación, alrededor de los 16 meses de edad.

Estas tendencias indicarían que existe una tasa más rápida de incremento en la longitud del folíolo en plantas con una situación de competencia por luz y en las que el largo del folíolo es también un indicador de etiolación.

Cuadro 4. Palma aceitera: Variables de crecimiento a los seis meses y al año después del trasplante de plantas Deli x AYROS, sembradas en vivero a dos distancias, dos tamaños de bolsa y dos niveles de fertilización.

Tratamiento de vivero Evaluación* (Edad: meses)	Largo del raquis (cm)	Largo del pecíolo (cm)	P x S (cm <sup>2</sup> )	Núm. de folíolos	Largo del folíolo (cm)	Ancho del folíolo (cm)	Núm. total de hojas	Area foliar hoja <sup>-1</sup> (m <sup>2</sup> )	Tasa de emisión foliar · mes <sup>-1</sup>	Núm. de folíolos · n <sup>-1</sup> de raquis	Area foliar por planta (m <sup>2</sup> )
Distancia											
6	147.78	23.50	2.26	161.1	39.29	3.29	14.31	1.15	2.05	110.53	16.69
	162.24 c	24.87 c	2.39 b	163.9	44.23 c	3.07 c	16.96 c	1.22 c	2.15 c	101.88 c	20.91 c
12	175.39	43.67	3.30	192.87	50.26	2.79	24.16	1.498	2.59	110.9	36.58
	190.29 c	43.18	3.32	196.40 a	55.32 c	2.99 c	26.19 c	1.793 c	2.63	103.6 c	47.28 c
Tamaño de bolsa											
6	153.33	24.03	2.24	161.5	40.87	3.16	15.55	1.14	2.08	107.0	17.93
	156.69 b	24.33	2.42 c	163.5	42.65 c	3.20	15.71	1.23 c	2.13	105.4	19.66 c
12	182.23	42.30	3.23	193.21	53.27	2.87	25.46	1.638	2.61	106.6	42.11
	183.45	44.55 c	3.40 b	196.06	52.31 b	2.91	24.88	1.653	2.61	107.9	41.75
Fertiliza- ción**											
6	155.03	24.27	2.32	162.3	42.10	3.15	15.77	1.19	2.13	105.88	18.88
	155.00	24.10	2.33	162.7	41.43	3.20	15.49	1.19	2.08	106.53	18.71
12	182.60	43.80	3.31	193.87	52.82	2.87	25.29	1.631	2.62	107.0	41.69
	183.08	43.05	3.31	195.40	52.76	2.91	25.06	1.660	2.60	107.5	42.16
Poda****											
6	149.45	23.45	2.34	163.6	40.52	3.17	15.88	1.16	2.13	111.07	18.64
	160.57 c	24.92 b	2.32	161.3	43.01 c	3.19	15.39 b	1.22 b	2.07 b	101.34 c	18.96
12	182.00	43.36	3.29	194.77	52.64	2.86	25.31	1.625	2.60	107.8	41.64
	183.68	43.50	3.34	194.50	52.94	2.92 c	25.04	1.666 a	2.61	106.7	42.21
Testigo****											
6	119.6	20.97	1.77	120.09	42.42	2.83	14.76	0.798	2.36	101.3	11.92
12	162.2	39.88	2.68	163.52	48.74	2.80	23.70	1.238	2.66	101.7	29.63

\* Hoja evaluada en posición 5 (6 meses) y 9 (12 meses). Números corresponden a la media de 48 parcelas de 9 plantas c/u. Las plantas fueron llevadas al campo de 18 meses (2 1/2 meses de previvero). ANDEVA para cada variable y cada fecha (a: P = 0.1; b: P = 0.05; c: P = 0.01).

\*\* Fertilización según Cuadro 2.

\*\*\* Poda del 30 % del follaje una semana antes del trasplante.

\*\*\*\* Testigo de siembra directa en vivero en bolsas de 40 x 53 cm espaciadas a 90 cm y con el nivel bajo de fertilización; trasplante al campo a los 13 meses.

### Fase de campo

**Crecimiento.** Las plantas crecidas en bolsas más espaciadas en vivero, presentan en el campo una mayor tasa de emisión foliar por mes (Fig. 3); un mayor número de hojas totales por planta; una mayor área promedio por hoja y, por consiguiente, una mayor área foliar total estimada por planta con respecto de aquellas palmas desarrolladas a 90 centímetros en vivero (Cuadro 4).

La sección transversal del peciolo ( $P \times S$ ), la cual está ligada íntimamente con el vigor de la planta (7), fue también inicialmente superior en las plantas mantenidas con una mayor distancia en vivero; diferencias que tendieron a desaparecer en forma temprana en el campo.

La fertilización adicional mejoró algunos parámetros vegetativos en vivero, pero esta respuesta desapareció en el campo en el momento en que se realizó la primera evaluación, a los seis meses del trasplante. Contrariamente el efecto positivo del uso de bolsas de mayor tamaño sobre algunas variables vegetativas se mantuvo en el campo durante los seis primeros meses después del trasplante, y desapareció parcialmente después de un año (Cuadro 4).

Seis meses después del trasplante, las plantas provenientes de bolsas grandes tenían una mayor área foliar promedio ( $1.23 \text{ m}^2$  vs.  $1.14 \text{ m}^2$  en bolsas pequeñas); un área foliar total estimada mayor ( $19.7 \text{ m}^2$  vs.  $17.9 \text{ m}^2$ ) y una relación  $P \times S$  también superior ( $2.42$  vs.  $2.24 \text{ cm}^2$ ). El efecto sobre el área foliar por hoja y sobre la longitud del raquis desapareció al año de edad en el campo. La influencia persistente de las bolsas más grandes se debe muy probablemente a que estas plantas fueron transplantadas con una masa mayor de raíces, lo que les permitió un establecimiento más rápido en el campo.

La poda del 30 % del follaje una semana antes del trasplante, tuvo cierto beneficio en los meses inmediatamente posteriores al mismo trasplante, por cuanto facilitó el manejo de las plantas y redujo el área de transpiración; ambos factores disminuyeron el estrés del trasplante.

Seis meses después del trasplante al campo, las plantas podadas tenían raquis más largos ( $160.6 \text{ cm}$  vs.  $149.5 \text{ cm}$ ) en los tratamientos sin poda y una mayor área foliar promedio por hoja ( $1.22 \text{ m}^2$  vs.  $1.16 \text{ m}^2$ ). Esta última respuesta se asocia con la producción de folíolos más largos. Sin embargo, el efecto de la poda sobre el crecimiento vegetativo no fue evidente durante la evaluación del crecimiento, al cumplir las plantas un año de edad en el campo. La combinación de bolsas grandes con el nivel mayor de fertilización y la

realización de poda, se tradujo en una mayor área foliar promedio por hoja. No obstante, la poda del follaje redujo la tasa de emisión foliar ( $2.13$  vs.  $2.07$  hojas  $\cdot \text{mes}^{-1}$ ) y, por consiguiente, el número total de hojas por planta. Usualmente el valor de  $P \times S$  a los seis meses después del trasplante, fue menor en las plantas podadas en todas las combinaciones de este factor con cualquiera de las otras prácticas en vivero—distanciamiento, tamaño de bolsas y fertilización—y el efecto fue mayor cuando la poda se realizó en las plantas menos etioladas (Cuadro 5). Sin embargo, este efecto desapareció al año de edad en el campo.

**Etiolación.** Las consecuencias de la práctica usual de mantener viveros por un año o más con un espaciamiento de 90 centímetros entre plantas, pueden ser extremadamente negativas para la planta en el momento del trasplante y durante su establecimiento posterior en el campo. Las plantas etioladas son poco vigorosas, sus hojas nuevas se quiebran con facilidad durante las labores del trasplante y tienen un lento período de establecimiento; todo lo cual se asocia normalmente con una prolongación del período improductivo.

Los parámetros que definen la etiolación durante la fase de mayor competencia por luz en el vivero son: longitud mayor del raquis, menor número de folíolos por raquis y largo mayor de los folíolos. Estos mismos parámetros, cuando son medidos en plantas en el campo sin competencia, son indicadores de un establecimiento más rápido y una reanudación del crecimiento vegetativo, luego de haberse superado el estrés del trasplante. De esta manera, las plantas de edad avanzada, más vigorosas en vivero y afectadas, en menor grado, por la etiolación, producen en el campo nuevas hojas que son más largas, tienen folíolos más largos y un número promedio menor de folíolos por metro de raquis (Cuadro 4). Las plantas con 13.1 meses de vivero (testigo), llevadas al campo, sufrieron claramente menos estrés al trasplante que en cualquiera de los tratamientos en edad avanzada. Las plantas testigo mantuvieron una tasa más o menos constante de elongación del raquis y de crecimiento del folíolo, luego del trasplante. Esto contrasta con las plantas de 18 meses, en donde se observó una reducción inicial en la tasa de crecimiento de estas variables en los meses subsiguientes a la siembra en el campo (Figs. 4 y 5).

El factor más importante y ligado a la etiolación en el vivero fue la separación entre las bolsas, cuyo efecto fue evidente aun un año después del trasplante. Las plantas mantenidas a 90 centímetros presentan en el campo raquis que son más cortos que los desarrollados en plantas mantenidas en bolsas espaciadas a 137 centímetros. El lento crecimiento del raquis

Cuadro 5. Palma aceitera: Efecto combinado (interacción doble) de tres prácticas agronómicas en vivero sobre el crecimiento vegetativo de plantas Deli x AVROS en el campo, seis y 12 meses después del trasplante.

Tratamiento de vivero	Largo del raquis (cm)	Largo del peciolo (cm)	P x S (cm <sup>2</sup> )	Núm. de folíolos	Seis meses					Doce meses								
					Largo del folíolo (cm)	Ancho del folíolo (cm)	Núm. de hojas	Area de hoja <sup>-1</sup> (m <sup>2</sup> )	Tasa de emisión foliar <sup>-1</sup> mes <sup>-1</sup>	Núm. de folíolos <sup>-1</sup> mes <sup>-1</sup>	Largo del raquis (cm)	Ancho del folíolo (cm)	P x S (cm <sup>2</sup> )					
Distancia																		
	Tamaño de la bolsa																	
90 cm	40 x 53 cm	148.3 c	23.5	2.165	161.7	39.0 c	3.25	14.04	1.122	2.019	111.1	176.52 c	2.754 c	3.184				
90 cm	51 x 61 cm	147.4 c	23.5	2.358	160.5	39.7 c	3.33	14.56	1.178	2.085	109.8	174.25 c	2.833 b	3.427				
137 cm	40 x 53 cm	158.6 b	24.6	2.308	161.4	42.8 b	3.07	17.07	1.167	2.137	102.7	187.93 b	2.995 a	3.273				
137 cm	51 x 61 cm	166.0 a	24.3	2.417	166.5	46.0 a	3.11	17.00	1.281	2.168	97.9	192.66 a	2.980 a	3.368				
	Fertilización**																	
90 cm	X1	147.9	23.4	2.274	161.3	40.1	3.26	14.62	1.161	2.080	110.3	175.38	2.773	3.327				
90 cm	X2	147.8	23.6	2.248	160.8	38.5	3.32	13.98	1.138	2.024	110.6	175.39	2.816	3.284				
137 cm	X1	162.1	25.2	2.373	163.3	44.1	3.06	16.92	1.210	2.175	101.5	189.83	2.977	3.299				
137 cm	X2	162.4	24.6	2.410	169.6	44.4	3.08	17.00	1.238	2.130	102.2	190.76	2.998	3.342				
	Poda***																	
90 cm	Sin	141.9	22.8	2.268	162.0	38.0	3.28	14.69	1.115	2.108	115.9	175.00	2.778	3.287				
90 cm	Con	153.8	24.2	2.255	160.2	40.7	3.30	13.91	1.185	1.996	105.0	175.77	2.811	3.324				
137 cm	Sin	157.0	24.1	2.407	165.4	43.1	3.06	17.07	1.201	2.158	106.2	189.00	2.945	3.287				
137 cm	Con	167.4	25.6	2.376	162.5	45.4	3.08	16.86	1.247	2.147	97.6	191.59	3.031	3.354				

\* Hoja evaluada en posición 5 (seis meses) y nueve (12 meses). Números corresponden a la media de 24 parcelas de nueve plantas cada una.

\*\* Las plantas fueron llevadas al campo de 18 meses (dos y medio meses de previvero). ANDEVA separado para cada fecha. Separación de medias por Duncan (P = 0.05). Fertilización según Cuadro 2.

\*\*\* Poda del 30 % del follaje una semana antes del trasplante.

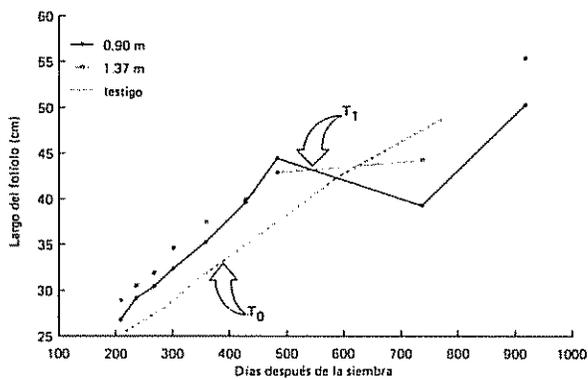


Fig. 5. Largo del foliolo en vivero y campo, en material Deli x AVROS sembrado a dos distancias en vivero T = Transplante; O = Testigo, 1 = tratamientos

da como resultado el que estas plantas adquieran durante los primeros meses después del transplante una apariencia aplanada o incluso en forma de embudo en la parte superior de la corona de hojas.

Paralelamente con la producción de hojas más largas, las plantas provenientes de un mayor espaciamiento en vivero, presentan un menor número de folíolos por metro de raquis (Cuadro 4). El número de folíolos por hoja se determina muy temprano en la formación de este órgano, y las plantas que sufrieron etiolación tienen los raquis más cortos después del transplante.

El efecto simple de una mayor dosis de fertilizante en vivero sobre varios parámetros de crecimiento, desapareció en la fase de campo (Cuadro 4). Tampoco fue claro el efecto que, sobre el largo del raquis en vivero, tuvo la combinación de la fertilización extra con un mayor espaciamiento o con el uso de bolsas de mayor volumen (Cuadro 5).

Se mantiene en el campo (Cuadro 5) la tendencia hacia un crecimiento más vigoroso en las últimas fases de vivero, con la combinación de bolsas grandes y un mayor espaciamiento.

El número total de folíolos por hoja fue semejante en todos los tratamientos, aunque se observó una tendencia a incrementarse en la combinación de usar bolsas grandes con distancias mayores (Cuadro 5).

Siguiendo el criterio de que un mayor número de folíolos por metro de raquis en plantas de seis meses de edad en el campo, el tratamiento de vivero que produjo más estrés al transplante fue la combinación de bolsas pequeñas, espaciamiento menor y ausencia de poda (118.58 vs 97.5 folíolos  $\cdot$  m<sup>-1</sup> en la combinación opuesta de estos mismos factores). La relación

de bolsas pequeñas con un menor espaciamiento presentó una mayor tasa de crecimiento del raquis y un menor número de folíolos por metro durante la fase de mayor competencia en el vivero.

El largo promedio del foliolo, mayor en las plantas más fuertemente etioladas en vivero, fue no obstante más largo en el campo seis meses después del transplante, en los tratamientos que sufrieron menos durante el mismo; a saber plantas provenientes de bolsas grandes, mantenidas a un mayor espaciamiento y aún en aquellas en que se practicó la poda del follaje antes del transplante. Los folíolos más cortos en el campo aparecen en plantas más afectadas por la etiolación en vivero y que, en esa etapa, los tenían significativamente más largos; es decir en plantas en bolsas pequeñas y con una distancia corta de siembra. Folíolos más cortos también caracterizaron las plantas no podadas

**Precocidad.** Una primera evaluación de la precocidad fue hecha 10 meses después del transplante, cuando se contó el número total de inflorescencias femeninas y de racimos por planta y el número de plantas con al menos un racimo

Plantas desarrolladas a 137 centímetros en vivero tenían en promedio tres veces más inflorescencias femeninas en antesis y racimos que aquellas crecidas a 90 centímetros (1.44 vs. 0.387). Esta primera evaluación aportó evidencias importantes sobre la inconveniencia de aplicar la poda del follaje en vivero; las plantas podadas tenían significativamente menos racimos que las no podadas (0.465 racimos vs. 1.065 racimos). La interacción de la poda por distancia fue significativa y cuando se realizó en las plantas desarrolladas a 137 centímetros, se observó un efecto negativo en la producción temprana de estas plantas (Cuadro 6). El tratamiento que presentó el mayor número promedio de racimos e inflorescencias femeninas (1.66) fue el de plantas no podadas y desarrolladas a 1.37 metros. Por otro lado, el tratamiento más negativo fue la combinación de las prácticas opuestas (0.30 racimos  $\cdot$  planta<sup>-1</sup>).

El porcentaje de plantas con inflorescencias femeninas y racimos en cada tratamiento, siguió el mismo comportamiento que el número de racimos por planta: el 46.25 % de las plantas desarrolladas en vivero a 1.37 metros y no podadas, acarreaban al menos un racimo comparado con sólo el 10.18 % de las plantas con poda y mantenidas a 90 centímetros.

Cuando no se podó las plantas sembradas a 137 metros en vivero, se obtuvo que más del doble de las plantas produjeron racimos con respecto de las plantas podadas (Cuadro 6).

Cuadro 6. Palma aceitera: Precocidad del material Deli x AVROS a los 10 meses de edad en el campo, según varias prácticas de manejo en vivero.

Tratamiento de vivero	Racimos e inflorescencias femeninas/planta	Plantas con racimo e inflorescencias/planta (%)
Distancia	c	c
137 cm	1.144	32.84
90 cm	0.387	14.8
Tamaño de bolsa	b	a
40 x 53 cm	0.969	22.75
51 x 61 cm	0.562	19.89
Fertilización*		
X1	0.765	22.66
X2	0.765	24.97
Poda**	c	c
sin	1.065	32.37
con	0.465	15.26
Distancia x Poda	b	b
90 cm x Sin	0.469b	18.50b
90 cm x Con	0.304b	11.10b
137 cm x Sin	1.662a	46.25a
137 cm x Con	0.627b	19.43b

\* Fertilización según Cuadro 1

\*\* 0 y 30 % del follaje una semana antes del trasplante

Nota: ANDEVA (a: P = 0.1; b: P = 0.05; c: P = 0.01).

Las plantas desarrolladas de acuerdo con las prácticas convencionales de vivero y llevadas al campo a los 13 meses de edad, tienen definitivamente un desarrollo vegetativo en el campo inferior que el del material avanzado de siembra (Cuadro 4). Diez meses después del trasplante estas plantas no habían iniciado la producción de inflorescencias femeninas. No obstante, las diferencias en el crecimiento vegetativo con respecto de las plantas de edad avanzada de siembra, tienden a desaparecer con el tiempo.

#### CONCLUSIONES

El desarrollo de plantas en el vivero y en el campo, indica que existen claras ventajas en el uso de mayores espaciamientos entre bolsas, en aquellos viveros mantenidos por periodos prolongados. Con esta práctica se obtuvieron plantas más vigorosas y resistentes al maltrato del trasplante.

Las observaciones de campo —seis meses y un año después del trasplante— indicaron también que estas plantas se establecieron más rápido y produjeron más hojas, más largas y con mayor área. Las plantas de vivero transplantadas a los 13 meses de edad, mostraron en el campo un desarrollo vegetativo inferior que el del material avanzado de siembra y con menor precocidad.

El mayor problema denotado con el uso de material avanzado de siembra fue el aumento en el riesgo de provocar estrés durante el trasplante (4, 5), y fue claro que la etiolación en vivero se constituyó en un factor muy importante que predispuso hacia el estrés.

Las plantas mantenidas por 18 o más meses en el vivero, a 90 centímetros, sufrieron un alto grado de etiolación, más perjudicial que la edad en sí de la planta. El uso de un mayor espaciamiento entre plantas reduce ese fenómeno y disminuye considerablemente el impacto negativo del estrés de trasplante. Este efecto negativo pudo incrementarse aún más, cuando se elevó el nivel de fertilización.

Los beneficios por el uso de bolsas de mayor tamaño, no fueron bien cuantificados a partir de los datos de crecimiento de la parte aérea de las plantas en la fase de vivero, ni del desarrollo radicular. El beneficio de esta práctica se extendió y fue totalmente expresada en la fase de establecimiento de las plantas en el campo definitivo.

El caso contrario parece que ocurrió con dosis altas de fertilizantes, cuyo efecto positivo, a veces muy evidente en vivero, desapareció pocos meses después del trasplante.

El uso de bolsas de mayor tamaño eleva los costos de manejo y de materiales que deben considerarse; asimismo el empleo de materiales de relleno de baja densidad es una alternativa que debe evaluarse más exhaustivamente.

La poda del follaje provocó aparentemente una reducción del estrés de trasplante, especialmente en plantas más fuertemente etioladas en vivero. Sin embargo una sola poda del 30 % del follaje, como la realizada en este experimento, provocó una reducción en: la tasa de emisión foliar, el número de hojas totales por planta y la relación P x S; también afectó adversamente la precocidad. La poda no mejoró la calidad de las plantas producidas y por ende no debería sustituir otras buenas prácticas de vivero que realmente aumentan el vigor de las plantas.

## LITERATURA CITADA

1. CORLEY, R.H.V.; BREURE, C.J. 1981. Measurements in oil palm experiments. London, Unilever Plantation Group. 35 p.
2. DUCKETT, J.E. 1989. A guide to oil palm nurseries. Kuala Lumpur, The Incorporated Society of Planters. 109 p.
3. HARTLEY, C.W.S. 1988. The oil palm. 3rd ed. London, Longman. 761 p.
4. HASHIN, M.T.; TAN, I.K.; YEOW, K.H. 1987a. Field evaluation of oil palm advance planting materials. In International Oil Palm/Palm Oil Conference Agriculture (1987, Kuala Lumpur, Malasia). Proceedings. Kuala Lumpur, Malasia, PORIM. p. 391-395.
5. HASHIN, M.T.; YEOW, K.H.; POON, Y.C. 1987b. Recent developments in nursery practice; potting media. In International Oil Palm/Palm Oil Conference Agriculture (1987, Kuala Lumpur, Malasia). Proceedings. Kuala Lumpur, Malasia, PORIM. p. 369-371.
6. KHOO, K.T.; CHEW, P.S. 1976. Effect of age of oil palm seedling at planting out on growth and yield. In International Development on Oil Palm. Ed. by D.A. Earp and W. Newall. Kuala Lumpur, Malasia, The Incorporated Society of Planters. p. 107-115.
7. PHANG, S.; OOI, C.H.; CHAN, K.W.; MENON, C.M. 1977. Influence of soil series and soil depth on vegetative growth and early FFB production of the oil palm (*Elaeis guineensis*, Jacq.). In International Developments in oil palm. Ed. by D.A. Earp and W. Newall. Kuala Lumpur, Malasia, The Incorporated Society of Planters. p. 153-167.
8. NASEEB, M.; LONG, S.G.; WOOD, B.J. 1987. Trials on reducing the non-productive period at oil palm replanting. In International Oil Palm/Palm Oil Conference Agriculture (1987, Kuala Lumpur, Malasia). Proceedings. Kuala Lumpur, Malasia, PORIM. p. 372-390.
9. TURNER, P.O. 1981. Oil palm diseases and disorders. OUP. 280 p.

# Material de Desarrollo Avanzado en Viveros de Palma Aceitera (*Elaeis guineensis* Jacq.). II. Condiciones del Sustrato<sup>1</sup>

C.H. Umaña\*, C. Chinchilla\*, D.L. Richardson\*

## ABSTRACT

Two tests were carried out in Coto 54, Costa Rica (1988) sowing Tanzania x Deli seeds (TAN 546:264 D x C30:45D) in seed beds in December 1987, with transplanting to nurseries in February 1988. Experiments evaluated nursery and field growth (morphometric development), over 18 months and one year respectively, and bearing characteristics. Experiments evaluated nursery and field growth and bearing characteristics of advanced-stage nursery palms grown in four different potting mixtures (soil, soil + rice husk, soil + cracked oil palm shell, and soil + oil palm mesocarp fiber); two bag sizes (40 x 53 cm and 51 x 61 cm); and two levels of fertilization. Plants were spaced 1.5 m apart. The proportion of soil and filler used was 1:3 on a volume basis. The soil + rice husk potting mixture produced plants with slow growth in both the nursery and the field phase. Although the best nursery growth was obtained with the soil-only potting mix, field growth of palms grown on the palm shell and mesocarp fiber mixes was not greatly different from palms grown on the soil tester. Plants grown in the larger bags and receiving the higher level of fertilizer had better growth in the nursery. This growth advantage, however, tended to disappear after one year in the field. Precocity for early bunch production was mainly affected by the type of potting mix used, but best early production was obtained on the soil-only substrate in large sized nursery bags.

## INTRODUCCION

La siembra de plantas de vivero en estado avanzado de desarrollo es ventajosa para reducir el período improductivo después del trasplante (3,4,5). Pueden obtenerse plantas con mayor crecimiento vegetativo en el vivero al aumentar el espaciamiento entre ellas y al utilizar bolsas de mayor tamaño, en combinación con un incremento en el período de vivero. Estas prácticas crean problemas

<sup>1</sup> Recibido para publicación el 22 de enero de 1991.

\* Compañía Palma Tica, Programa de Investigación en Palma Aceitera, Apartado 30, San José 1000, Costa Rica.

## COMPENDIO

Dos ensayos fueron realizados (1988) en Coto 54, en Costa Rica, con la siembra en pre-vivero de semillas Tanzania x Deli (TAN 546:264D x C30:45D), en diciembre de 1987 y su trasplante a vivero en febrero de 1988. Se estudió el crecimiento (desarrollo morfométrico) en vivero (18 meses) y campo (un año) después del trasplante, así como la precocidad de plantas de palma aceitera (*Elaeis guineensis* Jacq.), desarrolladas en cuatro sustratos -suelo y suelo en mezcla (1:3) con granza de arroz, mesocarpio y endocarpio quebrado de frutos de palma aceitera-, dos tamaños de bolsa (40 x 53 cm y 51 x 61 cm) y dos niveles de fertilización -práctica normal y el doble-. Las plantas se espaciaron a 1.5 m en el vivero. Las tres mezclas de suelo y relleno causaron una reducción en el desarrollo vegetativo, tanto aéreo como radicular, con respecto de las plantas crecidas en el suelo sin mezcla. Sin embargo, el tratamiento suelo más mesocarpio fue el más similar al testigo durante el vivero y la fase de campo. Un año después del trasplante las diferencias entre los tratamientos tendieron a desaparecer. Bolsas de mayor tamaño promovieron un mayor desarrollo que en las convencionales, pero la relación entre peso seco aéreo y radicular se mantuvo más o menos constante independientemente del tratamiento. Un aumento en la fertilización mejoró el crecimiento vegetativo en vivero, especialmente cuando se utilizó como sustrato la mezcla de suelo y un material pobre en nutrientes como la granza y el mesocarpio. Sin embargo, las diferencias entre tratamientos tienden a desaparecer en plantas de un año en el campo. El cruce Tanzania x Deli utilizado exhibe una marcada precocidad; algunas plantas iniciaron la producción de racimos muy temprano a los tres meses después del trasplante. No obstante, la precocidad fue afectada por el sustrato y el tamaño de la bolsa utilizada en vivero; plantas desarrolladas en bolsas grandes y suelo como sustrato fueron más precoces.

nuevos, relativos al manejo de bolsas y plantas de mayor tamaño y peso (4). El uso de un material de relleno de baja densidad en mezcla con el suelo, ofrece una solución al problema de la manipulación al momento de la siembra.

El mantenimiento de plantas en el vivero por períodos prolongados, ocasiona el rompimiento durante el trasplante de gran cantidad de raíces que han crecido fuera de las bolsas, lo que acentúa el estrés después de la siembra.

En este trabajo se estudió el desarrollo vegetativo y la precocidad de material avanzado de siembra en las fases de vivero y campo, según fue afectado por el tamaño de la bolsa, el sustrato y la fertilización en el vivero.

**MATERIALES Y METODOS**

En ambos ensayos se utilizaron cuatro materiales de relleno -endocarpo quebrado y fibra de mesocarpo seco de palma aceitera, granza de arroz y suelo- y dos tipos de bolsas: normales, 40 x 53 cm, y grandes, 51 x 61 centímetros. Además en el segundo ensayo se usaron dos niveles de fertilización (Cuadro 1). Las bolsas fueron llenadas con suelo aluvial (franco-arcilloso) mezclado con el material de relleno, en una proporción 1:3, respectivamente.

En el vivero las bolsas fueron espaciadas y distribuidas en triángulo a 1.5 metros entre sí, para reducir el efecto de competencia en las últimas etapas de desarrollo. Durante la época seca se suministró riego por aspersión, para asegurar una lámina mínima de ocho milímetros por día.

Cuadro 1. Programa de fertilización durante la fase de vivero.

DDS <sup>+</sup>	Fórmula (N-P-K)	Niveles de fertilización (g · planta <sup>-1</sup> )	
		Uno	Dos
117	18-46-0	1	2
138	18-46-0	1	2
173	18-46-0	7	14
201	18-46-0	7	14
229	15-15-15	14	28
266	15-15-15	14	28
295	15-15-15	21	42
321	15-15-15	21	42
355	15-15-15	28	56
394	15-15-15	28	56
420	15-15-15	28	56
446	15-15-15	28	56
477	15-15-15	35	70
502	15-15-15	35	70
530	15-15-15	35	70

+ DDS = Días después de la siembra en previvero: 117 días corresponden a un mes del trasplante del pre-vivero al vivero. No se incluye la fertilización en pre-vivero.

**Ensayo A. Producción de materia seca radicular y aérea**

En este experimento se determinó el peso seco de la parte aérea y de las raíces que crecieron dentro de las bolsas, según el tamaño de la bolsa y el material de relleno. Se realizó también una evaluación del peso de las raíces fuera de la bolsa, al cumplir las plantas 18 meses de edad. El total de plantas sembradas fue de 72: tres plantas por repetición de cada uno de los ocho tratamientos (cuatro materiales de relleno por dos tamaños de bolsa), en tres evaluaciones a los 12, 15 y 18 meses después de la siembra. Para efectos de análisis, se consideró como un diseño irrestricto al azar.

Al cumplir 15 meses de edad, las plantas fueron puestas dentro de sacos grandes de yute llenos de suelo, para poder cuantificar el peso de las raíces que crecieron fuera de las bolsas de vivero. En este momento, las raíces ya habían crecido ligeramente fuera de aquellas, por lo que fueron quebradas al realizar la operación.

En cada muestreo se tomaron tres plantas por tratamiento, a las que se les lavó cuidadosamente las raíces con agua de presión para eliminar el suelo y el material de relleno. Posteriormente el follaje y las raíces fueron partidas y desecadas a 105°C por 48 horas.

**Ensayo B. Desarrollo vegetativo durante el vivero y el campo**

Se utilizó un diseño de bloques completos al azar en un arreglo factorial (cuatro rellenos por dos tamaños de bolsas por dos niveles de fertilización), con 25 repeticiones, una planta por repetición y sin bordes, para un total de 400 plantas.

Medidas de crecimiento de rutina (2) se tomaron a los 3.5, 7.1, 9.5, 12.4 y 17.1 meses después de la siembra (MDS) y se efectuó el trasplante al campo a los 17.3 meses después de la siembra. Durante las tres primeras evaluaciones en el vivero (etapa de rápido crecimiento), se recolectaron datos en todas las hojas para estimar el área foliar total producida. Durante las dos últimas evaluaciones se estimó solamente el área de la hoja número uno.

En marzo de 1989 este ensayo fue llevado al campo definitivo, donde se sembró a una densidad de

570 plantas.ha<sup>-1</sup> (4.5 metros entre plantas en triángulo), manteniendo los parámetros de diseño del vivero. Las plantas serán raleadas (143 plantas.ha<sup>-1</sup>) al cumplir dos años de edad. Durante este período se evalúan los parámetros vegetativos de rutina cada seis meses así como la precocidad y la producción de racimos.

Una primera evaluación de precocidad se realizó seis meses después del trasplante, contando el número de inflorescencias femeninas y masculinas y los racimos por planta.

## RESULTADOS Y DISCUSION

### Ensayo A. Acumulación de peso seco radicular y aéreo en el vivero

En la evaluación realizada a los 15 MDS, una parte de las raíces habían ya perforado las bolsas de vivero pero no fue posible cuantificarlas, pues en esa

fecha no habían sido llevadas aún a los sacos, que permitieron obtener y pesar estas raíces. Las raíces fuera de la bolsa, obtenidas a los 18 MDS, representan entonces básicamente el crecimiento en el periodo entre los 15 y 18 meses de edad.

La inmersión completa de las bolsas dentro del suelo del saco, ocasionó que algunas raíces se desarrollaran afuera a través de los costados de aquellas. Esta situación no sucede normalmente en un vivero, por lo cual la proporción de raíces que salieron de las bolsas en este ensayo, es un hecho ligeramente diferente a lo que normalmente ocurre en estos casos. Sin embargo, en la mayoría de las plantas, el mayor porcentaje de raíces fuera de la bolsa creció a través del fondo y, en particular, por los extremos.

Los tres materiales de relleno utilizados en mezcla con suelo causaron una reducción en el crecimiento aéreo y radicular, con respecto de las plantas desarrolladas en bolsas con suelo únicamente. Tanto

Cuadro 2. Peso seco radicular y aéreo (g) de plantas de vivero Tanzania x Deli de tres edades. Crecimiento en cuatro sustratos y dos tamaños de bolsa.

Tratamiento <sup>++</sup>	Meses después de la siembra									
	12			15			18			
	Raíces	Parte aérea	Masa total	Raíces	Parte aérea	Masa total	Raíces en la bolsa	Raíces fuera de la bolsa	Parte aérea	Masa total
<b>Sustrato<sup>+</sup></b>										
Suelo	126.70a	566.09a	692.79	288.63a	1 204.47a	1 493.10	524.92a	88.32	1 807.50a	2 420.7
Cascarilla	115.75ab	427.25b	543.00	205.72b	862.82b	1 068.53	388.33b	55.93	1 475.98a	1 920.2
Fibra	94.07b	433.09b	527.17	199.61b	949.31ab	1 148.91	366.85b	55.05	1 407.45a	1 829.4
Granza	86.83b	377.24b	464.06	194.35b	855.88b	1 050.23	350.89b	50.02	1 306.47b	1 707.3
<b>Bolsa</b>										
A:40 x 53 cm	98.51	426.55	525.06	205.95	936.15	1 142.10	342.22	57.26	1 316.62	1 656.84
B:51 x 61 cm	113.17	475.28	588.45	238.20	1 000.09	1 238.29	473.33**	67.40	1 684.08*	2 157.31
<b>Sustrato/bolsa</b>										
Suelo/A	121.42	539.96	661.38	277.37	1 178.20	1 455.57	454.67bc	76.63	1 627.07	2 158.37
Suelo/B	131.98	592.21	724.19	299.90	1 230.73	1 530.63	595.17a	100.00	1 987.93	2 683.10
Cascarilla/A	111.15	403.57	514.72	204.30	870.70	1 075.00	237.50d	37.80	1 054.23	1 329.53
Cascarilla/B	120.36	450.92	571.28	207.13	854.93	1 062.07	539.17ab	74.07	1 897.73	2 510.97
Fibra/A	81.49	403.22	484.71	177.13	930.50	1 107.63	361.20cd	60.33	1 379.00	1 800.53
Fibra/B	106.65	462.97	569.62	222.08	968.12	1 190.19	372.50cd	49.77	1 435.90	1 858.17
Granza/A	79.97	359.44	439.41	165.00	765.20	930.20	315.53cd	54.27	1 198.17	1 568.57
Granza/B	93.68	395.03	488.71	223.70	964.57	1 170.27	386.07c	45.77	1 414.77	1 846.61

+ Una parte del suelo y tres partes de sustrato (suelo, granza de arroz, fibra de mesocarpo y endocarpo de frutos de palma aceitera).

++ ANDEVA para cada fecha. Valores son el promedio de tres plantas. Letras iguales indican que no hay diferencias (Duncan: P = 0.05) entre las medias \* P = 0.05, \*\* P = 0.01).

el peso seco radicular como el del follaje fueron adversamente afectados (Cuadro 2 y Fig. 1). A los 18 meses de edad, el peso de raíces y de follaje de las plantas en el sustrato de granza en mezcla con suelo, fue de 65% y 72% respectivamente del obtenido en el tratamiento de control de suelo sin mezcla. Las diferencias observadas en peso radicular fueron entre el suelo y los otros tres sustratos, pero no hubo diferencias significativas en el desarrollo radicular entre los sustratos. No obstante, el peso seco radicular en algunos tratamientos (especialmente fibra y suelo), puede haber sido subestimado ante la dificultad de separar las raíces de este sustrato durante el lavado, lo que condujo a un más alto porcentaje de pérdida de raíces.

La materia seca total de las plantas de control fue aproximadamente un 32% superior a la media de los tratamientos con mezclas de relleno. Después del suelo, el mejor tratamiento fue la mezcla de cascarilla y suelo en bolsas grandes (Fig. 1).

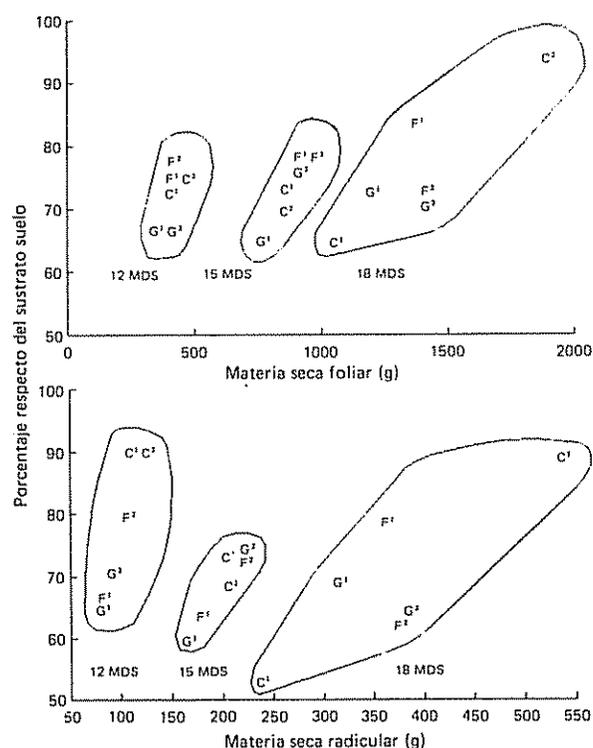


Fig. 1. Relación entre el peso de materia seca de plantas de palma aceitera (Kigoma x Deli), a los 12, 15 y 18 meses después de la siembra (MDS) bajo tres sustratos en mezcla con suelo, y dos tamaños de bolsa (Bolsas: 1 = 40 x 53 cm, 2 = 51 x 61 cm; sustratos G = granza de arroz, F = fibra de mesocarpo y C = endocarpo quebrado).

El efecto negativo de los materiales de relleno sobre el crecimiento se explica parcialmente por la alta proporción de relleno de suelo usado en las mezclas (3:1); por lo que una mayor proporción de suelo y/o una fertilización extra podría reducir las diferencias entre el control y los tratamientos.

El efecto detrimental de la granza de arroz, así como de los racimos vacíos de palma utilizados como sustratos en bolsas de vivero, fue también observado por Hashin *et al.* (4). Estos autores atribuyeron el efecto a una pobre capacidad de retención de agua de estos materiales. Una situación similar se podría estar presentando en el caso de la mezcla de endocarpo quebrado y suelo.

En los tratamientos con mesocarpo de fruto de palma aceitera se observó un efecto detrimental durante los primeros meses de crecimiento, caracterizado por un amarillamiento pronunciado del follaje. Este efecto se debió, probablemente, a residuos de aceite en la fibra lo que condujo a una muy alta relación C/N, con la consecuente reducción del nitrógeno disponible para la planta. Esta situación podría obviarse permitiendo una apropiada descomposición microbiana del sustrato, antes de ser utilizado.

El peso total de las bolsas con los diferentes materiales de relleno no fue determinado, pero resultó evidente su considerable reducción cuando parte del suelo fue sustituido con cualquiera de los otros tres rellenos. Esto facilitó enormemente el manejo de las plantas durante el trasplante. Sin embargo, la agresividad de las colonias de hormigas desarrolladas con preferencia en las bolsas con rellenos, dificultó en parte la manipulación de las plantas.

La proporción entre peso seco radicular total y aéreo (23%), se mantuvo razonablemente constante en todos los tratamientos de relleno, durante las dos primeras evaluaciones (12 y 15 MDT). Sin embargo, durante la primera evaluación, la mezcla de suelo y cascarilla aparentemente promovió un crecimiento más rápido del sistema radicular, diferencia que desapareció en las evaluaciones posteriores. En la última medición a los 18 MDT, la proporción de raíces a parte aérea subió a un promedio de 31% en los cuatro tipos de sustrato.

La producción de materia seca radicular fue significativamente superior en la bolsa de mayor

tamaño (Cuadro 2 y Fig. 1). En las bolsas pequeñas, en promedio, se produjo el 72.3% del peso seco radicular obtenido en las bolsas de mayor volumen.

Consecuentemente, el desarrollo foliar fue también superior en las plantas crecidas en las bolsas de mayor capacidad. El peso seco foliar en la bolsa pequeña fue un 78% del desarrollado en la bolsa grande al cumplir las plantas 18 meses de edad. El efecto del tamaño de bolsa se acentuó con la edad de la planta y alcanzó un máximo durante la última evaluación. La mayor influencia de la bolsa en las plantas se observó con la mezcla de suelo y cascarilla a los 18 MDS; las plantas en bolsas pequeñas mostraban un 53% de la materia seca producida en las bolsas grandes (Fig. 1).

La cantidad absoluta en peso seco de raíces que creció fuera de la bolsa, fue una función del volumen de raíces desarrollado dentro de la misma, que a su vez dependió del sustrato empleado como relleno y del volumen de la bolsa. Una mayor cantidad de raíces creció fuera de la bolsa del tratamiento de control (Cuadro 2), pero la diferencia con las medias de los demás tratamientos no fue significativa. No obstante, en las bolsas con suelo sin mezcla salieron 1.76 veces más raíces que en las bolsas con granza y suelo. La falta de significancia estadística entre tratamientos para esta variable, se atribuye al tamaño de la muestra empleada y a la alta variabilidad detectada entre las unidades.

Independientemente del peso total de raíces fuera de la bolsa, se determinó que el porcentaje de éstas con respecto al total producido por la planta, fue siempre menor en la bolsa de mayor tamaño (Cuadro 2). El porcentaje de raíces fuera de la bolsa fue ligeramente mayor en el sustrato de suelo sin mezcla, pero las diferencias con los otros sustratos no fueron significativas. En ningún caso el porcentaje de raíces fuera de las bolsas fue superior al 17.5% del total de raíces producidas por la planta.

#### Ensayo B. Desarrollo vegetativo en el vivero

Las plantas desarrolladas en bolsas con suelo sin mezcla mostraron un crecimiento más vigoroso que los demás sustratos a través de la fase de vivero (Cuadro 3). Sin embargo, el desarrollo de algunas variables vegetativas en el sustrato de fibra fue comparable al obtenido en el control. Dada la

separación entre plantas (1.50 m), no se presentaron signos de etiolación en el experimento. Esto implica, que el mayor largo del raquis (Fig. 2) y de los folíolos en los tratamientos de suelo, puede tomarse como un indicador de un mayor vigor de las plantas. La sección transversal del peciolo ( $P \times S$ ), está íntimamente ligado al vigor de la planta (6), que fue similar en las plantas-testigo que crecieron en la mezcla de suelo y fibra de mesocarpo (Cuadro 3).

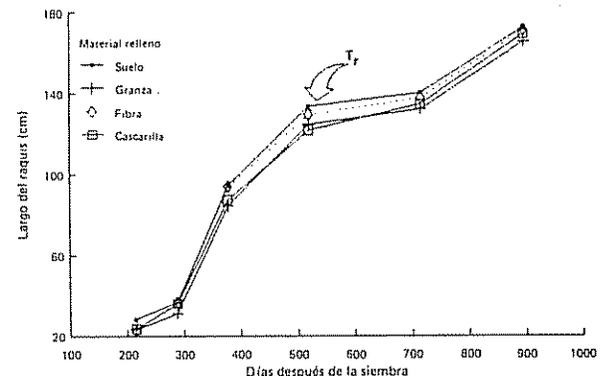


Fig 2 Largo del raquis en material Kigoma x Deli según el sustrato (una parte de suelo y tres de sustrato), durante el vivero y el primer año de campo. Tr = transplante.

Una mayor área foliar por planta en el sustrato suelo, estuvo asociado a una mayor tasa de emisión foliar, un número más elevado de hojas por planta y a hojas de mayor área (Cuadro 3).

En general, los parámetros vegetativos medidos guardan una estrecha relación con el comportamiento del sistema radicular. El sustrato que ocasionó un crecimiento aéreo más pobre fue la granza de arroz (Cuadro 3), lo cual se asocia a un desarrollo pobre de raíces (Cuadro 2). Las plantas en los tratamientos que originaron una mayor acumulación de materia seca (Cuadro 2), muestran variables morfométricas indicadoras de un mejor crecimiento.

El tamaño de la bolsa afectó el desarrollo aéreo y radicular (Cuadros 2 y 3). Bolsas de mayor tamaño originaron plantas con indicadores vegetativos de un mejor crecimiento, bajo condiciones de no competencia -raquis y folíolos más largos, mayor área foliar por hoja (Fig. 3) y un valor más alto de la relación  $P \times S$ - (Fig. 4). Se ha observado que este efecto positivo se mantiene durante las primeras etapas de desarrollo en el campo, luego del trasplante.

Plantas con una mayor sección transversal del pecíolo se obtuvieron mediante la combinación de bolsas grandes, sustrato suelo y fibra de mesocarpo. En general se logró mejor crecimiento cuando se suministró una fertilización extra a estas plantas. El efecto de un incremento en la fertilización en el vivero fue más crítico cuando se usaron los materiales de relleno, cuyo contenido de nutrientes fue bajo, que cuando se utilizó suelo solamente. Sin embargo, el tipo de suelo empleado (franco-arcilloso) no representa el óptimo deseable para viveros de palma aceitera.

En el caso de las tres mezclas con suelo, especialmente con granza y cascarilla, el crecimiento fue más pobre en las plantas crecidas en las bolsas de menor volumen, lo cual se asocia a un crecimiento radicular reducido (Cuadro 2).

**Ensayo B. Desarrollo vegetativo en el campo**

El desarrollo vegetativo en el campo fue evaluado cuando las plantas cumplieron seis y doce meses, después del trasplante.

Cuadro 3. Crecimiento vegetativo en el vivero de palmas Tanzania x Deli, desarrolladas en cuatro sustratos, dos tamaños de bolsa y dos niveles de fertilización.

DDS <sup>+</sup>	Tratamiento <sup>+++</sup>	Largo raquis (cm)	Folíolos • m <sup>-1</sup>	Largo folíolo (cm)	P x S (cm <sup>2</sup> )
	Sustrato <sup>++</sup>				
215(73)	Suelo	28.15	60.59	23.57	—
	Granza	23.17	62.58	22.31	—
	Fibra	22.70	70.82	22.38	—
	Cascarilla	23.70	62.82	21.28	—
377(89)	Suelo	94.3a	45.79ab	36.01b	1.186a
	Granza	84.39c	47.50a	34.28c	1.059b
	Fibra	93.89a	44.80b	37.41a	1.207a
	Cascarilla	87.34b	45.94b	36.03b	1.062b
519(142)	Suelo	133.41a	42.22	40.15a	1.509a
	Granza	124.75c	42.55	38.38bc	1.395b
	Fibra	129.38b	42.13	39.21ab	1.520a
	Cascarilla	121.71d	42.68	38.23c	1.369b
	Tamaño de bolsa (cm)				
215(73)	40 x 53	26.71	59.78	23.59	—
	51 x 61	24.89	65.66	22.45	—
377(89)	40 x 53	86.80	46.48	35.34	1.072
	51 x 61	92.46**	45.64	36.40**	1.173**
519(142)	40 x 53	125.17	42.54	38.87	1.398
	51 x 61	128.99**	42.28	39.09	1.488**
	Fertilización (Dos niveles)				
215(73)	1	26.35	62.06	23.27	—
	2	24.44	65.69	22.23	—
377(89)	1	88.40	46.32	35.59	1.099
	2	91.60**	45.70	36.28	1.159**
519(142)	1	124.73	42.71	38.30	1.384
	2	129.94**	42.07	39.68	1.513**

Cuadro 3. (Continuación)

DDS <sup>+</sup>	Tratamiento <sup>+++</sup>	Ancho foliolo (cm)	Total hojas	Tasa emisión foliar (hojas · mes <sup>-1</sup> )	Area foliar · planta <sup>-1</sup> (m <sup>2</sup> )	Area foliar · hoja <sup>-1</sup> (m <sup>2</sup> )
Sustrato <sup>++</sup>						
215(73)	Suelo	1.989	8.60a	2.132ab	0.3436	0.0390a
	Granza	1.797	7.62c	1.889c	0.1819	0.0258c
	Fibra	1.876	8.25b	2.096bc	0.2825	0.0336b
	Cascarilla	1.734	8.67a	2.156a	0.3007	0.0338b
377(89)	Suelo	3.195ab	13.83a	2.074a	3.8234	0.2748a
	Granza	3.117b	12.54c	2.004b	2.9313	0.2338b
	Fibra	3.341a	12.98b	1.966b	3.6644	0.2815a
	Cascarilla	3.118b	12.70bc	1.885c	3.1410	0.2467b
519(142)	Suelo	3.392a	15.51a	1.939a	6.5540	0.4221a
	Granza	3.386a	14.40b	1.706ab	5.5099	0.3805bc
	Fibra	3.457a	14.69b	1.684ab	6.0175	0.4067ab
	Cascarilla	3.315b	14.56b	1.635b	5.2880	0.3607c
Tamaño de bolsa (cm)						
215(73)	40 x 53	1.903	8.17	2.054	0.2520	0.0299
	51 x 61	1.907	8.37**	2.077	0.3041	0.0355**
377(89)	40 x 53	3.143	12.88	1.976	3.1740	0.2448
	51 x 61	3.187	13.11	1.988	3.5577	0.2704**
519(142)	40 x 53	3.398	14.67	1.722	5.7250	0.3864
	51 x 61	3.380	14.88	1.667	5.9333	0.3972
Fertilización (Dos niveles)						
215(73)	1	1.903	8.17	2.054	0.2701	0.0320
	2	1.907	8.37	2.077	0.3290	0.0342
377(89)	1	3.143	12.88	1.976	3.2157	0.2491
	2	3.187**	13.11*	1.988**	3.5640	0.2693**
519(142)	1	3.398	14.67	1.722	5.5371	0.3763
	2	3.380	14.88	1.667*	6.1470	0.4087**

+ Números en parentesis indican número de días desde la evaluación inmediatamente anterior

++ Una parte del suelo y tres partes del sustrato (suelo, granza de arroz, fibra seca de mesocarpo y endocarpo de frutos de palma aceitera).

+++ Análisis estadístico separado para cada fecha (\* P = 0.05, \*\* P = 0.01). Letras iguales en una misma columna indican diferencias no significativas (Duncan: P = 0.05).

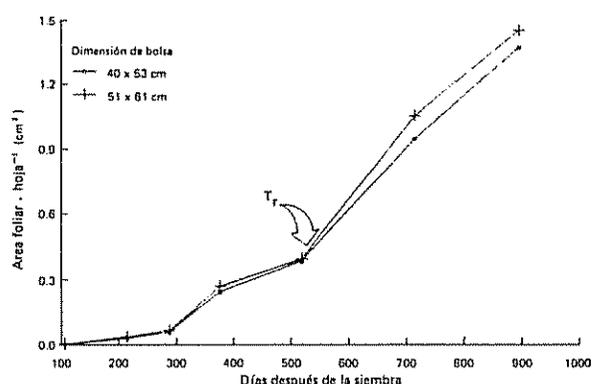


Fig. 3 Area foliar por hoja en material Kigoma x Deli según la dimensión de la bolsa, durante el vivero y el primer año de campo. Tr = transplante

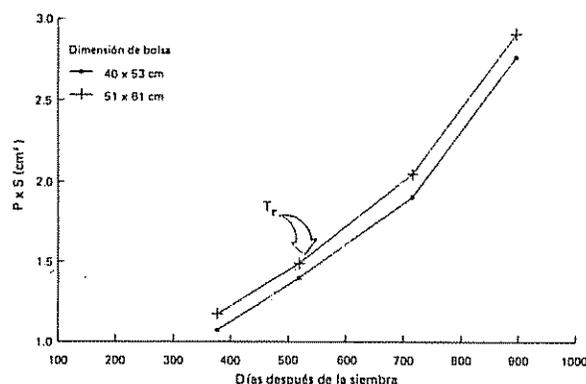


Fig. 4. Sección transversal del pecíolo (P x S) en material Kigoma x Deli según la dimensión de la bolsa, durante el vivero y el primer año de campo. Tr = transplante.

El mejor desarrollo vegetativo de las plantas, observado en vivero en bolsas con únicamente suelo, se mantiene aún después de su establecimiento en el campo. Sin embargo, las diferencias entre tratamientos tienden a desaparecer con la edad de las plantas (Cuadro 4 y Fig. 2). Esto es particularmente cierto en el caso de las diferencias entre suelo y mezcla de fibra y suelo. En el otro extremo, la

recuperación en el campo de las plantas desarrolladas en el sustrato de granza de arroz y suelo ha sido lenta incluso después de un año en el campo. Algunos indicadores importantes de vigor ( $P \times S$ , área foliar.planta<sup>-1</sup> y longitud de las hojas) son significativamente menores con respecto de los demás sustratos (Cuadro 4).

Cuadro 4. Variables morfométricas (hoja número 9) a los seis meses y al año después del transplante al campo, de palmas Kigoma x Deli desarrolladas en vivero en bolsas de dos tamaños, cuatro materiales de relleno y dos niveles de fertilización.

MDI	Tratamiento <sup>++</sup>	Largo raquis (cm)	Largo pecíolo (cm)	P x S (cm <sup>2</sup> )	Total folíolos	Largo folíolo (cm)	Ancho folíolo (cm)
Sustrato <sup>+</sup>							
6	Suelo	140.0a	18.83	2.036a	142.7a	40.59a	3.30
	Granza	132.0c	18.52	1.933b	135.0b	39.02b	3.27
	Fibra	137.3ab	19.27	2.015a	140.0a	39.33b	3.36
	Cascarilla	134.4bc	19.46	1.912b	135.7b	40.68a	3.27
12	Suelo	172.23a	35.55ab	2.880a	169.94a	50.62	2.99
	Granza	165.11b	33.89b	2.693b	161.80c	49.94	2.98
	Fibra	170.77a	35.47ab	2.930a	166.52ab	51.44	3.03
	Cascarilla	168.78ab	36.23a	2.835a	165.93b	51.62	3.00
Tamaño de bolsa (cm)							
6	40 x 53	130.5	18.73	1.903	135.1	38.99	3.27
	51 x 61	141.4**	19.31	2.045**	141.7**	40.82**	3.32
12	40 x 53	164.83	37.79	2.763	162.82	50.59	3.99
	51 x 61	173.62*	35.77	2.905**	169.28**	51.22	3.02
Fertilización (Dos niveles)							
6	1	133.9	19.08	1.951	136.9	40.42	3.26
	2	137.9**	18.96	1.998	139.9**	39.39**	3.34*
12	1	167.9	34.96	2.762	164.76	50.68	2.96
	2	170.5	35.61	2.907**	167.33	51.13	3.04**

Cuadro 4. (Continuación)

MDI	Tratamiento <sup>++</sup>	Total hojas	Area foliar · hoja <sup>-1</sup> (m <sup>2</sup> )	Tasa de emisión foliar (hojas · mes <sup>-1</sup> )	Foliolos · m <sup>-1</sup>	Area foliar · planta <sup>-1</sup> (m <sup>2</sup> )
Sustrato <sup>+</sup>						
6	Suelo	16.79a	1.047a	1.990	102.50	17.61a
	Granza	15.91b	0.949c	1.934	103.30	15.13c
	Fibra	16.49a	1.018ab	1.922	102.60	16.83ab
	Cascarilla	16.33ab	0.989bc	1.943	101.60	16.20b
12	Suelo	24.64	1.422	2.256b	99.34	35.13a
	Granza	23.86	1.343	2.266b	98.99	32.20b
	Fibra	24.44	1.437	2.248b	98.55	35.24a
	Cascarilla	24.36	1.430	2.340a	99.34	34.98a
Tamaño de bolsa (cm)						
6	40 x 53	16.03	0.947	1.911	104.20	15.21
	51 x 61	16.74*	1.054**	1.984*	100.80**	17.68**
12	40 x 53	24.03	1.367	2.278	99.76	33.04
	51 x 61	24.61**	1.449**	2.277	98.35	35.73**
Fertilización (Dos niveles)						
6	1	16.22	0.991	1.945	103.00	16.17
	2	16.54	1.010	1.950	102.00	16.72
12	1	24.16	1.376	2.287	99.12	33.44
	2	24.49	1.440*	2.268	98.98	35.34*

+ Una parte de suelo y tres de relleno (suelo, granza de arroz, fibra de mesocarpo y endocarpo de palma aceitera).

++ ANDEVA separado para cada variable y fecha (\*: P = 0.05, \*\*: P = 0.01). Letras en una misma columna indican diferencias significativas según Duncan (P = 0.05).

El mejor crecimiento observado en las bolsas de mayor volumen en vivero, continúa manifestándose en el campo, aún después de un año del trasplante (Figs. 3 y 4); este efecto es especialmente claro cuando el suelo fue mezclado con fibra o cascarilla como materiales de relleno (Cuadro 5).

Una fertilización extra en la etapa de vivero, mantiene su influencia sobre algunos parámetros en la fase de campo y, es notorio, que las plantas así fertilizadas en vivero muestren un valor mayor de P x S aun después de un año del trasplante al campo (Cuadro 4). En experimentos similares de vivero (1), con material Deli x AVROS, en donde se usó únicamente suelo como sustrato, el efecto de la bolsa y, especialmente, de una fertilización mayor que la convencional, desapareció muy tempranamente una vez que las plantas se establecieron en el campo. Sin embargo, aun en estos experimentos, el valor de P x S se mantuvo más alto en plantas provenientes de bolsas de mayor volumen que las convencionales.

La combinación de bolsas pequeñas y el uso de una mezcla con el suelo -especialmente granza de arroz y cascarilla- afectó adversamente el desarrollo de las plantas en vivero, cuyo efecto es todavía evidente en la fase de campo. Un año posterior al trasplante, estas plantas presentan un área foliar inferior que la obtenida en la combinación del mismo sustrato y bolsas grandes (Cuadro 5). El valor de P x S también es inferior pero las diferencias no son significativas.

### Precocidad

El material genético utilizado en estos experimentos exhibe una alta precocidad (Cuadro 6). La producción en los primeros racimos se inició temprano a los tres meses después del trasplante. -Las plantas habían permanecido 17.3 meses en vivero, con un espaciamiento de 1.50 metros entre bolsas-. Sin duda, el factor genético es importante como

Cuadro 5. Efecto combinado (interacción doble) sobre el crecimiento de material Kigoma x Deli en el campo (seis y 12 meses después del transplante), de cuatro materiales de relleno, dos tamaños de bolsa y dos niveles de fertilización utilizados durante la fase de vivero.

MDI		6				
Tratamiento <sup>++</sup>		P x S (cm <sup>2</sup> )	Total folíolos	Ancho folíolo (cm)	Area foliar·hoja <sup>-1</sup> (m <sup>2</sup> )	
Relleno <sup>+</sup>	Tamaño de bolsa					
	Suelo	40 x 53 cm	2 032ab	140.6ab	3.36ab	1.032ab
		51 x 61 cm	2.039ab	144.8a	3.24b	1.062a
Granza	40 x 53 cm	1.854cd	132.9cd	3.26b	0.901d	
	51 x 61 cm	2.013ab	137.2bc	3.28b	0.996bc	
Fibra	40 x 53 cm	1.929bc	137.1bc	3.27b	0.954cd	
	51 x 61 cm	2.102a	143.0a	3.44a	1.081a	
Cascarilla	40 x 53 cm	1.799d	129.6d	3.21a	0.900d	
	51 x 61 cm	2.024ab	141.8a	3.32ab	1.078a	
		P x S (cm <sup>2</sup> )	Tasa emisión foliar	Largo folíolo	Area foliar·hoja <sup>-1</sup> (m <sup>2</sup> )	
Relleno	Fertilización (Dos niveles)					
	Suelo	1	1.962	1.937	41.02ab	1.035
		2	2.110	2.043	40.16bc	1.060
Granza	1	1.910	1.908	38.72c	0.908	
	2	1.957	1.961	39.32bc	0.990	
Fibra	1	2.028	1.902	40.11bc	1.033	
	2	2.003	1.943	38.54c	1.002	
Cascarilla	1	1.903	1.896	41.83a	0.990	
	2	1.920	1.990	39.53bc	0.988	

Cuadro 5. (Continuación)

MDI		12				
Tratamiento <sup>++</sup>		Area foliar·planta <sup>-1</sup> (m <sup>2</sup> )	Folíolos·m <sup>-1</sup>	Ancho folíolo (cm)	Area foliar·hoja <sup>-1</sup> (m <sup>2</sup> )	
Relleno <sup>+</sup>	Tamaño de bolsa					
	Suelo	40 x 53 cm	17.095ab	103.5	3.04ab	1.448
		51 x 61 cm	18.136a	101.5	2.94ab	1.395
Granza	40 x 53 cm	14.014d	106.2	2.91b	1.281	
	51 x 61 cm	16.254bc	100.3	3.06a	1.405	
Fibra	40 x 53 cm	15.205cd	105.6	2.99ab	1.368	
	51 x 61 cm	18.455a	99.6	3.07a	1.506	
Cascarilla	40 x 53 cm	14.508d	101.5	3.01ab	1.372	
	51 x 61 cm	17.895a	101.7	3.00ab	1.489	
		Largo raquis	Total folíolos	P x S (cm <sup>2</sup> )	Area foliar·hoja <sup>-1</sup> (m <sup>2</sup> )	
Relleno	Fertilización (Dos niveles)					
	Suelo	1	137.8	140.4	2.768	1.394
		2	142.2	145.1	2.992	1.449
Granza	1	128.3	133.1	2.637	1.280	
	2	135.7	137.0	2.749	1.406	
Fibra	1	135.8	138.7	2.903	1.426	
	2	138.8	141.4	2.957	1.448	
Cascarilla	1	133.8	135.4	2.740	1.401	
	2	135.0	136.0	2.930	1.459	

+ Una parte de suelo y tres de relleno (suelo, granza de arroz, fibra seca de mesocarpo y endocarpo de frutos de palma aceitera).

++ Letras iguales indican diferencias no significativas.

determinante de la precocidad, pero el efecto de la alta distancia de siembra en vivero, no debe subestimarse. En otros experimentos de vivero con material Deli x AVROS (1), se encontró que plantas desarrolladas a 1.37 m mostraron significativamente mayor precocidad que aquellas que provenían de un espaciamento convencional de 90 centímetros entre plantas. Además de la distancia de siembra, otras prácticas de vivero tales como el tamaño de bolsa y la poda del follaje anterior al trasplante, pueden tener una influencia importante sobre la precocidad del material.

El tipo de sustrato en que crecieron las plantas en vivero determinó en forma significativa el número de racimos e inflorescencias femeninas por planta, y también el porcentaje de plantas que mostraron al menos un racimo o inflorescencia femenina 10 meses después del trasplante al campo. Las plantas desarrolladas en suelo sin mezcla tenían en promedio 4.55 racimos por planta, mientras que aquellas con un crecimiento pobre en el vivero, asociado al uso de granza de arroz y suelo como sustrato, mostraban 3.1 racimos. No se observaron diferencias significativas entre el sustrato suelo y sus mezclas con granza de arroz o mesocarpio. El uso de bolsas de mayor

tamaño en vivero estuvo asociado a una mayor producción de racimos por planta (Cuadro 6).

La combinación de bolsas grandes y suelo como sustrato, produjo 5.06 racimos promedio por planta. Las plantas con el desarrollo más pobre, provenientes de bolsas pequeñas y granza de arroz y suelo como sustrato, sólo tenían 2.80 racimos/planta<sup>1</sup>. No obstante, la interacción sustrato y tamaño de bolsa no fue significativa.

Algunas plantas tenían 13 o más racimos 10 meses después del trasplante, particularmente en el tratamiento que involucró el uso de bolsas grandes y suelo sin mezcla. El efecto fue independiente de la fertilización dada en vivero. El porcentaje de plantas que tenían al menos un racimo por inflorescencia femenina no fue afectado por la fertilización en vivero, pero sí por el tamaño de la bolsa (10% más de plantas con racimos en bolsas grandes) y, en menor grado, por el sustrato.

#### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Para facilitar el manejo de bolsas de gran tamaño y plantas de edad avanzada en vivero durante el trasplante, es fundamental reducir su peso. Este objetivo se logra al sustituir parte del suelo con un material de baja densidad. Los resultados de estos experimentos permiten determinar que es valioso probar nuevos materiales -estereofón, poliestireno, cascarilla triturada, entre otros-, en diferentes mezclas con suelo y con distintos niveles de fertilización, para establecer la mezcla más adecuada en cuanto al peso de la bolsa y que permita un desarrollo óptimo de la planta.

Debido a la variabilidad natural entre plantas respecto del desarrollo radicular y aéreo, es necesario aumentar el número de plantas utilizadas para determinar con mayor precisión el efecto de cada tratamiento sobre la acumulación de materia seca.

También, es importante estimar el momento más adecuado de trasplante, tomando como un criterio importante la cantidad de raíces desarrolladas dentro y fuera de las bolsas de vivero.

Existe un rango de tamaño de bolsa, dentro de la cual no se observan diferencias apreciables en el porcentaje de raíces que crecen fuera. La tendencia

Cuadro 6. Promedio de racimos - inflorescencias femeninas e inflorescencias masculinas material Kigoma x Deli a los diez meses del transplante, según fue afectada por varias prácticas de manejo en vivero.

Tratamiento <sup>++</sup>	Racimos e inflorescencias fem. · planta <sup>-1</sup>	Inflorescencias masc. · planta <sup>-1</sup>
Sustrato <sup>+</sup>		
Suelo	4.55 a	9.96
Granza	3.10 b	9.23
Fibra	3.49 ab	9.26
Cascarilla	3.67 ab	9.70
Tamaño bolsa		
40 x 53 cm	3.16	9.50
51 x 61 cm	4.25**	9.57
Fertilización (Dos niveles)		
1	3.82	9.39
2	3.59	9.69

+ Una parte de suelo y tres de sustrato (suelo, granza de arroz, fibra de mesocarpio y endocarpio de frutos de palma aceitera)

++ Letras iguales indican diferencias no significativas (\*\*:P = 0.01)

observada es que si se utilizan bolsas de mayor tamaño, se promueve un mejor desarrollo aéreo y radicular; pero la relación entre estos parámetros es similar al observado en las bolsas de tamaño usual. Existe obviamente un tamaño límite de bolsa conforme a la cual crecerían todas las raíces dentro de la misma para una edad de trasplante dada pero, probablemente, esta bolsa por su peso y volumen no sería manejable.

Con la información generada en éste y otros experimentos afines (1, 3, 4), (véase Material de Desarrollo Avanzado en Viveros de Palma Aceitera (*Elaeis guineensis* Jacq.). II. Espaciamiento y Volumen de la Bolsa, en este número), se pueden recomendar varias prácticas en viveros de palma aceitera que redundarían en la producción de plantas más vigorosas, más tolerantes al estrés del trasplante y que reinicien más rápidamente su crecimiento en el campo. El resultado final sería un material más precoz, con lo cual se obtiene un retorno más temprano de la inversión.

Estas prácticas incluyen el uso de un mayor espaciamiento entre plantas, así como bolsas de mayor volumen que las convencionales. Con el fin de reducir el peso de las bolsas, se recomiendan las mezclas de suelo y un material de relleno tal como cascarilla (endocarpo), fibra de mesocarpo de palma aceitera o algún otro material de menor densidad que el suelo. Las tendencias observadas en el campo indican que la proporción de material de relleno y suelo no debe ser muy alta; es aconsejable que no sea superior a una parte de sustrato y dos de suelo.

Cuando se utilicen mezclas de suelo con materiales que aportan pocos nutrientes, es altamente recomendable utilizar bolsas de mayor tamaño que las convencionales. Un aumento de la fertilización no puede sustituir el beneficio en el uso de una bolsa de más capacidad y esto es especialmente cierto cuando se intenta producir material avanzado de siembra. No

obstante, cuando se use un material inerte, una fertilización extra en vivero podría ayudar al desarrollo inicial de la planta en el campo.

En todo caso, cuando se emplean bolsas de mayor tamaño, es indispensable incrementar el espaciamiento (1) para no inducir efectos negativos por una excesiva competencia temprana entre plantas.

#### LITERATURA CITADA

1. CHINCHILLA, C; UMAÑA, C.H.; RICHARDSON, D.L. 1991. Material de desarrollo avanzado en viveros de palma aceitera. I. Espaciamiento y volumen de la bolsa. *Turrialba (C.R.)* 40(4):428-439.
2. CORLEY, R.H.V.; BREURE, C.J. 1981. Measurements in Oil Palm experiments (Internal Report). London, Unilever Plantation Group. 35 p.
3. HASHIN, M.T.; TAN, T.K.; YEOW, K.H. 1987. Field evaluation of Oil Palm advance planting materials. In International Oil Palm/Palm Oil Conference. Agriculture (1987, Kuala Lumpur, Malasia). Proceedings. Kuala Lumpur, Malasia, PORIM. p. 391-395.
4. HASHIN, M.T.; YEOW, K.H.; POON, Y.C. 1987. Recent development in nursery practice; potting media. In International Oil Palm/Palm Oil Conference. Agriculture (1987, Kuala Lumpur, Malasia). Proceedings. Kuala Lumpur, Malasia, PORIM. p. 369-371.
5. NASEEB, M.; LONG, S.G.; WOOD, B.J. 1987. Trials on reducing the non-productive period at Oil Palm replanting. In International Oil Palm/Palm Oil Conference. Agriculture (1987, Kuala Lumpur, Malasia). Proceedings. Kuala Lumpur, Malasia, PORIM. p. 372-390.
6. PHANG, S.; OOI, C.H.; CHAN, K.W.; NENON, C.M. 1977. Influence of soil series and soil depth on vegetative growth and early FFB production of the Oil Palm. In International Developments in Oil Palm. Ed. by Earp, D. A. and Newall, W. Kuala Lumpur, The Incorporated Society of Planters p. 153-167.

# Polinización en Palma Aceitera (*Elaeis guineensis* Jacq.) en Centroamérica.

## I. Población de Insectos y Conformación de Racimos<sup>1</sup>

C. Chinchilla\*, D.L. Richardson\*

### ABSTRACT

The annual fluctuation of the population of the pollinating insects and its relationship with fruit set in oil palm (*Elaeis guineensis* Jacq.) was studied in two oil palm plantations in Costa Rica (Coto and Quepos) and one in Honduras (San Alejo). Initially pollination was effected by *Elaeidobius subvittatus* and *Mystrops costaricensis*. The number of both species per male spikelet was higher at the end of the dry season but dropped drastically during the rainiest months of the year. High populations of the insects were related to high values of fruit set 5-6 months later. The species *E. subvittatus* was present up to 1987 in larger numbers in San Alejo and this plantation also had better fruit set values during the year. The number of *E. subvittatus* per male spikelet was lowest at Coto where fruit set was the poorest. *E. kamerunicus* was introduced in Central America in 1986 in an attempt to improve fruit set. The insect is now established in northern Honduras, Costa Rica and northern of Panama, and its population has, to date, been more stable during the year than that of *M. costaricensis* and *E. subvittatus* although *E. kamerunicus* is also adversely affected by the season of heavy rains. Fruit set has been improved and the benefits were more notorious in adult palms. The other two species of pollinators have been negatively affected; the population of *M. costaricensis* has dropped with respect to original levels and *E. subvittatus* has been apparently wiped out from the plantations.

### COMPENDIO

Se estudió durante cuatro años la fluctuación anual de la población de los insectos polinizadores y su efecto sobre el nivel de polinización -conformación de racimos- en palma aceitera (*Elaeis guineensis* Jacq.) en Costa Rica (Quepos y Coto) y en Honduras (San Alejo). Las poblaciones por espiga masculina de *Elaeidobius subvittatus* y *Mystrops costaricensis* fueron máximas durante la última parte de la estación seca e inicios de la lluviosa, y cayeron bruscamente en aquellos meses de mayor precipitación. Las numerosas poblaciones de insectos fueron asociadas cinco y seis meses después con un alto valor en la conformación de racimos. El número de *E. subvittatus* por espiga fue máximo durante todo el año en San Alejo y fue mínimo en Coto, siendo también más alto el nivel de polinización en San Alejo. *Elaeidobius kamerunicus* fue introducido en Centroamérica en 1986 para intentar mejorar el nivel de polinización. Este insecto se encuentra hoy establecido en el Norte de Honduras y Costa Rica y sus poblaciones son más estables durante el año que las de los otros dos polinizadores. Los efectos directos del establecimiento de *E. kamerunicus* se han mostrado en una mejora en el nivel de polinización y en la desaparición de *E. subvittatus*, así como en una reducción considerable en la población de *M. costaricensis*.

### INTRODUCCION

La palma aceitera (*E. guineensis* Jacq.) es una especie monoica, por lo que tiene inflorescencias masculinas y femeninas separadas en el mismo eje vegetativo. Esta situación determina una polinización cruzada, ya que sólo raras veces ambas inflorescencias son simultáneamente receptoras en la

misma planta. Durante muchos años prevaleció la idea de que la palma aceitera era polinizada exclusivamente a través del efecto del viento (17). Sin embargo, entre los años 1978 y 1979, Syed (9) realizó una serie de observaciones en Camerún y Malasia que demostraron con certeza que los insectos juegan un papel clave en la polinización de esta planta.

La especie *E. guineensis* es originaria del Africa Occidental, en donde varios insectos se encuentran asociados con las inflorescencias de ambos sexos. Cuando esta planta fue introducida a América y Asia, se observaron serios problemas de polinización, cuando ningún insecto en el nuevo ambiente fue

<sup>1</sup> Recibido para publicación el 21 de enero de 1991.

Los autores agradecen a la Compañía Palma Tica y Tela Railroad Co. por permitir publicar estos resultados. Asimismo a los señores S. Umaña (+), H. León, S. Alvarez y E. Arias por la dedicación en la recolección de parte de la información. Un especial agradecimiento a la Sra. E. Rojas por su trabajo de mecanografía del documento.

\* Programa de Investigación en Palma Aceitera, Compañía Palma Tica, Apartado 30-100 San José, Costa Rica.

capaz de explotar efectivamente el nicho como polinizador (9, 10, 16). En República Dominicana, por ejemplo, fue introducido el cultivo de *E. guineensis*, donde previamente al ingreso de *E. subvittatus*, la polinización, atribuida al viento, tenía un nivel de apenas un 20 por ciento.

Evers (4) destacó la posible actividad polinizadora de un Nitidulidae (*M. costaricensis*), encontrado por este autor a comienzos de 1977 en Centroamérica.

La forma como llegó *E. subvittatus* a América no es conocida, pero se supone que fue introducida en muestras de polen obtenidas en África Occidental (5, 7). Fue encontrado por Evers en Honduras en 1978.

Los polinizadores más importantes en África Occidental pertenecen a la familia Curculionidae. En Camerún se encuentran seis especies del género *Elaeidobius*, pero es *E. kamerunicus* la especie predominante (10). La polinización en ese país ha sido siempre aceptable, no así en el Sureste Asiático en donde *E. guineensis* fue introducida y se recurrió a la polinización asistida (6). En 1981, *E. kamerunicus* fue llevada a esa región y, posteriormente, a América: Colombia y Ecuador (1984-1986), Costa Rica (marzo de 1986) y Honduras (1986). En Brasil se introdujeron cuatro especies de *Elaeidobius* (1). En términos generales, el impacto del ingreso de *E. kamerunicus* en el Sureste Asiático ha sido altamente favorable (1, 3, 18).

Observaciones previas a la introducción de esta especie en América indicaron que, en algunas plantaciones, existía la posibilidad de mejorar el nivel de polinización mediante otro insecto polinizador (1, 12, 14). Sin embargo, en Centroamérica al menos la polinización asistida nunca fue considerada necesaria en palma aceitera.

Observaciones realizadas por Syed en Coto y Quepos (Costa Rica) y San Alejo (Honduras) lo llevaron a recomendar la importación de *E. kamerunicus* a estos países, para complementar la labor realizada por *M. costaricensis* y por *E. subvittatus* (12).

Su introducción en América significaría la competencia de *E. kamerunicus* con las dos últimas mencionadas. El reencuentro con *E. subvittatus* no ofrece mayores riesgos, pues ambas especies coexistían con otras cuatro del género *Elaeidobius* en

el África. Por otro lado, nada se conocía de la interacción en condiciones naturales entre *E. kamerunicus* y *M. costaricensis*.

Las siguientes observaciones se refieren en parte a la situación de los polinizadores en Costa Rica y Honduras, antes de la introducción de *E. kamerunicus* en 1986, y al efecto que este insecto ha tenido sobre la conformación de racimos y sobre los otros dos polinizadores ya presentes. También se evaluó la metodología utilizada para estimar tales cambios.

#### MATERIALES Y METODOS

##### Relación entre número de insectos por espiga y recuento total en inflorescencias masculinas

El procedimiento seguido para el recuento de los insectos consistió en una variación del sugerido por Chiu *et al.* (2) y Syed y Saleh (15). Muestras de nueve y 18 espigas fueron obtenidas de inflorescencias entre el quinto y sexto estado de antesis. Las espigas fueron recolectadas en bolsas de plástico individuales durante las primeras horas de la mañana (6-7 a.m.), transferidas a bolsas de papel y secadas a 35°C durante la noche. El polen fue separado mediante una criba, y la mezcla de insectos y partes florales fue separada en alcohol al 70 por ciento. Los insectos fueron nuevamente secados (35°C x 4 h) y, luego, se separó a las especies mediante cribas.

Después de recolectar la muestra de espigas en referencia, el resto de la inflorescencia fue embolsada y cortada del árbol. Luego de eliminar a los insectos con un insecticida, las especies son separadas en igual forma que la utilizada en la muestra de espigas. Debido a la dificultad de contar todos los insectos presentes, se tomó una muestra en peso de cada inflorescencia que variaba según el número de insectos, pero que, generalmente, fue de un gramo para *E. kamerunicus* y 0.1 gramo para *M. costaricensis*, secados durante 18 horas a 35° centígrados.

##### Variación estacional de la población de insectos polinizadores y de la conformación de racimos

Las observaciones aquí resumidas se realizaron en plantaciones comerciales de palma aceitera localizadas al Sur (Coto) y en el Pacífico Central (Quepos-Parrita) de Costa Rica y en la Costa Atlántica de Honduras (Atlántida).

La metodología originalmente recomendada por Syed (12, 14) para estimar la población de los polinizadores y el porcentaje de frutos normales por racimo, ha sido cuestionada posteriormente (2, 15). A pesar de esto, los procedimientos fueron mantenidos para dar continuidad a las observaciones y poder compararlas.

El porcentaje de frutos normales por racimo se estimó al pintar una franja de aproximadamente cinco centímetros de ancho a lo largo de la periferia del racimo, incluyendo la región externa y aquella que estaba en contacto con el tronco. Las espigas marcadas en cada racimo fueron separadas y se contaron los frutos normales -flores polinizadas-, los partenocárpicas y aquellas flores que no desarrollaron frutos. El nivel de polinización se estimó como el cociente del total de flores polinizadas entre el total de flores originales en la inflorescencia y se expresó en porcentajes. Un total de 15 racimos fue examinado por cada lote de cosecha de aproximadamente 10 hectáreas en sitios estratégicos que representaban siembras de diferentes edades en la plantación. El número de lotes muestreados varió con el tamaño de la plantación, pero no fue inferior que cinco en ningún caso.

La precisión de esta metodología fue evaluada mediante el conteo, en una muestra de racimos, del total de los frutos normales y los no polinizados y la comparación de este resultado con el obtenido en el análisis de una franja del mismo racimo.

El número de insectos por espiga masculina se estimó en forma rutinaria al determinar el total de insectos en nueve espigas, tres de cada una de las partes basal, media y apical de 10 inflorescencias masculinas en cada lote en donde se estableció el nivel de polinización. Las muestras de espigas se secaron en un horno en bolsas de papel por aproximadamente 18 horas a 35°C y, luego, se contaron los insectos presentes por especie. Si el número de ellos era muy alto, el total fue estimado a partir de una muestra.

## RESULTADOS Y DISCUSION

### Relación entre número de insectos por espiga en muestras de nueve y 18 espigas y recuento total de la inflorescencia masculina

Tanto en palmas de cinco como de 17 años, el número de *M. costaricensis* por espiga, estimado a

partir de una muestra de nueve espigas, resultó similar al obtenido luego del análisis total de la inflorescencia. Para *E. kamerunicus* la muestra de nueve espigas subestimó de manera consistente la población real promedio por espiga del polinizador. En palmas de cinco años el número promedio de *E. kamerunicus* por espiga, en recuentos de la inflorescencia completa, fue 2.06 veces mayor que el valorado en la muestra de nueve espigas. En la palma adulta se obtuvieron casi cuatro veces más insectos por espiga con el análisis de la inflorescencia completa.

Estas diferencias se deben, en gran medida, a la migración de insectos desde las espigas hacia el pedúnculo de las inflorescencias cuando son acosados durante la recolección. Todos estos insectos fueron tomados al cortar totalmente la inflorescencia. *M. costaricensis* parece movilizarse menos ante el acoso, por lo cual la muestra de nueve espigas indicó una buena estimación en promedio de la población real por espiga. Debido a los hábitos crepusculares de este insecto, no tiende a abandonar la inflorescencia como ocurre con *E. kamerunicus* cuando la recolección de las espigas se hace muy tarde en la mañana.

Según Syed y Saleh (15) la distribución de los adultos en las inflorescencias tiende a ser ligeramente desuniforme, por lo cual una muestra de nueve espigas podría ser inapropiada para estimar las poblaciones de *E. kamerunicus*. Según estos autores, para obviar esta dificultad, se deberían contar todos los insectos presentes en todas las espigas de una muestra de inflorescencias, además de considerar el número de inflorescencias masculinas en antesis por unidad de área. El análisis de 15 inflorescencias -tres por cada estado de antesis- se consideró apropiado. Para completar la información se debe contar también el número de inflorescencias masculinas en 500 palmas para estimar la cantidad por unidad de área (15).

Asimismo la hora en que se recolectan las muestras ha sido señalada como un factor de gran influencia al estimar la población de los polinizadores, la cual es sin duda mayor en *E. subvittatus* y *E. kamerunicus* que en *M. costaricensis*.

Una muestra de 18 espigas por inflorescencia también subestimó el número promedio de *E. kamerunicus* por espiga, pero en menor grado. El

valor en el número de insectos por espiga, obtenido del análisis de toda la inflorescencia, fue 1.53 y 2.19 veces mayor que el estimado a partir de la muestra de 18 espigas en palmas de cuatro y 11 años de edad, respectivamente.

Al aumentar el número de espigas muestreadas de nueve a 18 por inflorescencia, no parece elevarse en forma considerable la precisión en la estimación del número promedio de *M. costaricensis* por espiga. En el caso de *E. kamerunicus* el muestreo de 18 espigas sí reduce la diferencia entre el valor "real" y el estimado. En todo caso, cuando se trata de comparar poblaciones es cuestionable la justificación del esfuerzo extra que debe realizarse para recolectar las 18 espigas tanto de la parte interna como externa de la inflorescencia.

En general se observó que las espigas recolectadas de la parte externa de la inflorescencia -opuesta al tronco- contenían más individuos de *E. kamerunicus* que en las espigas internas. Esta tendencia no fue clara para *M. costaricensis*.

#### Variación estacional en la población de los insectos polinizadores y en la conformación de racimos

El polinizador *E. kamerunicus* fue introducido en Costa Rica en febrero de 1986 y fue liberado en Coto y Quepos, en ese país, en mayo de ese año. En Honduras la liberación se realizó en la plantación de San Alejo en julio de 1986.

Hasta mediados de 1987 se observó una relación bastante clara entre la población promedio de *E. subvittatus* en cada plantación y el número promedio de flores polinizadas por inflorescencia en cada una de ellas. Las poblaciones más cuantiosas de este insecto se presentaron en San Alejo (Honduras) y es aquí donde se lograron los valores más altos de polinización (Fig. 1).

En Coto se determinaron los valores promedio de polinización más bajos a través del año y también la población más escasa de *E. subvittatus*. En Quepos se encontraron poblaciones intermedias del polinizador y se observaron valores medios de polinización entre Coto (Costa Rica) y San Alejo (Honduras).

El otro polinizador, *M. costaricensis*, tenía una población máxima en Coto y mínima en San Alejo.

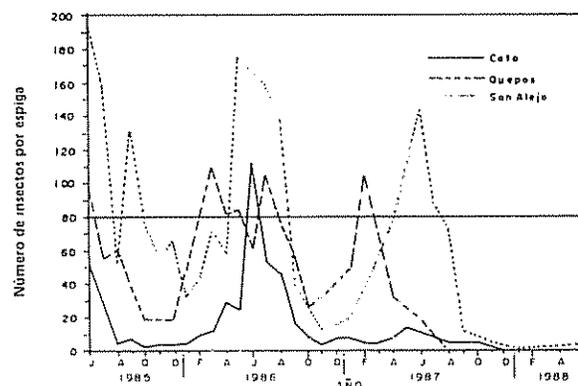


Fig. 1 Variación estacional de la población de *Elaeidobius subvittatus* en tres plantaciones de palma aceitera.

Por tanto se podría concluir que las actividades de este último insecto no contribuían en forma apreciable a elevar el nivel de polinización obtenido en Centroamérica. El limitado papel de este insecto como polinizador también fue denotado por Genty *et al.* y Syed (5, 11). Según estos autores, *E. subvittatus* es un polinizador más eficiente y esto se debe a su mayor capacidad de transporte de polen y al hecho de que este insecto está activo durante un número mayor de horas al día que *M. costaricensis*.

#### División Coto en el Pacífico Sur de Costa Rica

La población de *E. subvittatus* por espiga masculina estimada durante el período anterior a la introducción de *E. kamerunicus* fue escasa durante la mayor parte del año, particularmente en las divisiones de Coto y Quepos. Los niveles más bajos observados en Coto (Fig. 2) ocurrieron durante los meses de agosto a febrero. El establecimiento del período lluvioso (Fig. 3) tiene un efecto detrimental sobre la población del insecto, que se extiende hasta muy entrada la estación seca. Probablemente la razón de este comportamiento se debe parcialmente al aumento de los enemigos naturales del insecto durante la estación lluviosa, tal como ha sido observado en otros estudios (19). La recuperación aparente de la población en el período de marzo a agosto de 1986, refleja posiblemente el comportamiento usual de la población del insecto sin la influencia de *E. kamerunicus* en los años siguientes.

La población de *M. costaricensis* sigue ligeramente más cerca el patrón de distribución de las lluvias; y al iniciarse la época seca se recupera más rápidamente que la de *E. subvittatus* (Figs. 2 y 3). Sus mayores

poblaciones por espiga se mantienen desde mediados del periodo seco, mientras que las de esta última se dan cuando ya se ha iniciado la época lluviosa.

Durante 1987 la población de *E. kamerunicus* empezó a subir notoriamente a partir de noviembre (Fig. 2), lo cual fue asociado con la incapacidad de *E. subvittatus* para elevar su población a los niveles observados en los años anteriores. A partir de octubre de ese mismo año no fue posible recuperar individuos de *E. subvittatus* en las muestras estudiadas.

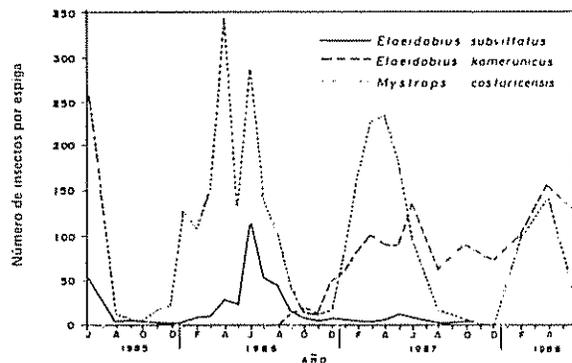


Fig 2 Variación estacional de la población de los insectos polinizadores en Coto, Costa Rica

De acuerdo con las observaciones de Syed (9) en Africa, *E. kamerunicus* es un mejor polinizador que *E. subvittatus*, gracias a una mayor capacidad de acarreo de polen. Sin embargo, la interacción esperada entre estas dos especies no fue antagónica sino complementaria y produjo una polinización más estable a través del año. La situación esperada en Centroamérica (11, 12, 13) era de coexistencia y complementariedad entre ambas especies en su actividad polinizadora, y que la población de *E. subvittatus* se mantuviera alta en verano y que la de *E. kamerunicus* predominara en invierno.

Las razones para el desplazamiento de *E. subvittatus* por parte de esa última no son claras. Según Syed (10, 11) esta situación no sucede debido a la competencia por alimento sino probablemente por la de sitios de cría y desarrollo de las larvas. El mayor número de posturas de *E. subvittatus* ocurre al final del período de antesis de las inflorescencias masculinas (5). La oviposición de *E. kamerunicus* empieza con las inflorescencias recién abiertas, por lo cual cuando este insecto posee altas poblaciones

fácilmente ocupa todos los sitios disponibles para el desarrollo de las larvas de *E. subvittatus*.

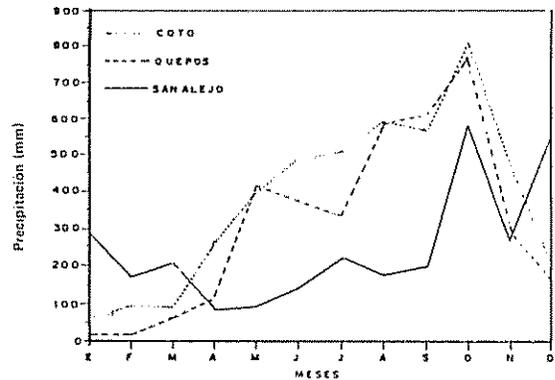


Fig 3 Precipitación mensual en Coto y Quepos (Costa Rica) y San Alejo (Honduras): Promedio de los años 1985 a 1988

El establecimiento de *E. kamerunicus* en Colombia también estuvo acompañado de una reducción considerable en la población de las otras dos especies (8).

Conforme se incrementó la población de *E. kamerunicus* en Coto, los picos poblacionales de *M. costaricensis* fueron de menor magnitud (Fig. 1). En enero y febrero de 1990, el número promedio de esta especie fue inferior que dos individuos por espiga. Sin embargo, este promedio subió a 30 insectos en el mes de abril. Es de esperar que la presencia de *E. kamerunicus* no elimine completamente la población de aquel. Esta afirmación se basa en que ambas especies tienen hábitos de comportamiento bastantes diferentes y no compiten directamente por el alimento o sitios para empupar, aunque sí lo hacen por el espacio para el desarrollo de la larva (5).

De todos modos, la utilidad de *M. costaricensis* como un polinizador eficiente de *E. guineensis* ha sido cuestionada (5, 13). Los principales problemas con este insecto son: un período de actividad muy reducido y una baja capacidad de transporte de polen (5, 8, 10, 13). Sin embargo, se ha encontrado que algunas variantes de esta especie tienen un período de actividad mayor y, por lo tanto, un mayor potencial como polinizadores (8).

Luego de su liberación en Coto en mayo de 1986, la población de *E. kamerunicus* subió en forma consistente hasta estabilizarse en un número entre 75

y 130 insectos por espiga (Fig. 2). Sin embargo, las poblaciones observadas entre enero y marzo de 1990 fueron superiores a 230 individuos por espiga. En términos generales se observa que en Centroamérica el comportamiento de la población de este insecto, según las variaciones estacionales, es similar a la encontrada en Suramérica y África Occidental (5, 10, 11). La disminución de la población de este insecto durante los meses más lluviosos, no ha sido tan pronunciada como la observada en el pasado en el caso de *E. subvittatus* y *M. costaricensis*.

La población original estimada de *E. kamerunicus* en Camerún fue de 23 a 120 insectos por espiga masculina. En Malasia alcanzó niveles similares, por lo cual se aceptó que esa población garantizaba un valor de FN (FN = Frutos normales = porcentaje de flores polinizadas y que desarrollan frutos en una inflorescencia femenina) en al menos un 60% (10, 15). De acuerdo con ello se consideró aceptable un mínimo de 30 adultos por espiga para un nuevo lugar de introducción del polinizador. Si se asume que los métodos para tomar muestras son comparables, se observa que en cada una de las áreas estudiadas -Coto, Quepos y San Alejo-, la población por espiga de esta especie, durante la mayor parte del año, es altamente satisfactoria para lograr un alto valor de flores polinizadas por inflorescencia. Algunos problemas podrían surgir después de algunos años en el período setiembre-noviembre en Coto, cuando la elevada precipitación pluvial reduciría severamente la población.

En términos generales se nota que el porcentaje de flores polinizadas ha sido siempre más alto en las palmas de mayor edad, pero que estas diferencias aumentaron con el establecimiento de *E. kamerunicus*, y que la palma más joven fue la que proporcionalmente respondió menos a las actividades iniciales del polinizador. Los valores más bajos en el nivel de polinización de la palma joven, pueden asociarse algunas veces con una relación de sexo, mayor en estas palmas; aunque esto no siempre se relaciona con una cantidad menor de insectos por espiga masculina.

Una mejor apreciación del cambio global en la conformación de racimos, ocurrido a partir de 1985, se logra en la Figura 4. La categoría de racimos con un porcentaje de polinización inferior que el 40% se había reducido considerablemente de un 19.64% en 1985 a un 2.68% en junio de 1988. Por otra parte se

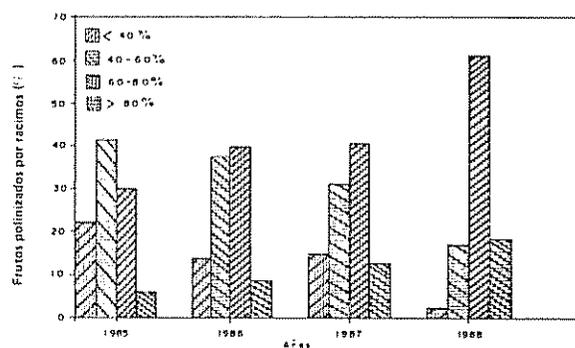


Fig. 4 Clasificación de racimos en categorías según porcentaje de frutos polinizados en Coto, Costa Rica.

observa que la categoría de racimos con un porcentaje de frutos polinizados entre 60% y 80%, habría pasado de 32.74% en 1985 a 61.36% en 1988. La situación mejoró todavía más en 1989 y durante los primeros meses de 1990 (véase Cuadro 1). Debido a la edad en la mayoría de los lotes evaluados, estos cambios no pueden achacarse a un aumento en la polinización con la variación en la edad. De los cinco lotes evaluados en Coto, dos fueron sembrados en 1967, uno en 1971 y otro en 1977. El número de inflorescencias masculinas por área en cada uno de estos lotes fue similar durante el período de estudio.

El valor de FN se estimó mediante una muestra de una franja pintada a lo largo de la periferia del racimo maduro. Cuando se comparan estos datos con el valor obtenido del análisis de la totalidad del racimo, se observa que ambos valores pueden diferir en varias unidades porcentuales. El método de la franja de pintura puede subestimar el valor real de frutos polinizados por racimo hasta en aproximadamente un 5% en un muestreo en particular. En términos generales se puede considerar que los valores de FN estimados con este método son realmente menores entre un 2% y 3% que los reales.

La relación entre el número de inflorescencias masculinas por área y la población de polinizadores no siempre es muy clara en los datos, pero es posible que se de una mayor población de insectos en períodos cuando hay una mayor densidad de inflorescencias masculinas.

#### División Quepos en el Pacífico Central de Costa Rica

El comportamiento de *E. subvittatus* y *M. costaricensis* en Quepos a través del año es similar al

Cuadro 1. Palma aceitera: Comportamiento promedio del nivel de polinización en racimos en una plantación comercial al sur de Costa Rica (Coto).

Año	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Setiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
1985							64.5	60.1	64.5	59.5	49.4	60.0
1986	45.3	46.9	58.4	54.7	60.4*	56.3	61.3	63.0	60.1	62.7	61.5	62.7
1987	58.5	46.4	52.8	50.9	61.3	68.9	66.5	64.0	60.6	57.2	55.9	54.5
1988	51.9	49.3	56.6	63.8	66.9	67.9	67.7	67.5	66.7	65.8	66.9	66.5
1989	65.3		59.6						68.9			
1990	66.9	70.3		66.6								

\* El polinizador *E. kamerunicus* fue liberado en la plantación en mayo de 1986.

observado en Coto en cuanto a la respuesta de las poblaciones a las variaciones en el régimen de las lluvias (Fig. 5). Las poblaciones máximas han sido observadas en los meses de febrero a julio. Al establecerse la época seca, la recuperación de la población de *M. costaricensis* ocurría más rápidamente que en *E. subvittatus*. Sin embargo, en Quepos la población de esta última especie se recobraba más rápido y se mantenía más alta por un mayor número de meses al año que en Coto (Fig. 1).

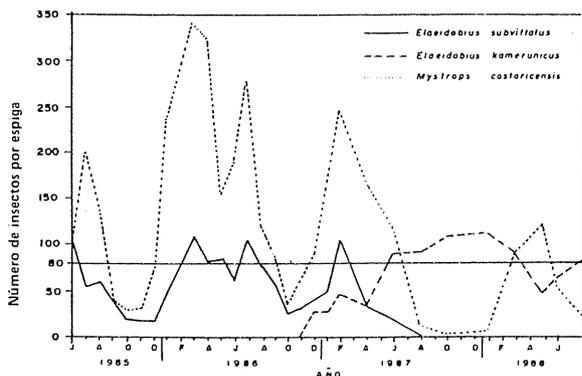


Fig. 5. Variación estacional de la población de los insectos polinizadores en Quepos, Costa Rica.

Los valores más altos en el porcentaje de frutos polinizados durante los meses de julio a noviembre en 1986 y 1987, corresponden bastante bien con las mayores poblaciones de ambos insectos entre cinco y seis meses antes, a saber de febrero a junio (Figs. 5 y 6). En general, las bajas poblaciones de insectos en los meses más lluviosos -agosto a noviembre en 1986 y 1987- también se relacionarían con los bajos valores

de FN observados en los meses de enero a abril del año siguiente.

A partir de febrero de 1987, el número de *E. subvittatus* por espiga empezó a reducirse considerablemente hasta que desapareció de los recuentos en agosto de ese año. La reducción en las poblaciones de esta especie y de *M. costaricensis* se ha relacionado claramente con el establecimiento de *E. kamerunicus*, cuya población se elevó en forma consistente a partir de abril de 1987 y se ha mantenido en alrededor de 50 a 100 insectos por espiga.

El efecto negativo de períodos muy lluviosos sobre *E. kamerunicus* es definitivamente menos drástico que en las otras dos especies de insectos, por lo cual también se ha observado en Quepos un incremento sostenido en el valor promedio de frutos polinizados por racimo, el cual ha sido más notorio en las palmas de mayor edad (Fig. 6).

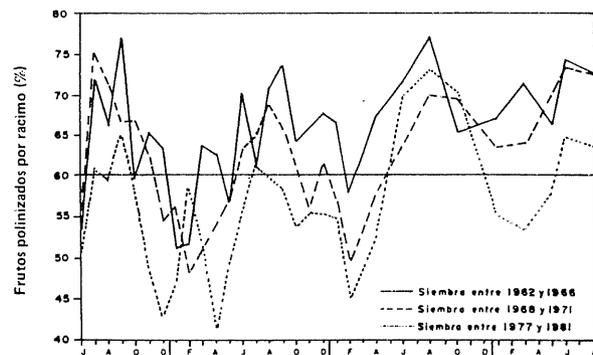


Fig. 6. Porcentaje de frutos polinizados en palma aceitera de tres edades en Quepos.

### División San Alejo en la Costa del Atlántico Norte de Honduras

Al igual que en las dos plantaciones de Costa Rica, la población de *E. subvittatus* ha sido adversamente afectada con el establecimiento de *E. kamerunicus*. Esta situación fue inesperada ya que se creía que, debido a sus altas poblaciones en Honduras, *E. subvittatus* se había adaptado a las condiciones de esta región y que podría competir en otras mejores con *E. kamerunicus* que en las de Costa Rica. El otro polinizador presente en San Alejo, *M. costaricensis*, tenía una población bastante más baja que la encontrada en Quepos y especialmente en Coto.

El valor promedio de polinización (FN) en Honduras se encontró entre 60% y 70% durante la mayor parte del año, incluso antes de la introducción de *E. kamerunicus*, y la tendencia era hacia una mejora con el establecimiento del polinizador.

La respuesta de las poblaciones de *E. subvittatus* y *M. costaricensis* a las variaciones anuales en la precipitación fueron igualmente observadas en Costa Rica. Los picos poblacionales ocurrieron durante los meses más secos del año.

Se concluye que el establecimiento del polinizador *E. kamerunicus* en Centroamérica ha mejorado el nivel de polinización de las inflorescencias de la palma aceitera. Esto se atribuye a una mayor capacidad de transporte del polen de esta especie y a que su actividad diurna es menos afectada por las altas precipitaciones en las zonas palmeras.

Una mayor proporción de frutos normales en los racimos se asocia con altas poblaciones de los insectos polinizadores entre cinco y seis meses antes de la cosecha, durante el período de antes de las inflorescencias femeninas.

El establecimiento de *E. kamerunicus* causó una merma considerable en la población del polinizador *M. costaricensis* y redujo la población de *E. subvittatus* a niveles no detectables en los muestreos rutinarios de las inflorescencias masculinas.

### LITERATURA CITADA

1. CORRADO, F. 1985. La conformation des régimes de palmier à huile (*Elaeis guineensis* Jacq.) dans quelques plantations de Colombia. *Oleagineux* (Francia) 40: 173-187.
2. CHIU, S.B.; KHOO, K.C.; HUSSEIN, M.Y. 1986. A method for the estimation of the natural population of the pollinating weevil, *Elaeidobius kamerunicus* Faust of oil palm. In *Biological control in the Tropics*. Ed by M.Y. Hussein and A. Ibrahim. Malasia. Penerbit University Pertanian p 453-470.
3. DONOUGH, C.R.; LAW, I.H. 1987. The effect of weevil pollination on yield profitability at Pamol Plantations. In *International Palm Oil/Oil Palm Conferences (1987, Kuala Lumpur, Malasia)* Proceedings Kuala Lumpur, Malasia 11 p.
4. EVERS, C. 1977. Informe Anual División Tropical Research. United Fruit Co. Costa Rica. s.p.
5. GENTY, P.; GARZON, A.; LUCHINI, F.; DELVARE, G. 1986. Polinización entomófila de la palma africana en América Tropical. *Oleagineux* 41:99-112.
6. HARDON, J.J. 1973. Assisted pollination in oil palm: a review. In *Advances in oil palm cultivation*. Ed by R.L. Wastle and D.A. Earp. Malasia, Kuala Lumpur, Incorporated Soc. of Planters. p 184-195.
7. LUCHINI, F.; MORIN, J.P. 1984. Distribuição e importancia de *Elaeidobius subvittatus* polinizador de dende (*Elaeis guineensis* Jacq.) no Brazil. *Pesquisa em Andamento* (Bra.) 24:1-5.
8. MARIAN, D.; GENTY, P. 1987. IRHO contributions to the study of oil palm insect pollinators in Africa, South America and Indonesia. In *International Palm Oil/Oil Palm Conferences (1987, Kuala Lumpur, Malasia)*. Proceedings. Kuala Lumpur, Malasia. 12 p.
9. SYED, R. 1978. Studies on pollination of oil palm in West Africa and Malaysia. Report of the Comm. Inter. Biological Control CAB, Slough, GB 38 p.
10. SYED, R.A. 1984a. The latest development of *Elaeidobius* role in pollination: feasibility of introducing the weevil on the Malaysian Oil Palm Industry. In *Symposium on Impact of Pollinating Weevil on the Malaysian Oil Palm Industry (1984, Kuala Lumpur, Malasia)* Proceedings. Kuala Lumpur, Malasia, PORIM. p 58-81.
11. SYED, R. 1984b. Los insectos polinizadores de la palma africana. *Palmas* (Col.) 5:19-64.
12. SYED, R. 1985. Report on visit to Costa Rica and Honduras for Compañía Bananera de Costa Rica and Tela Railroad Company of Honduras. *Harrisons Fleming Advisory Services Ltd* 9 p.

13. SYED, R. 1986a. Factibilidad de la introducción de *Elaeidobius kamerunicus* en Colombia. *Palmas (Col.)* 7:11-15.
14. SYED, R. 1986b. Report on supply of *Elaeidobius kamerunicus* from low and high rainfall localities of Camerum to Costa Rica for United Fruit Co.; oil palm operations. Harrisons Fleming Advisory Services Ltd. 10 p.
15. SYED, R.; SALEH, A. 1987. Population of *Elaeidobius kamerunicus* Faust in relation to fruit set. In International Palm Oil/Oil Palm Conferences (1987, Kuala Lumpur, Malasia) Proceedings Kuala Lumpur, Malasia. 15 p.
16. SYED, R.; LAW, J.H.; CORLEY, R H W 1982. Insect pollination of oil palm: introduction, establishment and pollinating efficiency of *Elaeidobius kamerunicus* in Malaysia. *Planter (Malasia)* 58:547-561.
17. TURNER, P.D.; GILBANKS, R.A. 1974. Oil palm cultivation and management. Kuala Lumpur. The Incorporated Society of Planters p 247-276.
18. WAHID, M.B.; MASJIAN, Z.; HALIM, A.H.; MOHID, D. 1987. The population census and the pollination efficiency of the weevil *Elaeidobius kamerunicus* in Malaysia. A status report, 1983-1986. In International Palm Oil/Oil Palm Conferences (1987, Kuala Lumpur, Malasia) Proceedings Kuala Lumpur, Malasia 32 p.
19. ZENNER DE POLONIA, I. 1986. Factores de mortalidad que afectan larvas del polinizador de palma africana, *Elaeidobius subvittatus* en Colombia. *Palmas (Col.)* 7:49-59.

# Polinización en Palma Aceitera (*Elaeis guineensis* Jacq.) en Centroamérica.

## II. Comportamiento de Insectos<sup>1</sup>

C. Chinchilla\*, M. Escalante\*, D.L. Richardson\*

### ABSTRACT

Population and behavioral aspects of the three more important pollinating insects in *Elaeis guineensis* Jacq. were studied in Costa Rica (Quepos, Parrita and Coto). Adults of both *Elaeidobius kamerunicus* and *Elaeidobius subvittatus* are diurnal and visit the female inflorescences during the sunniest hours of the day. *Mystrops costaricensis* activity occurs at dusk. It was estimated that in May approximately 12 000 *E. kamerunicus* visited a single female inflorescence in anthesis. In 11-year-old palms in Coto, the number of *E. kamerunicus* per hectare was 144 350, 183 870 and 17 240 during March (dry season), June (beginning of rainy season) and October (rainiest month) respectively. After *E. kamerunicus* was completely established, the populations of both *E. subvittatus* and *M. costaricensis* were reduced drastically; *E. subvittatus* disappeared from routine samplings. The average number of pollen grains carried by males of *E. kamerunicus* was 10 078 and females 498. Individually, *M. costaricensis* carried an average of 12 grains of pollen. The viability of this pollen was low (5-12%) during the rainy season. It was confirmed that the hybrid O x G is more attractive to *E. kamerunicus* than *E. oleifera* and that the inflorescences of *E. guineensis* are the most attractive to this weevil.

### COMPENDIO

Se estudiaron los aspectos poblacionales y el comportamiento de los tres principales insectos polinizadores de *Elaeis guineensis* Jacq. en plantaciones comerciales en el Pacífico Sur (Coto) y Central de Costa Rica. El número de *Elaeidobius kamerunicus* por hectárea en palmas de 11 años (Coto), en verano (marzo), inicio del período lluvioso y en el mes de octubre -anormalmente lluvioso- en 1988, fue de 144 350, 183 870 y 17 240 individuos. Tanto *Elaeidobius subvittatus* como *E. kamerunicus* son de hábitos diurnos y visitan las inflorescencias femeninas durante las horas de mayor luminosidad en el día (10 - 13 h). *Mystrops costaricensis* tiene hábitos crepusculares. Se estimó que en mayo (inicio de lluvias), unos 12 000 individuos de *E. kamerunicus* visitaban una inflorescencia femenina durante su período de antesis. El establecimiento de esta especie estuvo asociado a una reducción drástica en las poblaciones de *M. costaricensis* y *E. subvittatus*. La población de esta última se redujo a un nivel no detectable en los muestreos de rutina. El número promedio de granos de polen acarreados por hembras de *E. kamerunicus* fue de 498 y por los machos, de 1078. Individuos de *M. costaricensis* transportaban en promedio 12 granos de polen. La viabilidad del polen fue baja (5-12%) en la época de lluvias en Coto. Se comprobó que el híbrido O x G es más atractivo para *E. kamerunicus* que *E. oleifera*, y que *E. guineensis* atrae las más altas poblaciones de este insecto.

### INTRODUCCION

El polinizador *E. kamerunicus* de la palma aceitera, *E. guineensis* Jacq., fue introducido en Centroamérica en 1986, con el fin de obtener un nivel de polinización mayor y más estable a través del año. Anterior a la llegada de ese polinizador, existían en esta región dos insectos polinizadores: *M.*

*costaricensis* y *E. subvittatus*. El primero de ellos es una especie americana y la segunda fue probablemente introducida, por accidente, desde Africa Occidental (4, 5).

Excepto por unas observaciones sin publicar sobre estas especies, realizadas por Evers (3), no existen en Centroamérica datos sobre el comportamiento de los insectos polinizadores en palma aceitera, ni sobre la fluctuación de sus poblaciones.

Las siguientes observaciones se refieren al desarrollo de las poblaciones de los insectos polinizadores en diferentes épocas del año y a su actividad polinizadora en plantaciones comerciales de

<sup>1</sup> Recibido para su publicación el 21 de enero de 1991

Los autores expresan su agradecimiento a las Compañías Palma Tica y Tela Railroad Company por permitir la publicación de estos resultados. Se agradece a los señores S. Umaña (+), H. León, S. Alvarez y E. Arias la dedicación en la recolección parcial de los datos y a la Sra. E. Rojas por su trabajo de mecanografía.

\* Compañía Palma Tica; Programa de Investigación en Palma Aceitera; Apartado 30-1000. San José, Costa Rica

palma aceitera en Costa Rica. La mayoría de las observaciones se realizaron durante 1988 en la región del Pacífico Sur (Coto), excepto aquellas sobre la actividad diaria de los insectos y su capacidad de transporte de polen, que fue también seguida en el Pacífico Central (Parrita/Quepos).

#### MATERIALES Y METODOS

##### Cantidad y viabilidad del polen transportado por los insectos polinizadores

Inflorescencias femeninas en antesis fueron visitadas durante las horas de mayor actividad de cada uno de los polinizadores. Los adultos de *M. costaricensis* que sobrevolaban las inflorescencias, fueron capturados con ayuda de una red entomológica -diámetro de 11 cm-. Insectos machos y hembras fueron colocados en grupos de 10 individuos cada uno, en un pequeño frasco con aproximadamente 0.5 ml de agua, a la cual se le había añadido Tween 20.

Para lograr capturar adultos de *E. kamerunicus*, se cubrió la inflorescencia con una tela blanca. Los insectos capturados fueron colocados en grupos de 10 individuos por sexo, en frascos que contenían una pequeña cantidad de agua.

El recuento de los granos de polen se realizó después de añadir unas gotas de solución de safranina a las muestras y de observar luego a cada insecto bajo un microscopio estereoscópico. Para el conteo total del polen acarreado, los élitros fueron cuidadosamente desprendidos con unas pinzas de punta fina. El resto del polen desprendido en el agua, se consideró por separado y se le añadió, proporcionalmente, al total adherido a cada insecto.

Para estimar la viabilidad del polen transportado se recolectaron insectos que sobrevolaban las inflorescencias femeninas en antesis. Muestras del polen obtenido de los insectos fueron puestas directamente en el campo, en agar con sucrosa al 11% o bien en agua con sucrosa al 0.5% y 10 por ciento. Posteriormente se pusieron a germinar en el medio de agar con sucrosa al 11% y a 35°C durante una hora y media. Cada muestra se corrió con otra como testigo, obtenida de una inflorescencia, y a la cual se le determinó el porcentaje de germinación antes y después de concluida la prueba de viabilidad del polen acarreado por los insectos.

##### Estimación del número de insectos polinizadores por área y por inflorescencia masculina

Tres inflorescencias masculinas en cada uno de los siete estados de antesis (1), fueron embolsadas y cortadas en horas tempranas de la mañana. Con anterioridad se tomaron tres espigas de las partes basal, media y distal en las áreas internas y externas con respecto al tronco hasta un total de 18 espigas por inflorescencia.

El número de insectos en la muestra de espigas se contó individualmente, y el total de individuos por inflorescencia se estimó por peso. El total de insectos por área se obtuvo al contar las inflorescencias masculinas en cada estado de antesis, en dos siembras de palmas D x P (Deli x AVROS) de cuatro y 11 años de edad. Un primer muestreo se efectuó en marzo -período seco- y se repitió en julio, cuando la estación lluviosa ya se había iniciado, y en octubre, cuando se dan los niveles máximos de precipitación en Coto.

El cálculo del número de insectos por área en marzo y julio se determinó con base en el promedio de insectos estimado por espiga en las inflorescencias según: el estado de antesis, el promedio de espigas por inflorescencia, la edad de la palma y el número de inflorescencias masculinas en cada estado de antesis por unidad de área. Durante el mes de octubre la población de insectos se redujo drásticamente, por lo cual fue posible contar individualmente a todos los insectos en cada inflorescencia.

##### Comparación de la población de polinizadores en cuatro tipos de germoplasma

Se recolectaron las inflorescencias masculinas de *E. guineensis* (Deli x AVROS), de *E. oleifera*, de un híbrido O x G y de material compacto -O x G retrocruzado a *E. guineensis*-, todos sembrados en Coto. La recolección de las muestras y su procesamiento fueron hechos según los mismos procedimientos descritos anteriormente.

##### Patrón de visitas de los polinizadores a las inflorescencias femeninas en antesis

Seis inflorescencias femeninas en palmas Deli x AVROS fueron marcadas antes de entrar en el período de antesis. Durante el mismo, estas

inflorescencias fueron visitadas cada 15 minutos. Se contó el número de insectos atrapados en una cinta de plástico transparente (3 cm x 30 cm), cubierta con pegamento. Las observaciones fueron repetidas en Coto y Quepos en palmas de seis años de edad.

## RESULTADOS Y DISCUSION

### Cantidad y viabilidad del polen transportado por los insectos polinizadores

*E. kamerunicus* fue escogida por Syed (8, 9, 10, 11, 12) para ser introducida en Malasia y en América debido, fundamentalmente, a su alta capacidad para transportar polen. Según este autor, los machos de esta especie acarrean un promedio de 235 granos de polen por individuo y las hembras, 56 granos. *E. subvittatus* se consideró menos eficiente como polinizador pues, a pesar de ser comúnmente más numeroso en las inflorescencias femeninas, llevó una cantidad inferior de polen: 15 granos en promedio por individuo. Algunos de estos datos fueron obtenidos al examinar aparentemente un número bastante bajo de insectos (7, 8).

*M. costaricensis* es considerado como un polinizador más pobre que *E. subvittatus*, ya que en promedio acarreo solamente 0.6 granos de polen por individuo (4). Evers (3) observó que el número de individuos de *M. costaricensis* en las inflorescencias femeninas, era menor al 1% del polen encontrado en las flores del otro sexo y que, solamente, entre un 28% y un 41% de los insectos transportaron el mismo.

Individuos de *E. kamerunicus* -machos y hembras- examinados en Coto y Quepos, acarrearon un número considerablemente mayor de granos de polen al determinado por Syed (7, 8) en Camerún. Se encontró que los machos de esta especie llevaban un promedio de 1078 granos de polen y las hembras, un promedio de 498 granos (Cuadro 1).

En el caso de *M. costaricensis*, los valores encontrados fueron también mayores que los observados por Genty *et al.* (4). Las hembras de esta especie transportaron un promedio de 11.4 granos y los machos, 13.2 granos. Un 32% de los insectos de ambos sexos acarrearon entre nueve y 11 granos de polen. El máximo número de granos encontrados por insecto fue de 25 y un alto porcentaje llevó sólo cuatro granos.

Una muestra de individuos de *E. subvittatus* fue obtenida en Honduras, sin efectuar la separación entre sexos. El promedio de granos de polen en varios grupos examinados de este insecto, varió entre 46 y 64 granos por individuo.

Debido a que el mayor número de posturas de *E. subvittatus* ocurre al final del período de antesis de las inflorescencias masculinas, muchos insectos recién emergidos pueden visitar flores femeninas sin llevar polen viable. Su máxima viabilidad se observa en individuos que suelen abandonar las flores masculinas durante el período de máxima antesis (4).

En el caso de *M. costaricensis* la pupación ocurre fuera de la inflorescencia masculina, lo cual implica que el adulto al emerger no acarrea polen y su visita directamente a una flor femenina es inútil desde el punto de vista de la polinización (4).

Tan importante como el número de granos de polen acarreados por los insectos, es la viabilidad del mismo; la cual al ser transportada por *E. kamerunicus* y *M. costaricensis*, fue comparativamente más baja durante el período en que se realizaron las observaciones en Coto y Quepos.

Se efectuó un estudio sobre la viabilidad del polen durante el mes de julio en la época lluviosa (Fig. 1). Es probable que el porcentaje de germinación del polen acarreado por los insectos, mejore durante períodos menos lluviosos que cuando permanece menos tiempo húmedo y que conserve por más tiempo su capacidad de germinación (2).

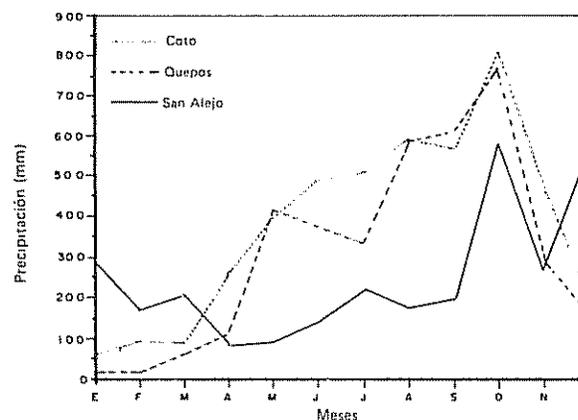


Fig. 1 Precipitación mensual en Coto y Quepos (Costa Rica) y San Alejo (Honduras): Promedio de los años 1985 a 1988

Cuadro 1. Palma aceitera: Número de granos de polen acarreados por adultos de *M. costaricensis* y *E. kamerunicus* recolectados sobre inflorescencias femeninas en antesis, en dos zonas de Costa Rica.

Zona	Grupo de insectos*	Promedio de granos de polen adheridos al cuerpo**				Granos fácilmente desprendibles***				Cantidad estimada de polen transportada por insecto****			
		Hembras		Machos		Hembras		Machos		Hembras		Machos	
		a)	b)	a)	b)	a)	b)	a)	b)	a)	b)	a)	b)
Coto (Mayo)	1	3.9	349.3	3.6	152.2	11.9	381.4	10.8	166.2	15.8	730.7	14.4	318.4
	2	3.1	121.1	3.5	214.7	17.8	50.9	198.8	875.3	20.9	172.0	23.3	299.0
	3	6.2	334.6	5.3	548.5	14.2	230.0	12.3	377.0	20.4	564.6	17.6	925.5
	4	5.0	248.8	5.0	232.0	20.7	124.1	20.7	115.8	25.7	372.9	25.5	347.8
	5	1.8	57.8	2.3	84.5	17.5	742.3	23.3	1086.2	19.7	800.1	25.6	1170.7
	6	4.4	133.2	3.8	185.7	9.6	384.8	8.3	536.0	14.0	518.0	12.1	721.7
	7	2.0	107.4	2.0	345.5	14.4	136.3	14.4	438.4	16.4	243.7	16.4	783.9
	8	2.0	156.8	1.7	1025.0	8.1	170.4	6.7	1114.2	10.1	327.2	8.4	2139.2
	9	1.9	128.2	2.5	—	6.1	317.6	9.5	—	8.0	445.8	12.0	—
	10	2.4	136.0	2.4	298.0	8.9	149.5	8.8	327.4	11.3	285.5	11.2	625.4
Media		3.3	177.3	3.2	554.0	12.9	268.7	13.4	559.6	16.2	446.0	16.6	1113.6
Quepos (Julio)		3.3	72.5	6.7	110.0	3.2	355.9	5.7	539.5	5.6	428.4	12.3	649.5
		2.9	91.1	3.7	92.0	3.2	650.6	4.3	656.7	6.1	741.7	8.0	748.7
		3.7	73.1	4.1	310.5	4.6	329.5	5.1	1400.5	8.3	402.6	9.2	1711.0
		—	102.0	—	154.0	—	501.4	—	757.5	—	603.4	—	911.5
		—	58.6	—	122.0	—	1511.9	—	1067.0	—	570.4	—	118.9
Media		3.3	79.5	—	157.7	3.4	469.9	5.0	884.2	6.7	549.3	9.8	1041.9

a) *M. costaricensis*, b) *E. kamerunicus*.

\* Cada grupo es de 10 insectos por especie, colocados en aproximadamente 0.5 ml de agua; machos y hembras juntos. En el caso de Quepos se utilizaron 50 individuos *M. costaricensis* en cada grupo.

\*\* La mayoría de los granos fueron encontrados debajo de los élitros.

\*\*\* El total del polen desprendido del cuerpo y recuperado en el agua fue asignado a cada insecto en forma proporcional a la cantidad que permaneció adherida al cuerpo.

\*\*\*\* Suma de los granos de polen adheridos al cuerpo más los recuperados en el agua.

Los adultos de *E. kamerunicus* recolectados al sobrevolar las inflorescencias femeninas en antesis, transportaron polen que sólo germinó entre un 4.4% y un 5.3% en varias muestras examinadas. Este valor puede compararse con el de la muestra-testigo de polen de inflorescencia masculinas, puesto a secar, en el cual se obtuvo una germinación del 55 por ciento.

Cuando se capturaron insectos sobre una inflorescencia femenina en la misma palma en que había una masculina en antesis, se encontró que el polen en los insectos germinó en un 12.32 por ciento.

El porcentaje de germinación del polen transportado por *M. costaricensis* fue mayor (12.5%) que el hallado sobre *E. kamerunicus*. Así Evers (3) encontró en polen obtenido en *M. costaricensis* un porcentaje de germinación del 70 por ciento.

### Estimación del número de insectos polinizadores por área y por inflorescencia masculina.

El número de adultos de *E. kamerunicus* presentes por hectárea en el período seco (marzo), fue inferior al observado durante el mes de junio. A pesar de ello, los valores de insectos por hectárea en Coto en marzo y en junio, son altamente satisfactorios e indican que el número de individuos presentes tiene el potencial de garantizar un alto valor de frutos normales (FN) (FN = Frutos normales = porcentaje de flores en una inflorescencia femenina, que son polinizadas y desarrollan frutos normales), (Cuadro 2).

Según Syed y Saleh (13) una población de 20 000 adultos de *E. kamerunicus* por hectárea estaría en capacidad de garantizar un valor de FN de al menos un 60 por ciento.

Cuadro 2. Palma aceitera: Número de insectos por inflorescencia masculina en diferentes estados de antesis y número estimado de insectos polinizadores por área en tres épocas del año (Coto).

Edad palma (años)	Estado* de antesis	Número de inflorescencia por hectárea en cada estado**						Insectos/ha inflorescencia						Insectos/ha inflorescencia					
		Marzo		Junio		Octubre		Marzo		Junio		Octubre		Marzo		Junio		Octubre	
		a)	b)	a)	b)	a)	b)	a)	b)	a)	b)	a)	b)	a)	b)	a)	b)	a)	b)
4	1	0.9	2.2	2.3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	2	0.9	2.2	3.6	518	658	464	590	336	1 690	753	3 789	0.7	541	2.40	1 967			
	3	3.1	2.2	0.9	1 630	1 776	5 115	5 574	6 831	19 113	15 316	42 854	8.3	1 517	7.50	1 379			
	4	1.3	3.6	2.7	1 968	4 402	2 647	5 922	10 971	20 677	39 358	74 177	8.0	1 980	21.80	5 400			
	5	1.3	1.8	0.5	3 808	3 540	5 122	4 762	5 612	28 244	10 066	50 662	3.3	1 186	1.50	539			
	6	2.7	3.1	2.3	10 855	5 188	29 206	13 958	11 546	7 061	36 243	22 165	13.0	712	29.50	1 618			
	7	0.4	0.4	0.9	7 225	2 678	3 240	1 200	8 832	5 198	3 960	2 231	2.0	616	1.80	560			
Total					26 004	18 242	45 794	32 006	44 128	81 983	105 696	195 978	35.3	6 552	65	11 463			
11	1	0.6	1.7	1.2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	2	4.3	1.4	0.5	1 642	3 720	1 766	1 368	348	4 154	475	5 671	51	4 030	24.0	1 919			
	3	1.2	3.1	0.7	10 266	7 976	26 384	6 770	4 703	16 671	14 446	51 208	47	3 178	33.6	2 270			
	4	1.9	1.4	1.2	48 656	52 748	72 141	29 097	2 342	43 005	3 197	58 710	120	3 900	143.0	4 643			
	5	0.6	2.0	0.7	18 684	38 008	14 448	11 329	66 496	27 413	13 302	56 136	80	6 188	57.0	4 420			
	6	3.7	1.7	1.0	25 049	36 206	83 503	44 861	2 708	6 679	4 621	11 398	71	4 185	68.0	3 986			
	7	3.7	1.7	-	16 801	19 185	135 109	50 924	1 373	439	2 341	749	-	-	-	-			
Total					121 098	157 868	333 350	144 349	17 969	98 361	38 382	183 872	369	21 481	32.60	17 238			

\* Ver definición en texto.  
 \*\* Promedio de tres inflorescencias en cada estado de antesis.

a) *M. costaricensis*, b) *E. kamerunicus*.

Esa situación fue bastante diferente en el mes de octubre; en palma joven se estimó que existían menos de 100 individuos de *M. costaricensis* por hectárea y, únicamente, 11 460, de la especie *E. kamerunicus*. Los meses de setiembre, octubre y noviembre son las épocas que determinan las más bajas poblaciones de polinizadores en Coto, según se ha observado. Sin embargo, la época lluviosa de 1988 fue extremadamente alta -más de 1000 mm de lluvia en octubre-, lo cual afectó severamente a las poblaciones de insectos en este periodo.

No existen datos que permitan estimar una población mínima de *M. costaricensis* y así garantizar un nivel de polinización adecuado, lo que obviamente variaría con el tipo de raza o subespecie del polinizador (4, 6).

### Comparación de la población de insectos polinizadores en cuatro tipos de germoplasma

Tal y como ha sido observado anteriormente (9), se comprobó que la especie *E. oleifera* atrae un menor número de insectos polinizadores (Cuadro 3). Muy pocos individuos de *E. kamerunicus* llegaron hasta las flores femeninas de estas plantas.

El híbrido O x G es más atractivo para *E. kamerunicus* que *E. oleifera*, pero aún así el número de insectos de esta especie y de *M. costaricensis* es comparativamente bajo en el híbrido. Tanto el material comercial Deli x AVROS, como en el compacto -O x G retrocruzado con *E. guineensis*- presentaron el mayor número de insectos de ambas especies por inflorescencia masculina.

Cuadro 3. Palma aceitera: Comparación de la población de insectos polinizadores en cuatro tipos de germoplasma de palma aceitera (abril de 1988).

Tipo de palma*	Núm. espigas inflorescencia	Insectos/espiga		Total insectos por inflorescencia	
		<i>M. costaricensis</i>	<i>E. kamerunicus</i>	<i>M. costaricensis</i>	<i>E. kamerunicus</i>
Compacta	255	267.1	28.0	68 108	7 129
	239	111.6	144.2	26 684	34 472
	243	108.2	103.9	26 303	25 252
	272	158.7	68.9	43 178	18 744
	316	148.0	108.8	46 782	34 385
	143	49.0	99.9	7 013	14 288
Media	245	140.0	92.3	36 344	22 378
Total				218 069	134 272
Hídrico (O x G)	238	83.2	26.6	19 810	6 321
	280	45.8	42.8	12 814	11 997
	174	17.2	DP**	3 002	78
	203	13.8	15.6	2 804	3 172
	241	70.6	7.3	17 018	1 763
	211	2.3	5.7	488	1 206
Media	224	38.8	19.6	9 322	4 089
Total				55 937	24 538
<i>E. oleifera</i>	181	100.9	0.2	18 260	46
	152	80.0	0.0	12 285	2
	133	160	0.5	21 784	61
	154	61.8	0.3	9 369	50
	192	39	0.4	7 497	72
	194	39.9	0.3	7 740	50
Media	168	80.4	0.3	12 739	46
Total				76 437	281
<i>E. guineensis</i>	204	238.5	258.6	48 655	52 748
	199	93.9	191.1	18 684	38 033
	235	106.6	154.1	25 049	36 206
	168	100	114.2	16 801	19 184
Media	201.5	134.8	179.5	27 297	36 542
Total				109 190	146 171

\* Palmas de 10 años de edad excepto *E. guineensis* Inflorescencias entre el quinto y sexto días de antesis

\*\* Dato perdido.

### Patrón de visitas de los insectos a las inflorescencias femeninas en antesis

La población de *M. costaricensis* por espiga masculina fue mayor en Coto que en Parrita, y correspondientemente se encontró que el número de individuos de esta especie en las inflorescencias femeninas en antesis, fue mayor en Coto. Aproximadamente tres individuos de *M. costaricensis* visitaron las inflorescencias femeninas en antesis por uno de la especie *E. kamerunicus*. En Parrita esta relación fue menor -de dos a uno-.

Los adultos de esta especie visitaron las inflorescencias femeninas sólo durante las horas de mayor luminosidad (Figs. 2, 3 y 4). Este comportamiento ha creado una limitación para *E. kamerunicus* en Coto, donde existe una alta nubosidad durante la mayor parte del año -cuatro horas diarias en el período lluvioso-. Durante las observaciones realizadas en julio, al inicio de las lluvias, no se detectó alguna actividad del insecto en el día cuando el cielo estaba nublado o si estaba lloviendo. La mayor actividad ocurrió entre las 10 y 13 horas, cuando se realizaron el 83% y el 71% del total de las visitas en el primer y segundo días de antesis, respectivamente. Es probable que este período de máxima actividad del insecto se alargue bastante, en condiciones de mayor duración del brillo solar en los períodos secos del año.

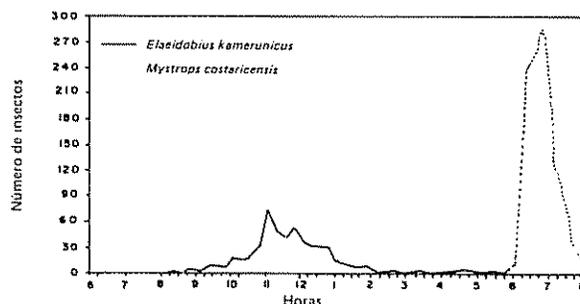


Fig 2. Visitas diarias de *E. kamerunicus* y *M. costaricensis* a inflorescencias femeninas receptivas de palma aceitera (primer día de antesis; Quepos)

Los patrones básicos en la actividad de este insecto fueron determinados en Africa por Syed (7, 8, 10) y corresponden esencialmente a los observados en Centroamérica.

La otra especie estudiada, *M. costaricensis*, tiene hábitos crepusculares según fue observado en este y otros trabajos de investigación (3, 4, 6). En Coto, el mayor número de visitas ocurrió después de las 18 horas y se mantuvieron altas hasta las 19:45 horas, con un pico a las 18:45 horas. En Quepos se denotó un comportamiento similar, pero la mayor actividad se inició una hora antes que en Coto, pero también cesó una hora antes (19 h); (Figs. 2 y 3).

El corto período de actividad de *M. costaricensis* es un obstáculo para lograr la buena polinización de

Cuadro 4. Palma aceitera: Número de visitas de *E. kamerunicus* y *M. costaricensis* a inflorescencias femeninas de *E. guineensis* en dos zonas de Costa Rica.

Núm. de inflorescencias	Coto				Quepos			
	Primer día de antesis		Segundo día de antesis		Primer día de antesis		Segundo día de antesis	
	<i>M. costaricensis</i>	<i>E. kamerunicus</i>						
1	1 613*	82	1 522	34	1 658	818	243	191
2	1 248	30	583	430	1 636	191	121	81
3	329	139	3 845	1 925	1 094	969	239	271
4	2 614	176	1 257	1 355	367	57	437	438
5	1 759	21	—	—	565	1 107	140	124
6	762	—	—	—	—	144	166	338
Total	8 325	448	7 207	3 744	1 333	3 268	1 346	1 443
Promedio	1 387	89 6	1 802	936	1 109	548	224	241

\* Total de insectos recolectados cada 15 minutos sobre una cinta adhesiva de 90 centímetros cuadrados

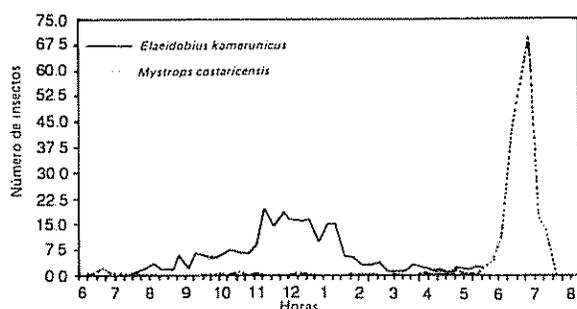


Fig. 3. Visitas diarias de *E. kamerunicus* y *M. costaricensis* a inflorescencias femeninas receptivas de palma aceitera (segundo día de antesis: Quepos)

una inflorescencia, la que es receptiva únicamente entre 40 y 52 horas y durante la cual no todas las flores están receptivas al mismo tiempo. Sin embargo, aparentemente existen razas o subespecies de este insecto en algunas regiones de América que tienen períodos de actividad más largos y que son capaces de garantizar un alto valor de FN. La población de tales razas también se mantiene más alta durante los períodos más lluviosos del año (4, 6).

El comportamiento diurno de *E. kamerunicus* en Parrita fue similar al observado en Coto, iniciándose la mayor actividad a las 9:15 horas y disminuyendo notoriamente después de las 12:30 horas (Fig. 4).

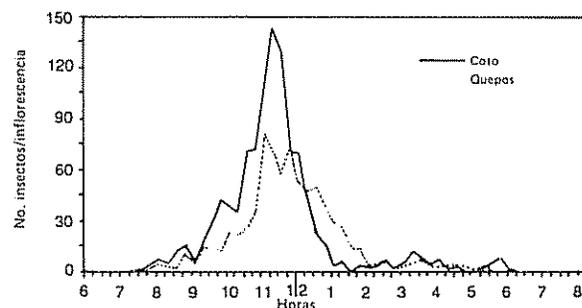


Fig. 4. Visitas diarias de *E. kamerunicus* durante el período de antesis de inflorescencias femeninas de *Elaeis guineensis* en Coto y Quepos (Costa Rica).

Durante los dos días del período de antesis -mediados de mayo- en Coto, se estimó que 3189 individuos de la especie de *M. costaricensis* y 1026 adultos de *E. kamerunicus* llegaron hasta las cintas adhesivas (90 cm<sup>2</sup>).

La proporción observada por sexo en esta última especie fue aproximadamente de un 78% de hembras

y un 22% de machos. Estos valores son similares a los observados por Syed en Camerún (7). En el caso de *M. costaricensis* se encontró que eran hembras un 60% de los individuos que visitaban las inflorescencias.

La mayor atracción que ejercen las inflorescencias femeninas sobre las hembras de *E. kamerunicus* es desafortunada desde el punto de vista de la polinización, pues ellas acarrearán una menor cantidad de polen.

Si se estima el área total expuesta de la inflorescencia femenina, esta podría ser visitada por aproximadamente 40 000 individuos de *M. costaricensis* y 12 000 de *E. kamerunicus* durante los dos días de antesis, observados en Coto. Si se asume que el 78% de los individuos de esta última especie está conformado por hembras, esos insectos llevarían alrededor de 7.4 millones de granos de polen que, con un porcentaje de germinación incluso tan bajo como un 4.8%, aportarían 355 000 granos disponibles para polinizar entre 1000 y 1500 flores en cada inflorescencia. Cálculos similares permiten estimar que cada flor individual en la inflorescencia, tiene teóricamente la posibilidad de ser polinizada por alrededor de 300 granos del polen total acarreado por los individuos de *E. kamerunicus*, más unos 60 a 75 granos del total llevado por *M. costaricensis*, durante su visita a la inflorescencia femenina en el período de antesis.

El número de insectos de cada especie disponible por inflorescencia femenina puede en realidad variar ampliamente de una época a otra (Cuadro 1). Durante el mes de marzo, se calculó que existían 4758 individuos de *E. kamerunicus* disponibles por inflorescencia femenina en palma aceitera de cuatro años de edad, cifra que en junio subió a 27 314 individuos. El período de marzo a junio marca generalmente el pico de máxima población de los polinizadores en Coto. Durante las épocas más lluviosas del año, las poblaciones de insectos se reducen bastante y, con ello, el número de visitas a las inflorescencias femeninas y la cantidad de polen viable acarreado por cada insecto. En octubre de 1988, solamente 740 individuos de *E. kamerunicus* estaban disponibles por inflorescencia femenina en palma aceitera de cuatro años de edad.

Syed y Saleh (13) estimaron que 3000 adultos disponibles de *E. kamerunicus* por inflorescencia

femenina receptiva, bajo condiciones ambientales favorables a la polinización y con una buena distribución de inflorescencias masculinas por área, permitieron obtener un porcentaje de frutos polinizados en un ámbito económicamente satisfactorio (70%). El nivel mínimo aceptable para lograr un 50% en el valor de FN es de 1500 insectos disponibles por inflorescencia femenina.

Con base en estas observaciones parece que la limitación para poder lograr valores más altos de FN durante la mayor parte del año en Coto, no es la disponibilidad de polen ni de insectos, sino la presencia de ciertos factores ambientales -alta precipitación y nubosidad- que inciden negativamente sobre la actividad de los polinizadores y sobre su capacidad de acarrear polen viable. Durante los meses de setiembre y octubre, sin embargo, la limitación mayor sin duda ha sido la población de insectos que decrece en forma dramática, particularmente en octubre.

El período de actividad diurna de *E. kamerunicus* se ve reducido a unas pocas horas en condiciones de alta nubosidad, tales como las denotadas en Coto durante el mes de mayo en que se realizaron estas observaciones. Algunas muestras de polen adherido a estos insectos tenían un porcentaje de germinación cercano a cero, lo mismo que algunas obtenidas de *M. costaricensis*.

Períodos sin lluvia más prolongados y un mayor número de horas de luz por año en la región del Pacífico Central en Costa Rica, podrían conducir consistentemente a un mayor valor de FN.

Un detalle importante es que posteriormente al cese de las visitas de *M. costaricensis* en la noche, este insecto continuó movilizándose en las inflorescencias femeninas durante varias horas, mientras que la mayoría de los individuos de *E. kamerunicus* no permaneció en la inflorescencia durante la noche, y los pocos que sí lo hacían, estuvieron escondidos entre las brácteas de las flores.

#### CONCLUSIONES

La mayor eficiencia de *E. kamerunicus* como polinizador se atribuye a su mayor capacidad de transporte de polen y a un período de actividad polinizadora más elevada que en *E. subvittatus* y *M. costaricensis*. Asimismo, la población de *E.*

*kamerunicus* es más estable a través del año y se mantiene razonablemente alta incluso en los meses en que la población de los otros dos polinizadores se redujo en el pasado, a niveles insuficientes como para garantizar un nivel adecuado de polinización.

En las condiciones climáticas de la zona Sur de Costa Rica, la actividad de los polinizadores es reducida en ciertos meses del año, debido a una alta nubosidad y precipitación. Una elevada humedad en el ambiente también parece afectar de manera adversa la viabilidad del polen transportado por los insectos.

Un nivel bajo de polinización en los racimos de *E. oleifera* y su híbrido, con *E. guineensis*, se debe en parte a un menor atractivo de las inflorescencias de estas plantas en los insectos polinizadores.

#### LITERATURA CITADA

1. CHIU, S.B.; KHOO, K.C.; HUSSEIN, M.Y. 1986. A method for the estimation of the natural population of the pollinating weevil, *Elaeiodobius kamerunicus* Faust of oil palm. In Biological Control in the Tropics. Ed. by M.Y. Hussein and A. Ibrahim. Malasia, Penerbit University Pertanian p. 453-470.
2. EKARATNE, S.N.; SENAIHIRAJAH, S. 1983. Variability and storage of pollen of oil palm, *Elaeis guineensis* Jacq. Annals of Botany (G.B.) 51:661-668.
3. EVERS, C. 1977. Informe Anual San José, C.R., Division Tropical Research, United Fruit Co. s.p.
4. GENTY, P.; GARZON, A.; LUCHINI, F.; DELVARE, G. 1986. Polinización entomófila de la palma africana en América Tropical. Oleagineux (Francia) 41:99-112.
5. LUCHINI, F.; MORIN, J.P. 1984. Distribuição e importância de *Elaeiodobius subvittatus* polinizador de dende (*Elaeis guineensis* Jacq.) no Brasil. Pesquisa em Andamento (Bra.) 24:1-5.
6. MARIAN, D.; GENTY, P. 1987. IRHO contributions to the study of oil palm insect pollinators in Africa, South America and Indonesia. In International Oil Palm/Palm Oil Conferences (1987). Kuala Lumpur, Malasia). Proceedings Kuala Lumpur, Malasia. 12 p.
7. SYED, R. 1978. Studies on pollination of oil palm in West Africa and Malaysia. Report of the Comm. Inter. Biological Control CAB, Slough, G.B. 38 p.
8. SYED, R. 1979. Studies on oil palm pollination by insects. Bulletin of Entomological Research 69:213-224.

9. SYED, R. A. 1984a. The latest development of *Elaeidobius* role in pollination: feasibility of introducing the weevil on the Malaysian Oil Palm Industry. Kuala Lumpur, Malasia, PORIM, p 58-81.
10. SYED, R. 1984b. Los insectos polinizadores de la palma africana. Palmas (Col.) 5:19-64
11. SYED, R. 1985. Report on visit to Costa Rica and Honduras for Compañía Bananera de Costa Rica and Tela Railroad Company of Honduras. Harrisons Fleming Advisory Services Ltd 9 p.
12. SYED, R. 1986. Report on supply of *Elaeidobius kamerunicus* from low and high rainfall localities of Camerun to Costa Rica for United Fruit Co., Oil Palm Operations. Harrisons Fleming Advisory Services Ltd 10 p.
13. SYED, R.; SALEH, A. 1987. Population of *Elaeidobius kamerunicus* Faust in relation to fruit set. In International Oil Palm/Palm Oil Conferences (1987, Kuala Lumpur, Malasia) Proceedings. Kuala Lumpur, Malasia. 15 p.

# Picudo de la Palma y Enfermedad del Anillo Rojo/Hoja Pequeña en una Plantación Comercial en Honduras<sup>1</sup>

C. Chinchilla\*, R. Menjivar\*\*, E. Arias\*\*

## ABSTRACT

The annual fluctuation in the adult population of the weevil *Rhynchophorus palmarum* was studied in a commercial planting of oil palm of different ages on the North Atlantic coast of Honduras. The number adults captured in traps made of oil palm stems was highest during the dry season and lowered at the onset of the rainy season. Both total insect counts and insects infected with the red ring nematode, *Rhadinaphelenchus cocophilus*, were higher in plantings of intermediate age (13 yr) where disease incidence was higher compared with young palms (5 yr) and old palms (18 yr). Palms with few leaf symptoms did not seem to be very attractive to adults of *R. palmarum*, and were frequently free from insects (larvae or adults). Small-sized adults of *R. palmarum* were found in about the same proportion in areas where disease incidence varied greatly. No clear relationship was found between insect size and contamination with red ring nematode, *R. cocophilus*. Considering an incubation period of four months for the disease, a relationship was apparent between an increase in disease incidence and a raise in the proportion of adult insects that carried the nematode *R. cocophilus*.

## INTRODUCCION

La enfermedad de la palma aceitera conocida como complejo anillo rojo/hoja pequeña es, posiblemente, la más importante en esta planta, en Centroamérica (3). Es causada por el nematodo *Rhadinaphelenchus cocophilus*, el cual es transportado por un agente vector que, en la mayoría de los casos, parece ser el picudo de la palma (*Rhynchophorus palmarum*) (8, 9).

<sup>1</sup> Recibido el 21 de enero de 1991.

Los autores desean expresar su agradecimiento a la Compañía Tela Railroad, Grupo de Palma Aceitera (Honduras), por su colaboración y el permiso para publicar los resultados de este trabajo. Muy especialmente a la Sra. E. Rojas por su trabajo de mecanografía.

\* Compañía Palma Tica. Programa de Investigación en Palma. Apartado 30, San José, 1000, Costa Rica.

\*\* Tela Railroad Company, División San Alejo, Apartado 30, San Pedro Sula, Honduras.

## COMPENDIO

La fluctuación anual de la población adulta de *Rhynchophorus palmarum* fue estudiada en una plantación comercial de palma aceitera de diferentes edades, en la costa Nor-Atlántica de Honduras. La población capturada de adultos con trampas hechas de tallos de palmas aceiteras, fue mayor durante la época seca y se redujo al iniciarse la época de lluvias. Tanto el número de insectos capturados con trampas como el número de aquellos infestados por el nematodo del anillo rojo/hoja pequeña, *Rhadinaphelenchus cocophilus*, fue también mayor en el área con plantas de 13 años, en donde la incidencia de la enfermedad fue también mayor comparada con la de plantaciones jóvenes (5 años) y viejas (18 años). Palmas con la sintomatología de hojas pequeñas no parecían ser especialmente atractivas para los adultos de *R. palmarum* y, en la mayoría de los casos, éstas no presentaban ningún indicio del ataque por parte del insecto (larvas o adultos). El número de adultos de *R. palmarum* de pequeño tamaño (<30 mm) fue similar en áreas en donde la presencia de la enfermedad variaba ampliamente. No se observó una relación clara entre el tamaño del insecto adulto y la contaminación con el nematodo del anillo rojo, *R. cocophilus*. Considerando un período de incubación de la enfermedad de aproximadamente cuatro meses, se estableció una relación entre un aumento en su incidencia con el incremento de la proporción de adultos del insecto, contaminados con el nematodo.

El nematodo *R. cocophilus* ha sido asociado con dos tipos distintos de síntomas por lo menos en palma aceitera. Uno, que podría denominarse una manifestación aguda y que incluye el amarillamiento y muerte de las hojas bajas, la aparición de hojas jóvenes anormalmente cortas y el desarrollo interno de un anillo característico de color marrón-amarillento en el tronco. Palmas así afectadas pueden morir en menos de tres meses.

Una segunda manifestación se conoce como hoja pequeña y se caracteriza porque el color del follaje se mantiene verde, pero la planta empieza a producir hojas muy cortas que forman una masa compacta característica en el cogollo de la planta. En algunos casos las hojas nuevas son simples muñones, o bien

presentan diversos corrugamientos y deformaciones en los folíolos. Asimismo al partir el peciolo y la base de los raquis de las hojas más nuevas, se nota una serie de manchas amarillo-anaranjadas. Internamente el tronco de estas palmas enfermas puede estar aparentemente sano o presentar, en secciones limitadas del mismo, manchas necróticas oscuras dispersas o formando un anillo.

La sintomatología de la hoja pequeña puede tornarse crónica; así una planta atacada puede mostrar síntomas durante tres años o más. En algunos casos las hojas bajas se vuelven amarillentas y presentan necrosis, síntomas que pueden generalizarse y producir la muerte de la planta.

Los síntomas descritos representan extremos encontrados pero cualquier combinación de ellos puede ser observado en una planta en particular. Una más amplia descripción de las manifestaciones causadas por *R. cocophilus* en palma aceitera, se da en el trabajo de Chinchilla (4). La producción de hojas pequeñas en palma aceitera a consecuencia del ataque del nematodo ha sido observada en Suriname (10), Venezuela (12) y Brasil (14).

En cocotero los síntomas son comúnmente similares a la manifestación aguda, pero también se presenta ocasionalmente la producción de hojas pequeñas (11).

Debido a la estrecha relación enfermedad-vector, el estudio de los hábitos y de las variaciones estacionales de la población del vector puede ser de extrema utilidad para establecer esquemas para el manejo de la enfermedad. Si se conocen los picos poblacionales del vector y el porcentaje de insectos infestados con el nematodo, se pueden predecir las épocas de mayor incidencia de la enfermedad, que se pueden prevenir mediante el combate oportuno del vector.

El presente estudio realizado en Honduras trató de determinar las variaciones estacionales de la población de *R. palmarum* -total e infestada por *R. cocophilus*- y su relación con el complejo del anillo rojo/hoja pequeña en una plantación de palma aceitera con alta incidencia de la enfermedad.

También se buscó establecer las relaciones entre sexo y el tamaño del vector y la contaminación con el nematodo.

## MATERIALES Y METODOS

El estudio se llevó a cabo en una plantación comercial de palma aceitera en el Departamento de Atlántida (Honduras), localizada a 15° 43' latitud norte, de la Compañía Tela Railroad.

Las capturas de *R. palmarum* se efectuaron cada dos semanas durante un año, a partir de agosto de 1987. Las trampas se prepararon con pedazos de tallo obtenidos de plantas de palma aceitera improductivas, o muy altas para ser cosechadas. El tronco se partió transversalmente en piezas de 40-50 cm de largo y luego longitudinalmente en cuatro pedazos. Nueve u once de estos pedazos formaban una trampa: cinco o seis de ellos colocados en el suelo con la parte del corte hacia arriba y las restantes piezas directamente encima, de manera que las áreas cortadas estuvieran en estrecho contacto. La trampa fue totalmente cubierta con hojas de la misma palma.

El muestreo se realizó en tres áreas sembradas que tenían palmas de cinco, 13 y 18 años de edad al inicio del estudio en agosto de 1987. La separación entre áreas fue de aproximadamente 2.5 kilómetros. Cada lote o área fue dividido en cuatro secciones y se colocaron dos trampas en cada sección, de aproximadamente 11 hectáreas.

La recolección de los insectos adultos se hizo en forma manual en cada una de las 24 trampas durante los cinco días posteriores a la colocación de las mismas. Los individuos fueron separados por sexo y se midió la longitud del cuerpo desde el último segmento abdominal hasta la parte anterior de la cabeza, excluyendo el *rostrum*.

La presencia de *R. cocophilus* fue determinada al cortar el insecto longitudinalmente para colocarlo sobre una pequeña cantidad de agua destilada en un plato Petri pequeño. Cada grupo de edad se observó durante el día del muestreo en una cantidad máxima de 32 insectos.

## RESULTADOS Y DISCUSION

### Algunas características morfológicas de la población de *R. palmarum*

Existe una estrecha relación entre la longitud del insecto adulto y la del *rostrum*. El coeficiente de correlación entre estas dos características fue de

$r = 0.5$  y fue altamente significativo. Así en una muestra suficientemente grande, el tamaño del insecto adulto podría determinarse indistintamente al medir sólo el cuerpo o el cuerpo más el *rostrum*. Sin embargo, ocasionalmente se encuentran insectos en el campo que tienen el *rostrum* atrofiado, por lo cual sólo puede ser medido el cuerpo. En este trabajo la longitud del adulto se midió desde la parte anterior de los ojos hasta el último segmento abdominal.

La longitud promedio de los machos fue significativamente mayor que la de las hembras (31.2 mm vs. 30.8 mm). Correspondientemente con el tamaño del cuerpo, la longitud del *rostrum* también fue significativamente un poco más larga en los machos.

Se encontró un predominio importante de los machos sobre las hembras en las trampas según la prueba de Chi-cuadrado (Cuadro 1). En Trinidad, Griffith (6) encontró que el tamaño frecuentemente encontrado (moda) en adultos de *R. palmarum*, asociados a cocoteros, era de 35 mm y la longitud promedio, de 33.48 mm  $\pm$  0.27 mm. El ámbito y desviación estándar en los datos fueron de 23-42 mm y 3.42 mm, respectivamente.

La longitud media del cuerpo de los insectos adultos observados en el presente estudio (31.04 mm) fue inferior a la obtenida por Griffith (6). El valor de la desviación estándar también fue menor (Cuadro 1) y la moda, de 32 mm (Fig. 1). Estos datos indicarían diferencias entre poblaciones del insecto asociadas al cocotero y la palma aceitera, o más probablemente al tamaño de la muestra utilizada en los dos trabajos.

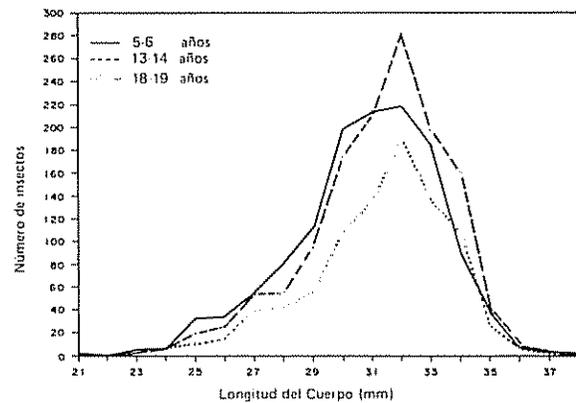


Fig. 1. Distribución de la población de *R. palmarum* según tamaño del cuerpo en palmas aceiteras de tres edades en Honduras

Durante este estudio se midió un total de 3521 insectos. Una característica en ambas poblaciones es el mayor sesgamiento de las medidas de longitud de la media hacia abajo (Fig. 1).

#### Fluctuación anual de la población de *R. palmarum*

El tipo de trampa utilizada en este trabajo resultó altamente efectivo para atraer a los adultos de *R. palmarum*. Durante la época de mayor población en el período de estudio, fueron recolectados hasta 22 adultos en una sola trampa. En los cinco días de captura se capturaron 200 o más insectos en ocho trampas. Estos datos son comparables con los obtenidos en otros trabajos con tipos diferentes de trampas de elaboración más complicada (13, 14).

Cuadro 1. Palma aceitera: Algunas características generales de la población estudiada de *R. palmarum*

	Edad de la palma					
	5-6 años		13-14 años		18-19 años	
	Hembras	Machos	Hembras	Machos	Hembras	Machos
Número de insectos	536	744	585	744	406	478
Longitud del cuerpo (mm)*	30.4	30.7	30.7	31.18	30.82	31.05
Desviación estándar	2.8	2.1	2.8	1.87	2.66	2.19
Longitud mínima cuerpo (mm)	21.0	21.0	21.0	24.00	20.00	21.00
Longitud máxima cuerpo (mm)	37.8	38.0	37.0	37.00	37.00	37.00
x Longitud proboscis (mm)	11.5	11.6	11.0	11.31	11.18	11.30
Desviación estándar	1.5	1.3	1.6	1.29	1.60	1.33
Longitud mínima proboscis (mm)	6.9	8.0	5.9	7.00	5.00	8.00
Longitud máxima proboscis (mm)	14.0	16.0	14.0	16.00	16.00	16.00

\* Longitud del cuerpo fue tomada del extremo del abdomen (*pygidium*) a la parte anterior de la cabeza (excluyendo el *rostrum*).

La máxima población de adultos de *R. palmarum* fue observada durante los meses más secos del año (Fig. 2). Con el establecimiento de las lluvias en octubre de 1987, se observó una caída considerable en el número de insectos recolectados con trampas, la que alcanzó su punto más bajo en diciembre, el mes más lluvioso. Durante el mes de abril de 1988, la precipitación se redujo apreciablemente, lo cual estuvo acompañado de un aumento en la captura de insectos en las trampas.

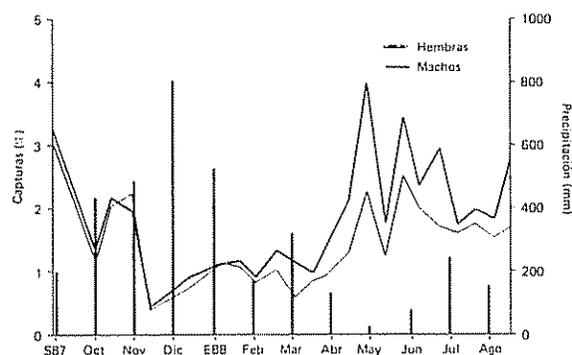


Fig. 2. Relación entre la fluctuación anual de la captura de adultos de *Rhyncho-phorus palmarum* y la precipitación (Honduras)

Resultados similares fueron observados por Schuiling y Van Dinther (14) en Brasil, en donde el nivel de población de adultos de *R. palmarum* cayó durante los períodos más lluviosos y fue máximo en verano. Por otro lado, en una plantación de cocotero en Trinidad, la situación fue ligeramente diferente: la población decayó durante la última parte de la estación seca, y temprano en la estación lluviosa según Hatley (9). De acuerdo con este último autor, hubo un aparente efecto positivo de períodos muy lluviosos sobre la población del vector.

La fluctuación en el porcentaje de insectos adultos contaminados por el nematodo, mostró una relación diferente a lo observado entre lluvia y población total. El máximo porcentaje de contaminación denotado ocurrió durante la época lluviosa, particularmente en los últimos meses, en contraste con la época seca (Fig. 3). Una relación negativa entre la abundancia de insectos contaminados por el nematodo y precipitación fue observada por Schuiling y Van Dinther (14), en palma aceitera en Brasil. Estos autores obtuvieron un 9.7% de contaminación durante la época más seca y 3.9% durante la lluviosa.

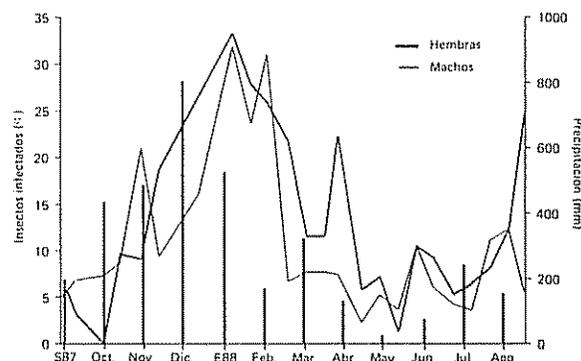


Fig. 3. Relación entre el porcentaje de adultos de *Rhyncho-phorus palmarum* infectados con *Rhadinaphelenchus cocophilus* y la precipitación (Honduras)

Los niveles de contaminación por el nematodo, encontrados en los adultos de *R. palmarum* son altos pero están dentro de los ámbitos determinados por otros autores en estudios realizados tanto en cocotero como en palma aceitera (1, 2, 5, 9, 11, 14, 15).

Hatley (9) encontró en Trinidad un 38.5% de insectos adultos contaminados, que acarreaban hasta un máximo de 71 nematodos por insecto. Fenwick (5), también en Trinidad, determinó un 76% de insectos contaminados, pero solamente un 13% de los individuos acarreaban 50 o más nematodos. Otro dato citado por este autor es de un 16.3% de contaminación, en donde solamente un 6.1% de los insectos acarreaban dos o más nematodos.

La mayoría de los insectos sacrificados en este estudio transportaban entre cinco y 15 nematodos, no habiéndose hecho la separación entre contaminación interna y externa.

Datos históricos acerca de la incidencia de la enfermedad del anillo rojo en la plantación muestran un aumento durante los meses de abril a junio. Este incremento en el número de palmas enfermas se correlaciona bastante bien con un mayor porcentaje de insectos adultos infestados con el nematodo durante el período, entre noviembre y febrero (Figs. 3 y 4). El período de incubación de la enfermedad se puede entonces estimar en aproximadamente cuatro meses. Este sería el tiempo necesario para poder observar desde el suelo los primeros síntomas de "arrepollamiento" de las hojas más jóvenes de la planta.

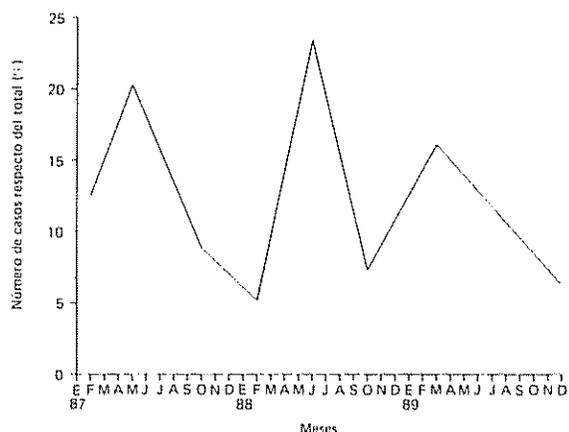


Fig. 4 Incidencia de la enfermedad del anillo rojo en palma aceitera en Honduras; material sembrado en 1974.

#### Relación entre el tamaño de *R. palmarum* y la incidencia de la enfermedad

La pregunta sobre si existe una relación entre la proporción de adultos de *R. palmarum* de pequeño tamaño y la incidencia de la enfermedad hoja pequeña-anillo rojo es importante, pues de su respuesta depende, en gran medida, el énfasis que deba ponerse a las prácticas de reducción de la población del vector. Una abundancia de insectos adultos en el ámbito de tamaño de los vectores, a saber menores de 30 mm de acuerdo con Griffith (6, 7, 8), implicaría que deberían tomarse medidas para reducir esta población y así disminuir el riesgo del incremento de la incidencia de la enfermedad. Por otro lado, la abundancia de tales insectos vectores podría utilizarse como criterio del grado de éxito que se tenga al aplicar alguna medida de control del vector y de la enfermedad. Una reducción en la proporción de los insectos vectores implicaría que las medidas tomadas fueron correctas y deberían haber causado una reducción en la incidencia de la enfermedad y en el número de insectos portadores del nematodo.

En la población estudiada de *R. palmarum*, la longitud promedio de los insectos adultos atrapados fue similar en las tres edades de palma (Cuadro 1 y Fig. 1). La situación que se esperaba suponía un tamaño promedio menor en el área de plantas de 13 a 14 años de edad, en donde la incidencia de la enfermedad fue mayor (hasta 13% de incidencia en algunas áreas).

El porcentaje de insectos con longitudes iguales o inferiores a 30 mm fue de 41.3%, 32.6% y 32.1% en las palmas de cinco, 13 y 18 años de edad. Estos son similares y tampoco apoyan la opinión de que en áreas más afectadas por la enfermedad -a saber en palma de 13 años- podría existir una mayor proporción de insectos de pequeño tamaño. No obstante, la cercanía entre los sitios de muestreo (unos 2.5 km) podría haber favorecido la mezcla de poblaciones. Si la enfermedad del anillo rojo ha estado presente en la región por muchos años, es posible que la población de *R. palmarum* sea ahora bastante homogénea en cuanto se refiere al nivel de contaminación con *R. cocophilus*.

La falta de una relación clara entre el tamaño del vector y la contaminación con el nematodo, fue también observada por Singh (15) en cocotero y por Schuiling y Van Dinther (14) en palma aceitera. Estos últimos autores obtuvieron una media de 33.3 mm para los insectos portadores del nematodo y de 33.2 mm para aquellos que no lo llevaban.

Del total de insectos examinados, el 38% de los infestados con el nematodo *R. cocophilus* medían 30 mm o menos. En palmas de cinco a seis años de edad, el 41% de los insectos contaminados con el nematodo medían 30 mm o menos, y en palmas de 13 y 18 años los porcentajes observados fueron de 37.6% y 35.9 por ciento. Estos indicadores son similares a los de la proporción de insectos sanos e infestados de la población total, que miden 30 mm o menos. Estos resultados indican también que la probabilidad de que un insecto capturado en el campo sea portador del nematodo no puede asociarse a su tamaño.

En el área más afectada por la enfermedad (13 años) se encontraron 1.76 veces más insectos portadores del nematodo que en palmas de cinco a seis años de edad, en donde no se encontraron palmas enfermas durante el período de estudio. Un mayor número de insectos portadores del nematodo en el área de 13 años pone en evidencia una vez más la importancia de *R. palmarum* como vector de *R. cocophilus*. La población total (infestada o no) de *R. palmarum* también fue más alta durante la mayor parte del año en las áreas de 13 años cuando se la compara con la asociada a palmas de cinco y 18 años (Fig. 5). El alza considerable de la población en palmas de cinco a seis años a partir de junio de 1988, puede asociarse parcialmente a la migración de adultos desde áreas adyacentes de palma vieja que

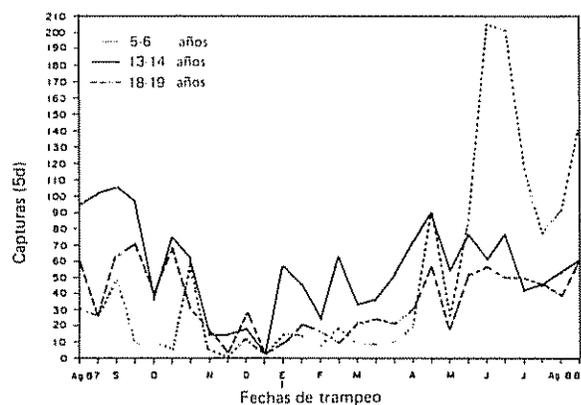


Fig 5 Fluctuación anual de la población de *Rhynchophorus palmarum* en palmas aceiteras de tres edades (Honduras)

fueron eliminadas para ser resembradas. En los troncos caídos de la vieja siembra se notó el desarrollo de gran cantidad de larvas de *R. palmarum*, cuyos adultos pasaron probablemente en su gran mayoría a las áreas adyacentes. Para ese entonces, la palma en donde estaban las trampas tenía casi seis años de edad y reunía un hábitat más apropiado para los adultos de esa especie.

Contrariamente a lo observado, en el área con plantas entre cinco y seis años de edad existieron otros factores que causaron una reducción notoria en la población del insecto en las palmas de 13 años. En estas áreas se inició un programa que consistió en la eliminación de todas las palmas con síntomas avanzados de hoja pequeña. Aquellas con síntomas iniciales e intermedios fueron inyectadas con un nematocida-insecticida como oxamyl o fenamifos para intentar recuperarlas. El efecto de estas medidas fue una reducción en el número de insectos que visitaban las trampas. Todas estas circunstancias causaron que las tendencias en el número de capturas entre áreas con plantas de diferente edad hayan cambiado al final del periodo de estudio en 1988.

#### CONCLUSIONES

El tipo de trampa utilizado en este trabajo es relativamente fácil de preparar y es muy efectivo como atrayente para *R. palmarum*. Durante el periodo con mayor población en la plantación se encontraron hasta 22 adultos en una trampa determinada.

El número de insectos que visitaban las trampas fue mínimo durante el periodo más lluvioso del año. Las máximas poblaciones fueron observadas en los meses más secos. Contrariamente, el porcentaje de insectos que acarrea el nematodo *R. cocophilus* fue menor durante la última etapa del periodo de menor precipitación.

No se observó ningún efecto evidente de atracción de las palmas enfermas con la sintomatología de hoja pequeña sobre *R. palmarum*. Más aún, en la gran mayoría de los casos no presentaban evidencia alguna de actividad por parte del insecto. Su falta de pudrición podría explicar parcialmente la falta de atracción para los adultos del insecto. Esta situación impide que adultos recién emergidos de palmas enfermas puedan ser analizados por la presencia del nematodo. En cocotero lo más frecuentemente encontrado es que un 97% o más de las plantas enfermas con anillo rojo, presentan también formas inmaduras y/o adultas de *R. palmarum*. De acuerdo con ello, el proceso de infestación en palma aceitera no parece ocurrir necesariamente durante la oviposición, a menos que frecuentemente los huevos depositados sean infértiles, o bien que las larvas mueran tempranamente durante su desarrollo.

No se observó una relación clara entre tamaño del adulto de *R. palmarum* y contaminación con *R. cocophilus*. La proporción de insectos adultos de pequeño tamaño (30 mm) fue de un 32 por ciento. La proporción de adultos acarreados por el nematodo y que tenía longitud del cuerpo en ese ámbito, fue de un 38 por ciento. La proporción de insectos de pequeño tamaño fue similar en tres áreas en donde la incidencia de la enfermedad variaba ampliamente. Estos resultados parecen indicar que la probabilidad de que un insecto en particular sea portador del nematodo, es independiente de su tamaño.

Durante la mayor parte del estudio (nueve de 12 meses), la población de insectos adultos fue notoriamente inferior en palmas jóvenes de cinco años de edad y máxima en un área de 13 años, en donde la incidencia de la enfermedad de la hoja pequeña era mayor. El número de insectos examinados que eran portadores del nematodo también fue mayor en el área en donde la enfermedad era más prevalente.

Considerando en cuatro meses el periodo de incubación, se establece una relación entre un aumento en el porcentaje de insectos adultos contaminados con el nematodo y un aumento en la incidencia de la enfermedad.

## LITERATURA CITADA

1. BLAIR, G. 1970a. Studies on red ring disease of the coconut palm. *Oleagineux (Francia)* 25(1):19-22.
2. BLAIR, G. 1970b. Studies on red ring disease of the coconut palm. *Oleagineux (Francia)* 25(2):79-83.
3. CHINCHILLA, C.; RICHARDSON, D.L. 1987. Four potentially destructive diseases of the oil palm in Central America. In *International Oil Palm/Palm Oil Conferences (1987, Kuala Lumpur, Malasia)*. Proceedings. Kuala Lumpur Malasia. p. 468-470.
4. CHINCHILLA, C. 1988. El síndrome del anillo rojo/hoja pequeña en palma aceitera y cocotero. *Chiquita Brands, Oil Palm Operations (C.R.) Boletín Técnico* no 4. v. 2, p. 43-136.
5. FENWICK, D.W. 1962. The entomological aspects of ring disease. *General Meeting Agricultural Society (Tri.) Minutes Monthly* p. 1-20.
6. GRIFFITH, R. 1974. The use of the smaller palm weevil *Rhynchophorus palmarum* in the forecasting of red ring disease outbreaks. *Journal Agricultural Society (Tri.)* 3:149-159.
7. GRIFFITH, R. 1978. Epidemiology of red ring disease of the coconut palm (*Cocos nucifera*) in Trinidad and Tobago. *Journal Agricultural Society (Tri.)* 78:200-217.
8. GRIFFITH, R. 1987. Red ring disease of coconut palm. *Plant Disease (EE.UU.)* 71:193-196.
9. HATLEY, E.A. 1963. The role of the palm weevil *Rhynchophorus palmarum* L. as a vector of red ring disease of coconuts. I. Results of preliminary investigations. *Journal of Econ Entomology (EE.UU.)* 56(3):375-380.
10. HOOF VAN, H.A.; SEINHORST, J.W. 1962. *Rhadinaphelenchus* sp. associated with little leaf of coconut and oil palm. *T. PL. Ziekten*. 68:251-256.
11. KASTELEIN, P. 1987. Observations on red ring disease of coconut palms in Surinam. *De Surinam Landb.* 33:40-53.
12. MALAGUTI, G. 1953. Pudrición del cogollo de la palma de aceite (*E. guineensis* Jacq.) en Venezuela. *Agronomía Tropical (Ven.)* 3(1):3-31.
13. MORIN, J.P.; LUCHINI, F.; ARAUJO, J.C.A.; FERREIRA, J.M.S.; FREIJES, L.S. 1986. *Rhynchophorus palmarum* control using traps made from oil palm cubes. *Oleagineux (Francia)* 41(2):57-62.
14. SCHUILING, M.; VAN DINTHER, J.B.M. 1981. Red ring disease in the Paricatuba Oil Palm Estate, Pará, Brazil. *Zeitschrift Fur Angewandte Entomologie (Alemania)* 91(2):154-169.
15. SINGH, N.D. 1972. A survey of red ring disease of coconut palms in Grenada, West Indies. *Plant Disease Reporter (EE.UU.)* 56(4):339-341.

# Picudo de la Palma y Enfermedad del Anillo Rojo/Hoja Pequeña en una Plantación Comercial en Costa Rica<sup>1</sup>

J. L. Morales\*, C. Chinchilla\*\*

## ABSTRACT

The annual fluctuation of the adult population of *Rhynchophorus palmarum* was studied in five, 12 and 18-year-old oil palms in southern Costa Rica. The number of trapped insects was minimum during the rainy season and reached a peak late in the dry season. During the rainy season, the number of *R. palmarum* adults infected with *Rhadinaphelenchus cocophilus* (red ring nematode) was high as was the number of nematodes per insect; and the red ring disease was found to be more prevalent in middle-aged palms where a greater number of adult insects were captured. In the 5-year-old plantation no infected palms were found and the number of insects captured was lower. There was no clear relationship between insect size and nematode presence in the vector, nor with number of nematodes per insect. Considering an incubation period of 4 1/2 months, it appeared that an increase of plants showing symptoms of infection was related to the population increase of the insects that carried the nematode, during the rainy season. Small-sized adults (males) of *R. palmarum* did not generally have a tuft on the *rostrum*, so this characteristic can not always be used for sexing. The nematodes *Rhabditis* sp. and *Praecocilenchus* sp. were also found in both *R. palmarum* and *Metamasius hemipterus* (Curculionidae), but the latter was free from *R. cocophilus*.

## COMPENDIO

Se estudió la variación estacional en el número de capturas de adultos del picudo de la palma, *Rhynchophorus palmarum*, en siembras de palma aceitera de cinco, 12 y 18 años de edad en Costa Rica. El número de capturas disminuyó al iniciarse las lluvias en abril-mayo. Sin embargo, la recuperación de la población comenzó a partir de mediados de la estación lluviosa y alcanzó un punto máximo en la época seca. Durante la época lluviosa se observó un mayor porcentaje de adultos de *R. palmarum* que acarreaban el nematodo *Rhadinaphelenchus cocophilus*, y el más elevado número de nematodos por insecto. En palmas de mediana edad, donde existían más plantas con la enfermedad del anillo rojo/hoja pequeña, se capturó una mayor cantidad de adultos. En la plantación de cinco años no se encontraron palmas enfermas y la población de insectos capturados fue menor. No se observó ninguna relación entre la longitud del insecto adulto y su infestación con el nematodo, ni con el número de nematodos por insecto. Considerando un período de incubación de la enfermedad de 4.5 meses, es aparente que un aumento en el número de plantas con síntomas coincide con el incremento de la población del vector en el período de lluvias. Además de *R. cocophilus*, fueron encontrados en el interior de los adultos de *R. palmarum* los nematodos *Rhabditis* sp. y *Praecocilenchus* sp. Machos adultos de *R. palmarum* de pequeño tamaño no presentaron, en su mayoría, ninguna pubescencia sobre el *rostrum*, por lo cual este criterio no puede utilizarse siempre para separar los sexos. *Metamasius hemipterus* (Curculionidae) fue encontrado libre de *R. cocophilus*, pero estaba infestado, al igual que *R. palmarum*, por los nematodos *Rhabditis* sp. y *Praecocilenchus* sp.

## INTRODUCCION

El síndrome del "anillo rojo-hoja pequeña" es causado por *R. cocophilus*, un nematodo que es transmitido principalmente por el picudo de la palma, *R. palmarum* L. La enfermedad causa serias

pérdidas en cocotero, *Cocos nucifera* L., y en palma aceitera, *E. guineensis* Jacq., (4, 5, 11, 14, 15).

*R. cocophilus* es considerado como una de las mayores amenazas para la palma aceitera en Centroamérica (15). En Honduras hay áreas específicas hasta con un 30% de plantas enfermas. En la región de Quepos y Parrita en Costa Rica, la enfermedad se ha incrementado notoriamente en los últimos años, lo cual indica que si no se realizan los esfuerzos necesarios en investigación y combate,

<sup>1</sup> Recibido el 21 de enero de 1991

Los autores expresan su agradecimiento a la Compañía Palma Tica, Costa Rica, por su colaboración y el permiso para publicar estos resultados. Igualmente a la Sra. E. Rojas por su excelente trabajo de mecanografía.

\* Instituto Tecnológico de Costa Rica, San Carlos, Costa Rica.

\*\* Compañía Palma Tica, Programa de Investigación en Palma Apartado 30, San José 1000, Costa Rica

podría convertirse en el principal factor limitante de la producción de palma aceitera en la región.

*R. palmarum* ha sido considerado como el principal transmisor del nematodo y su capacidad como vector ha sido correlacionada con su tamaño (7, 8).

La población de insectos vectores también es afectada por las variaciones climáticas, y el porcentaje de adultos infestados con el nematodo varía ampliamente de un lugar a otro (7, 10). Debido a esto es necesario conocer el comportamiento del vector y su relación con la enfermedad bajo las condiciones específicas de cada localidad.

El principal objetivo de esta investigación fue determinar la variación estacional de la población de *R. palmarum* y su relación con la incidencia de la enfermedad del anillo rojo en siembras de palma aceitera de tres edades. También se estudió la vinculación entre sexo y longitud del vector, y el nivel de infestación por el nematodo.

Otros objetivos fueron la determinación del período de incubación de la enfermedad bajo las condiciones de la zona de estudio, la búsqueda de nematodos en otros curculiónidos atraídos por heridas en la palma y la determinación de la infestación de *R. palmarum* con otros nematodos, además de *R. cocophilus*.

#### MATERIALES Y METODOS

El trabajo de investigación se realizó entre enero de 1988 y enero de 1989, en Coto -cantón de Corredores, provincia de Puntarenas- en tres plantaciones comerciales de palma aceitera, propiedad de la Compañía Palma Tica.

Se trabajó en tres plantaciones de tres edades; cinco, 12 y 18 años al inicio de las observaciones, cada una de 70 hectáreas. Para la captura y estimación de la población de *R. palmarum* se utilizaron trampas obtenidas de palmas improductivas. El tronco fue partido en secciones de aproximadamente 50 centímetros de longitud y luego, transversalmente, en cuatro partes. Con siete de los pedazos se formó una trampa que luego fue cubierta con hojas de la misma palma. En cada plantación (70 ha) fueron colocadas ocho trampas, separadas aproximadamente por 150 metros entre sí. La instalación de las trampas se realizó en la segunda semana de cada mes y fueron revisadas diariamente durante los cinco días siguientes a su instalación, para capturar los adultos de *R. palmarum*. Durante las

capturas fueron recolectados también especímenes del curculiónido *M. hemipterus*.

Los adultos capturados fueron separados por sexo después de revisar directamente la genitalia. La longitud del cuerpo fue medida desde el último segmento abdominal (*pygidium*) hasta la parte anterior de los ojos, excluyendo el *rostrum*. La presencia y el número de nematodos en los insectos adultos fueron determinados en una muestra extraída del total de insectos capturados en cada grupo de edad. Para esto fueron seleccionados cada día los seis individuos más pequeños y los seis de mayor tamaño, tomando igual número de machos y hembras. En total diariamente fue analizado un máximo de 36 individuos, 12 por edad de cada plantación.

Los insectos fueron partidos longitudinalmente hasta obtener las porciones ventral y dorsal de cada individuo. Ambas mitades fueron colocadas en un embudo a fin de extraer los nematodos por medio de la técnica del embudo de Baerman (1). La lectura fue hecha aproximadamente 14 horas después, recogiendo 10 milímetros de cada embudo. No se tomaron precauciones para separar los nematodos provenientes de contaminación externa y los alojados en el interior del cuerpo del insecto.

La incidencia de la enfermedad fue evaluada en cuatro oportunidades en cada una de las siembras: diciembre 87, mayo 88, setiembre 88 y febrero 89.

La prueba de inoculación se realizó en seis palmas (Deli x AVROS) de aproximadamente cinco años de edad: dos palmas fueron perforadas a un metro de altura con una broca de un centímetro de grueso y 10 centímetros de longitud; dos palmas recibieron heridas en la base de las flechas (hojas más jóvenes) y dos plantas no fueron heridas. Las plantas fueron inoculadas con 10 milímetros de una suspensión de 100 nematodos/milímetro, obtenida del tejido del cogollo de una palma aceitera que mostraba síntomas de hoja pequeña

#### RESULTADOS Y DISCUSION

##### Características morfológicas de la población adulta de *R. palmarum*

Del total de insectos recolectados en el período de estudio, la clase modal fue constituida por adultos de 36 milímetros de longitud. La media de la población fue de 34.1 milímetros (amplitud 20-41 mm), (Cuadro 1).

Cuadro 1. Longitud del cuerpo de la población adulta de *R. palmarum* en palma aceitera de tres edades, Coto, Costa Rica (1989).

Edad	Núm. de insectos en las trampas*		Longitud del cuerpo (mm)		Variancia		Moda (mm)	
	Total	Infestados**	Total	Infestados	Total	Infestado	Total	Infestado
5 años	452	7	34.2	34.8	10.2	8.6	36	35.3
12 años	1 982	5	33.2	31.2	10.3	5.7	36	29.0
18 años	1 712	9	34.3	34.4	9.3	4.5	36	36.3
Promedio	—	—	34.0	33.5	9.9	8.6		

\* Ocho trampas colocadas mensualmente en cada grupo de edades

\*\* Adultos infestados por *R. cocophilus*

El porcentaje de machos fue ligeramente superior al de las hembras durante el año, pero esta diferencia no resultó significativa ( $X^2$ ,  $P = 0.05$ ). Entre los insectos que medían 30 milímetros o menos, un 58% estaba compuesto por machos, mientras que las hembras predominaban en el extremo de mayor tamaño (Fig. 1). Machos adultos de pequeño tamaño (usualmente menores de 29 milímetros) no presentaron, en su mayoría, ninguna pubescencia sobre el *rostrum*. Estas variantes fueron confirmadas en *R. palmarum* por Whitehead del Departamento de Agricultura de Estados Unidos de América (USDA).

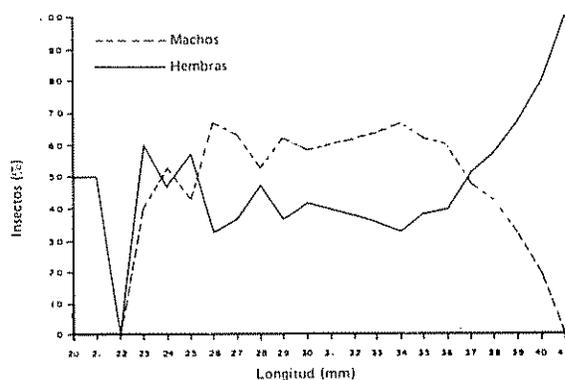


Fig. 1 Distribución de adultos de *Rhynchophorus palmarum* según sexo y tamaño en Coto, Costa Rica.

La distribución de los insectos adultos por tamaño parece siempre estar sesgada hacia la izquierda, tal como se observó en este estudio (Fig. 2) y en otro similar realizado en Honduras (11).

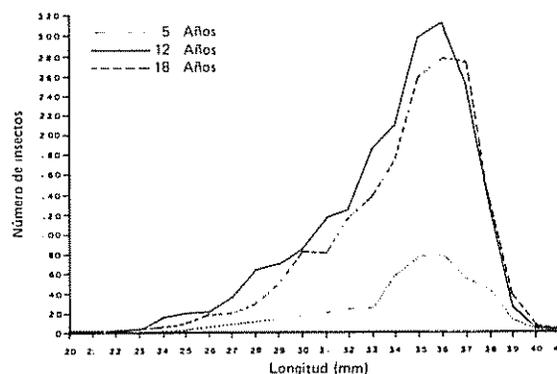


Fig. 2 Distribución según tamaño de la población adulta de *Rhynchophorus palmarum* en palmas de tres edades en Coto, Costa Rica

La media y la variancia de los insectos infestados con *R. cocophilus* fueron ligeramente inferiores a los valores en la población total (Cuadro 1). De 1 146 insectos analizados para determinar la presencia del nematodo (27.6% del total de los insectos capturados), cerca del 2% llevaba uno o más nematodos.

La mayoría de los insectos (76%) que acarreaban el nematodo medían más de 33 milímetros y únicamente el 23.8% tenía una longitud inferior o igual a 30 milímetros.

La amplitud de variación en la longitud de adultos de *R. palmarum*, encontrado en otros estudios sobre palma aceitera y cocotero (7, 16), es muy similar al determinado en esta investigación. El mayor grado de variación se refirió principalmente al nivel de

sesgamiento de la población hacia los individuos de menor tamaño. Griffith (7), en una población asociada a cocotero en Trinidad, encontró un 16% de adultos menores de 30 milímetros, dato muy similar al observado en este estudio (14.6%). Sin embargo, en una plantación de palma aceitera en Honduras, en donde la enfermedad del anillo rojo/hoja pequeña es de alta incidencia, Menjívar *et al.* (11) encontraron que un 35% de los insectos eran de tamaño pequeño (menores de 30 mm).

Observaciones previas de Griffith (8), en Trinidad, lo condujeron a formular la hipótesis de que los únicos vectores activos de la enfermedad del anillo rojo/hoja pequeña en cocotero eran las hembras de pequeño tamaño (30 mm o menos).

La falta de relación entre el porte del adulto del vector y la infestación por *R. cocophilus* es clara, según se ha determinado en éste y otros trabajos (6, 11, 16). Factores genéticos y otros, tales como la disponibilidad de alimento, podrían tener un mayor efecto sobre el tamaño de la larva y del adulto del insecto, que el grado de contaminación con *R. cocophilus*. Sin embargo, es interesante denotar que Griffith (8) encontró una mayor proporción de insectos de pequeño tamaño en plantaciones de cocotero en Trinidad, donde la enfermedad del anillo rojo/hoja pequeña tenía mayor incidencia. Asimismo, al comparar los datos de incidencia de la enfermedad en palma aceitera, en Honduras (11), y en Coto, Costa Rica, se confirma que la población de adultos pequeños es mayor en áreas donde esta enfermedad es más prevalente (Fig. 3).

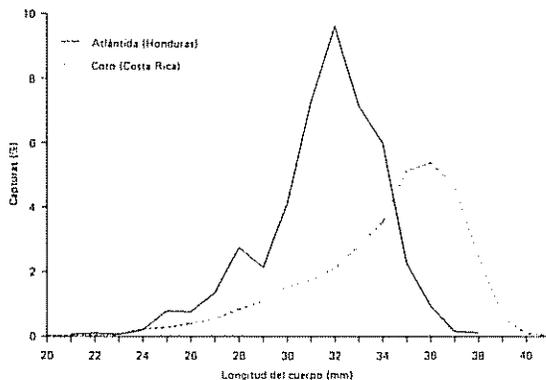


Fig 3. Distribución por tamaño de dos poblaciones adultas de *Rhynchophorus palmarum*, en dos plantaciones de palma aceitera con diferente incidencia del Anillo rojo/hoja pequeña (Atlántida - Alta incidencia).

El grado de infestación por el nematodo, determinado en insectos adultos recolectados en trampas, puede subestimar el valor real inicial. Muchos de los nematodos adquiridos previamente pueden haber sido depositados en el ambiente (6). Sin embargo, el valor encontrado es un buen indicador del potencial de la enfermedad en una población susceptible de palmas. Esta última conclusión se fundamenta en la comparación del porcentaje de insectos contaminados en dos áreas de diferente incidencia de la enfermedad del anillo rojo/hoja pequeña: en Honduras (costa Norte), por ejemplo, la incidencia de la enfermedad es mayor que en Costa Rica (Coto), y así lo es también el porcentaje de insectos que acarrearán el nematodo.

El papel predominante de las hembras como vectores activos de *R. cocophilus* durante el proceso de la oviposición fue bien documentado por Griffith (7). Sin embargo, no está aún muy claro cómo se da la infestación en palma aceitera, en donde comúnmente no se encuentran larvas de *R. palmarum*, con los síntomas del anillo rojo/hoja pequeña. En estos casos, la oviposición en el tejido del cogollo podría causar la infestación, pero aparentemente las larvas del insecto fracasan en su intento por establecerse en este tejido. También es posible que otros mecanismos de infestación, además de la oviposición, adquieran más importancia en palma aceitera. Otras formas posibles de infestación pueden darse por nematodos acarreados externamente por el vector o bien durante la alimentación (2, 3, 9, 10). Se ha observado que los adultos del insecto consumen hasta un gramo de tejido diariamente (Mexzón, Compañía Palma Tica, comunicación personal). Durante estas actividades el insecto causa considerable daño en el tejido por donde fácilmente puede producirse la infestación.

#### Variación estacional en la captura de adultos de *R. palmarum* en siembras de diferente edad

El mayor número de capturas de adultos fue obtenido durante la época de menor precipitación, en los meses de diciembre a marzo (Fig. 4). En 1988 la época de las lluvias en el Sur de Costa Rica se estableció en el mes de abril, lo que coincidió con una reducción en el número de capturas en las trampas.

Hagley (10) encontró en Trinidad que la población de adultos de *R. palmarum* en cocotero, se reducía al

final de la época seca y se mantenía baja durante el inicio de la estación lluviosa.

La correlación entre capturas y precipitación fue negativa ( $r = -0.597$ ,  $P = 0.1$ ), mientras que la relación entre capturas y horas de luz fue positiva ( $r = 0.593$ ,  $P = 0.05$ ). Esta respuesta es de esperar en las condiciones climáticas de Coto, con una nubosidad intensa en los meses más lluviosos. Aparentemente, la cantidad de lluvia en el período inmediatamente anterior a la captura es la que guarda mayor relación con el tamaño de ésta.

El patrón de visitas de los insectos a las trampas durante los cinco días de capturas, se mantuvo constante todo el año. El mayor número de adultos fue atraído durante los primeros cuatro días después de colocadas las trampas.

La edad de la plantación no tuvo, como era de esperarse, efecto alguno sobre la fluctuación de las capturas, pero sí en el número de capturas por trampa (Fig. 4). La menor cantidad de capturas se obtuvo en las plantaciones jóvenes de cinco años de edad. Esto se debió posiblemente a una mayor luminosidad dentro de la plantación; esta etapa de desarrollo aún permite la penetración de una buena cantidad de luz. También dentro de plantaciones jóvenes existen normalmente menos sitios para la cría del insecto, comunes en siembras viejas en donde algunas plantas mueren por enfermedad y otras causas. La ausencia de la enfermedad en plantaciones jóvenes se debió principalmente a su edad; palmas menores de cuatro años y medio parecen ser resistentes a la enfermedad.

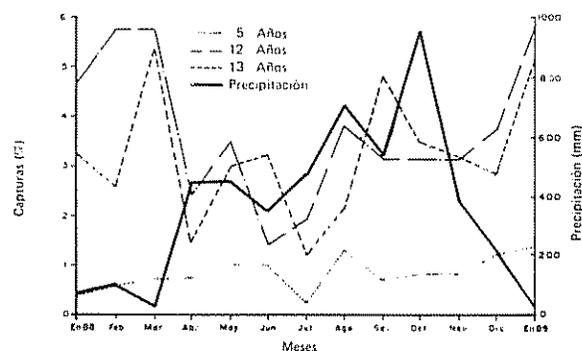


Fig 4 Variación estacional en la captura de adultos de *Rhynchophorus palmarum* en palma aceitera de tres edades con Coto, Costa Rica (porcentaje respecto al total de capturas en las tres edades)

Una mayor población del vector, detectada en plantaciones de edad intermedia (12 años), confirma la preferencia del insecto por condiciones de sombra y, probablemente, temperaturas más frescas. Además, incluso dentro de estas siembras, la distribución de la población no es homogénea sino agregada.

Una mayor cantidad de insectos en plantaciones de mediana edad, en donde la enfermedad del anillo rojo/hoja pequeña es más prevaleciente, confirma también el importante papel de *R. palmarum* como vector de la enfermedad. En palmas de 12 años fue también donde se capturó la mayor proporción de hembras contaminadas con el nematodo (Cuadro 2).

Cuadro 2. Contaminación de *R. palmarum* con *R. cocophilus* en siembras de palma aceitera de tres edades, Coto, Costa Rica (1989).

Edad de la planta (Años)	Total insectos infestados*		Adultos menores** a o iguales a 30 mm (%)	
	Machos	Hembras	(%)	(%)
5	5	2	2.28	12.97
12	2	3	1.01	16.05
18	6	3	1.68	14.38

\* Se verificó un máximo de 144 adultos cada mes

\*\* Porcentaje en relación con el total capturado en cada grupo de edades, durante el año

En Honduras, donde el número de insectos contaminados es elevado, el mayor porcentaje se localiza en las áreas con más incidencia de la enfermedad (11). Schuiling y Dinther (16) en Brasil encontraron un mayor porcentaje de insectos infestados en palmas de ocho a 11 años de edad con respecto de palmas de seis a nueve años, observando las mismas relaciones en la incidencia de la enfermedad del anillo rojo/hoja pequeña.

El mayor número de insectos portadores del nematodo fue capturado durante el período de lluvias (Fig. 5). Menjivar *et al.* (11) estudiaron el comportamiento del vector en Honduras y encontraron un aumento de las capturas de insectos infestados al final de la estación lluviosa. Schuiling y Dinther (16), en Brasil, observaron una mayor cantidad de insectos infestados en el período seco, pero la información no fue desglosada por mes.

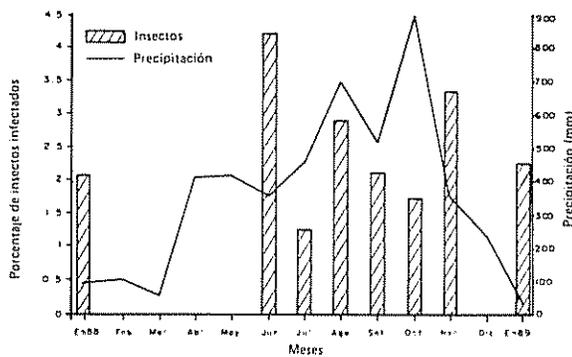


Fig. 5. Relación entre la variación estacional de la población adulta de *Rhynchophorus palmarum* infestada con *Rhadinaphelenchus cocophilus* y la precipitación mensual en Coto, Costa Rica.

### Relación entre población del vector e incidencia de la enfermedad

Con la prueba de inoculación realizada, se estableció un período aproximado de cuatro meses para detectar con claridad los primeros síntomas del anillo rojo/hoja pequeña, si se observan las plantas desde el suelo. Un período similar fue también denotado por Schuiling y Dinther en Brasil (16).

El pico máximo en el número total de capturas del insecto ocurrió entre los meses de enero a marzo, sin que esto se pueda vincular a un aumento en la incidencia de la enfermedad en las evaluaciones realizadas en el mes de setiembre (Cuadro 3). La aparente baja infección de plantas, que ocurre después de la época seca, puede relacionarse con un menor porcentaje de insectos contaminados con el nematodo en los meses más secos del año. Esto podría indicar que las condiciones de baja humedad son perjudiciales para los nematodos acarreados por el

Cuadro 3. Incidencia de la enfermedad del anillo rojo/hoja pequeña en una siembra de palma aceitera de 12 años de edad.

Fecha de evaluación	Casos nuevos	Acumulado
Dic. 87	—	41
Mayo 88	13	54
Set. 88	5	59
Feb. 89	18	77

vector -contaminación externa principalmente-. La falta de humedad en el verano podría también ser un obstáculo para completar con éxito la etapa de inoculación e infestación en la planta, cuando ésta ocurre a través del cogollo.

Un aumento en la incidencia de la enfermedad en palmas de 12 años durante el mes de febrero, se vincula con un aumento en el número de insectos contaminados hacia el final de la época lluviosa. El lapso transcurrido corresponde al período de incubación de la enfermedad. Una relación similar fue observada por Menjívar *et al.* en Honduras (11).

Este comportamiento se explica si se consideran las observaciones de Hagley (10). Según este autor durante las fases iniciales en el desarrollo de un pico de población del insecto, la mayoría de adultos son jóvenes, y muy activos y eficientes como vectores. Durante el pico poblacional, la mayoría de los individuos son viejos y menos activos, y también ha transcurrido bastante tiempo para que sean depositados en el ambiente la mayoría de los nematodos adquiridos durante el estado de larva.

### Período de incubación de la enfermedad

Cuatro meses después de la inoculación fueron observados desde el suelo los primeros síntomas de infestación, caracterizados por un "arrepollamiento" de las hojas jóvenes en una de las plantas inoculadas con heridas en el cogollo. Los síntomas de hoja pequeña fueron totalmente evidentes 15 días más tarde. Esta planta fue derribada dos meses después, comprobándose la presencia de un cuadro sintomatológico idéntico al mostrado por plantas infestadas naturalmente en el campo. El nematodo fue recuperado en grandes cantidades de las hojas jóvenes aún sin abrir (flechas) en esta planta. No se observó ningún tipo de necrosis (anillo) en el tronco.

### Otros nematodos asociados a *R. palmarum*

Insectos adultos, obtenidos en las trampas, acarreaban en el interior de su cuerpo grandes cantidades de otros dos géneros de nematodos, además de *R. cocophilus*. El primero de ellos, *Rhabditis* sp. se considera un nematodo saprofítico que se desarrolla en palmas en descomposición y es adquirido por las larvas de *R. palmarum* que se alimentan de estos tejidos.

El otro género de nematodos encontrado fue *Praecocilenchus* sp., el cual es considerado un verdadero parásito de *R. palmarum* (12, 13). El nivel de contaminación por este nematodo fue alto durante la época lluviosa y no se presentó en la época seca, lo que corresponde a un comportamiento muy similar al de *R. cocophilus* (Fig. 6).

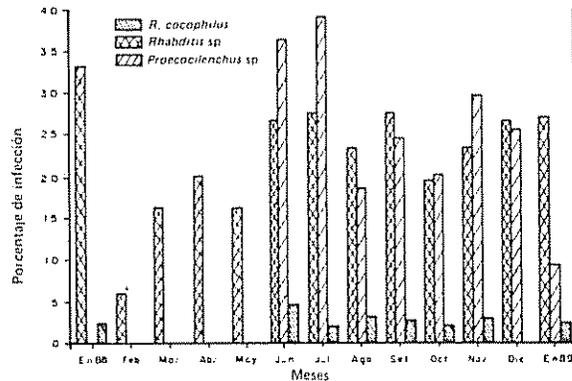


Fig 6 Variación estacional de adultos de *Rhynchophorus palmarum* infestados con *Rhadinaphelenchus cocophilus*, *Rhabditis* y *Praecocilenchus* sp

#### *M. hemipterus* como posible vector de *R. cocophilus*

Este curculiónido visita en gran número cualquier herida reciente en una palma y fue la especie predominante en las trampas. De los ejemplares sacrificados se obtuvo cantidades similares y en ocasiones mayores al número de *Rhabditis* sp. y *Praecocilenchus* sp. encontrados en *R. palmarum*. En ningún individuo fueron encontrados ejemplares de *R. cocophilus*.

*M. hemipterus* es frecuentemente citado como un vector de *R. cocophilus* (5), pero no existe ningún estudio serio que pruebe esta presunción.

#### CONCLUSIONES

Se observó una aparente correlación negativa entre la precipitación y el número de adultos capturados de *R. palmarum*. Sin embargo, la recuperación de la población se inició durante los últimos meses de la época lluviosa, cuando la precipitación normalmente era intensa.

Se encontró un mayor porcentaje de insectos adultos infestados con *R. cocophilus* durante la época

lluviosa. También durante este periodo se encontró el número más alto de nematodos por insecto.

En plantaciones de mediana edad (12 años), donde la incidencia del anillo rojo/hoja pequeña fue mayor, se capturó la mayor población de adultos del insecto.

No se encontró relación entre la longitud del cuerpo de los adultos de *R. palmarum* y la presencia de *R. cocophilus*, o el número de nematodos por insecto.

La menor cantidad de nuevas infestaciones por el nematodo ocurrió en la época seca, cuando son mayores las capturas de *R. palmarum*; mientras que un mayor número de plantas fueron infestadas durante la estación lluviosa, cuando aumentaron los insectos infestados por el nematodo. Considerando el periodo de incubación de la enfermedad, se establece una relación positiva entre el número de insectos infestados con el nematodo y la incidencia de la enfermedad cuatro a cinco meses después.

Además de *R. cocophilus*, los nematodos *Rhabditis* sp. y *Praecocilenchus* sp. fueron encontrados frecuentemente en el interior del cuerpo de *R. palmarum*.

#### LITERATURA CITADA

- 1 BAERMAN, G., 1917. Eine einfache methode zur auffindung von an cylostomun (nematoden) larven erd. proben. Genesck tijdschr Ned Ind. 57:131-137.
- 2 BLAIR, G 1970a. Studies on red ring disease of the coconut palm. Oleagineux (Francia) 25:19-22
- 3 BLAIR, G 1970b. Studies on red ring disease of the coconut palm. Oleagineux (Francia) 25:79-83.
- 4 CHINCHILLA, C. 1988. El síndrome del anillo rojo/hoja pequeña en palma aceitera y cocotero. San José, Oil Palm Group, Compañía Bananera de Costa Rica Boletín Técnico no. 2, v 4 p 113-136
- 5 ESSER, R; MEREDITH, J 1987. Red ring nematode. Florida Department of Agriculture and Consumer Services, Division of Plant Industry. Nematology Circular no 141. s.p

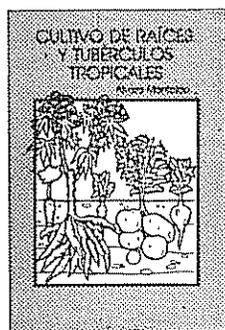
6. GERBER, K.; GIBLIN, R. 1989. Association of red ring nematode and other nematode species with the palm weevil, *Rhynchophorus palmarum*. Journal of Nematology s n t (en prensa).
7. GRIFFITH, R. 1968. The mechanism of transmission of the red ring nematode. Journal of the Agricultural Society of Trinidad and Tobago 67:436-457.
8. GRIFFITH, R. 1974. The use of the smaller palm weevil *Rhynchophorus palmarum*, in the forecasting of red ring disease outbreaks. Journal of the Agricultural Society of Trinidad and Tobago 3:149-159.
9. GRIFFITH, R. 1978. Epidemiology of red ring disease of the coconut palm (*Cocos nucifera*) in Trinidad and Tobago. Journal of the Agricultural Society of Trinidad and Tobago 78:200-217.
10. HAGLEY, E A C. 1963. The role of the palm weevil, *Rhynchophorus palmarum* as a vector of red ring disease of coconuts. I. Results of preliminary investigations. Journal of Economic Entomology 56:375-380.
11. MENJIVAR, N.; CHINCHILLA, C.; ARIAS, E. 1988. Variación estacional de la población de *Rhynchophorus palmarum* y su relación con la enfermedad de la hoja pequeña/anillo rojo en una plantación comercial de *Elaeis guineensis* Jacq. en Honduras. In Mesa Redonda Latinoamericana sobre Palma Aceitera (5, 1988, Sto Domingo, Ecuador) Sto. Domingo, Ecuador. 17 p.
12. NICKLE, W. 1970. A taxonomic review of the genera of the Aphelenchoidea (Fuchs, 1937) Thorne 1949 (Nematoda: Thylenchida). Journal of Nematology 2(4):375-392.
13. NICKELE, W. 1974. Nematode infection. In Insect Diseases Ed by G Cantwell. New York, Marcel Dekker v 2, p. 237-372.
14. RESENDE, M. I.; ARAUTO, J. C.; BEZERRA, J. L.; FRAGA, L. S. 1986. Anel Vermelho: principal problema fitossanitário do dendzeiro Na Bahia. Fitopatología Brasileira 11(2):314.
15. SALAS, J. A. 1980. El anillo rojo del cocotero en varias áreas de Costa Rica. Agronomía Costarricense 4:199-202.
16. SCHUILING, M.; DINTHER, J. B. 1981. Red ring disease in the Paricatuba oil palm estate, Pará, Brazil. Zeitschrift Für Angewandte Entomologie 91:154-169.

## EN NUESTRO PROXIMO NUMERO

### TURRIALBA 41 (1)

#### SISTEMAS DE PRODUCCION ANIMAL EN AMERICA LATINA Y EL CARIBE

Este número especial de la revista **Turrialba** estará dedicado al tema de los **Sistemas de Producción Animal en América Latina y el Caribe**; será financiado por los proyectos que componen la Red de Investigación en Sistemas de Producción Animal de Latinoamérica (RISPAL). Se publicarán artículos originados en los proyectos de la Red, previamente enviados a la Secretaría Ejecutiva de RISPAL para su evaluación, edición técnica y levantado en disquetes. Los trabajos versan sobre las experiencias en distintas fases de la investigación bajo el enfoque de sistemas, desde el diagnóstico hasta el diseño y evaluación de varias alternativas tecnológicas. Los artículos provienen de diversos países: Colombia, Chile, Guatemala, Guyana, México, Panamá y Perú. Tratan de los sistemas de producción de caprinos, bovinos de leche, cuyes y camélidos suramericanos.



### CULTIVO DE RAÍCES Y TUBÉRCULOS TROPICALES

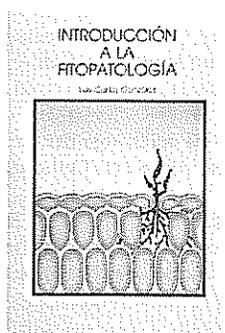
A. Montaldo.

2a. ed. act. y rev. 1990

ISBN 92-9039-165-0 - US\$ 14.00

Presenta un estudio agronómico y estimaciones del valor nutritivo de los cultivos de raíces y tubérculos que se usan en la alimentación de los pueblos tropicales y como materia prima para la industria.

El trabajo se divide en cuatro secciones: Cultivos pantropicales de raíces y tubérculos; cultivos americanos de raíces y tubérculos tropicales de área restringida; especies americanas de raíces y tubérculos tropicales escasamente cultivadas o espontáneas; especies de raíces y tubérculos tropicales de área restringida.



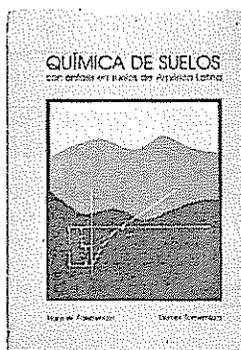
### INTRODUCCIÓN A LA FITOPATOLOGÍA

L.C. González.

5a. reimpr. rev. 1989 148 p.

ISBN 92-9039-016-6 - US\$ 6.00

Su propósito es servir de guía básica en fitopatología para los estudiantes de agronomía de los países americanos. Los 13 capítulos en que se estructura la obra, incluyen nociones generales sobre patógenos (hongos, bacterias, virus, micoplasmas, rickettsias) así como diagnóstico de enfermedades, su combate y el uso de fungicidas, todo ello expuesto con un sentido didáctico y práctico. Esta quinta reimpresión ha sido actualizada en aquellos aspectos donde ha surgido información reciente y de interés para el usuario.



### QUÍMICA DE SUELOS

H.W. Fassbender; E. Bornerniszca.

2a. ed. rev. y aument. 1987. 420 p.

ISBN 92-9039-124-3 - US\$ 12.00

Libro de texto de gran utilidad para los estudiantes de últimos años en las carreras de agronomía o aquellos que inician sus estudios de posgrado en este campo o áreas relacionadas. Como obra de referencia profesional reúne amplia información sobre los aspectos de la química de suelos con énfasis en América Latina. Su contenido se divide en tres grandes secciones: composición; propiedades; y química de los elementos nutritivos.



### SUELOS Y ECOSISTEMAS FORESTALES CON ENFASIS EN AMÉRICA TROPICAL

G. de las Salas.

1987. 450 p.

ISBN 92-9039-123-5 - US\$ 14.00

Obra concebida como un texto de enseñanza y consulta en un campo específico de los recursos naturales renovables. El suelo se destaca aquí como un componente del ecosistema forestal y se analiza su aplicación en el manejo de plantaciones. Describe al suelo forestal como centro de actividad biológica y almacén de nutrimentos, a la vez que evalúa la influencia de la cobertura forestal sobre un ámbito más amplio, cual es el régimen hídrico de las cuencas hidrográficas.

# Persistence and Lack of Absorption and Translocation of Streptomycin Sulfate in Passion Fruit Leaves<sup>1</sup>

R.S. Romeiro\*, J.J. Muchovej\*

## ABSTRACT

Using passion fruit (*Passiflora edulis*) as a test plant, absorption, translocation and persistence of the antibiotic streptomycin sulfate in the plant tissue was investigated using bioelectrophoresis as bioassay. The antibiotic was neither absorbed nor translocated in the leaf tissue. However, under greenhouse conditions, the antibiotic persisted on the leaf surface for more than two weeks, behaving consequently as a non-systemic bactericide.

## INTRODUCTION

Antibiotics have been recommended to control bacterial plant diseases under field conditions (4, 9), as well as for seed treatment (4, 5). Antibiotics such as terramycin (2), vancomycin (8) oxytetracyclin (11) have been used. Nevertheless, the antibiotic most recommended for controlling bacterial plant diseases is streptomycin, mainly in the sulfate form

Antibiotics are reported to be absorbed and translocated in bean leaves (7), in *Chrysanthemum* stems (10) and in soybean seedlings (3)

In Brazil, passion fruit (*Passiflora edulis*) is cultivated by juice-processing industries, and bacterial blight caused by *Xanthomonas campestris* pv *passiflorae* is a serious problem. Commercial preparations of streptomycin sulfate have been recommended as sprays. The antibiotic does not always work, even though isolates of the pathogen were sensitive to the antibiotic *in vitro*. The absorption translocation and persistence of streptomycin sulfate on passion fruit leaves were thus investigated

## MATERIALS AND METHODS

Passion fruit seedlings (*P. edulis* 'Amarelo') with four to six definite leaves were obtained by planting

<sup>1</sup> Received for publication 26 September 1988

\* Departamento de Fitopatología, Universidad Federal de Vicosa, 36570, Vicosa, MG, Brazil

## COMPENDIO

Se estudió la absorción, translocación y persistencia del antibiótico sulfato de estreptomicina en hojas de maracuyá (*Passiflora edulis*), por medio de bioelectroforesis. El producto no fue absorbido ni translocado en el tejido foliar. Sin embargo, en condiciones de invernadero, el antibiótico persistió en la superficie foliar por más de dos semanas, actuando así como un bactericida no-sistémico.

seeds in greenhouse-soil mix under greenhouse conditions

## Bioassay

Gel plates were prepared on glass slides (20 cm x 20 cm x 0.1 cm) which were previously washed with water and soap, rinsed several times with distilled water, dried, and rinsed with acetone. Plates were then laid onto a horizontal surface and surrounded with pieces of glass 0.2 cm in height. The four edges of the square slide were sealed with melted 2 per cent water-agar to avoid leaking during the gel dispensing process

Melted (50 °C) 0.8 per cent agar in 0.025 M sodium phosphate buffer (pH = 7.0) was poured onto the surface of the square glass plate and immediately spread with a glass rod, so that the agar layer, after solidification, was 0.1 cm thick. Then, 0.8 cm diameter holes were punched in the gel layer using a cork-borer and the agar gel disks removed. Six to seven holes per plate were made, about 2 cm from one of the edges of the gel plate

The plate was set in an electrophoresis apparatus with the electrode chamber containing 0.05 M potassium phosphate buffer (pH = 7.0). It was positioned in such a way that the edge near the holes was connected to the positive electrode, so that the antibiotic would run toward the negative electrode. The gel was connected with the buffer by two pieces of Whatman No. 1 filter paper. Samples (10 µl) were

then applied to the holes in the gel and the electrophoretic run was performed in a cold chamber (4 °C) for 120 minutes

Bioautography was carried out using 24-hr-old liquid cultures of *Bacillus subtilis* ( $OD_{550} = 0.5$ ). One ml of culture was transferred to 100 ml of melted and cooled (50 °C) semi-solid agar. The medium, containing approximately  $10^7$  cells/ml was then sprayed onto the surface of the gel plate. Care was taken to perform the spraying as uniformly as possible and about 10 ml of *Bacillus* containing the medium was sprayed on each plate. After spraying, plates were incubated at 28 °C in a moist chamber to avoid drying of the gel layer

#### Standard curve

To determine the size of the halo diameter as a function of the amount of streptomycin present in the sample, known concentrations of streptomycin were applied and the bioautograph run. The diameter of the halo was then plotted against the log of the concentration of streptomycin (Fig. 1). This curve

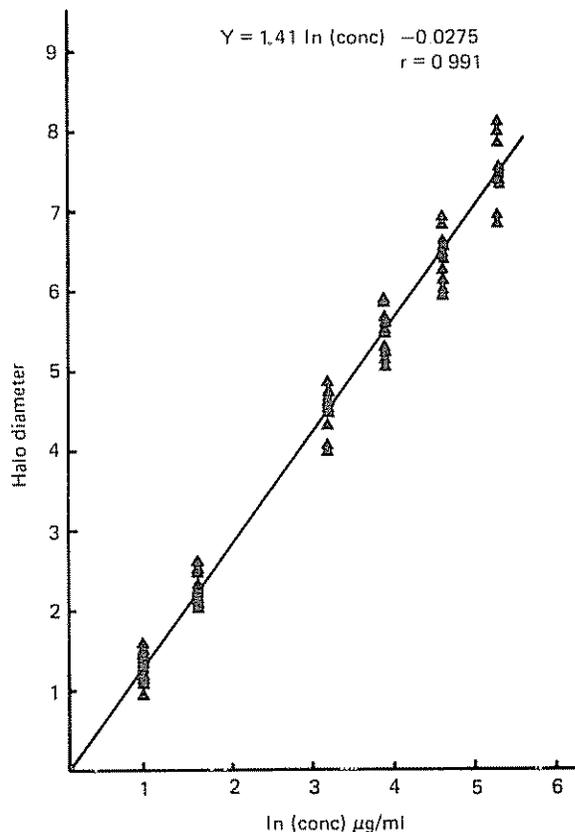


Fig. 1. Standard curve of the natural logarithm of known concentrations of streptomycin, with respect to halo diameter after electrophoresis

could then be used to determine the concentration of streptomycin present in the extracts or wash water of treated leaves

#### Experiments

The persistence of the antibiotic on or in the leaf was determined using ten transplants of passion fruit in pots, with four to six leaves; they were sprayed with an aqueous solution of streptomycin at 200 µg/ml and kept under greenhouse conditions. Sampling was done at 0, 4, 8, 12 and 16 d after spraying by removing two 1 cm leaf disks per leaf on each sampling day. Leaf disks harvested on the same day were combined, weighed and ground by using a mortar and pestle with water (0.5 ml/g of fresh weight). The macerate was then centrifuged at 3000 rpm for 20 min in a clinical centrifuge and the supernatant submitted to bioelectrophoresis

To determine if streptomycin is absorbed by the leaves of passion fruit plants, four to six leaves were each sprayed with aqueous 200 µg/ml streptomycin sulfate. Four and 16 days after spraying, five leaf disks (1 cm in diameter each) were harvested from each plant by using a cork-borer. Disks were washed five times with 2 ml of distilled water each time, the rinsing water pooled and dried under vacuum at 50 °C. The residue was resuspended in 0.85 ml of water and then submitted to bioelectrophoresis. The disks were then thoroughly washed with detergent and tap water to remove any superficial antibiotic residue, and ground with a mortar and pestle in water (0.85 ml/5 disks), the macerate was centrifuged at 3000 rpm for 20 min and the supernatant also submitted to bioelectrophoresis

To investigate the possibility of acropetal, basipetal or lateral translocation, leaves were shielded with aluminum foil on either the apex, base or side and the unprotected areas were sprayed with 200 µg/ml aqueous streptomycin. Four days after spraying, protected and unprotected areas of leaves were harvested, ground in water at 0.5 ml/g of fresh weight and the macerate centrifuged at 3000 rpm for 30 min. Supernatants were then submitted to bioelectrophoresis

#### RESULTS AND DISCUSSION

Significant amounts of streptomycin were found on the leaves even after 16 days (Fig. 2). Although there was a reduction in the amount of the antibiotic from day 0 to day 16, considerable amounts of the antibiotic were still present. Considering that plants were kept in a greenhouse and that care was taken to avoid splashing water on the leaves during irrigation, the chance of the reduction of streptomycin due to

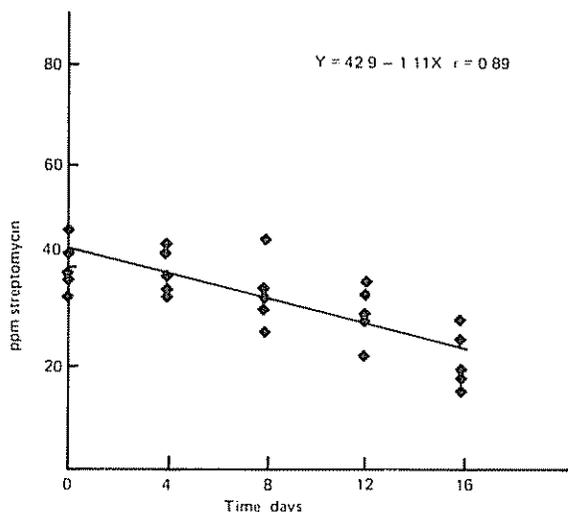


Fig. 2. Persistence of streptomycin on the leaves as analyzed through bio-electrophoresis using the standard curve. Leaves were sprayed on day 0 just before sampling

irrigation is nil. Since streptomycin sulfate is very soluble in water, it is logical that if it is not absorbed by leaves, it may be easily washed by rains.

The antibiotic was not found inside the leaves, but rather in the washing water. Water extracts of ground tissue showed zero ppm streptomycin, while washing water yielded values of 35-50 ppm streptomycin. This indicates that, streptomycin was not absorbed by the leaves, either at four or at 16 d after spraying under natural conditions.

In addition, streptomycin was not translocated in leaves either from one side of the mid rib to the other, from the base to the apex, or from the apex to the base (Fig. 3). Assays for all unsprayed areas yielded zero streptomycin, while the sprayed areas yielded

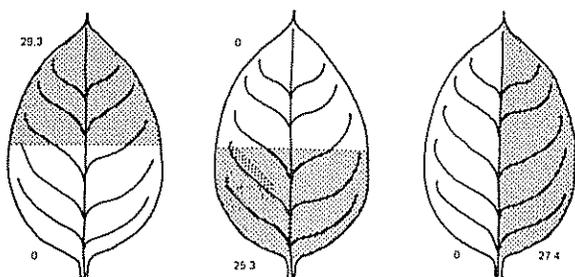


Fig. 3. Translocation of streptomycin basipetally, acropetally or laterally. Leaves were sprayed on one side (shaded) and after four days, both sides were sampled for the presence of streptomycin. The numbers near each leaf half are the ppm streptomycin found.

streptomycin in concentrations which varied from 15-30 ppm. Consequently, at least in passion fruit leaves and under the conditions in which the experiment was carried out, no translocation was observed; the antibiotic is therefore not systemic in leaves of passion fruit within four days after spraying.

The ability of antibiotics to be taken up by plants and then translocated varies. When streptomycin was incorporated into a paste of lanolin plus Tween and applied to bean stems, it was absorbed and translocated; however, without these surfactants no absorption occurred (6). On the other hand, the addition of surfactants enhanced apparent disease control of fireblight although differences were not significant (1). Such methods as placing small balls of lanolin impregnated with streptomycin do not lend themselves to field applications. Therefore, in passion fruit leaves, the nature of action of streptomycin can be considered as protectant rather than systemic.

LITERATURE CITED

1. BEER, S.V. 1976. Fire blight control with streptomycin sprays and adjuvants at different application values. *Plant Disease Reporter* 60:541-544.
2. CARROL, J.; KEIL, H.L. 1967. Control of peach bacterial spot with terramycin in Maryland. *Plant Disease Reported* 51:345-349.
3. ELLIS, M.A.; SINCLAIR, J.B. 1974. Uptake and translocation of streptomycin by soybean seedlings. *Plant Disease Reporter* 58:534-535.
4. GALLI, F.; TOKESHI, H.; CARVALHO, P.C.I.; BALMER, E.; KIMATI, H.; CARDOSO, C.O.N.; SALGADO, C.L. 1968. *Manual de Fitopatologia (Doencas de Plantas e Seu Controle)*. São Paulo, Bra., Biblioteca Agronomica Ceres 640 p.
5. HUMAYDAN, H.S.; HERMAN, G.E.; NEDRON, B.L.; DINITRO, L.V. 1980. Eradication of *Xanthomonas campestris*, the causal agent of black rot from *Brassica* seeds with antibiotics and sodium hypochloride. *Phytopathology* 70:127-131.
6. MITCHELL, J.W.; ZAUMEYER, W.J.; ANDERSON, W.P. 1952. Translocation of streptomycin in bean plants and its effect on bacterial blights. *Science* 115:114-115.
7. MITCHELL, J.W.; ZAUMEYER, W.J.; PRESTON, W.H. 1954. Absorption and translocation of streptomycin by bean plants and its effect on the halo and common blight organisms. *Phytopathology* 44:25-30.

8. PRICE, R.M.; BOYLE, A.M. 1963. Vancomycin prevents crown gall. *Phytopathology* 53:1272-1275.
9. PRADO FILHO, L.G. 1966. Generalidades sobre o emprego de antibioticos nas plantas. Piracicaba, Bra., Instituto Zimotecnico "Prof. Jaime Rocha de Almeida" da USP. 18 p.
10. ROBISON, R.S.; STARKEY, R.L.; DAVIDSON, O.W. 1954. Control of bacterial wilt of chrysanthemums with streptomycin. *Phytopathology* 44:646-650.
11. WEAVER, L.O.; KEIL, H.L. 1970. Grower trials with oxytetracyclin for control of peach bacterial spot in Maryland. *Plant Disease Reporter* 54:208-211.

# Patrones del Sistema Radical en Frijol Común (*Phaseolus vulgaris* L.)<sup>1</sup>

S. Kurivadi\*, D.M. Aguilera\*

## ABSTRACT

In this investigation 20 genotypes of the common bean, *Phaseolus vulgaris* L., with a broad spectrum of variability were evaluated for root potential in tubular polyethylene bags 110 cm long and 30 cm wide with the object of designing root models. The bags containing the root system were sectioned into five consecutive segments of 20 cm and the dry root weight of each segment was determined. The analysis of variance for dry root mass in the five different profiles (0-20, 21-40, 41-60, 61-80 and 81-100 cm) and for the total root potential, indicated highly significant differences. Seventeen out of 20 genotypes produced root systems in the five profiles studied. In the varieties 'Fe-33-RB', 'Negro Jamapa', 'Negro Huasteco' and 'Fe-30-RB' higher proportions of root system were recorded in the lowest profile of 81-100 cm, and showed excellent root models. The genotypes with earliness produced low a quantity of dry root mass compared to lates. The root weight was positively and significantly associated with four characters such as yield per plant, pods per plant, dry weight of the vegetative portion and days to physiological maturity. The dry weight of the root system recorded higher values (75.7 %) of broad sense heritability.

## INTRODUCCION

La sequía es uno de los factores más limitantes en la producción y calidad de los cultivos a nivel mundial (10), por lo que la investigación en zonas áridas y semiáridas deberá ser dirigida hacia la conservación del agua y suelo, y planeada con base en los conocimientos que se tengan sobre precipitación, evapotranspiración, agronomía y mejoramiento genético de los cultivos, con el propósito de incrementar la productividad total en dichas áreas (13)

Dos características muy importantes de la planta que proporcionan una mejor adaptación en condicio-

## COMPENDIO

En esta investigación se evaluaron 20 genótipos de frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.) con una amplia gama de variabilidad, en bolsas de polietileno de 110 cm de longitud y 30 cm de anchura, con el objetivo de graficar modelos de raíces. La bolsa con las raíces fue seccionada en cinco segmentos de 20 cm cada uno y se determinó el peso seco de masa del sistema radical por segmento. El análisis de la variancia del sistema radical en los cinco perfiles (0-20, 21-40, 41-60, 61-80, 81-100 cm), así como de su potencial total indicó diferencias altamente significativas. De los 20 genótipos, 17 produjeron sistema radical dentro de los cinco perfiles estudiados. Las variedades 'Fe-33-RB', 'Negro Jamapa', 'Negro Huasteco' y 'Fe-30-RB' presentaron una alta proporción de raíces en el perfil más profundo de 81-100 cm y también mostraron los mejores modelos. Los genótipos precoces produjeron baja cantidad de peso seco del sistema radical en comparación con los tardíos. La masa de peso seco del sistema radical es alta y positivamente correlativa a cuatro características: rendimiento por planta, vainas por planta, peso seco de vástago y días hasta la madurez fisiológica. El peso del sistema radical registró altos valores (75.7 %) de hereditabilidad en sentido amplio.

nes de sequía, son: primero, óptimo sistema radical con profusas ramificaciones y alta tasa de crecimiento vertical y horizontal, para facilitar la absorción de una adecuada cantidad de agua y nutrientes (4, 12, 20) y, segundo, conservación de agua en la planta a través de una óptima área de follaje, pubescencia, enrollamiento de las hojas, gruesa capa de cutina y secamiento de hojas viejas y tallos no productivos (12, 13, 20). El agua ahorrada a través de estos procesos fisiológicos puede ser utilizada por la planta durante los períodos del llenado del grano, incrementándose así la producción.

El sistema radical de la planta está directamente relacionado con la absorción de agua y nutrientes y es un factor determinante para la resistencia a la sequía en los cultivos. Varios investigadores (2, 5, 9, 13, 24) afirman que los genótipos con un sistema radical más profundo y ramificado, absorben mayor cantidad de agua durante los períodos de deficiencia y pueden sobrevivir a la sequía.

<sup>1</sup> Recibido para publicación el 8 de junio de 1988. Parte de la tesis de Maestría en la especialidad de fitomejoramiento. Universidad Autónoma Agraria "Antonio Narro", Buenavista, Saltillo, México.

\* Ph.D. Maestro-Investigador y Tesista, respectivamente. Departamento de Fitomejoramiento; División de Agronomía, Universidad Autónoma Agraria "Antonio Narro", Buenavista, Saltillo, Coahuila, México.

Evaluar el sistema radical de la planta adulta, o examinarlo periódicamente durante sus diferentes etapas fenológicas, es difícil, lento y costoso, debido a su crecimiento abajo del suelo (8); razón por la cual no hay suficiente información acerca del mismo en los cultivos. Existen varios métodos para estudiar el potencial del sistema radical tales como el 'monolito', los 'rizotrones', "de barrena", en el sitio y de radio-trazadores en el suelo y la planta, a través de los cuales es posible evaluar y "graficar" diferentes modelos de raíces (5, 15). Uno de los principales objetivos del mejoramiento genético en condiciones de sequía deberá ser la identificación de mejores sistemas radicales y la incorporación de éstos a variedades rendidoras en las condiciones mencionadas.

En la literatura publicada existe poca información sobre el estudio de los diferentes modelos de raíces en frijol, por lo que en esta investigación se evaluaron 20 genótipos del mismo, con los siguientes objetivos: determinar la variabilidad entre genótipos de frijol, en el desarrollo del sistema radical en diferentes perfiles de suelo; "graficar" los diversos patrones de raíces; estimar parámetros genéticos y correlaciones fenotípicas para el sistema radical y otras características agronómicas.

#### MATERIALES Y METODOS

El presente experimento se realizó en condiciones de invernadero, en la Universidad Autónoma Agraria "Antonio Narro" (Saltillo, México), durante el período comprendido de junio a diciembre de 1986.

Los 20 genótipos incluidos en esta investigación fueron seleccionados con base en alta productividad, amplia adaptación y algunas características de tolerancia a la sequía; resultando sobresalientes para varias características agronómicas en pruebas de evaluación a través de varios años, realizadas en los campos experimentales de "Río Bravo" y "El Tapón". El origen, hábito de crecimiento y color de la semilla de estos genótipos, se presentan en el Cuadro 1.

Para realizar la evaluación del potencial del sistema radical de cada uno de los genótipos, se utilizaron bolsas de polietileno de color negro, con 110 cm de longitud y 30 cm de diámetro. Estudiar el sistema radical mediante 'rizotrones' es muy costoso y laborioso; mientras que con este tipo de bolsas es muy económico y fácil de manejar, además el color negro evita la penetración de la luz, permitiendo un desarrollo normal del sistema radical.

Las bolsas se llenaron con suelo de bosque, cribado finamente para eliminar residuos vegetales, y mezcla-

do con 30 por ciento de arena para facilitar la extracción de las raíces. El suelo fue colocado dentro de la bolsa hasta una altura de 100 cm, dejando 10 cm libres para la aplicación del riego. Al ir vaciando el suelo en la bolsa, se le iba compactando para evitar que, con el riego, el volumen bajara a menos de la altura requerida.

La siembra se realizó el día 17 de junio de 1986. Se sembraron seis semillas por bolsa y 12 días después se dejaron las dos plántulas más vigorosas. Se empleó el diseño de bloques al azar con dos repeticiones. La parcela experimental estuvo formada por una bolsa con dos plantas.

Se aplicaron dos riegos hasta el 75 % de la capacidad de campo; el primero antes de la siembra y el segundo 70 días después, cuando las plantas mostraron síntomas de marchitez en las hojas. En cada riego se aplicó un volumen de 15 litros de agua por bolsa.

Cabe mencionar que, durante el período de desarrollo del cultivo, se tuvo el ataque del minador de la hoja (*Liriomyza* sp.) al cual se le estuvo controlando mediante aplicaciones, cada 15 días, del insecticida Diazinon en dosis de 1.5 l/ha (distribuidas uniformemente en seis aplicaciones).

Cuando las plantas llegaron a su madurez fisiológica, se cortaron al ras del suelo y se llevaron al horno, donde permanecieron por un espacio de 48 h a una temperatura de 60 °C, determinándoseles posteriormente el peso seco.

El suelo de cada bolsa con las raíces fue seccionado en cinco segmentos (0-20, 21-40, 41-60, 61-80 y 81-100 cm) de 20 cm de longitud. Cada uno de ellos fue cribado en seco en mallas de 2, 4 y 6 mm de diámetro, y se le extrajeron las raíces, las cuales fueron lavadas para eliminar los residuos de suelo, y después secadas al horno durante 48 h a 60 °C. Luego se determinó el peso seco de cada segmento por separado. La extracción de las raíces del suelo se hizo en seco, con el fin de evitar la pérdida de algunas, ya que las plantas estaban en su etapa final de desarrollo, y, al ser lavadas con agua, las raíces más delgadas y raicillas corrían el riesgo de quebrarse y filtrarse fácilmente a través de las perforaciones de las mallas; además, su obtención presentaba un mayor grado de dificultad.

Los modelos de raíces de los 20 genótipos se 'graficaron' con base en la masa seca del sistema radical recuperado en cada segmento. La anchura de la barra representa el peso seco de las raíces por perfil y la longitud la profundidad de 20 cm por segmento, para cada uno de los genótipos.

Cuadro 1. Origen, hábito de crecimiento y color del grano en los genótipos estudiados.

Genótipo	Origen	Hábito de crecimiento*	Color del grano
'Mulato'	Tamaulipas	III	'ojo de cabra' negro
'Fe-30-RB'	Tamaulipas	II	'ojo de cabra' café
'Negro Huasteco'	Veracruz	II	negro
'Azabache'	Tamaulipas	II	negro
'Negro Jamapa'	Veracruz	II	negro
'Pinto-114'	Tamaulipas	III	pinto-café
'Ciateño'	Tamaulipas	II	bayo
'Delicias-71'	Chihuahua	II	pinto-café
'S-19-RB'	Tamaulipas	II	negro
'S-18-RB'	Tamaulipas	II	negro
'S-17-RB'	Tamaulipas	III	bayo-negro
'Agrarista'	Tamaulipas	II	bayo
'Flor de Mayo'	Querétaro	III	bayo-morado
'Agramejo'	Tamaulipas	II	bayo
'Canario-107'	Sinaloa	I	amarillo
'Fe-33-RB'	Tamaulipas	II	rosado
'Adjuntas-21'	Tamaulipas	II	bayo
'S-4-RB'	Tamaulipas	II	bayo
'Pinto Norteño'	Tamaulipas	II	pinto-café
'Fe-22-RB'	Tamaulipas	II	bayo-negro

\* Hábito de crecimiento: Tipo I: erecto; Tipo II: indeterminado con crecimiento erecto; Tipo III: indeterminado con ramas postradas

Se tomaron datos sobre las siguientes características agronómicas de la planta.

**Rendimiento por planta:** se determinó el rendimiento total en gramos de ambas plantas y se obtuvo el promedio.

**Vainas por planta:** se cuantificó en ambas plantas el número de vainas con una semilla al menos y se determinó el promedio.

**Semillas por vaina:** se determinó el número total de semillas de las dos plantas y se obtuvo el promedio.

**Peso seco del vástago:** se obtuvo al secar y pesar la porción aérea de las dos plantas, a las que se les eliminó las hojas y los pecíolos, dejando únicamente el tallo, las ramas y las vainas con semilla, para determinarles luego el promedio.

**Altura de la planta:** se midió la altura de las dos plantas en centímetros, desde su base hasta el nudo terminal del tallo principal y se obtuvo la media.

**Días hasta la floración:** lapso transcurrido desde la siembra hasta que al menos una de las plantas presentó flores.

**Días hasta la madurez fisiológica:** lapso transcurrido desde la siembra hasta la cosecha.

Los promedios de cada característica fueron utilizados para calcular el análisis de variancia, parámetros genéticos y correlaciones.

## RESULTADOS Y DISCUSION

El análisis de variancia mostró diferencias significativas para todas las características, revelando una amplia gama de variabilidad en los genótipos incluidos. Así la variancia para la masa de sistema radical recuperada en diferentes perfiles, mostró diferencias altamente significativas para todos los segmentos estudiados, así como para la producción total de raíces, revelando una gran variabilidad genética para esta característica en los materiales incluidos. Ello indica que es factible identificar genótipos con alta producción de raíces para desarrollar variedades altamente rendidoras en condiciones de sequía. Kuruvadi y Smith (16, 17), Hurd (6), Espinoza y Kuruvadi (3) evaluaron el potencial del sistema radical en trigo macarriero, trigo y zacate gigante, encontrando diferencias significativas para el potencial total del sistema radical.

Las variedades 'Ciateño', 'Azabache', 'Negro Jamapa', 'Fe-30-RB', 'S-4-RB' y 'Negro Huasteco' produjeron peso seco de sistema radical entre 2.44 a 3.00 g y fueron los mejores en comparación a los genótipos restantes (Cuadro 2). Estas variedades pueden utilizar-

Cuadro 2. Promedio de peso seco del sistema radical en frijol común según diferentes perfiles de suelo.

Genótipo	Perfiles					(cm)					
	0-20	21-40	41-60	61-80	81-100	0-40	0-60	41-80	41-100	61-100	0-100
'Mulato'	0.67	0.50	0.63	0.47	0.12	1.17	1.80	1.10	1.22	0.59	2.39
'Fe-30-RB'	0.88	0.51	0.45	0.39	0.24	1.39	1.84	0.84	1.08	0.63	2.47
'Negro Huasteco'	0.67	0.63	0.51	0.36	0.27	1.30	1.81	0.87	1.14	0.63	2.44
'Azabache'	0.91	0.51	0.71	0.51	0.21	1.42	2.13	1.22	1.43	0.72	2.85
'Negro Jamapa'	0.89	0.46	0.61	0.47	0.30	1.35	1.96	1.08	1.38	0.77	2.73
'Pinto-114'	0.19	0.06	0.13	0.08	0.01	0.25	0.38	0.21	0.22	0.09	0.47
'Ciateño'	1.10	0.83	0.51	0.41	0.15	1.93	2.44	0.92	1.07	0.56	3.00
'Delicias-71'	0.90	0.33	0.47	0.29	0.16	1.23	1.70	0.76	0.92	0.45	2.15
'S-19-RB'	0.38	0.14	0.24	0.17	0.06	0.52	0.76	0.41	0.47	0.23	0.99
'S-18-RB'	0.44	0.20	0.32	0.22	0.01	0.64	0.96	0.54	0.55	0.23	1.19
'S-17-RB'	0.63	0.32	0.23	0.28	0.07	0.95	1.18	0.51	0.58	0.35	1.53
'Agrarista'	0.51	0.40	0.16	0.31	0.20	0.91	1.07	0.47	0.67	0.51	1.58
'Flor de Mayo'	1.22	0.45	0.42	0.18	0.09	1.67	2.09	0.60	0.69	0.27	2.36
'Agramejo'	0.35	0.21	0.26	0.19	0.05	0.56	0.82	0.45	0.50	0.24	1.06
'Canario-107'	0.26	0.07	0.09	0.01	0.00	0.33	0.42	0.10	0.10	0.01	0.43
'Fe-33-RB'	0.45	0.19	0.19	0.21	0.33	0.64	0.83	0.40	0.73	0.54	1.37
'Adjuntas-21'	0.56	0.42	0.41	0.23	0.02	0.98	1.39	0.64	0.66	0.25	1.64
'S-4-RB'	0.85	0.61	0.46	0.41	0.20	1.46	1.92	0.87	1.07	0.61	2.53
'Pinto Norteño'	0.81	0.13	0.14	0.16	0.00	0.94	1.08	0.30	0.30	0.16	1.24
'Fe-22-RB'	0.35	0.06	0.12	0.16	0.00	0.41	0.53	0.28	0.28	0.16	0.69
Promedio	0.65	0.35	0.35	0.27	0.13	1.01	1.36	0.62	0.75	0.40	1.75
DMS (5%)	0.52	0.27	0.27	0.25	0.16	0.73	0.94	0.52	0.61	0.34	1.27
C V (%)	38.25	37.09	36.28	43.18	43.82	34.57	33.01	38.25	37.52	40.98	34.55

C V. = Coeficiente de variación

se como progenitores en los programas de hibridación para incorporar un mejor sistema radical en aquellas altamente rendidoras en condiciones de sequía

La proporción de masa de sistema radical depende de la constitución genética, medio ambiente, condición de crecimiento (bajo riego o sequía), profundidad, estructura, temperatura, aeración y disponibilidad de oxígeno del suelo. Entre los 20 genótipos incluidos, 17 (excepto 'Canario 107', 'Pinto Norteño' y 'Fe-22-RB') produjeron raíces en los cinco diferentes perfiles de suelo estudiados, indicando que la mayoría de las variedades de frijol pueden producir su sistema radical hasta los 100 cm (Fig. 1). Por lo tanto, en futuros estudios, se recomienda utilizar bolsas o 'rizotrones' hasta una profundidad de 150 a 200 cm, para evaluar la capacidad de penetración del sistema radical. White y Sponchiado (25), al comparar patrones de crecimiento radical y de extracción de humedad del suelo en frijol, observaron que las raíces de las variedades tolerantes penetraron a más de 120 centímetros.

En este estudio, las variedades 'Fe-33-RB', 'Negro Jamapa', 'Negro Huasteco', 'Fe-30-RB', 'Azabache', 'Agrarista' y 'S-4-RB' presentaron una mayor activi-

dad en el sistema radical con una masa de peso seco entre 0.20 a 0.33 g en el perfil de 80 a 100 centímetros. Varios investigadores (22, 2, 24, 11) han informado que el estrés de humedad generalmente decrece con el aumento del sistema radical a mayores profundidades.

Según Levitt (18) las plantas con mayor profundidad de raíces muestran más capacidad de evitación de la sequía que las plantas con un sistema radical superficial. Estas variedades que tienen más cantidad de raíces a mayor profundidad, podrían tener un mecanismo de evitación de sequía para sobrevivir durante un déficit de agua, ya que normalmente en las zonas frijoleras bajo sequía en Durango y Zacatecas, la humedad del suelo se puede agotar en los perfiles entre 0 a 80 cm durante el tiempo de máxima producción de flores y llenado de grano, aprovechando estos genótipos las superficies más profundas del suelo, para absorber agua y abastecer a la planta hasta el término de su etapa de desarrollo.

Los genótipos 'Canario-107', 'Pinto-114', 'Fe-22-RB' y 'S-19-RB' dieron un menor rendimiento de materia seca en el sistema radical y en raíces menos profundas en comparación a los restantes, por lo tanto,

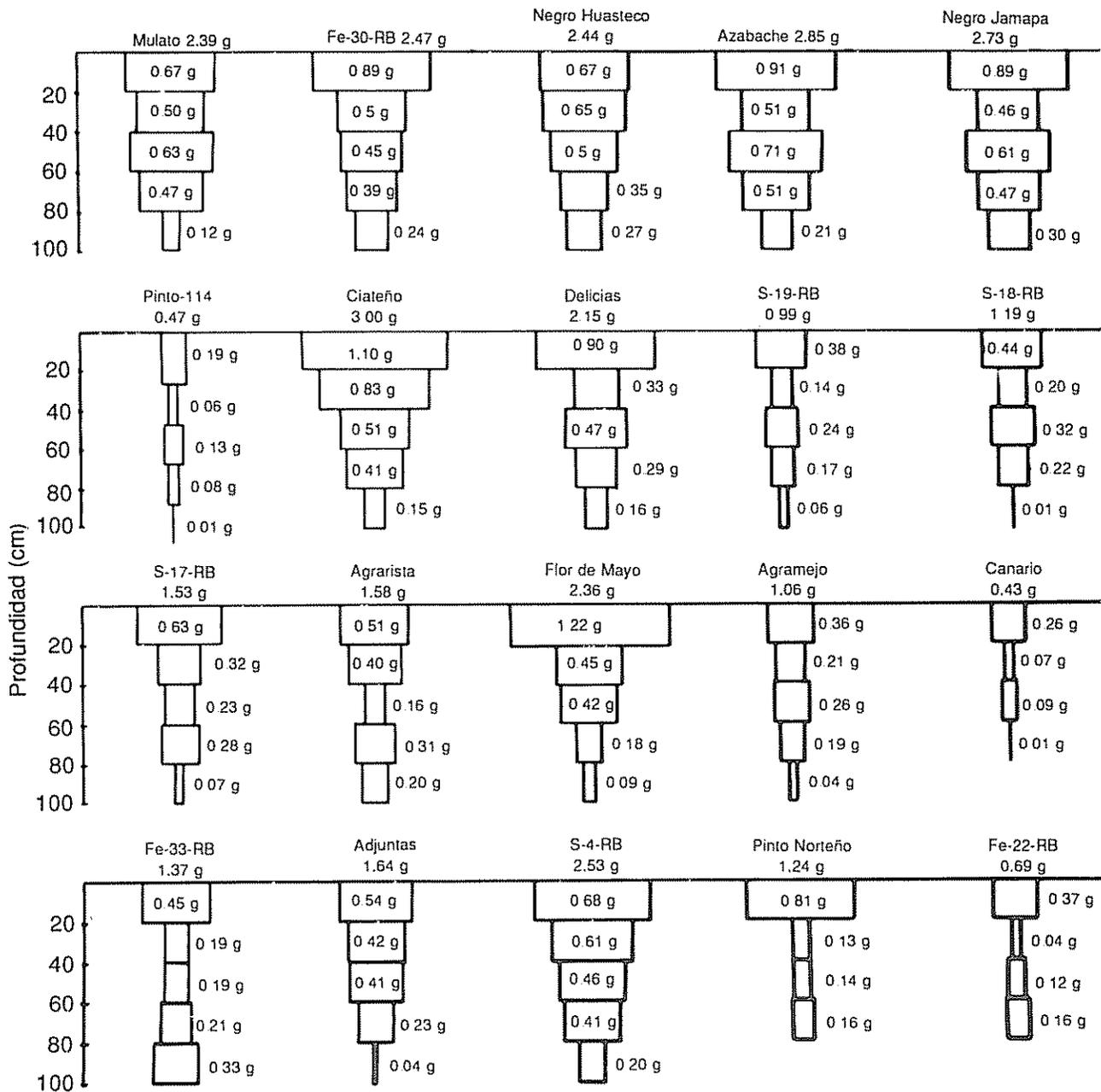


Fig 1 Modelos de raíces en 20 genótipos de frijol, bajo sequía

estos genótipos, probablemente, no poseen ese mecanismo de evitación White y Sponchiado (25) encontraron también que las variedades de frijol susceptibles a la sequía presentaban raíces que escasamente sobrepasaban los 70 cm de profundidad

Siete genótipos ('Negro Jamapa', 'Fe-33-RB', 'Negro Huasteco', 'Fe-30-RB', 'Azabache', 'Agrarista' y

'S-4-RB') produjeron el mejor modelo de sistema radical de los 20 incluidos, con un mayor peso seco de raíces y de crecimiento dentro de los cinco segmentos estudiados (Fig. 1) Sin embargo, la línea 'Fe-33-RB' mostró un modelo superior ya que fue incrementando la cantidad de raíces a medida que el perfil del suelo era más bajo, excepto para el primero (0-20 cm), presentando el mayor peso seco de masa radical en el úl-

timo segmento. Los genótipos antes mencionados tienen más actividad de absorción de agua y nutrimentos, y pueden evitar la sequía, ya que de acuerdo con Parsons (20) las plantas con un largo, profundo y bien desarrollado sistema radical pueden extraer más agua del suelo y posponer o retrasar los efectos de sequía.

Las variedades 'Negro Jamapa' y 'Azabache' produjeron modelos de raíces más o menos semejantes, mientras que 'Negro Huasteco', 'Fe-30-RB' y 'S-4-RB' también los presentaron similares entre sí. Otros genótipos que mostraron aproximadamente el mismo modelo fueron: 'S-19-RB' y 'Agramejo'. El resto produjo modelos únicos.

Los dos primeros perfiles de cada planta (0-20 y 21-40 cm) mostraron raíces más viejas, gruesas, menos ramificadas y con un mayor peso seco; sin embargo, se considera que estas raíces son fisiológicamente inactivas durante los periodos de floración hasta el llenado del grano, debido a la baja disponibilidad de agua existente en estos perfiles. Así mismo, se observó que las raíces de los últimos segmentos fueron más jóvenes, delgadas, profusamente ramificadas y de menor peso pero, fisiológicamente, muy activas en la absorción de agua. Taylor y Terrel (23), y Rojas y Rovalo (21) mencionan que las raíces jóvenes son más efectivas en la absorción de agua y nutrimentos que las raíces viejas.

Hurd (6) alude que los modelos del sistema radical están controlados por los genes y pueden ser modificados por el ambiente, por lo tanto, se puede manipular esta característica a través del mejoramiento genético en los cultivos.

Kuruvadi (14) mencionó cuatro medidas para estudiar el sistema radical, a saber: longitud de raíces, peso de masa de raíz, volumen y densidad de raíz en

una unidad de superficie de suelo. Generalmente la longitud de raíces es considerada más valiosa que el peso y volumen, porque indica la actividad del sistema radical en diferentes perfiles de suelo, para interpretar mejor los datos e identificar variedades con el mecanismo de evitación. Los datos sobre la longitud del sistema radical son útiles cuando se evalúan los genótipos en 'rizotrones' o bolsas tubulares de 100 a 200 cm en tanto que el peso y volumen pueden ser empleados cuando los estudios del sistema radical son conducidos en cartones o bolsas de polietileno de poca profundidad.

Kuruvadi y Smith (17) denotaron una correlación positiva y altamente significativa entre masa de sistema de raíces de plantas adultas bajo riego en cartones, con masa de sistema radical de los mismos genótipos en condiciones de sequía en 'rizotrones'. Murphy *et al.* (19) observaron una correlación positiva y significativa entre el volumen y peso seco de sistema radical; sugieren que el peso de masa de raíces puede utilizarse en los programas de mejoramiento en lugar del volumen de raíz, porque esta medida es muy tediosa y consume más tiempo para seleccionar dentro de un gran número de genótipos para sistema radical. Abd-Ellatif y Weibel (1) opinan que, para la identificación de líneas resistentes a la sequía, el peso de raíz probablemente sea la característica más indicativa y fácil de determinar.

Las variedades 'Pinto-114', 'Canario-107', 'Pinto Norteño' y 'Fe-22-RB' produjeron una baja cantidad de masa de sistema radical a causa de su precocidad, ya que fueron cosechadas entre los 60.5 y 77 días después de la siembra. Los genótipos tardíos ('Agrarista', 'S-4-RB', 'Negro Huasteco' y 'Fe-33-RB') se cosecharon entre los 132 a 150 días después de la siembra y produjeron una gran cantidad de sistema radical en peso seco, en comparación con los precoces. Gene-

Cuadro 3. Parámetros genéticos para diferentes características agronómicas en frijol común.

Características	Variación fenotípica	Variación genética	Variación ambiental	Hereditabilidad en sentido amplio (%)
Rendimiento por planta	3.17	2.27	1.71	71.48
Vainas por planta	12.04	10.50	3.08	87.12
Semillas por vaina	0.20	0.12	0.15	61.22
Peso seco de vástago	6.93	5.24	3.37	75.70
Altura de planta	40.23	23.04	24.39	57.26
Días hasta la floración	20.51	18.93	3.16	92.29
Días hasta la madurez fisiológica	665.96	546.48	238.76	82.07
Peso seco del sistema radical	0.69	0.50	0.37	73.22

ralmente los genótipos tardíos e intermedios presentaron un alto peso del sistema radical respecto de los precoces.

En esta investigación se estimó el porcentaje de hereditabilidad en sentido amplio (Cuadro 3) y las características: días hasta la floración, vainas por planta, días hasta la madurez fisiológica, peso seco de vástago y peso seco de sistema radical presentaron valores altos entre el 73.22 y el 92.29 por ciento; por lo tanto, la selección según estas características es muy efectiva en generaciones tempranas y tardías en esta especie.

El peso de sistema radical fue altamente correlativo al rendimiento por planta, vainas por planta, peso seco de vástago y días hasta la madurez fisiológica (Cuadro 4) Kaigama *et al.* (8) indicaron que estudiar el sistema radical periódicamente es muy difícil, debido a que crece por abajo de la superficie del suelo, mientras que la mayoría de las investigaciones en los cultivos están hechas en la parte aérea de la planta. Por lo tanto, las características citadas pueden utilizarse en los programas de mejoramiento de frijol, para identificar genótipos con mayor producción de raíces a través de la selección visual en el campo.

Cuadro 4. Correlaciones fenotípicas para diferentes características agronómicas en frijol común.

Característica	Vainas por planta	Semillas por vaina	Peso de 100 semillas	Peso seco de vástago	Altura de planta	Días hasta la floración	Días hasta la madurez fisiológica	Peso seco del sistema radical
Rendimiento por planta	0.873**	0.007	0.367	0.965**	0.070	0.390	0.883**	0.744**
Vainas por planta	--	-0.296	0.132	0.901**	0.048	0.438	0.871**	0.719**
Semillas por vaina	--	--	-0.261	0.024	-0.210	0.160	0.040	0.119
Peso de 100 semillas	--	--	--	0.258	0.466**	-0.217	0.121	0.188
Peso seco de vástago	--	--	--	--	0.102	0.491*	0.906**	0.811**
Altura de planta	--	--	--	--	--	0.477*	0.049	0.160
Días hasta la floración	--	--	--	--	--	--	0.531*	0.379
Días hasta la madurez fisiológica	--	--	--	--	--	--	--	0.730**

\*\* Significancia al 1%

\* Significancia al 5%

Existe asociación positiva y significativa entre rendimiento con cuatro características, que son: vainas por planta, peso seco de vástago, días hasta la madurez fisiológica y peso seco del sistema radical. El carácter de vainas por planta puede utilizarse como una manera de selección indirecta para identificar genótipos sobresalientes en el campo. Se observaron correlaciones entre vainas por planta con peso seco de vástago y días hasta la madurez fisiológica; y peso de 100 semillas con altura de planta y días hasta la floración.

#### CONCLUSIONES

-- Existe una amplia gama de variabilidad en el peso seco de masa del sistema radical en los cinco dife-

rentes perfiles (0-20, 21-40, 41-60, 61-80 y 81-100), así como en su potencial total

-- Los genótipos 'Fe-33-RB', 'Negro Jamapa', 'Negro Huasteco' y 'Fe-30-RB' presentaron una alta actividad del sistema radical en el perfil más profundo de 81-100 cm; mostraron los mejores modelos de raíces y se les recomienda como progenitores en los programas de hibridación, para incorporar un mejor sistema radical en las variedades de frijol alto, rendidoras bajo sequía.

-- Las características días hasta la floración, vainas por planta, días hasta la madurez fisiológica, peso seco de vástago y peso seco del sistema radical,

presentaron valores altos de hereditabilidad en un sentido amplio y estos rasgos son efectivos en los programas de selección.

- Los genótipos con un mejor sistema radical pueden identificarse indirectamente a través de características como: alto rendimiento, mayor número de vainas por planta, mayor producción de peso seco de vástago y días hasta la madurez fisiológica.

#### LITERATURA CITADA

1. ABD-ELLATHI, M ; WEIBEL, D F 1978 Evaluation of root characteristics in grain sorghum. *Agronomy Journal* 70:217-218
2. DONALD, C.M 1963 Competition among crop and pasture plants *Advances in Agronomy* 15:1-118
3. ESPINOZA, Z R ; KURUVADI, S 1985 Clasificación de colecciones de zacate gigante (*Leptochloa dubia* HBK Ness) por su grado de resistencia a sequía en manitol. *Agraria Revista Científica (Méx )* 1(2): 142-152
4. GARAY, A F.; WILHELM, W.W 1983 Root system characteristics of two soybean isolines undergoing water stress conditions *Agronomy Journal* 75: 973-977
5. HURD, E.A. 1964 Root study of three wheat varieties and their resistance to drought and damage by soil cracking *Canadian Journal of Plant Science* 44: 240-248
6. HURD, E A 1974 Phenotype and drought tolerance in wheat. In *Modification for more efficient water use*. Ed. by J E Stone *Agricultural Meteorology* 14:39-55
7. JODARI-KARIMI, F.; WATSON, V.; HODGLS, H.; SHISLER, F 1983. Root distribution and water use efficiency of alfalfa as influenced by depth of irrigation *Agronomy Journal* 75:207-211
8. KAIGAMA, B K ; TLARE, D ; STONE, L R ; POWERS, W.L. 1977 Root and top growth of irrigated and nonirrigated grain sorghum *Crop Science* 17:555-559
9. KLEPPER, B.; TAYLOR, H M ; HUCK, M G ; FISCUS, E L. 1973 Water relations and growth of cotton in drying soil *Agronomy Journal* 65:307-310
10. KOZLOWSKI, T T 1968 In water deficit and plant growth. Ed. by T.T Kozłowski. New York, Academic Press v 1, pp 1-21.
11. KURUVADI, S. 1980 Genetic studies in dryland wheat (*Triticum durum* Desf.) Post-Doctoral Thesis Ottawa, Canada, International Development Research Centre
12. KURUVADI, S 1987 Mejoramiento de cultivos bajo condiciones de temporal In *Primer Ciclo de Conferencias del Grupo Interdepartamental de Fisiología y Ecología Aplicada*. Saltillo, México, Universidad Autónoma Agraria "Antonio Narro". (En impresión)
13. KURUVADI, S 1987 Características agronómicas y fisiológicas que contribuyen a la mejor adaptación de los cultivos a regiones semidesérticas. In *IV Semana de Zonas Áridas*. [Memorias] Bermejillo, Dgo., Unidad Regional Universitaria de Zonas Áridas, UACH (En impresión)
14. KURUVADI, S 1988. Variability for root potential in macaroni wheat Rachis Aleppo, Syria, International Center for Agricultural Research in the Dry (En impresión)
15. KURUVADI S ; GUZMAN, M E 1987 Investigación sobre sistema radical en los cultivos COMUNNA, Buenavista. Saltillo, Coahuila (Méx ) p. 9
16. KURUVADI, S.; SMITH, T.F 1988 Relationship among seedling and adult plant root system in wheat Turrialba (Costa Rica) 38(2):149-153.
17. KURUVADI, S ; SMITH, T F. 1986 Modelos de raíces en trigo macarronero en rizotrones Turrialba (Costa Rica) 36(4):473-478
18. LEVITT, J 1972 Responses of plants to environmental stresses. New York, Academic Press p 697
19. MURPHY, C I ; LONG, R C ; NELSON, L A 1982 Variability of seedling growth characteristics among oat genotypes *Crop Science* 22:1005-1008
20. PARSONS, L R 1979. Breeding for drought resistance: what plant characteristics impart resistance? *HortScience* 14:590-593
21. ROJAS, G M ; ROVALO, M 1984. Relaciones con el agua *Fisiología vegetal aplicada*. 3 ed , Mc Graw-Hill. p 19-36.
22. SINGH, K 1952. Effect of soil cultivation of the growth and yield of winter wheat IV. Effect of cultivation on root development. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 3:514-525.
23. TAYLOR, H M ; TERREL, E E 1982 Rooting pattern and plant productivity in handbook of agriculture productivity Ed. by Miloslav Reachcigh Jr . Boca Raton, Florida, C.R.C. v. 1, p. 151-183.
24. WATSON, D.J 1968 A prospect of crop physiology *Annals of Applied Biology* 62:1-9
25. WHITE, J.W ; SPONCHIADO, B N. 1985. Tolerancia de frijol a la sequía Interrogantes y algunas respuestas. Boletín informativo del programa de frijol del CIAT 7(1):1-3

# Influence of Fertilizer Application on Browning and Polyphenol Oxidase Activity in Cut Tubers of Yam<sup>1</sup>

E. O. Etejere\*, C. A. Ajibade\*\*, M. O. Fawole\*

## ABSTRACT

The browning potential of surfaces of cut yam tubers has been observed to be significantly higher in fertilizer-grown yam tubers of *Dioscorea rotundata* when compared with non-fertilizer-grown yam tubers. Similarly polyphenol oxidase activity was significantly enhanced in fertilizer-grown yam tubers. No positive correlation was found between browning potential and polyphenol oxidase activity, indicating that the browning reactions in *D. rotundata* are likely to be non-enzymic. The enhancement effect of fertilizer on browning potential and polyphenol oxidase activity is discussed.

## COMPENDIO

Se ha observado que el potencial oscurecimiento de la superficie de tubérculos cortados de ñame (*Dioscorea rotundata* Poir), es significativamente más alto en tubérculos crecidos con fertilizantes que en aquellos no fertilizados. De manera similar la actividad de la polifenol oxidasa fue significativamente aumentada en tubérculos fertilizados. No hubo una correlación positiva entre el oscurecimiento potencial de ñame y la actividad de la polifenol oxidasa, que indicara que estas reacciones podrían ser no enzimáticas. El efecto del fertilizante sobre el oscurecimiento y la actividad oxidante del polifenol, es discutido en este artículo.

## INTRODUCTION

The white yam (*Dioscorea rotundata* Poir) is one of the most important *Dioscorea* species cultivated in the West African Yam Zone (4). With a record contribution of 78 per cent of the world production, Nigeria clearly exceeds all other countries in the cultivation of yams (14).

Following mechanical or physiological injury, the tuber is known to develop a brownish-black discoloration (13). The discoloration is known to vary in intensity among cultivars of a given yam species (15). These color changes, also referred to as browning reactions, have been attributed to two complicated reactions: an enzymic process (13), and a nonenzymic process (6, 8, 17). Discoloration by the former process involves the catalytic oxidation of phenols to quinones by the enzyme polyphenol oxidase (PPO) (EC 1.14.18.1). The quinone formed may polymerise or interact with other cell constituents to form brown or dark-colored products. Whereas potato polyphenol oxidase has been characterised by Patil and Zucker (16), interest in the elucidation of yam PPO is recent

(2, 3, 15). Mapson *et al.* (12) observed that the enzymic browning reaction could be affected by two sets of intrinsic factors, the concentration of phenolic substrates and concentration of PPO.

This particular investigation of the influence of nitrogen – phosphorus – potassium (NPK) fertilizer on the browning potential and PPO of *D. rotundata* was prompted by reports from Nigerian farmers and housewives that fertilizer-grown yam tended to show more browning on the cut surfaces than non-fertilizer grown yams.

In most cases browning is so intense that cut surfaces of tubers become totally blackened and are completely discarded for fear of poisoning. In Nigeria NPK mixtures of ratio 15:15:15 are clearly the most common inorganic fertilizers used to increase yam yield.

In the southern Guinea Savanna Zone of Nigeria, application of fertilizer at a rate of 30 kg/ha could yield 15-17 t/ha compared to 9-10 t/ha in unfertilized crop land (Ogunwale, personal communication). Thus increases of 5-7 t/ha could be obtained following the use of NPK fertilizer. The investigation has also attempted to find out if there is any relationship between PPO and browning reactions in *D. rotundata*. Such data may be useful in controlling browning in yams and yam products.

<sup>1</sup> Received for publication 1 July 1988.

\* Department of Biological Sciences, University of Ilorin, P.M.B. 1515, Ilorin, Nigeria.

\*\* Present address: Department of Biological Sciences, Nigerian Defence Academy, Kaduna, Nigeria.

## MATERIALS AND METHODS

*D. rotundata* tubers harvested in the 1985 cropping season were used for the study. The tubers were separated into two lots of NPK fertilizer-grown and non-fertilizer-grown. The NPK fertilizer was applied at the rate of 30 kg/ha. The cultivars used in this study were Okun, Okunigba, Okunmodo and Borki, depending on the locality from where each was obtained. Of all these names, only Borki is registered by Lawton (11) as a cultivar of white yam.

## Determination of browning potential

**Browning potential (BP)** was determined according to the method of Walter and Purcell (20). Thirty segments of tubers from both fertilizer and non-fertilizer-grown yams were exposed for 24 h at ambient temperature in a dark cupboard. Thereafter, a 1.5 cm diameter cork borer was used to obtain 3 g tissue randomly from each of five segments through the exposed surface. Five samples of 3 g tissue was then homogenized with 20 ml of distilled water in a Waring blender. The homogenate was further diluted with 40 ml distilled water and centrifuged for 10 min at 2000 rev/min on a Gallenkamp cf-590 centrifuge. The absorbance of the filtrate was read in a Unicam Sp 1800 UV spectrophotometer. Control tissues were freshly cut and unexposed. BP was estimated as the ratio of absorbances at 450 nm, of homogenates of time exposed ( $B^t$ ) and unexposed tissues ( $B^0$ ) as shown below, since a linear relationship exists between color change and exposure time (7)

$$BP = \frac{B^t \text{ at } 450 \text{ nm}}{B^0 \text{ at } 450 \text{ nm}}$$

Although values of BP have no units, the duration of exposure is usually stated. Thus values of BP serve as numerical estimates of the susceptibility of a particular yam tuber to the browning reaction. For example a yam tuber with a BP of three will show more browning than one with a BP of two at the same duration of exposure. The determination of BP for each yam cultivar was replicated five times and repeated two times thereafter. All data were subjected to significance tests at the 5 per cent probability level.

## Extraction of polyphenol oxidase

Extraction of PPO was carried out using acetone powder of yam tissues as described by Ikediobi and Obasuyi (9). A suspension of 5 g of the acetone powder in 20 ml of 0.1 M potassium phosphate buffer 6.0 was constantly stirred for one hour while standing in an ice bath. The mixture was centrifuged at 2000 rev/min for ten min. The supernatant was stored in a

refrigerator and used as the crude enzyme without further purification.

## Assay of polyphenol oxidase activity

Polyphenol oxidase activity was assayed for the catecholase action by the spectrophotometric method of Adamson and Abigor (1). Enzyme activity was indicated by the absorption of the product formed in the third minute of reaction at 450 nm on a Secam SP 1800 UV spectrophotometer. Determination of PPO activity from each yam cultivar was replicated five times and repeated two times thereafter. An analysis of variance at the 5 per cent significance level was also carried out to determine significant differences between fertilizer-grown and fertilizer-free yams. Enzyme activity data were also correlated with BP data.

## RESULTS AND DISCUSSION

In all the four cultivars of *D. rotundata* considered, BP of fertilizer-grown yams were significantly higher than those of the fertilizer-free yam (Fig. 1). Similarly PPO activity was significantly enhanced in fertilizer-grown yam tubers (Fig. 2). Linear correlation tests for BP and PPO activity yielded "r" values which had probability levels greater than 10 per cent in both fertilizer-grown and fertilizer-free yam. There is therefore no correlation between PPO activity and BP in the

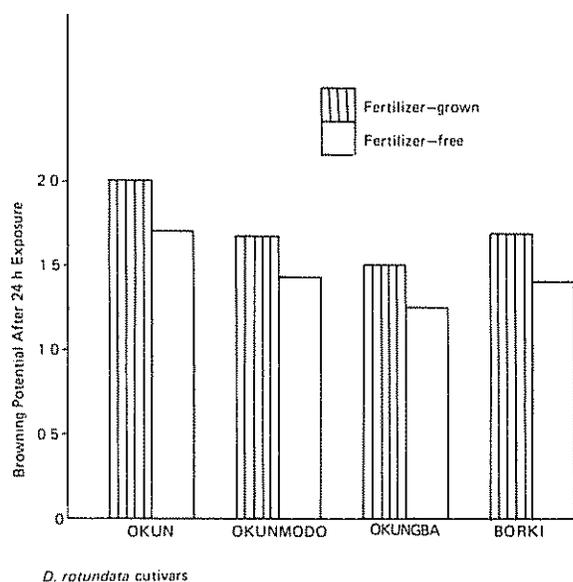


Fig. 1. Browning potential in fertilizer-grown and fertilizer-free yam tuber of *D. rotundata* cultivars after 24 hours exposure time at ambient temperature.

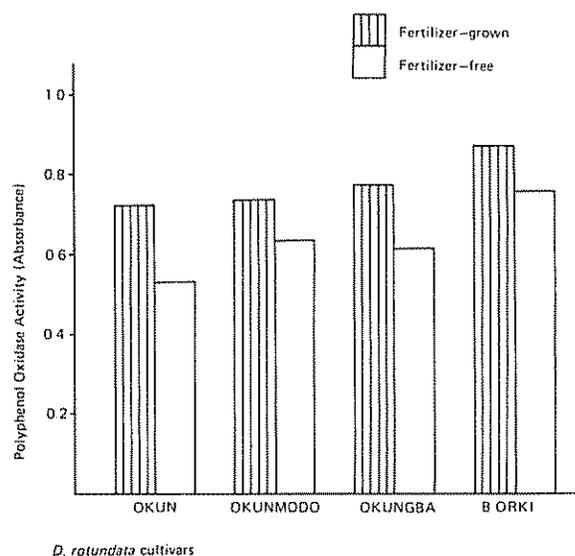


Fig. 2. Polyphenol oxidase activity in fertilizer-grown and fertilizer-free yam tubers of *D. rotundata* cultivars

four cultivars studied. The absence of correlation between enzyme activity and browning has been observed previously in potato tubers (12). This observation implies that the browning reaction in yam tubers when cut, is not due substantially to PPO activity. Presumably, the non-enzyme browning process may be the major contributor to the browning phenomenon in cut tubers of *D. rotundata*. The crucial reactions which lead to non-enzymic browning in food products have been shown by Reynolds (18) to be those between aldoses and free amino acids or free amino groups of proteins. Crude protein levels ranging from 6.3-13.4 per cent reported to be present in various *Dioscorea* species and cultivars (13) are believed to be high enough to promote a significant non-enzymic contribution to the browning phenomenon.

This study has clearly established that NPK fertilizer-grown yam has a higher tendency to undergo the browning reaction. The enhancement effect of NPK fertilizer on BP could therefore be attributable to the increase in tuber concentration of protein amino acids and other chemicals such as phenolic compounds, that may serve as substrates for the non-enzymic browning reaction as well as enzyme proteins (5, 10).

Although poisoning resulting from browning reactions in cut tubers have not been reported, the enhancement of PPO activity by NPK fertilizer is significant since, according to Osagie and Opoku (16), its activity may lead to modification in the properties, palatability, resistance and usability of most products derived from yams.

#### LITERATURE CITED

- ADAMSON, I ; ABIGOR, R 1980 Transformations associated with catecholase in *Dioscorea data* during storage. *Phytochemistry* 19:1593-1595
- ANOSIKE, E O ; AYAEBENE, A O 1981. Purification and some properties of polyphenol oxidase from tubers of the yam *Dioscorea bulbifera*. *Phytochemistry* 20:2625-2629
- ANOSIKE, E O. ; AYAEBENE, A O. 1982. Properties of polyphenol oxidase from tubers of the yam *Dioscorea bulbifera*. *Phytochemistry* 21:1889-1893
- COBLEY, L.S. 1976. An introduction to the botany of tropical crops. New York. Longman. p. 121-123.
- CRUSADO, H.J.; DELPHIN, H.; MARTIN, F W 1965. Effect of fertilizers on the sapogenin yields of *Dioscorea composita* in Puerto Rico. *Journal of Agriculture* 49:254
- FINOI, P A 1973. ? In *Proteins in Human Nutrition*. Ed. by J.W.G Porter; B A. Rolls. London, Academic Press. p.
- GOLAN, A. ; SADOVSKI, A Y ; KAHN, V. 1977. Evaluation of browning potential in avocado mesocarp. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 42:853-855
- HODGE, J E 1967. Origin of flavours in foods non-enzymatic browning reactions. In *The Chemistry and Physiology of Flavours*. Ed by H W Schultz. Conn., AVI Publ. Co. West-Port. p.
- IKEDIABI, C O ; OBASUYI, H N. 1982. Purification and some properties of O-diphenolase from white yam tubers. *Phytochemistry* 21:2815-2820
- KIPEGLO, K D.; OBIGBESAN, G O ; WILSON, J E. 1982. Yield and shelf-life of white yam as influenced by fertilizer. In *Tropical Root Crops Research Strategies for the 1980s*. Ed. by E.R. Terry; K.A. Oduro; F. Caveness. Ibadan, IITA. p. 198-202.
- LAWTON, J R S 1967. A key to the *Dioscorea* species in Nigeria. *Journal of the West African Sciences Association* 12:3-9
- MAPSON, L W ; SWAIN, I ; TOMALIN, A W 1963. Influence of varieties, cultural conditions and temperature of storage on enzymic browning of potato tubers. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 14:673-684
- MARTIN, F W.; THOMPSON, A E. 1971. Crude protein content of yams. *Horticultural Sciences* 6:545-546
- MATTHEW, A G ; PARPIA, H.A.B 1971. Food browning as a polyphenol reaction. *Advances in Food Research* 19:75-145.
- ONWUEME, I.C. 1978. *The tropical tuber crops*. John Wiley. p. 93

- 16 OSAGIE, A.V.; OPOKU, A.R. 1984. Enzymatic browning of yams (*Dioscorea* species) Nigerian Journal of Biochemistry 1:25-29
- 17 PATIL, S.S.; ZUCKER, M. 1965. Potato phenolases: Purification and properties. Journal of Biological Chemistry 240:3938-3943
- 18 REYNOLDS, T.M. 1965. Chemistry of non-enzymic browning. Advances in Food Research 14:167-283
- 19 REYNOLDS, T.M. 1969. Non-enzymic browning: Sugar-amine interaction. In Foods: Carbohydrates and their roles. Ed. by H.W. Schults; R.J. Chain; R.W. Wrolstad. AVI Publ. Co. s.p.
- 20 WALTER, W.M. Jr.; PURCELL, A.E. 1980. Effect of substrate levels and polyphenol oxidase activity on darkening in sweet potato cultivars. Journal of Agricultural and Food Chemistry 28:941-944

# Variaciones Anuales en Precipitación, Escurrimiento e Intercepción en un Bosque Adulto de *Pinus radiata*<sup>1</sup>

A.W. Huber\*, C.E. Oyarzun\*

## ABSTRACT

Temporal variations of the different components of the redistribution of rainfall in throughfall, stemflow and interception were quantified and analyzed in a mature *Pinus radiata* stand in southern Chile. During the period studied (1982-1988), water inflow due to throughfall and stemflow represented  $73.9 \pm 2.6\%$  and  $10.8 \pm 1.9\%$  of the incidental precipitation. Interception loss was estimated as  $15.3 \pm 4.0\%$ . Thus, the amount of water that effectively reached the surface was equivalent to  $84.7 \pm 4.9\%$  of the total annual precipitation. Losses due to interception presented large variation and the percentage values fluctuated between 10.6 and 22.1 of the annual precipitation. The interception of the forests is mainly regulated by temporal distribution and by the amount and intensity of precipitation.

## COMPENDIO

En un bosque adulto de *Pinus radiata* ubicado en el sur de Chile, fueron cuantificadas y analizadas las variaciones temporales de los diferentes componentes de la redistribución de las precipitaciones en precipitación directa, escurrimiento fustal e intercepción. Durante el periodo de mediciones (1982-1988) los aportes de agua por la precipitación directa y el escurrimiento fustal representaron el  $73.9 \pm 2.6\%$  y  $10.8 \pm 1.9\%$  de la precipitación incidente. Las pérdidas por intercepción fueron estimadas en  $15.3 \pm 4\%$ , por lo que la cantidad que efectivamente alcanzó la superficie fue equivalente al  $84.7 \pm 4.9\%$  de la precipitación total anual. Las pérdidas por intercepción presentaron grandes variaciones anuales y sus valores porcentuales fluctuaron entre el 10.6 y 22.1 de la precipitación anual. La intercepción del bosque está regulada principalmente por la distribución temporal, la cantidad e intensidad de las lluvias.

## INTRODUCCION

La intercepción de la precipitación de los bosques representa cantidades importantes en los aportes de agua al suelo (5, 11). Cuantificar estas pérdidas es necesario para calcular el balance hídrico de un lugar. Además, constituye un pre-requisito esencial para realizar predicciones cuantitativas de los efectos de la reforestación o deforestación sobre la economía hídrica de un lugar.

Las plantaciones de *P. radiata* en Chile actualmente alcanzan 1 200 000 ha y se extienden entre los paralelos 30 y 41° latitud sur, incluyendo zonas con precipitaciones de 500 hasta 2 500 mm anuales.

En Chile, esta conífera ha reemplazado extensas áreas de vegetación nativa produciendo alteraciones

en las reservas de agua del suelo, especialmente en zonas de menor pluviometría (14). Resultados similares han sido observados por Smith *et al* (15), Holmes y Colville (6, 7) y Allison y Hughes (1) en las mismas especies en Australia. A pesar de estos antecedentes, son muy escasos los estudios realizados sobre esta problemática en Chile, sólo Huber y Oyarzún (8, 9); Huber *et al* (10) y Oyarzún *et al* (12) han hecho algunos aportes al respecto.

En el presente estudio se cuantifican durante un período de siete años los montos mensuales y anuales de los diferentes componentes de la redistribución de las precipitaciones en un bosque adulto de *P. radiata* ubicado en el sur de Chile. También se analizan algunos de los factores responsables de las variaciones temporales.

## MATERIALES Y METODOS

El área de estudio está ubicada en el fundo Huape Tres Esteros, 20 km al norte de la ciudad de Valdivia ( $39^{\circ}48' S$ ,  $73^{\circ}14' O$ , altitud 15 msnm). La zona posee un clima del tipo templado lluvioso con influencia mediterránea ( $C_{fsb}$  según Koeppen), con una

1 Recibido para publicación el 27 de noviembre de 1989. Este estudio es parte de los proyectos 1040-85 de FONDECYT y R5-85-14 de la Dirección de Investigación de la Universidad Austral de Chile. Se agradece la valiosa cooperación prestada por el Centro Forestal de la Facultad de Ciencias Forestales de la Universidad Austral de Chile para la realización de este trabajo.

\* Instituto de Geociencias, Universidad Austral de Chile, Casilla 567, Valdivia, Chile.

temperatura promedio anual de 12°C (oscilación anual entre 7°C, julio y 17°C, enero) y una precipitación media anual de 2 000 mm. Enero es el mes más seco con 60 mm y julio, el más húmedo con 400 mm.

El bosque de *P. radiata* fue plantado en 1957. Está ubicado sobre lomajes de ondulación suave con orientación noroeste y una pendiente promedio de 7%. La altura media del rodal es de 32 m, con una cobertura de copas del 72%, el diámetro promedio de las copas es de 3.7 m y una densidad de 733 árboles/ha. El área basal es de aproximadamente 60 m<sup>2</sup> y el diámetro a la altura del pecho es de 35 cm.

La intercepción de las precipitaciones fue determinada a partir de la relación:

$$I = P - (Pd + Pf)$$

donde:

I = Intercepción  
P = Precipitación  
Pd = Precipitación directa  
Pf = Escurrimiento fustal

Las precipitaciones fueron registradas con un pluviógrafo Wilh. Lambrecht, instalado en un campo abierto a 500 m del lugar de estudio.

Las precipitaciones que llegaron al nivel del suelo del bosque fueron recogidas con una canaleta metálica en forma de V, similares a los propuestos por Delfs (3) de 30 m de largo y 13.5 cm de ancho (superficie de recolección 4.05 m<sup>2</sup>), que desembocaba a un registrador automático construido especialmente para este estudio.

El agua de escurrimiento fustal fue recogida mediante collares de plástico ajustados en espiral alrededor del tronco, según lo propuesto por Ford y Deans (4). Se midió el escurrimiento fustal de todos los

árboles que se encontraban a ambos lados de la canaleta y hasta una distancia de 5 m de ella. La precipitación recogida en esta forma fue conducida a un tubo central de PVC de 30 mm de diámetro para transportar el agua captada de 11 árboles a otro registrador. Mayores detalles de las instalaciones se pueden encontrar en Huber y Oyarzún (8, 9).

Las relaciones entre los diferentes componentes de la redistribución de las precipitaciones y la precipitación se estudiaron mediante un análisis de regresión, utilizando para ello los valores mensuales y anuales del período comprendido entre los años 1982 y 1988. Además, se estableció la relación entre los montos mensuales de la intercepción y la intensidad de las precipitaciones, calculada esta por simple división entre el monto mensual de la precipitación y el número de días de lluvia.

#### RESULTADOS Y DISCUSION

El Cuadro 1 presenta la precipitación anual para cada uno de los siete años de estudio, los montos absolutos y relativos con respecto a la precipitación anual de la precipitación directa, escurrimiento fustal, precipitación neta e intercepción.

Los montos anuales de las precipitaciones tienen fuertes fluctuaciones que oscilan entre los 1 628 y 2 389 mm. La cantidad de agua que alcanza el nivel del suelo por precipitación directa y escurrimiento fustal, corresponde al 73.9 y 10.8% de la lluvia total, respectivamente. El agua interceptada por los árboles y que posteriormente es reintegrada a la atmósfera por evaporación, es de un 15.3%. Las variaciones anuales de todos estos componentes de la redistribución de las precipitaciones son consecuencia de las diferentes cantidades anuales de lluvia, del comportamiento del régimen pluviométrico anual y de las características de las precipitaciones individuales, especialmente de su intensidad y duración (5).

Cuadro 1. Montos anuales y promedios anuales de precipitación (P mm); cantidad absoluta (mm) y relativa (%) en relación con la precipitación anual de la precipitación directa (Pd), escurrimiento fustal (Pf), precipitación neta (Pn) e intercepción (I).

Año	P		Pd		Pf		Pn		I	
	mm	mm	mm	%	mm	%	mm	%	mm	%
1982	2 389.1	1 824.3	76.4	310.7	13.0	2 135.0	89.4	254.1	10.6	
1983	1 627.7	1 229.2	75.5	202.3	12.4	1 431.5	87.9	196.2	12.1	
1984	2 059.3	1 472.6	71.5	240.9	11.7	1 713.5	83.2	345.8	16.8	
1985	2 165.2	1 651.3	76.3	253.1	11.7	1 904.4	88.0	260.8	12.0	
1986	2 341.0	1 696.7	72.5	236.8	10.1	1 933.1	82.6	407.5	17.4	
1987	1 841.2	1 386.0	75.3	159.4	8.7	1 545.4	83.9	295.8	16.1	
1988	1 364.1	953.9	69.9	107.6	7.9	1 061.3	77.8	302.8	22.2	
Promedio	1 969.7	1 459.1	73.9	215.8	10.8	1 674.9	84.7	294.7	15.3	

En los Cuadros 3, 4 y 5 se presentan los valores absolutos y porcentuales para cada mes con respecto a la precipitación total mensual, de los diferentes componentes de la redistribución de las precipitaciones.

Las precipitaciones presentan un marcado ciclo estacional, con montos mayores en invierno y menores

en verano (Cuadro 2). Esta estacionalidad también se repite con la precipitación directa (Cuadro 3) que tiene sus valores absolutos y relativos mayores durante el período más lluvioso del año (abril-setiembre). Durante estos meses la precipitación directa promedio mensual es siempre superior al 18% de las precipitaciones. Durante el resto del año la precipitación direc-

Cuadro 2. Montos mensuales y promedios mensuales de precipitación (mm).

Año	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
1982	135.3	78.7	33.4	86.3	492.5	336.1	428.1	342.0	179.9	188.0	71.3	17.5
1983	94.2	4.1	84.9	166.5	164.0	310.0	241.9	194.3	239.1	88.0	20.5	20.2
1984	48.1	87.2	42.0	153.1	356.4	355.3	372.9	100.7	236.7	234.3	36.1	36.5
1985	114.3	54.2	103.1	241.5	427.3	333.0	269.5	206.5	182.4	225.7	105.2	32.4
1986	84.3	107.4	90.0	309.8	435.1	318.3	225.3	312.5	134.5	103.9	213.5	6.4
1987	12.0	16.8	35.8	146.9	128.5	308.3	485.5	223.9	181.3	205.7	46.8	49.7
1988	52.8	1.7	88.1	101.7	142.5	262.9	147.4	281.4	103.0	111.0	31.0	40.8
$\bar{X}$	77.3	50.0	68.2	172.3	306.6	317.7	310.1	238.8	179.6	146.7	74.9	29.1

ta disminuye debido a que las características de las lluvias y las condiciones meteorológicas fomentan ahora las pérdidas por interceptación, disminuyendo así la cantidad de agua que llega al suelo. Los montos promedios mensuales absolutos y relativos del escurrimiento fustal (Cuadro 4) muestran una tendencia

estacional similar ya que los porcentajes fluctúan entre el 5% (diciembre) y 14% (junio) de la precipitación promedio mensual. Los porcentajes de interceptación presentan un comportamiento estacional aún más marcado, ya que sus valores promedios mensuales fluctúan entre el 8% (junio) y 31% (diciembre) (Cua-

Cuadro 3. Montos mensuales y promedios mensuales de la precipitación directa (mm) y porcentajes con respecto a la precipitación (%).

Año	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
1982	102.5 (76)	57.4 (73)	24.7 (74)	70.1 (81)	388.4 (78)	260.4 (78)	346.5 (81)	251.2 (79)	124.7 (69)	132.4 (70)	54.1 (75)	11.9 (68)
1983	69.9 (74)	1.5 (37)	61.9 (73)	124.1 (75)	126.7 (77)	250.7 (81)	175.0 (72)	143.7 (74)	183.9 (78)	57.7 (65)	15.4 (75)	15.7 (78)
1984	31.0 (65)	53.2 (61)	22.1 (53)	122.0 (80)	271.9 (76)	285.0 (80)	260.3 (70)	65.1 (65)	165.8 (70)	149.7 (64)	22.7 (63)	23.8 (65)
1985	79.9 (70)	27.7 (51)	77.2 (75)	182.0 (75)	331.9 (78)	279.5 (84)	220.1 (82)	156.8 (75)	131.2 (72)	69.2 (72)	72.0 (68)	23.8 (74)
1986	32.0 (38)	81.9 (76)	61.0 (68)	238.1 (77)	337.9 (78)	230.8 (73)	171.2 (76)	235.9 (76)	87.6 (65)	63.8 (61)	154.5 (72)	2.0 (31)
1987	7.7 (64)	9.8 (58)	17.9 (50)	111.8 (76)	86.3 (67)	249.8 (81)	371.1 (76)	161.8 (72)	153.6 (85)	159.7 (78)	27.2 (58)	29.3 (59)
1988	30.5 (58)	0.0 (0)	65.4 (74)	71.4 (70)	116.6 (82)	178.9 (68)	110.1 (75)	193.5 (69)	79.5 (77)	71.0 (64)	14.3 (46)	22.7 (56)
$\bar{X}$	50.5	33.1	47.2	131.4	237.1	247.9	236.3	172.6	132.8	100.5	51.5	18.5
%	(65)	(66)	(69)	(76)	(77)	(78)	(76)	(72)	(74)	(69)	(69)	(63)

dro 5). Este comportamiento se puede atribuir a que las características de intensidad y duración de las precipitaciones son muy diferentes a través del año, como también lo son las condiciones meteorológicas que regulan la evaporación

La intercepción promedio anual de 15.3% en general es inferior a la encontrada por otros autores para plantaciones de *P. radiata* de edades similares en Australia y Nueva Zelandia (16).

Las diferencias son atribuibles al hecho de que la plantación en estudio está ubicada en una zona con una precipitación promedio anual de 2 000 mm. Las lluvias durante el invierno pueden tener una intensidad alta y larga duración, características que hacen disminuir las pérdidas por intercepción (8), mientras que las citadas por Turner y Lambert (16) corresponden, en general, a zonas con una menor precipitación anual

La regresión lineal es la ecuación que representa mejor la relación entre la precipitación anual con la precipitación neta directa y el escurrimiento fustal. Las ecuaciones correspondientes están representadas en la Fig. 1. Todas las ecuaciones muestran coeficientes de regresión altamente significativos ( $P > 0.01$ ). No se encontraron relaciones significativas entre los montos anuales de precipitación y los de intercepción

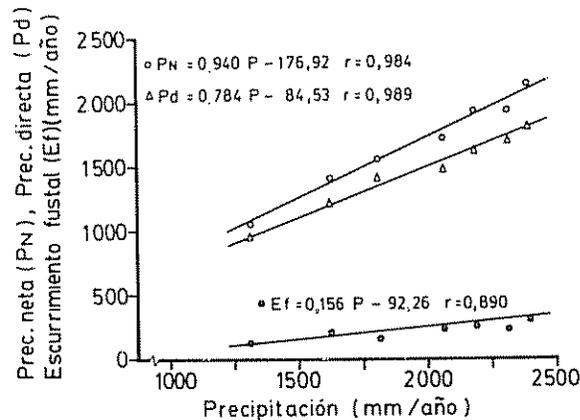


Fig 1 Relación entre los montos anuales de precipitación y la precipitación neta, precipitación directa y escurrimiento fustal.

Las Figs. 2 y 3 muestran los porcentajes de intercepción en función de los montos y de la intensidad de las precipitaciones mensuales, respectivamente. Ambas relaciones son funciones exponenciales negativas, similares a las encontradas por otros autores para

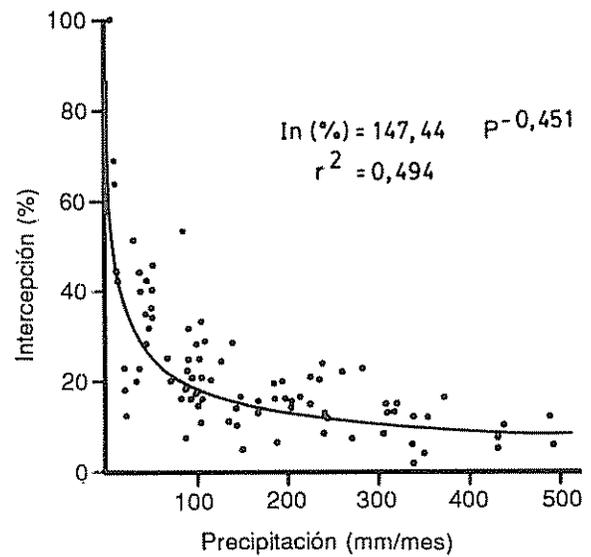


Fig 2 Relación entre los montos mensuales de precipitación (mm) y la intercepción (%)

otros bosques (2, 13). Estos resultados concuerdan con las conclusiones de Huber y Oyarzún (9) quienes encontraron una estrecha relación entre los montos, duración e intensidad de las lluvias individuales y continuas, y los diferentes componentes de la redistribución de las precipitaciones para el mismo bosque.

Cuando los montos de precipitación mensual son inferiores a 25 mm, entonces la intercepción en general, es superior al 30%. Esta proporción tiende a esta-

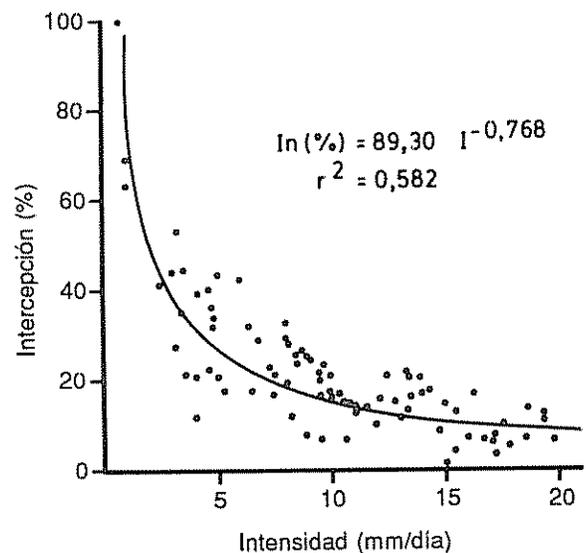


Fig 3 Relación entre la intensidad promedio diario mensual de las precipitaciones (mm) y la intercepción (%)

Cuadro 4. Montos mensuales y promedios mensuales de escurrimiento fustal (mm) y porcentajes con respecto a la precipitación (%).

Año	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
1982	18.0 (13)	8.5 (11)	1.9 (6)	9.6 (11)	72.9 (15)	53.7 (16)	59.1 (14)	45.9 (13)	19.2 (11)	17.6 (9)	2.5 (4)	1.8 (10)
1983	8.0 (9)	0.0 (0)	7.9 (9)	17.7 (11)	16.9 (10)	49.1 (16)	35.4 (15)	19.9 (10)	33.3 (14)	10.5 (12)	1.3 (6)	2.3 (11)
1984	1.7 (4)	6.2 (7)	2.4 (6)	22.8 (15)	41.2 (12)	56.2 (16)	49.8 (13)	6.8 (7)	23.3 (10)	26.9 (12)	0.8 (2)	2.8 (8)
1985	11.1 (10)	3.2 (6)	9.0 (9)	26.3 (11)	64.5 (15)	48.0 (14)	31.1 (12)	20.2 (10)	21.2 (12)	6.5 (7)	10.6 (10)	1.4 (4)
1986	5.7 (7)	14.5 (14)	6.7 (7)	23.9 (8)	53.7 (12)	40.8 (13)	20.7 (9)	34.9 (11)	7.9 (6)	6.4 (6)	21.6 (10)	0.0 (0)
1987	0.0 (0)	0.0 (0)	1.7 (5)	14.3 (10)	11.7 (9)	31.8 (10)	50.9 (11)	15.6 (7)	15.9 (9)	14.2 (7)	2.5 (5)	0.8 (2)
1988	3.8 (7)	0.0 (0)	5.3 (6)	4.5 (4)	15.4 (11)	26.3 (10)	12.1 (8)	22.5 (8)	7.2 (7)	8.3 (8)	0.2 (1)	2.0 (5)
$\bar{X}$ (%)	6.9 (9)	4.6 (9)	5.0 (7)	17.0 (10)	39.5 (13)	43.7 (14)	37.0 (12)	23.7 (10)	18.3 (10)	12.9 (9)	5.6 (8)	1.6 (5)

Cuadro 5. Montos mensuales, promedios mensuales de intercepción (mm) y porcentajes con respecto a la precipitación (%).

Año	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
1982	14.8 (11)	12.8 (16)	6.8 (20)	6.6 (8)	31.2 (6)	22.0 (7)	22.5 (5)	44.9 (13)	36.0 (20)	38.0 (20)	14.7 (21)	3.8 (22)
1983	16.3 (18)	2.6 (63)	15.1 (18)	24.7 (15)	20.4 (12)	10.2 (3)	31.5 (13)	30.7 (16)	19.2 (8)	19.8 (23)	3.8 (19)	2.2 (11)
1984	15.4 (32)	27.8 (32)	17.5 (42)	8.3 (5)	43.3 (12)	14.1 (4)	62.8 (17)	28.8 (29)	47.6 (20)	57.7 (25)	12.6 (35)	9.9 (27)
1985	23.3 (20)	23.3 (43)	16.9 (16)	23.2 (14)	30.9 (7)	5.5 (2)	18.4 (7)	29.5 (14)	30.0 (17)	20.0 (21)	22.6 (22)	7.2 (23)
1986	46.6 (55)	11.0 (10)	22.3 (25)	47.8 (15)	43.5 (10)	46.7 (15)	33.4 (15)	41.8 (13)	39.0 (29)	33.7 (33)	37.4 (17)	4.4 (69)
1987	5.3 (44)	6.8 (41)	16.2 (44)	20.8 (14)	30.5 (24)	26.7 (9)	63.5 (13)	46.5 (21)	11.8 (7)	31.8 (15)	17.1 (36)	19.6 (40)
1988	18.3 (34)	1.7 (100)	17.4 (19)	25.8 (25)	10.7 (8)	57.7 (22)	25.2 (17)	65.4 (23)	16.3 (16)	31.7 (29)	16.5 (53)	16.1 (39)
$\bar{X}$ (%)	20.0 (26)	12.3 (25)	16.0 (24)	23.9 (14)	30.1 (10)	26.1 (8)	36.8 (12)	41.1 (17)	28.6 (16)	33.2 (23)	17.8 (24)	9.0 (31)

bilizarse en un 10% cuando la precipitación mensual supera los 250 mm (Fig 2). Similar tendencia se observa en la Fig 3, que relaciona la intensidad de las precipitaciones con los porcentajes de intercepción. Con intensidades menores a 1 mm/día, la intercepción alcanza porcentajes cercanos al 100%. Montos tan pequeños de lluvia son casi totalmente retenidos por las copas y devueltos a la atmósfera por evaporación. Entre 5 y 15 mm/día la intercepción se reduce a valores entre 10 y 25% y tiende a estabilizarse en un 10% cuando la intensidad es superior a 15 mm/día.

#### CONCLUSIONES

La precipitación directa representa el mayor aporte de agua al suelo. El escurrimiento fustal en *P. radiata* es superior al promedio de otras coníferas; la distribución geométrica de los ganchos, convergentes hacia el tronco en esta especie, es la responsable de los valores altos observados. El escurrimiento fustal tiene una especial importancia porque los aportes de agua llegan directamente a la base del fuste quedando inmediatamente disponibles para su consumo

Las pérdidas por intercepción en relación con los montos de precipitación pueden ser consideradas relativamente pequeñas, en comparación con otras plantaciones de *P. radiata* citadas en la literatura, pero ubicadas en zonas de menor precipitación

Se pueden destacar las variaciones anuales de los valores de la intercepción que fluctuaron para este rodal entre el 11 y 22% de la precipitación anual, lo cual se debe a la distribución temporal y a las características de las lluvias. Es recomendable que los estudios tendientes a determinar el porcentaje de intercepción de un bosque deben hacerse a través de varios años para que sus valores sean representativos.

#### LITERATURA CITADA

1. ALLISON, G.B ; HUGHES, M.W 1972 Comparison of recharge to groundwater under pasture and forest using environmental tritium. *Journal of Hydrology* 17:81
2. CALHEIROS DE MIRANDA, R.A ; BUTLER, D.R 1986. Interception of rainfall in a hedgerow apple orchard. *Journal of Hydrology* 87:245-253.
3. DELFS, J 1955 Die Niederschlagszurückhaltung im Wald. 1955 Mitteilungen des Arbeitskreises Wald und Wasse 2:1-54.
4. FORD, E.D ; DEANS, J.D 1978 The effects of canopy structure on stemflow, throughfall and interception loss in a young *Sitka spruce* plantation. *Journal of Applied Ecology* 15:905-917
5. HAGER, H 1988 Stammzahlreduktion: Die Auswirkung auf wasser-energie und Nährstoffhaushalt von Fichtenjungwüchsen Forstliche Schriftenreihe Wien Universität für Bodenkultur. 278 p.
6. HOLMES, J.W ; COLVILLE, J.S 1970. Grassland hydrology in a karstic region of southern Australia. *Journal of Hydrology* 10:38
7. HOLMES, J.W ; COLVILLE, J.S 1970 Forest hydrology in a karstic region of southern Australia. *Journal of Hydrology* 10:59
8. HUBER, A ; OYARZUN, C 1983 Precipitación neta e intercepción en un bosque adulto de *Pinus radiata* D. Don. *Bosque* 5(1):13-20
9. HUBER, A ; OYARZUN, C 1984 Factores reguladores de la intercepción en un bosque adulto de *Pinus radiata* *Bosque* 5(2):59-64
10. HUBER, A.W ; OYARZUN, C.E.; ELLIES, A. 1985. Balance hídrico en tres plantaciones de *Pinus radiata* y una pradera II: Humedad del suelo y evapotranspiración *Bosque* 6(2):74-82
11. LEE, R 1980 *Forest Hydrology*. New York. Columbia University Press 349 p.
12. OYARZUN, C.E ; HUBER, A.W ; VASQUEZ, S.G 1985. Balance hídrico en tres plantaciones de *Pinus radiata*. I: Redistribución de las precipitaciones *Bosque* 6(1):3-14.
13. RAPP, M ; IBRAHIM, M. 1978. Egouttement, écoulement et interception des précipitations par un peuplement de *Pinus pinea* L. *Ecologia Plantarum* 13(4):321-330.
14. RIVERA, R.; CRUZ, M.E. 1983 Cambios ecológicos y de poblamiento en el sector forestal chileno. Primer Encuentro Científico sobre el Medio Ambiente Chileno Versiones abreviadas 1:20-24.
15. SMITH, M.K ; WATSON, K.K ; PILGRIM, D.H 1974. A comparative study of the hydrology of radiata pine and eucalypt forests at Lidsdale, New South Wales *Trans IE (Aust.) CE* 16:82.
16. TURNER, J ; LAMBERTI, M.J 1987 Forest water usage and interactions with nutrition of *Pinus radiata* *Ecologia Plantarum* 22(1):37-43.

# Changes in Inorganic Composition of Cocoa Cotyledons During Germination Under Different Nursery Shade Conditions<sup>1</sup>

O.A. Ogunmoyela\*, E.B. Esan\*\*

## ABSTRACT

The dynamics of inorganic constituents of three cocoa (*Theobroma cacao* L.) seed cultivars during germination under eight different nursery shade materials was investigated. Variations were observed in the environments provided by each of these shade materials which appeared to affect the metabolism of these constituents with elephant grass (*Pennisetum purpureum*) shade providing the most comparable conditions to oil palm frond shade. Statistical differences among cocoa seed cultivars in the residual contents of all the inorganic constituents in the abscised cotyledons were significant, while shade effects were also significant but only for the micronutrient constituents. Cultivar – shade interaction effects were also significant. Relative to the initial composition of the cocoa seeds, levels of Mg, Ca, Zn, Mn and Fe in the abscised cotyledons increased while levels of P, K and Cu decreased. From the results, it is suggested that the cotyledon is not the only source of inorganic nutrients for the seedling during germination as these nutrients may be supplemented from soil solutes. The results also show that the seedling may have a higher requirement and therefore greater absorption capacity for Mg, Ca, Zn, Mn and Fe. In addition, elephant grass, commonly known as Naphier fodder, is suggested as an adequate replacement for the increasingly cost-prohibitive oil palm fronds in cocoa nursery shading.

## COMPENDIO

Se investigó la dinámica de los elementos inorgánicos en tres cultivares de semillas de cacao (*Theobroma cacao* L.) durante su germinación en vivero y a la sombra de ocho diferentes plantas. Se observaron variaciones en el ambiente propiciado por cada una de estas plantas, el cual parece afectar el metabolismo de dichos elementos. La sombra arrojada por el "pasto elefante" (*Pennisetum purpureum*) determina condiciones similares a las existentes bajo la sombra de las hojas de palma aceitera. Fueron significativas las diferencias estadísticas entre los cultivares de semillas de cacao con respecto a los contenidos residuales de todos los elementos inorgánicos, en los cotiledones cortados por abscisión; mientras que los efectos producidos por la sombra también fueron significativos, pero sólo para los micronutrientes. También fueron importantes los efectos de la interacción entre la sombra y el cultivar. En comparación con la composición inicial de las semillas de cacao, aumentaron los niveles de Mg, Ca, Zn, Mn y Fe en los cotiledones cortados por abscisión; mientras que disminuyeron los niveles de P, K y cobre. Con base en los resultados se indica que el cotiledón no es la única fuente de nutrientes inorgánicos para la plántula durante la etapa de germinación, ya que ellos pueden también derivarse de los solutos del suelo. Los resultados también muestran que la mayor capacidad para absorber Mg, Ca, Zn, Mn y Fe puede ser atribuida a un requerimiento mayor de los mismos por parte de la plántula. Además, porque resulta altamente costoso usar la palma aceitera para propiciar sombra en los viveros de cacao, se recomienda el empleo del "pasto elefante" como una alternativa adecuada.

## INTRODUCTION

**T**heobroma cacao L. seeds exhibit the epigeous type of germination. Apart from the effect of the prevailing environment, its seedling establishment ability is largely dependent on the physiological activities and the genotype of the cotyledons. Yet relatively little is known about the changes in composition of the cocoa cotyledons during germina-

tion. Olofinboba (10) showed that the removal of the cotyledon before the formation of four fully expanded leaves results in growth retardation of the seedling, thus indicating its indispensable role as a food reserve organ. More recently, Ogunmoyela and Esan (11) showed that lipids, carbohydrates and proteins represent the three main classes of organic nutrients substantially lost from the cocoa cotyledon during the germination process and that definite cultivar differences exist in the metabolism of basic nutrients, modified by some weather components, namely, temperature, light intensity and relative humidity.

However, the metabolism of inorganic constituents of the cocoa cotyledon during germination is not yet reported. Studies by Krieg and Bartee (8) with cotton

<sup>1</sup> Received for publication 10 October 1988

We thank the Director, Cocoa Research Institute of Nigeria for permission to publish this paper; and Messrs P.A. Akinrinade and O.I. Adegbola for their contributions to the work.

\* Department of Food Technology, University of Agriculture, PMB 2240, Abeokuta, Nigeria

\*\* Cocoa Research Institute of Nigeria, Headquarters, PMB 5244, Ibadan, Nigeria.

seeds have shown that substantial losses of inorganic constituents which are influenced by temperature and cultivar differences occur during germination. Krieg and Carroll (9) also observed that the transfer of mineral nutrients K, Ca, Mg and P from the cotton seed cotyledon to the seedling axis varied according to cultivar and temperature, with no apparent correlation with seedling growth.

According to Olofinboba (10), cocoa cotyledons are not carbon-dioxide fixing organs. However, their ability to photosynthesize is no longer in doubt from more recent observations. *In vivo* vegetative propagation of cocoa requires a photosynthetic site, specifically the leaf (17). However *in vitro*, the photosynthetic requirements can be met by other sources. Using tissue culture techniques Esan (3) reported that the detached cocoa cotyledon which is a vegetative organ, has been made to root both *in vitro* and *in vivo*. More recently, he also showed (4) that rooting was significantly superior under light conditions than in dark and that this observed enhancement of rooting ability by the light effect is a clear indication of the photosynthetic capability of the cocoa cotyledon.

In addition to the organic materials produced during photosynthesis, plant cells require a wide variety of inorganic elements for structural purposes (e.g. Ca, P, Mg) as well as for specific enzymic reactions which regulate cell metabolic processes (e.g. K, Mg, Fe, Cu, Zn, Mn, Mo). Plant cotyledons often contain sufficient stored quantities of some of these inorganic elements to eliminate the necessity of external sources. According to Galston (5), if the cotyledons of large-seeded plants like garden bean are removed, requirements of essential inorganics can be met through uptake from soil nutrients by the growing seedling. However, plants have the partial ability to select the rate at which they absorb various ions, hence absorption is usually not in direct proportion to nutrient availability (13). Hitherto, the dynamics of the inorganics of cocoa cotyledons have not been reported. Yet it must be noted that the relative changes in the total composition (organic and inorganic) of the cocoa cotyledons, from pre-germination to the post-abscission stage under specified nursery conditions, may be useful for characterising and thus formulating an empirical index for identifying cocoa populations or cultivars. Similar indices have been shown to be reliable criteria for estimating and selecting outstanding cultivars in cocoa and other plants cultivated for their seeds, e.g. pod value (15); pod index (2); and seed density (16).

The present study was therefore conducted to examine the changes in inorganic constituents of the cocoa cotyledon during pre-germination and post-

abscission stages, with the aim of establishing the dynamics of these constituents during the germination process. The possibility of formulating an empirical index for identifying cocoa populations or cultivars from the information thus obtained is also examined. The influence of nursery shade regimes on the exhaustion of these cotyledon inorganics (P, K, Ca, Mg, Cu, Fe, Mn and Zn) is also discussed.

#### MATERIALS AND METHODS

Cocoa beans used in this investigation were selected from bulk populations of the three cultivars, F3 Amazon, Amelonado and CRIN hybrid. The beans were extracted from ripe, healthy and freshly harvested pods of each population and the mucilage immediately removed by rubbing with dry sawdust. Shade materials used were carefully selected after a survey of commonly available materials.

Selection was based primarily on cost and durability. Thus, eight different shade materials were used. These were from raphia fronds (RF), oil palm (*Elaeis guineensis*) fronds (O-PF), elephant grass (*P. purpureum*) (EG), frosty polyethylene sheets of 2.33 mm thickness (FP), blue polyethylene sheets of 1.00 mm thickness (BP), green nylon netting of 2.00 mm perforation (GN), rainbow polyethylene sheets of 1.00 mm thickness (RP) and direct sunlight as control (UNSH). Daily readings of some weather components, such as temperature, relative light intensity and relative humidity, under the different shade materials, were taken throughout the experimental period and from which arithmetic averages were obtained. Nursery aspects of this investigation are as discussed by Ogunmoyela and Esan (11).

Samples of the fresh, mucilage-free cocoa beans, as well as those of the abscised cotyledons from each of three replications of the three cultivar populations under the different shade regimes, were oven-dried to constant weight at 65 °C and stored in stoppered glass sample bottles.

Analyses of the fresh cocoa beans from the three cultivar populations were replicated three times while those of abscised cotyledons from cultivar shade interaction were replicated only twice due to limited sample size. Arithmetic averages were statistically analysed using the analysis of variance technique (1).

One gram sample in each case was carefully weighed and after removal of organic material by dry-ashing using the procedure described by Osborne and Voogt (12) contents of Ca, K, Mg, Cu, Fe, Mn and Zn were determined with the Hitachi Atomic Absorption Spectrophotometer at the appropriate wavelengths of

each of these elements P was determined using the colorimetric molybdophosphate-ascorbic acid method on the Technicon auto-analyser with the same ash extracts.

### RESULTS AND DISCUSSION

Table 1 lists the average readings obtained over the experimental period for the weather components (temperature, relative light intensity and relative humidity), under the different shade materials.

Wide variations are observed in the temperature conditions under the different shades. FP shade provided the highest average temperature reading of 40.8 °C compared to 24.5 °C and 24.7 °C under O-PF and EG shades respectively. The light intensity was also found to be lowest under O-PF shade (25.61 %) and EG shade (30.76 %) compared to the unshaded (100 %). Oil palm fronds have long been established as an adequate shading material for cocoa in the nursery (7). However, since the cost of oil palm fronds is becoming highly prohibitive to small-scale

Table 1. Average readings of weather components obtained under different shade material.

Weather component	Nursery shade materials							
	Oilpalm-F (O-PF)	Rainbow-P (RP)	G-Netting (GN)	Raphia-F (RF)	Blue-P (BP)	E-Grass (EG)	Frosty-P (FP)	Unshaded (UNSH)
Temperature* (°C)	24.50	30.30	34.40	28.60	29.80	24.70	40.80	35.80
Rel. light intensity (%)**	25.61	55.38	61.53	55.38	46.15	30.76	69.23	100.00
Rel. humidity (%)***	60.20	65.40	50.80	55.80	65.70	60.30	65.50	50.50

\* Temperature obtained using a mercury-in-glass thermometer

\*\* Light intensity readings determined using the AMI SAV -A- PLANT II portable lightmeter.

\*\*\* Records obtained using Fisher's Hair-Hygrometer

farmers, primarily due to the difficulty in obtaining them, the use of elephant grass, a cheap, readily available weed material in most cocoa-growing areas, appears an adequate substitute for oil palm fronds in nursery shading. Usually about 4-8 m high and with bamboo-like stems often growing to 2.5 cm in diameter, its ready propagation from roots, seeds or stem cuttings (14) ensures availability in significant quantities all year round and with little labour costs compared to oil palm fronds. Table 2 outlines the inorganic components of fresh cocoa seeds analysed.

The data show very low levels of Ca (0.042-0.099 %) relative to other macro-nutrients (0.16-0.17 % Mg; 0.39-0.41 % K and 0.44-0.45 % P). This is in agreement with the results of Lockhard and Burrige (6) who reported mean values of 0.08 % Ca, compared to 2.43 % N, 0.46 % P, 0.85 % K and 0.16 % Mg, from analyses of Ghana cocoa beans. Intercultivar differences for Ca are significant ( $P < 0.05$ ) but not for other nutrients. Values of Mn and Cu in the cocoa seeds also compare with mean values of 28 ppm Mn and 19 ppm Cu reported by Lockhard

Table 2. Inorganic composition of cocoa beans of different cultivars. (Means of three replicate values are presented).

Cultivar	Inorganic nutrient							
	Mg (%)	Ca (%)	P (%)	K (%)	Mn (ppm)	Zn (ppm)	Cu (ppm)	Fe (ppm)
F3 Amazon	0.17	0.042	0.45	0.39	21	98	40	119
Crin hybrid	0.16	0.099	0.44	0.41	12	115	37	121
Amelonado	0.16	0.080	0.45	0.41	19	122	39	185

and Burrige (6) while Zn and Fe values of 54 ppm and 28 ppm respectively reported by the same workers are much lower than those obtained here. Table 3 lists the mean values of two replications for the inorganic nutrient composition of the abscised cotyledons of the different cocoa cultivars under the different shade conditions.

When the mean square estimates for each of these inorganics (Table 4) are examined, cultivar differences are found to be highly significant ( $P < 0.001$ ). However, while no significant differences are observed for the shade effect on macro-nutrients, the shade effect is highly significant for micronutrients. Cultivar shade interaction effects are also significant ( $P < 0.01$ ).

Table 3. Mean values (two replications) of inorganic nutrients in the abscised cotyledons of different cocoa cultivars under different shade conditions.

		Olipalm-F (O-PF)	Rainbow-P (RP)	G-Netting (GN)	Raphia-F (RF)	Blue-P (BP)	E-Grass (EG)	Frosty-P (FP)	Unshaded UNSH	S.E. (MEAN)
F3 Amazon	Mg	0.50	0.22	0.21	0.22	0.32	0.38	0.22	0.33	0.03
	Ca	0.23	0.68	0.13	0.14	0.36	0.15	0.28	0.17	0.04
	P	0.39	0.39	0.42	0.40	0.38	0.42	0.44	0.32	0.01
	K	0.32	0.28	0.26	0.22	0.34	0.39	0.20	0.32	0.02
	Mn	93	66	68	99	94	91	88	94	3.02
	Zn	158	200	175	190	163	182	228	161	5.72
	Cu	28	14	12	28	14	23	28	12	1.82
	Fe	98	95	101	74	94	102	109	101	2.48
Crim hybrid	Mg	0.36	0.22	0.20	0.21	0.28	0.23	0.22	0.36	0.02
	Ca	0.15	0.65	0.12	0.12	0.24	0.10	0.87	0.46	0.07
	P	0.48	0.44	0.44	0.42	0.44	0.50	0.42	0.32	0.01
	K	0.33	0.21	0.28	0.25	0.32	0.39	0.42	0.40	0.02
	Mn	99	60	50	59	89	89	89	97	4.67
	Zn	165	191	163	181	174	174	197	169	2.93
	Cu	19	8	19	24	25	24	22	19	1.66
	Fe	95	106	107	105	93	108	97	107	1.48
Amelonado	Mg	0.34	0.22	0.21	0.22	0.40	0.25	0.22	0.29	0.02
	Ca	0.10	0.45	0.12	0.12	0.31	0.13	0.54	0.08	0.04
	P	0.38	0.37	0.36	0.41	0.35	0.39	0.45	0.31	0.01
	K	0.30	0.20	0.30	0.34	0.20	0.34	0.20	0.33	0.01
	Mn	91	58	55	72	92	94	74	89	3.78
	Zn	173	174	165	178	165	188	206	156	3.76
	Cu	32	7	6	13	15	26	9	9	2.29
	Fe	103	76	119	111	90	119	123	93	4.04

for both macronutrients ( $P < 0.01$ ) and micronutrients ( $P < 0.001$ ).

When the initial inorganic composition of the cocoa seed is compared to the composition of the abscised cotyledon, differences are found to exist in the contents of specific inorganic nutrients. While Mg, Ca, Zn, Fe and Mn increased in the abscised cotyledons relative to the cocoa seeds, P, K and Cu decreased. It appears from these observations that cocoa seed cotyledons normally contain sufficient stored quantities of P, K and Cu which are depleted during the germination process, and for which the need for absorption from soil solutes probably does not arise. On the other hand, the increase in the nutrients Mg, Ca, Zn, Fe and Mn appears to suggest that these are absorbed

from the soil solutes, presumably as a result of the insufficiency of cotyledon reserves in meeting the requirements of the germinating seedling for these nutrients. According to Salisbury and Ross (13), plants have a partial ability to select the rate at which they absorb various ions from soil solutes. It is thus possible that these nutrients are absorbed more rapidly from the soil solutes than they are utilized in the metabolic activities of the germinating seedling compared to those nutrients for which decreases are recorded.

Table 5 shows the coefficients of relationship between the inorganics of fresh cocoa seeds and the abscised cotyledons. Highly significant ( $P < 0.01$ ) but inverse relationships are obtained between seed

Table 4. Mean square estimates of inorganic nutrients from analysis of variance.

Source of variation	df	Inorganic nutrient							
		Mg (%)	Ca (%)	P (%)	K (%)	Mn (ppm)	Zn (ppm)	Cu (ppm)	Fe (ppm)
Cultivars	2	*** 1 53	*** 1 62	*** 3 24	*** 1 82	*** 132 497 6	*** 670 249 3	*** 6 801 3	*** 204 678 6
Shades	7	n.s. 0 15	n.s. 0 12	n.s. 0 34	n.s. 0 19	*** 13 904 0	*** 474 097 7	*** 577 4	*** 19 899 9
Cultivar x shade interaction	14	** 0 26	** 0 28	** 0 54	** 0 30	*** 11 138 3	*** 141 244 5	*** 640 7	*** 18 022 3
Error	23	0 07	0 07	0 15	0 08	510 0	2 387 3	25 7	771 6

\*\* P &lt; 0.01.

\*\*\* P &lt; 0.001.

n.s. = non significant.

contents and abscised cotyledon contents of Ca/Mg, P/K, K/Mn, Zn/Zn and Fe/Cu respectively, while the relationships for the relative contents of Mg/Mn, Zn/Fe and Cu/Mn, were positively significant ( $P < 0.01$ ).

It appears from the foregoing that both the micro- and macronutrients are supplementarily absorbed, though selectively and at different rates from soil solutes, although the requirement for Mg, Ca, Zn and Mn appears much higher at this stage and thus necessitates higher absorption of these ions from the soil solutes. This variability in nutrient requirements for seedling growth is not uncommon in plant nutrition

since certain inorganics are required in larger or smaller quantities at different stages of plant growth.

Although significant intercultivar differences ( $P < 0.001$ ) are found between the levels of the inorganics in the abscised cotyledons (Table 4), the dynamics of these constituents during the germination process appear to follow the same trend for all the cultivars. These differences do not therefore give any clear indication of the possibility of using variations in inorganic composition between the cultivars as a basis for characterising the cultivars. Thus, variations in proximate constituents of the abscised cotyledons (especially lipids, protein and nitrogen-free extract values) provide a more useful guide for the identification of bulk populations of cocoa cultivars.

Table 5. Coefficients of relationship (r) between micronutrient levels in fresh cocoa seed nibs and the abscised cotyledons.

	Abscised Cocoa Cotyledons								
	Mg	Ca	P	K	Mn	Zn	Cu	Fe	
Cocoa seed nib	Mg	0.98	-0.18	-0.21	-0.42	0.99	0.98	0.48	-0.97
	Ca	-0.99	0.38	0.51	0.69	-0.91	-0.88	-0.17	0.83
	P	0.67	-0.94	-0.95	-0.99	0.42	0.35	-0.52	-0.26
	K	-0.97	0.18	0.20	0.42	0.99	-0.98	-0.48	0.97
	Mn	0.81	-0.85	-0.86	-0.95	0.60	0.54	-0.32	-0.46
	Zn	0.72	-0.10	-0.08	0.14	-0.98	-0.99	-0.71	-0.99
	Cu	0.88	-0.78	-0.79	-0.91	0.99	0.64	-0.21	-0.56
	Fe	-0.33	-0.74	-0.73	-0.55	-0.60	-0.65	-0.99	0.72

## LITERATURE CITED

1. BROWNLEE, K A 1957. Industrial experimentation 4 e London, HMSO 194 p
2. CHEESMAN, E.E.; POUND, F J 1934 Further studies on criteria of selection in cacao. Imperial College of Tropical Agriculture Annual Report on Cacao Research 3:21-24
3. ESAN, E B 1977 *In vitro* studies on morphogenesis and plant regeneration in tissue cultures of Cacao and Herrania species: A progress report In International Cocoa Research Conference (8, 1977, Cartagena, Col). Proceedings Cartagena, Col p 245-252
4. ESAN, E.B 1983 Rhizogenesis in detached cotyledons of *Theobroma cacao* L in the nursery In Annual Report of Cocoa Research Institute Ibadan, CRIN Library
5. GALSTON, A W 1961 The life of the green plant. 2 ed New York, Prentice Hall P 49-52 (Foundations of Modern Biology Series)
6. LOCKHARD, R G ; BURRIDGL, J C. 1965. The levels of macro and micronutrients in the beans of Cacao (*Theobroma cacao* L) in relation to shade, fertilizer, irrigation and season. Annals of Botany 29(115):377-382
7. LONGWORTH, J F 1960 Agronomy: nursery experiments In Annual Report of West African Cocoa Research Institute p 76-77
8. KRIEG, D R ; BARTEE, S N 1975. Cottonseed density; associated germination and seedling emergence properties Agronomy Journal 67:343-347
9. KRIEG, D R.; CARROLL, J.D 1978 Cotton seedling metabolism as influenced by germination, temperature, cultivar and seed physical properties Agronomy Journal 70(2):21-25
10. OLOI INBOBA, M O 1975 Studies on seedlings of *Theobroma cacao* L variety F3 Amazon. I Role of cotyledons in seedling development. Turrialba 25(2):121-127
11. OGUNMOYELA, O A ; ESAN, E B. 1984 Influence of nursery shade regimes on cotyledon exhaustion of cocoa (*Theobroma cacao* L): Changes in basic constituents during germination. In International Cocoa Research Conference (9, Lome, Togo) Proceedings Lome, Togo (In press)
12. OSBORNE, D R ; VOOGT, P 1978 The analysis of nutrients in food London, Academic Press p 165-182
13. SALISBURY, F.B.; ROSS, C. 1969 Plant physiology Belmont, Wadsworth
14. STANFIELD, D P 1970. The flora of Nigerian grasses Ibadan University Press, p 76
15. TOXOPEUS, H ; JACOB, V J. 1970. Studies on pod and bean values of *Theobroma cacao* L. in Nigeria II Number of beans per pod with special reference to the natural pollination process. Netherlands Journal of Agricultural Science 18(3):188
16. TUPPER, G R ; CLARK, L E ; KUNZE, O R 1970 The measurement of certain physical characteristics related to rapid germination and seedling vigour in cotton seed Proceedings of Ass Off Seed Analysts 60:138-148
17. WOOD, G A R 1975 Cocoa 3 ed London, Longman.

# Metabolismo del Nitrógeno en *Phaseolus vulgaris* L. Bajo Déficit Hídrico<sup>1</sup>

M. Castrillo\*, D. Fernández\*, P. Fernández\*, B. Molina\*, A. Kazandjian\*

## ABSTRACT

Twelve-day-old bean plants cv. Tacarigua were under water deficit. Decreasing water potential and relative water content were observed. Water deficit resulted in a sudden decrease in nitrate reductase activity and fluctuations in ammonium content. Protein content showed a 56 per cent decrease followed by a 74 per cent increase. Under moderate water deficit, an initial protein degradation appeared to take place, followed by protein synthesis at the expense of accumulated reduced nitrogen. Leaf protein is probably being used as a source of reduced nitrogen for new protein synthesis.

## COMPENDIO

Plantas de frijol ("caraota") con doce días de edad de la variedad Tacarigua fueron sometidas a déficit hídrico. Se observó una disminución en los valores del potencial hídrico y el contenido relativo de agua. El drástico descenso en la actividad nitrato-reductasa fue detectado al comienzo del déficit hídrico. El contenido de amonio se mantuvo en altos niveles, mostrando fluctuaciones. En los valores del contenido de proteínas se observó una disminución de un 56 % seguida por un incremento del 74 por ciento. Estos resultados podrían sugerir que, en condiciones de déficit hídrico moderado, se produce una inicial degradación de proteínas seguida por una síntesis proteica a expensas del nitrógeno reducido acumulado. Probablemente las proteínas foliares sirven como fuente de nitrógeno reducido para la síntesis de nuevas proteínas.

## INTRODUCCION

Un aspecto importante del metabolismo para el desarrollo de las plantas, es la capacidad de sintetizar proteínas estructurales y enzimas para el reemplazo y recambio. La mayoría de la literatura indica que el déficit hídrico induce una disminución en la síntesis de proteínas (8, 14), ya que en plantas sometidas a déficit hídrico —remolacha y trigo (14), frijoles y avena (8)—, se observa una reducida relación proteína-aminoácido. Hsiao (14) informa que en hojas de maíz en expansión, la población de polisomas es reducida a causa de un desacoplamiento de las unidades ribosomales de ANRm. Otros investigadores señalan la posibilidad de establecer una relación entre la capacidad de los tejidos para conservar los polirribosomas bajo déficit hídrico y su resistencia a la sequía (6)

Hanson y Hitz (12) indican que la degradación de proteínas durante el estrés hídrico asegura una fuente

de nitrógeno necesaria para la supervivencia de la planta. Asimismo, Dhindsa y Cleland (8) sugieren que el estrés hídrico causa en coleóptilos de avena una diferencial inhibición en la síntesis de proteínas, obteniéndose también niveles diferenciales de enzimas.

Por otra parte, la disminución de la actividad nitrato reductasa (ANR) por efecto del déficit hídrico ha sido reportada por varios autores (16, 26, 3, 15, 2, 24, 4). Se ha discutido la razón de la disminución de la ANR en hojas, por efecto del déficit hídrico, planteándose varias alternativas: pérdida de la actividad enzimática debido a un decrecimiento de  $\text{NO}_3^-$  en el flujo del xilema que llega al "pool" metabólico, asociado con la regulación de nitrato reductasa (NR) (20, 21); una menor tasa de síntesis de la enzima y/o aumento en la tasa de degradación de la enzima

De acuerdo con lo anteriormente expuesto, puede inferirse que el déficit hídrico influencia de manera notable, secuencial y diferencial el metabolismo de nitrógeno en la planta.

El presente trabajo pretende evaluar el efecto del déficit hídrico moderado sobre la ANR, el contenido de proteínas y de amonio en plantas de frijol, *Phaseolus vulgaris* var Tacarigua

<sup>1</sup> Recibido para publicación el 26 de enero de 1989  
Agradecimiento al Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Tecnológicas (CONICIT) a través del Proyecto S1-1325 y al Decanato de Investigaciones de la Universidad "Simón Bolívar" por el soporte financiero

\* Departamento de Biología de Organismos, Universidad Simón Bolívar. Apdo Postal 89000, Caracas 1080 A, Venezuela.

## MATERIALES Y METODOS

## Material vegetal

Ciento cincuenta semillas de frijol de la variedad Tacarigua fueron germinadas en bandejas con papel secante. Siete días después las plántulas fueron transplantadas a potes de tres litros (una planta por pote) que contenía una mezcla de tierra-turba-arena (1-1-1) esterilizada en estufa a 120 °C por 24 horas. Las plantas fueron regadas regularmente y abonadas semanalmente con una solución de Nitroplant 11-18-20, 100 ml de concentración aproximada al 1.5 g/l suplementado con KNO<sub>3</sub> un gramo por litro.

Cuando las plántulas tenían 12 días de edad, el riego les fue suspendido a cincuenta de ellas (SR), mientras que el resto se le continuó regando (CR) (control). En una muestra de cinco plantas (réplicas), se midió el potencial hídrico, contenido relativo de agua, ANR, proteínas y amonio. Las mediciones fueron realizadas a los 0.6 y 12 días después de suspender el riego en el tratamiento correspondiente. Para la primera medición se usaron hojas primarias, y en las siguientes se empleó la primera hoja trifoliada.

Potencial hídrico ( $Y_w$ ) y contenido relativo de agua (CRA)

Las mediciones de estos parámetros del estado hídrico foliar fueron realizadas al amanecer. El potencial hídrico se midió en discos de hojas, previa equilibración en una cámara C-52 (Wescor) unida a un microvoltímetro de punto de rocío (Wescor). El CRA se determinó usando el método de Turner (22).

## Actividad Nitrato Reductasa (EC 1.6.6.1), (ANR)

Se siguió el método reportado por Guerrero (11). Se pesaron 0.2 g de hojas frescas en un cuadrado de 4 mm<sup>2</sup>, añadiéndose al medio de incubación, que contenía: buffer fosfato pH 7.7, 0.1 M; KNO<sub>3</sub> e isopropanol 1% (v/v). La mezcla fue burbujeada con argón, mantenida en oscuridad a 30 °C, tomando alícuotas de 0.5 ml a 0, 10 y 30 minutos para la determinación de nitritos.

## Estimación de proteínas

Las proteínas fueron extraídas en buffer fosfato 0.1 M pH 7.7 y precipitadas con ácido tricloroacético al 15%, midiendo su contenido por el método de Bradford (7).

## Determinación del amonio

Para la digestión de las muestras secas se empleó el método de Alder y Wilcox (1), utilizándose el mé-

todo reportado por Nelson (18) para la determinación de amonio en las muestras digeridas.

## RESULTADOS Y DISCUSION

En las Figs. 1 y 2 se muestran los valores medidos de CRA y  $Y_w$  en las hojas de plantas sin riego (SR) y con riego (CR) (control), observándose una disminución de estos parámetros del estado hídrico foliar en las plantas (SR) a lo largo del período de medición.

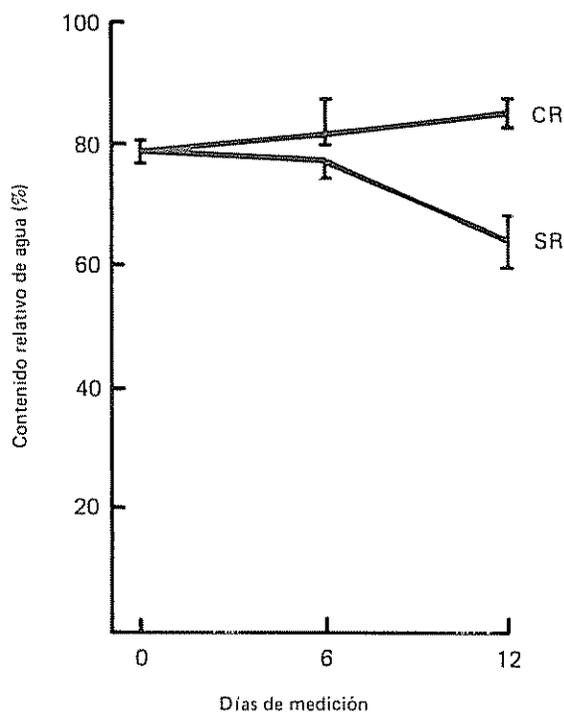


Fig. 1. Contenido relativo de agua (%) en hojas de plantas de *Phaseolus vulgaris* L. var. Tacarigua sometidas a déficit hídrico (sin riego, SR) y controles (con riego, CR) durante el período de medición. Cada punto representa el promedio de cinco mediciones; las barras verticales muestran la desviación estándar.

La Fig. 3 muestra la ANR foliar expresada como porcentaje del control (CR) (moles NO<sub>2</sub><sup>-</sup>·kg<sup>-1</sup>·h<sup>-1</sup>) durante el período de medición. Las plantas sin riego (SR) muestran una notable disminución de ANR. Seis días después de suspender el riego ( $Y_w = -0.925$  MPa, CRA = 77%) (Figs. 1 y 2), la ANR es severamente reducida (40% de actividad respecto del control, CR) (Fig. 3), debido a la disminución de nitratos en el flujo del xilema (20, 21). Doce días después de la suspensión del riego ( $Y_w = -2.0$  MPa, CRA = 66%) la ANR disminuye al 8% respecto del control (CR)

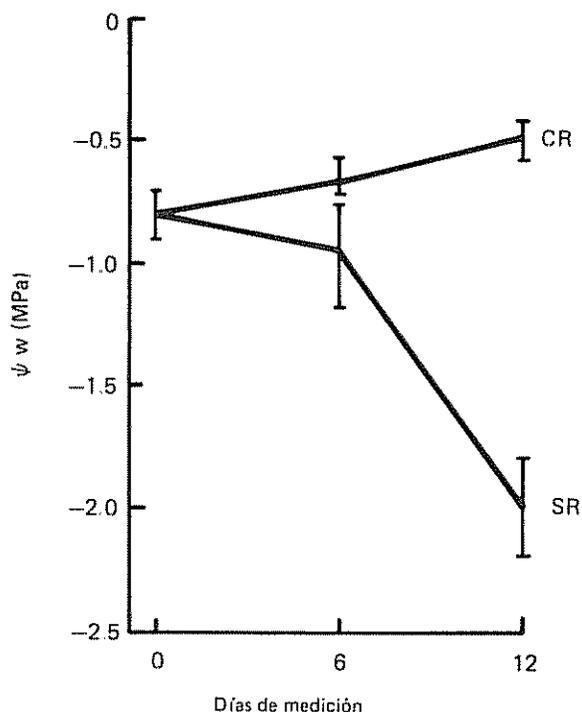


Fig. 2. Potencial hídrico (MPa) en hojas de plantas de *Phaseolus vulgaris* L. var. Tacarigua sometidas a déficit hídrico (sin riego, SR) y controles (con riego, CR) durante el período de medición. Cada punto representa el promedio de cinco mediciones; las barras verticales muestran la desviación estándar

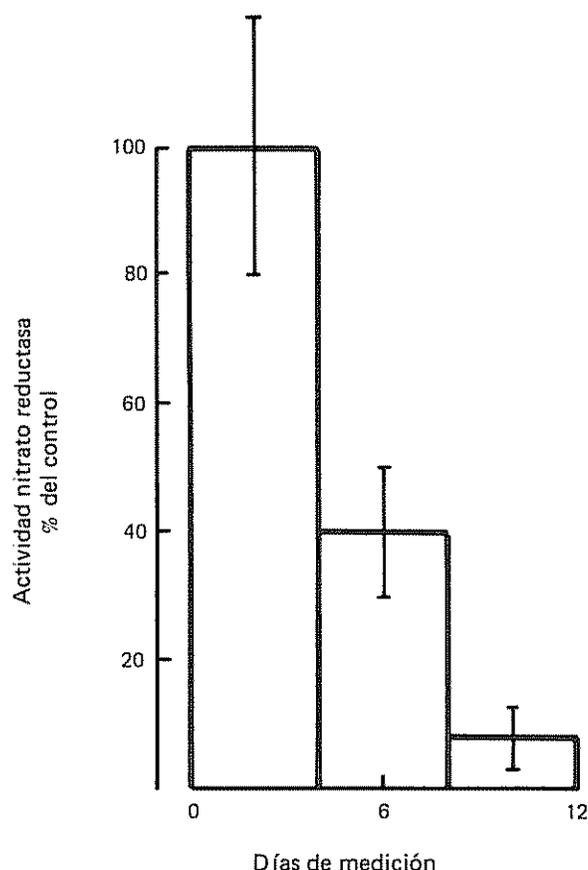


Fig. 3. Actividad nitrato reductasa foliar en plantas de *Phaseolus vulgaris* L. var. Tacarigua sometidas a déficit hídrico (sin riego, SR), expresada como porcentaje respecto a los valores obtenidos en plantas controles (con riego, CR), durante el período de medición. Se muestran los promedios de cinco réplicas analizadas en cada día de medición; las barras verticales muestran la desviación estándar.

(Fig. 3). Es ampliamente conocido, que esta enzima es inducida por su sustrato ( $\text{NO}_3^-$ ) (25); pudiendo ser la poca disponibilidad de nitratos, la causa de la drástica disminución de ANR observada en el presente trabajo.

Los valores del contenido de amonio expresados como porcentaje del control ( $\text{g/kg}^{-1}\text{PS}$ ), presentan fluctuaciones no acentuadas (Fig. 4), siguiendo una tendencia diferente a la presentada en la Fig. 3 para la ANR. El contenido de proteínas foliares expresado como porcentaje del control ( $\text{g/kg}^{-1}\text{PS}$ ) se muestra en la Fig. 5, observándose fluctuaciones acentuadas, disminución del 56 % respecto de las plantas de control (CR) para el sexto día sin riego seguida de un incremento al 74 % en cuanto al control

Los valores del contenido de amonio obtenidos en hojas de plantas bajo déficit hídrico moderado, muestran valores altos y pequeñas fluctuaciones (Fig. 4). Al respecto ha sido reportada una acumulación de formas reducidas de nitrógeno (12), en plantas sometidas al estrés hídrico. Las evidencias sustentan la idea de que la falta de agua disminuye a gran escala el su-

plemento de  $\text{NO}_3^-$  en la planta por absorción de la raíz; entonces el nitrógeno reducido encontrado en las plantas bajo déficit hídrico puede provenir de otras vías metabólicas que no son del "pool" interno de nitrato, procedente del flujo del xilema, lo cual explica los altos valores obtenidos en este trabajo.

La síntesis proteica puede inicialmente inhibirse en forma reversible en tejidos jóvenes bajo déficit hídrico, lo cual ha sido asociado con un desarreglo de los polisomas (5, 17, 19).

Lo arriba expuesto concuerda con los actuales resultados, donde se observa una marcada reducción y un incremento posterior en el contenido de proteínas en hojas de plantas bajo déficit hídrico, que pudiera ser interpretado como una inicial degradación de pro-

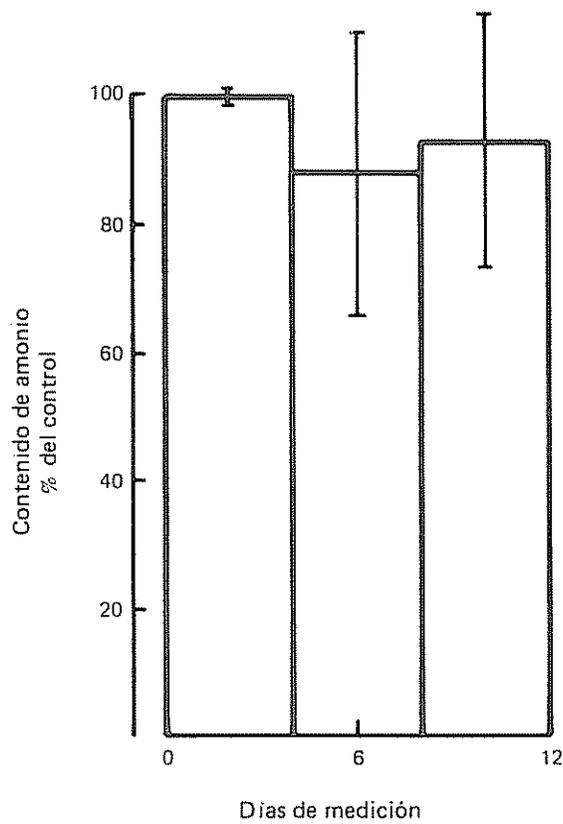


Fig. 4. Contenido de amonio foliar en plantas de *Phaseolus vulgaris* L. var Tacarigua sometidas a déficit hídrico (sin riego, SR) expresado como porcentaje respecto a los valores obtenidos en plantas controles (con riego, CR), durante el periodo de medición. Se muestran los promedios de cinco réplicas analizadas en cada día de medición; las barras verticales muestran la desviación estándar.

teínas, sustentada por los valores del contenido de amonio y una posterior síntesis a expensas del amonio acumulado, evidenciando un reajuste en el metabolismo del nitrógeno en condiciones de déficit hídrico moderado, nivel al cual la ANR es severamente reducida (Fig. 3). Dungey y Davies (9) plantean que la degradación de proteínas puede tomar lugar bajo déficit hídrico. Nuevas proteínas sintetizadas, cambios cualitativos y cuantitativos en el patrón de aquellas bajo estrés hídrico han sido reportados (13, 23).

Los resultados logrados en este trabajo muestran una disminución drástica de la ANR a consecuencia de la merma de nitratos procedentes del flujo del xilema; una inicial disminución del contenido de proteínas causada por degradación, lo cual es mantenido por los altos valores del contenido de amonio logrados y un subsecuente aumento en el contenido de proteínas, que indica una nueva síntesis proteica.

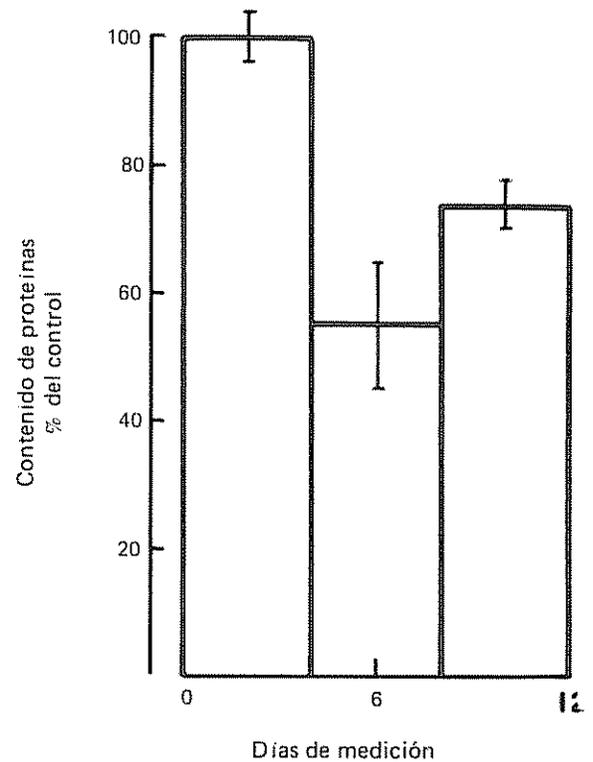


Fig. 5. Contenido de proteínas foliares en plantas de *Phaseolus vulgaris* L. var Tacarigua sometidas a déficit hídrico (sin riego, SR) expresado como porcentaje respecto a los valores obtenidos en plantas controles (con riego, CR), durante el periodo de medición. Se muestra el promedio de cinco réplicas analizadas en cada día de medición; las barras verticales representan la desviación estándar.

La reducida ANR y el balance entre los contenidos de amonio y proteínas, observados en el presente trabajo nos permite concluir que en plantas de *Phaseolus vulgaris* var Tacarigua sometidas a un moderado déficit hídrico, hubo una inicial degradación de proteínas y una subsecuente síntesis proteica a expensas del nitrógeno reducido acumulado, producto de la inicial degradación, lo cual denotaría un reajuste en el que las proteínas foliares actúan como fuente de N reducido para la síntesis de nuevas proteínas.

#### LITERATURA CITADA

- 1 ALDER, P.R ; WILCOX, G.E. 1985. Rapid perchloric acid digest methods for analysis of major elements in plant tissue. Soil Science Plant Annals 16:1153-1163.

2. APARICIO-TEJO, P.; SANCHEZ-DIAZ, M. 1982. Nodule and leaf nitrate reductases and nitrogen fixation in *Medicago sativa* L. under water stress. *Plant Physiology* 69:479-482.
3. BEEVERS, L.; HAGEMAN, R.H. 1969. Nitrate reduction in higher plants. *Annual Review of Plant Physiology* 20:495-522.
4. BERGARECHE, C.; SIMON, E. 1988. Nitrate reductase and nitrate content under two forms and three levels of nitrogen nutrition in *Lolium perenne* L. *J. Plant Physiology* 132:28-33.
5. BEWLEY, J.D.; LARSEN, K.M. 1980. Cessation of protein synthesis in water stressed pea roots and maize mesocotyls without loss of polyribosomes. Effects of lethal and non-lethal water stress. *Journal of Experimental Botany* 31:1124-1156.
6. BEWLEY, J.D. 1981. Protein synthesis. In *The physiology and biochemistry of drought resistance in plants*. Ed by L.G. Paleg; D. Aspinall. Sidney Academic Press. p. 261-282.
7. BRADFORD, M.M. 1976. A rapid and sensitive method for the quantification of microgram quantities of protein utilizing principle of protein-dye binding. *Anal Biochemistry* 72:248-254.
8. DHINDSA, R.S.; CLELAND, R.E. 1975. Water stress and protein synthesis. I. Differential inhibition of protein synthesis. *Plant Physiology* 55:778-781.
9. DUNGEY, N.O.; DAVIES, D.D. 1982. Protein turnover in the attached leaves of non-stressed and stressed barley seedlings. *Planta* 154:435-440.
10. FOKUTOKU, Y.; YAMADA, Y. 1981. Diurnal changes in water potential and free amino acid content of water stressed and non stressed soybean plant. *Soil Science and Plant Nutrition* 27:195-204.
11. GUERRERO, M.G. 1982. In *Techniques in bioproduktivty and photosynthesis*. Ed by J. Coombs; D.O. Hall. Oxford, Pergamon Press. p. 125-127.
12. HANSON, A.D.; HITZ, W.D. 1982. Metabolic responses of mesophytes to plant water deficits. *Annual Review of Plant Physiology* 33:163-203.
13. HEIKKILA, J.J.; PAPP, J.E.T.; SCHULTZ, G.A.; BEWLEY, J.D. 1984. Induction of heat shock protein messenger RNA in maize mesocotyls by water stress, abscisic acid and wounding. *Plant Physiology* 76:270-274.
14. HSIAO, I.C. 1973. Plant responses to water stress. *Annual Review of Plant Physiology* 24:519-570.
15. HUFFAKER, R.C.; RADIN, I.; KLEINKOPF, G.E.; COX, E.L. 1970. Effects of mild water stress on enzymes of nitrate assimilation and of the carboxylative phase of photosynthesis in barley. *Crop Science* 10:471-474.
16. MATTAS, R.E.; PAULI, A.W. 1965. Trends in nitrate reduction and nitrogen fraction in young corn (*Zea mays* L.) plants during heat and moisture stress. *Crop Science* 5:181-184.
17. MORILLA, C.; BOYER, J.S.; HAGEMAN, R.H. 1973. Nitrate reductase activity and polyribosomal content of corn (*Zea mays* L.) having low leaf water potential. *Plant Physiology* 51:817-824.
18. NELSON, D.W. 1983. Determination of ammonium in KCl extracts of soils by salicylate methods. *Soil Science and Plant Anal.* 14:1051-1062.
19. RHODES, P.R.; MATSUDA, K. 1976. Water stress, rapid polyribosome reduction and growth. *Plant Physiology* 58:631-635.
20. SHANNER, D.L.; BOYER, J.S. 1976a. Nitrate reductase activity in maize (*Zea mays* L.) leaves. I. Regulation by nitrate flux. *Plant Physiology* 58:499-504.
21. SHANNER, D.L.; BOYER, J.S. 1976b. Nitrate reductase activity in maize (*Zea mays* L.) leaves. II. Regulation by nitrate flux at low leaf water potential. *Plant Physiology* 58:505-509.
22. TURNER, N.C. 1981. Techniques and experimental approaches for the measurements of plant status. *Plant and Soil* 58:339-366.
23. VARTANIAN, N.C.; DAMERVAL, C.; DE VIENNE, D. 1987. Drought-induced changes in protein patterns of *Brassica napus* var *oleifera* roots. *Plant Physiology* 84:989-992.
24. VENKATARAMANA, S.; MOHAN NAIDU, K.; SINGH, S. 1987. Membrane thermostability and nitrate reductase activity in relation to water stress tolerance of young sugar cane plants. *New Phytology*.
25. VENNESLAND, B.; GUERRERO, M.G. 1978. Reduction of nitrate and nitrite. In *Encyclopedia of Plant Physiology*. Ed by M. Gibbs; E. Latzko. Berlin, Springer-Verlag. v. 6. p. 425-444.
26. YOUNIS, M.A.; PAULI, A.W.; MITCHELL, H.L.; STICKLER, F.C. 1965. Temperature and its interaction with light and moisture in nitrogen metabolism of corn (*Zea mays* L.) seedlings. *Crop Science* 5:321-326.

# Estresse Hídrico em Cultivares de *Phaseolus vulgaris* L. em Simbiose com o *Rhizobium leguminosarum* biovar *phaseoli*<sup>1</sup>

C. Pimentel\*, J. Neto Jacob\*\*, S.R. Goi\*\*\*, G.G. Pessanha\*

## ABSTRACT

Water stress was applied in seven cultivars of *Phaseolus vulgaris* L., five days before flowering, for a period of 11 days, and then rehydrated until maturation. Data show that leaf water potential was a better parameter compared to the relative water content, which appeared very variable. During water stress, the soil temperature increased, almost reaching air temperature. With water stress, two cultivars ('A 320' and 'BAT 117') kept the water potential above the others. The cultivars V 8025 and GF 830162 showed a reduction on the aerial part/root ratio when exposed to water stress. The biological nitrogen fixation parameter of three cultivars ('BAT 117', 'V 8025' and 'GF 830162') was more affected by water stress than the plant morphology parameter. Two cultivars ('BAT 117' and 'V 8025') showed greater grain production when exposed to water stress. However, cultivar A 320 and V 8025 showed greater production stability.

## RESUMO

Durante 11 dias foi aplicado um estresse hídrico, em sete cultivares de *Phaseolus vulgaris* L., aos cinco dias antes da antese de flores. Após, as plantas foram reidratadas até o fim do ciclo de maturação, para avaliação dos componentes de produção. Em condições de deficiência hídrica, o potencial hídrico da folha foi um melhor parâmetro de status hídrico, do que o conteúdo hídrico relativo da folha, que foi bastante variável. Com a imposição do estresse, a temperatura do solo aumenta, aproximando-se da temperatura do ar. Durante a carência hídrica, as cultivares BAT 117 e A 320 mantiveram o potencial hídrico da folha superior às outras cultivares. As plantas estressadas das cultivares V 8025 e GF 830162, apresentaram uma menor relação parte aérea/raiz, quando comparadas às testemunhas. Em relação a fixação biológica do N<sub>2</sub>, as cultivares BAT 117, V 8025 e GF 830162 foram afetadas pela falta d'água. Sendo estes parâmetros mais sensíveis ao efeito do estresse, do que os parâmetros de morfologia da planta. As cultivares BAT 117 e V 8025, mesmo sofrendo um efeito significativo do estresse, apresentaram as maiores produções. Contudo, as cultivares A 320 e V 8025 apresentaram uma maior estabilidade de produção, sofrendo menos o efeito do estresse.

## INTRODUÇÃO

A deficiência hídrica é uma das maiores pressões seletivas na evolução das plantas e a habilidade de sobrevivência durante um estresse hídrico é determinante para a distribuição e produtividade das plantas cultivadas (8)

O feijoeiro apresenta uma baixa eficiência fotossintética e sua produção é drasticamente reduzida pelo estresse hídrico (14). Os primeiros efeitos da desidratação se manifestam pela redução no crescimento foliar e aumento da resistência estomática, reduzindo a atividade fotossintética (5). Parece existir uma variabilidade na resistência à seca entre cultivares (16),

pois dependendo da cultivar, a magnitude desta redução afeta diferentemente a produção de matéria seca e de grãos (3)

Existe uma diminuição na produção de grãos, em função do aumento do número de dias de estresse, bem como, dos diferentes genótipos de feijão (20). O melhoramento de plantas para regiões de menor pluviosidade, visando aumentar a produtividade, deve procurar aquelas que mantenham um status hídrico superior, associado com um aumento do sistema radicular (6)

A produção do feijoeiro é mais afetada quando o estresse hídrico ocorre cinco a 10 dias antes da antese das flores (11, 14), podendo causar neste período, uma diminuição na produção de grãos de mais de 50 % (9)

Em plantas de feijão em simbiose com *Rhizobium leguminosarum* biovar *phaseoli*, o conteúdo hí-

1 Recebido para publicação em 29 novembro 1988  
Agradecimentos a colaboração dos alunos do curso de Agronomia: Andrés J. de la Cruz Perez e Amaro Ricardo Queiróz Rosero.

\* Prof. Adj.; Depto. Fitotecnia, UFRRJ.

\*\* Prof. Ass.; Depto. Fitotecnia, UFRRJ.

\*\*\* Prof. Adj. Depto. Ciências Amb., UFRRJ.

drico do solo pode afetar a nodulação e fixação de  $N_2$ , bem como a utilização do nitrogênio mineral (12, 18 e 19). O estresse hídrico afeta a iniciação, o desenvolvimento e a estrutura dos nódulos, bem como a atividade de nitrogenase (17, 22). O potencial hídrico das folhas é correlacionado à fixação de  $N_2$  em plantas sob deficiência hídrica (24). As plantas desenvolvidas em solo seco podem apresentar um potencial hídrico do nódulo mais baixo que o da folha, sendo a atividade da nitrogenase bastante sensível à redução do potencial hídrico do nódulo (4).

Com relação à seleção de cultivares, genótipos que mantenham um status hídrico elevado, podem ter um potencial de fixação de  $N_2$  maior durante o período de estresse, que aqueles suscetíveis (25).

Neste trabalho, foi estudado o efeito do estresse hídrico no desenvolvimento da planta, na fixação do  $N_2$  atmosférico e na produção de grãos em sete cultivares de feijão.

#### MATERIAL E MÉTODOS

Foram utilizadas sete cultivares de feijão para estudar o comportamento destes, em condições de estresse hídrico: 'GRANDE RIO', 'BAT 117', 'GF 1138', 'A 320', 'GF 830162', 'BAT 447' e 'V 8025'. Estas cultivares foram obtidas da coleção de germoplasma do Centro Nacional de Pesquisa em Arroz e Feijão (CNPAP), da EMBRAPA. O delineamento experimental foi o de blocos ao acaso, com 3 repetições.

O experimento foi conduzido em casa de vegetação, com temperatura média entre 24 °C e 35 °C (mínima e máxima) e umidade relativa do ar média entre 37 % e 70 % (mínima e máxima). Utilizou-se potes com 10 kg de solo do horizonte B de um solo Podzólico vermelho-amarelo, com uma adubação de 60 kg/ha de  $K_2O$ ; 100 kg/ha de  $P_2O_5$ ; 2 000 kg de Calcário dolomítico, tomando-se por base 2 000 t de solo por hectare. Foi adicionado também 10 ml/pote da solução de micronutrientes com: 15,8 g de  $CuSO_4 \cdot 5 H_2O$ ; 8,9 g de  $ZnSO_4 \cdot 7 H_2O$ ; 0,3 g de  $H_3BO_3$ ; 20 g de  $FeSO_4 \cdot 7 H_2O$ ; 20 g de ácido cítrico; 0,4 g de  $(NH_4)_6Mo_7O_{24} \cdot 4 H_2O$ , por litro. As plantas foram inoculadas no momento do plantio, com uma mistura das estirpes: CO 5 e SEMIA 487.

O tratamento de estresse hídrico foi feito através de uma suspensão da irrigação aos 5 dias antes de antese de flores. As cultivares foram separadas em 2 grupos de plantas pela data de floração, para maior homogeneização: Grupo de floração 1, com 4 cultivares ('BAT 117'; 'A320'; 'GF 1138' e 'Grande Rio', com floração aos 46 dias após o plantio) e o Grupo

de floração 2, com 3 cultivares ('BAT 447'; 'V 8025' e 'GF 830162', com floração aos 52 dias após o plantio).

Foram feitas 2 coletas de plantas para avaliação de parâmetros de desenvolvimento das plantas e de fixação de  $N_2$  atmosférico. Estas coletas foram feitas antes do tratamento de estresse (AE) e depois do estresse, após 2 dias de rehidratação para plantas que sofreram o tratamento (DCE), e que não sofreram (DSE). Nestas coletas, foram avaliados o potencial hídrico da folha, peso de parte aérea seca, peso de raiz seca e volume de raiz (volume de água deslocado), relação parte aérea/raiz, peso e número de nódulos e a medida da atividade da nitrogenase, pela redução do acetileno (15).

Entre as duas coletas, durante o período de estresse (11 dias para cada série), foram feitas medidas do conteúdo hídrico relativo da folha (C.H.R.) (2) e do potencial hídrico da folha, com um microvoltímetro a ponto de orvalho (modelo HR-33T da Wescor) e uma câmara de medida C-52. Foram feitas também medidas do potencial hídrico e temperatura do solo, com um sensor PT-55 e temperatura do ar com um termohigrógrafo.

Depois do estresse, as plantas foram rehidratadas até o final do ciclo de maturação para avaliação dos componentes da produção, em plantas que sofreram o estresse (CE) e as que não sofreram (SE).

#### RESULTADOS E DISCUSSÃO

O potencial hídrico do solo (Figs. 1 e 2) permaneceu estável até o 4º dia para os dois grupos de plantas, sofrendo após um abaixamento gradativo até o 9º dia (desidratação máxima). Com a rehidratação no 11º dia, o potencial hídrico retornou aos valores iniciais.

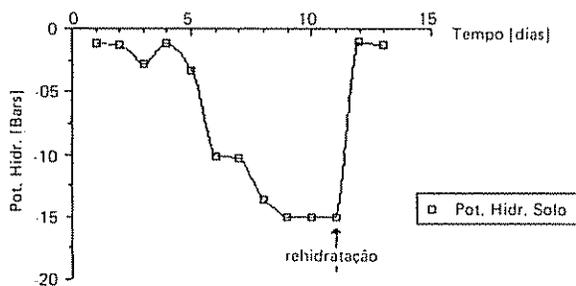


Fig 1 Efeito do estresse hídrico no potencial hídrico do solo durante 13 dias, em 4 cultivares do grupo de floração 1 (média de 3 repetições).

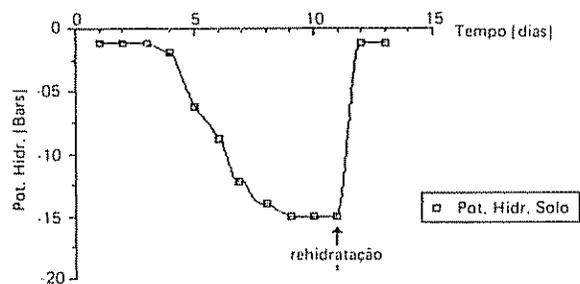


Fig 2 Efeito do estresse hídrico no potencial hídrico do solo durante 13 dias, em 3 cultivares do grupo de floração 2 (média de 3 repetições)

Com relação a temperatura do solo (Figs 3 e 4), esta manteve-se inferior a temperatura do ar quando o solo estava próximo da capacidade de campo, pelo fato da evaporação da água provocar um resfriamento do solo. Com a diminuição da hidratação do solo, a temperatura deste, apresentou uma tendência a aproximar-se da temperatura do ar. Este aumento da temperatura do solo pode afetar o metabolismo das raízes e do *Rhizobium*, somando-se ao efeito da deficiência hídrica (4)

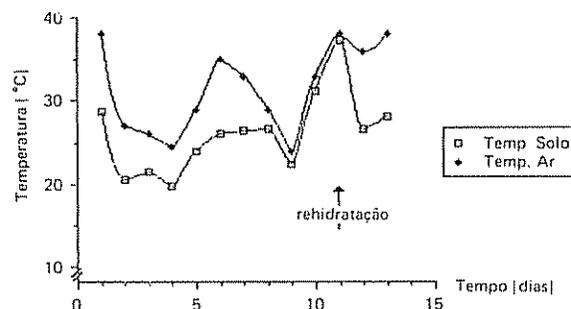


Fig 3 Temperatura do solo e do ar durante o período de estresse, em 4 cultivares do grupo de floração 1 (média de 3 repetições)

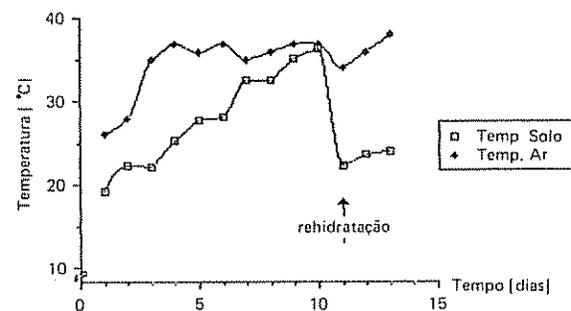


Fig 4 Temperatura do solo e do ar durante o período de estresse em 3 cultivares do grupo de floração 2 (média de 3 repetições)

No que se refere aos parâmetros utilizados para avaliação do status hídrico, o conteúdo hídrico relativo (Figs 5 e 6), nas cultivares estudadas, não foi um bom parâmetro indicador de efeito do estresse.

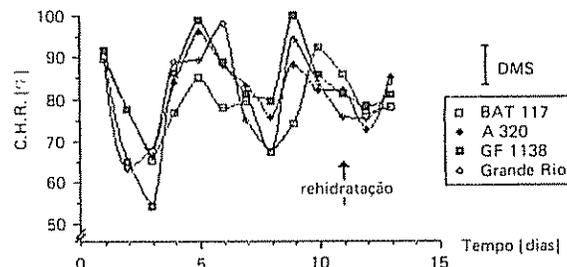


Fig 5 Efeito do estresse hídrico no conteúdo hídrico relativo em 4 cultivares do grupo de floração 1 (média de 3 repetições)

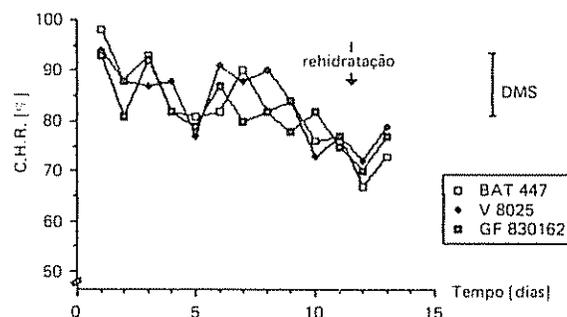


Fig 6 Efeito do estresse hídrico no conteúdo hídrico relativo em 3 cultivares do grupo de floração 2 (média de 3 repetições)

Pois, apesar de apresentar uma tendência a diminuição, sofreu grandes variações durante o tratamento. O potencial hídrico de folha (Figs 7 e 8) foi mais indicativo para o status hídrico, durante o estresse hídrico, confirmando os resultados de outros autores (5 e 23). Nos dois grupos de floração, foi observada uma diminuição gradativa do potencial hídrico das folhas durante o período de estresse. No Grupo de floração 1, o potencial hídrico da folha da cultivar A 320 foi significativamente superior ao dos cultivares GF 1138 e Grande Rio, do 6º ao 9º dia de estresse. A cultivar BAT 117 também se diferenciou significativamente das cultivares GF 1138 e Grande Rio, no 7º e 8º dia sob estresse. Durante o período de deficiência hídrica, as cultivares BAT 117 e A 320 mantiveram um potencial hídrico superior às outras duas cultivares, provavelmente devido a um maior controle da abertura estomática (9). No grupo de floração 2 (Fig. 8) não houve diferença significativa no potencial hídrico da folha, entre as cultivares estudadas.

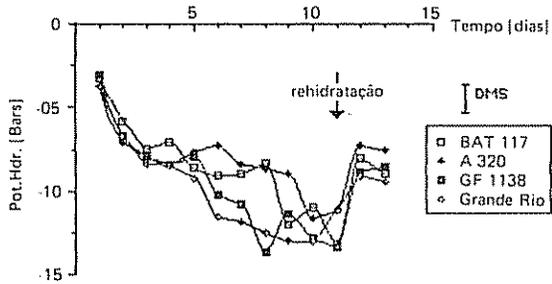


Fig 7. Efeito do estresse hídrico no potencial hídrico da folha em 4 cultivares do grupo de floração 1 (media de 3 repetições).

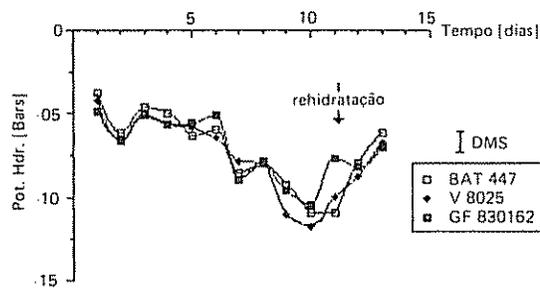


Fig 8. Efeito do estresse hídrico no potencial hídrico da folha em 3 cultivares do grupo de floração 2 (media de 3 repetições).

Com os dados da TAB 1, comparou-se as plantas submetidas ao estresse (DCE) com aquelas não submetidas (DSE). O estresse causou uma redução significativa no volume de raiz da cultivar BAT 447, no peso da parte aérea seca, na relação parte aérea/raiz, das cultivares V 8025 e GF 830162 e no peso da parte aérea seca da cultivar BAT 117. O estresse hídrico aplicado mostrou pouca influência no volume de raiz, peso de raiz seca, peso de parte aérea e na relação parte aérea/raiz. O peso de raiz seca mostrou ser o parâmetro menos influenciado pelo estresse nas cultivares estudadas.

As cultivares V 8025 e GF 830162 mostraram um maior grau de adaptação morfológica em relação às demais, principalmente devido a uma maior redução na relação parte aérea/raiz, ou seja, apresentando um maior desenvolvimento do sistema radicular em detrimento da parte aérea da planta (6). A diminuição do peso da parte aérea durante a deficiência hídrica é devido a perda de folhas, diminuindo a superfície de transpiração, com a translocação de assimilados para a raiz e órgãos reprodutivos (5, 10)

Quando bem supridas de água, as cultivares BAT 117, V 8025 e GF 830162 apresentaram um maior potencial de fixação biológica de N<sub>2</sub> por planta, enquanto que a cultivar Grande Rio apresentou uma

Tabela 1. Potencial hídrico da folha (BARS) antes e depois do tratamento e efeito do estresse hídrico no volume (ML) e peso de raiz seca (G), peso da parte aérea seca (G) e relação parte aérea/raiz de sete cultivares de feijão (media de três repetições).

Cultivar	Potencial hídrico de folha			Volume de raiz			Peso de raiz seca			Peso da parte aérea seca			Relação parte aérea/raiz		
	AE	DCE	DSE	AE	DCE	DSE	AE	DCE	DSE	AE	DCE	DSE	AE	DCE	DSE
'BAT 117'	-3.21	-10.71	-10.75	1.34	1.40	1.36	1.22	1.06	1.28	4.64	2.20*	4.65*	3.80	2.08	3.63
'A 320'	-3.75	-10.90	-9.60	0.72	1.32	1.91	0.71	0.99	1.25	4.75	3.70	4.75	6.69	3.74	3.80
'GF 1138'	-3.05	-9.91	-10.48	1.79	2.27	1.60	1.18	1.26	1.12	4.50	3.25	4.50	3.81	2.58	4.02
'G. Rio'	-3.75	-11.48	-10.83	2.08	1.42	1.43	1.16	1.04	1.38	5.85	4.95	5.85	5.04	4.76	4.24
'BAT 447'	-6.21	-8.83	-8.10	1.81	1.77*	2.34*	1.23	1.45	1.54	5.27	4.30	5.27	4.28	2.97	3.42
'V 8025'	-6.71	-8.17	-7.40	1.29	0.73	1.38	0.77	0.87	0.84	6.00	4.50*	6.00*	7.79	5.17*	7.14*
'GF 830162'	-7.36	-7.44	-7.06	1.36	1.57	1.93	1.07	1.09	1.38	6.70	3.25*	6.70*	6.26	2.98*	4.86*
DMS 5%		2.32			1.42			0.76			2.40			1.87	
CV		18%			29%			21%			30%			26%	

AE = antes do estresse; DCE = depois com estresse; DSE = depois sem estresse; \* = diferença significativa a 5% (Tukey), para os tratamentos com e sem estresse em cada cultivar

alta atividade específica de redução do acetileno (TAB 2. Os resultados obtidos apresentam um alto coeficiente de variação, por não obter-se para estes parâmetros, uma curva de distribuição normal) A cultivar de feijão BAT 117 foi a mais influenciada pelo estresse hídrico na fixação biológica de  $N_2$ , mostrando uma redução significativa no número e

pêso de nódulos por planta e na atividade de redução do acetileno, em relação às outras cultivares. As cultivares V 8025 e GF 830162, que mostraram um maior grau de adaptação morfológica, foram influenciadas pelo estresse, no número e pêso de nódulos e atividade de redução do acetileno por planta. Isto mostra que os parâmetros de nodulação e fixação do

Tabela 2. Efeito do estresse hídrico no número e peso de nódulos secos (G), na atividade de redução do acetileno ( $\mu\text{moles } C_2H_4 \cdot \text{Planta}^{-1} \cdot \text{H}^{-1}$ ) e na atividade específica de redução do acetileno ( $\mu\text{moles } C_2H_4 \cdot \text{Grama de nódulos}^{-1} \cdot \text{H}^{-1}$ ) de sete cultivares de feijão (média de três repetições).

Cultivar	Número de nódulos			Peso de nódulos			At. de redução do acetileno			At. esp. de red. do acetileno		
	AE	DCE	DSE	AE	DCE	DSE	AE	DCE	DSE	AE	DCE	DSE
'BAT 117'	131	33*	155*	0.13	0.03*	0.16*	6.82	0.24*	5.00*	52.46	8.00	31.35
'A 320'	55	97	131	0.06	0.07	0.10	4.79	0.55	1.15	79.83	7.85	11.50
'GF 1138'	67	117	77	0.05	0.07	0.08	2.72	1.33	1.22	54.40	19.00	15.25
'G RIO'	35	47	57	0.01	0.11	0.02	1.28	0.65	1.71	128.00	5.90*	85.50*
'BAT 447'	62	127	96	0.08	0.12	0.08	4.00	1.24	2.51	50.00	10.33	31.37
'V 8025'	93	140	128	0.10	0.04*	0.14*	6.83	0.33*	5.20*	68.30	8.25	37.14
'GF 830162'	84	82*	154*	0.19	0.06*	0.16*	9.40	0.02	1.93	49.47	0.33	12.06
DMS 5 %		61			0.04			4.52			28.80	
CV		44 %			60 %			98 %			82 %	

AE = antes do estresse; DCE = depois com estresse; DSE = depois sem estresse; \* = diferença significativa a 5 % (Tukey), para os tratamentos com e sem estresse, em cada cultivar

$N_2$  atmosférico, foram mais afetados pelo estresse hídrico do que os parâmetros morfológicos da planta de feijão. O abaixamento do potencial hídrico do solo teve um efeito direto na eficiência do processo de fixação biológica do  $N_2$ . Este efeito pode ter sido agravado pela inabilidade das plantas estressadas em suprir os nódulos de fotoassimilados (7).

Durante o estresse hídrico, houve um aumento do número de nódulos por planta nas cultivares: A 320, GF 1138, Grande Rio, BAT 447 e V 8025 (TAB 2). Estas plantas sofreram uma diminuição, apesar de não ter sido significativa, da sua atividade específica de redução do acetileno por pêso de nódulos. Provavelmente houve um gasto metabólico das plantas para a formação de nódulos ineficientes quanto a fixação biológica do  $N_2$  (21).

Em todas as cultivares, quando se comparou as plantas estressadas (DCE) com aquelas sempre hidratadas (DSE), com exceção da 'GF 1138', foi observada

uma diminuição da atividade de redução do acetileno. Isto talvez possa ser explicado pelo fato de que processos fisiológicos, como a atividade da nitrogenase, sofreram mais rapidamente o efeito do estresse, do que processos morfológicos como nodulação ou queda de folhas.

Em relação ao potencial produtivo das plantas (TAB 3), a cultivar A 320 só apresentou efeito significativo do estresse no número de grãos por planta. Além disto, esta cultivar apresentou uma menor diminuição do potencial hídrico da folha durante o estresse (Fig. 7), provavelmente devido a um maior controle da abertura estomática, o que é uma característica de grande interesse fisiológico para a tolerância à seca. Porém, a sua produção de grãos foi menor do que a produção das cultivares BAT 117 e V 8025. Estas cultivares, BAT 117 e V 8025, mesmo sofrendo uma diminuição significativa quando submetidas ao estresse (TAB 3), apresentaram maior produção em comparação às outras cultivares.

Tabela 3. Efeito do estresse hídrico no número de vagens, número de grãos e produção de grãos (em gramas) por planta de sete cultivares de feijão (média de três repetições).

Cultivar	No. vagens/PL		No. grãos/PL		Produção de grãos/PL	
	CE	SE	CE	SE	CE	SE
'BAT 117'	14*	24*	3*	5*	2 72*	5 00*
'A 320'	2	9	2*	7*	1 94	1 95
'GF 1138'	3*	13*	4*	16*	2 03	2 99
'GRANDE RIO'	3*	13*	4*	20*	2 63	4 32
'BAT 447'	2	9	4*	18*	1 99	3 11
'V 8025'	3	6	17*	27*	3 61	4 94
'GF 830162'	3	4	9*	18*	2 1	3 09
DMS 5 %	8 95		1 99		2 24	
C.V.	36 %		33%		42 %	

CE = com estresse; SE = sem estresse, \* = diferença significativa a 5 % (Tukey).

### CONCLUSÕES

As cultivares A 320 e V 8025 apresentaram uma maior estabilidade de produção em condições favoráveis ou não, sendo esta característica importante para a seleção visando a tolerância à seca (1 e 13). Porém a produção de grãos das cultivares BAT 117 e V 8025, em condições de estresse, foram as maiores, mesmo tendo sido bastante afetadas pelo estresse hídrico na maioria dos parâmetros estudados.

### LITERATURA CITADA

- ARNON, I. 1975. Physiological principles of dryland crop production. In *Physiological aspects of dryland farming* Ed. by U S Gupta England p. 1-145
- BARRS, H D.; WEATHERLEY, P.E. 1962. A re-examination of the relative turgidity technique for estimating water deficits in leaves. *Australian Journal of Biological Science (A.C.T.)* 15:413-28.
- BASCUR, G.; OLIVA, M A.; LAING, D. 1985. Termometría infrarroja en selección de genótipos de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) resistentes a sequía. II Crecimiento y productividad. *Turrialba (C.R.)* 35:49-53.
- BENNETT, J.M.; ALBRECHT, S.L. 1984. Drought and flooding effects on N<sub>2</sub> fixation, water relations, and diffusive resistance of soybean. *Agronomy Journal (EE UU)* 76:735-740
- BOYER, J.S. 1976. Water deficits and photosynthesis. In *Water deficits and plant growth* Ed by T T Koslowski England v.4, p. 153-190
- BOYER, J.S. 1980. Physiological adaptations to water stress. In *Adaptation of plants to water and high temperature stress* Ed. by N.C. Turner: P.J. Kramer. N.Y., EE UU p. 443-444
- FINN, G.A.; BRUN, W.A. 1980. Water stress effects on CO<sub>2</sub> assimilation, photosynthate partitioning, stomatal resistance, and nodule activity in soybean. *Crop Science (EE UU)* 20:431-434
- FISCHER, R.A.; TURNER, N.C. 1978. Plant productivity in the arid and semiarid zones. *Annual Review of Plant Physiology (EE UU)* 29:277-317
- HALTERLEIN, A.J. 1983. Bean. In *Crop-water relations* Ed. by I.D. Teare; M.M. Peet. N.Y., EE UU p. 157-185
- HANSON, A.D.; HITZ, W.D. 1982. Metabolic responses of mesophytes to plant water deficits. *Annual Review of Plant Physiology (EE UU)* 33:163-203.
- HOSTALACIO, S.; VALIO, I.J.M. 1984. Desenvolvimento de plantas de feijão cv. Goiano precoce, em diferentes regimes de irrigação. *Pesquisa Agropecuária Brasileira (Bra)* 19:211-218.
- KORNELIUS, E.; FREIRE, J.R.J. 1974. Aeração e umidade do solo como fatores limitantes na nodulação em *Phaseolus vulgaris* L. *Agronomia Sulriograndense (Bra)* 10:247-260
- LEVITT, J. 1972. Responses of plants to environmental stresses. N.Y., EE UU, Academic Press.
- LOPES, N.F.; OLIVA, M.A.; CARDOSO, M.J.; GOMES, M.M.S.; de SOUZA, V.F. 1986. Crescimento e conversão da energia solar em *Phaseolus vulgaris* L. submetido a três densidades de fluxo radiante e dois regimes hídricos. *Revista Ceres (Bra)* 33:142-164
- MAGUE, T.H.; BURRIS, R.H. 1972. Reduction of acetylene and nitrogen by field grown soybean. *New Phytologist (G.B.)* 71:275-276
- O'TOOLE, J.C.; OZBUN, J.L.; WALLACE, D.H. 1977. Photosynthetic response to water stress in *Phaseolus vulgaris* L. *Physiologia Plantarum (Dinamarca)* 40:111-114.
- PANKHURST, C.E.; SPRENT, J.I. 1975. Effects of water stress on the respiratory and nitrogen-fixing activity of soybean root nodules. *Journal of Experimental Botany (G.B.)* 26:287-304.
- REICHMAN, G.A.; GRUNES, D.L. 1966. Effect of water regime and fertilization on barley growth, water use and N and P uptake. *Agronomy Journal (EE UU)* 58:513-517

19. SAITO, S.M.I.; MONTANHEIRO, M.N.S.; VICTORIA, R.L.; REICHARDT, K. 1984. The effects of N fertilizer and soil moisture on the nodulation and growth of *Phaseolus vulgaris* L. Journal of Agricultural Science (G B) 103:87-93
20. SILVEIRA, P.M.; GUIMARÃES, C.M.; SIONE, L.F.; KLUTHCOUSKI, J. 1981. Avaliação de cultivares de feijão para resistência à seca baseada em dias de estresse de água no solo. Pesquisa Agropecuária Brasileira (Bra) 16:693-699
21. SPRENT, J.J. 1971. The effects of water stress on nitrogen fixing root nodules. I. Effects on the physiology of detached soybean nodules. New Phytologist (G B) 70:9-17
22. SPRENT, J.J. 1976. Water stress and nitrogen fixing root nodules. In Water deficits and plant growth. Ed. by T.T. Kozlowski. England p. 291-315.
23. UNGER, P.W.; DANIELSON, R.E. 1967. Water relation and growth of beans (*Phaseolus vulgaris* L.) as influenced by nutrient solution temperatures. Agronomy Journal (EE UU) 59:143-146.
24. VENKATESW, B.; RAO, A.V. 1987. Quantitative effects of field water deficits on  $N_2$  ( $C_2H_2$ ) fixation in selected legumes grown in the Zindian desert. Biology and Fertility of Soils (India) 5:18-22
25. WALKER, D.W.; MILLER, J.C. Jr. 1986. Influence of water stress on nitrogen fixation in cowpea. Journal of the American Society of Horticultural Science (EE UU) 111:451-458

# Efecto de la Aplicación de Glifosato como Madurador en Tres Cultivares de Caña de Azúcar<sup>1</sup>

J.F. Subiros\*

## ABSTRACT

The effect of glifosate salt in the ripening of three sugarcane cultivars was determined. Significant differences in the industrial yield of the cultivar B 50-377 were found 15 and 30 d after application, increasing the content of sucrose about 14 % and 16 % respectively, compared with the control on the same days. Significant differences were also found in the pol, purity and humidity of the cane, but not with the brix grade and fiber content. Differences were found in the brix grade of cultivar Q-68 at 30, 45 and 60 d after the application; in the pol and humidity after 45 and 60 d; and in the industrial yield 45 d after application. In cultivar B-4362 no statistical differences were observed in either of the variables evaluated. The use of ripening greater quantities of sucrose short-term measure for obtaining greater quantities of sucrose per ton of cane in the periods of less yield, mainly at the beginning of the sugarcane harvest, to later be substituted for cultivars that ripen within the necessary period.

## COMPENDIO

Se determinó el efecto de la sal de glifosato en la maduración de tres cultivares de caña de azúcar. En el cultivar B 50-377 se encontraron diferencias significativas en el rendimiento industrial, 15 a 30 días después de la aplicación, lo que aumentó en un 14 % y 16 %, respectivamente, el contenido de sacarosa en comparación con el de los testigos en esas mismas fechas. También se observaron diferencias significativas en el pol, pureza y humedad de la caña, no así en el brix y contenido de fibra. En el cultivar Q-68 hubo diferencias en el brix a los 30, 45 y 60 días; y en el rendimiento industrial, 45 días después de la aplicación. En el cultivar B-4362 no se dieron diferencias estadísticas en ninguna de las variables evaluadas. Se recomienda la utilización de productos maduradores como una medida a corto plazo para obtener mayores cantidades de sacarosa por tonelada de caña en los períodos de menor rendimiento, sobre todo al inicio de la zafra, para luego sustituirlos por cultivares que maduren en el tiempo requerido para la cosecha.

## INTRODUCCION

Uno de los problemas frecuentes que encuentran los productores azucareros, es poder entregar caña con buena madurez al ingenio. Esto se presenta especialmente al inicio de la zafra, cuando el contenido de sacarosa es bajo y sobre todo si se tienen suelos con una alta retención de humedad. La mejor manera de resolver este inconveniente es con el empleo de cultivares que maduren de acuerdo con la época de cosecha deseada, de tal manera que se tenga caña con buena madurez durante toda la zafra. Sin embargo, para alcanzar esta meta se requieren varios años de investigación y un programa de selección varietal. Una solución a este problema de maduración a corto plazo es posible con el uso de productos químicos que aumenten el contenido de sacarosa en la caña.

Los maduradores son compuestos químicos capaces de interrumpir el desarrollo vegetativo de la planta al inhibir la división celular en el meristema apical. Una vez determinada esta división, la planta experimenta una reducción sensible en el consumo de energía, y se propicia el paso de azúcares reductores a sacarosa (6, 7).

Esta práctica ha tenido gran importancia en los últimos años (13, 17, 18, 20) y son varios los productos que se han utilizado, unos con resultados más satisfactorios que otros (1, 11, 15, 16, 19). La sal de glifosina es un producto que ha respondido positivamente (1, 7, 8, 14), pero los resultados han sido mejores con el empleo de la sal de glifosato (isopropilamina de N-(fosfonometil) glicina), la cual produce un efecto superior en la maduración (4, 5, 16, 22). Este es empleado como herbicida no selectivo en gran cantidad de cultivos y tiene una excelente movilidad en la planta (2, 9, 21).

Las fórmulas de glifosato poseen muy buenas características como maduradoras de la caña de azúcar

<sup>1</sup> Recibido para publicación el 3 de noviembre de 1988.  
El autor agradece al Dr. Walter Marín y a los ingenieros Marco Vinicio Sáenz y Eloy Molina por la revisión y sugerencias del presente manuscrito.

\* Azucarera "El Viejo"; Departamento de Investigación y Agronomía. San José, Costa Rica.

(5, 12, 13, 17, 18): mejoran el contenido de sacarosa bajo diversas condiciones climáticas; son menos específicas ante las reacciones de los distintos cultivares; además, que las respuestas inducidas por ellas son más consistentes y rápidas que las obtenidas con la glifosina (17, 18).

Se ha observado que la sal de glifosato puede reducir significativamente el deterioro de la caña cortada sin quemar, en comparación con la caña cortada quemada; aspecto que podría considerarse en los lugares donde se corta en crudo (4).

El objetivo del presente estudio fue determinar, en tres cultivares de caña de azúcar, el efecto del glifosato en la maduración de la caña y su influencia en algunas variables industrialmente importantes.

#### MATERIALES Y METODOS

El presente trabajo se realizó en la Azucarera "El Viejo", ubicada en el cantón de Carrillo, en Guanacaste, a una latitud de  $10^{\circ} 25'$  y longitud de  $85^{\circ} 28'$  a 40 metros sobre el nivel del mar. El estudio se inició el 28 de noviembre de 1984 y se concluyó ocho semanas después. Para determinar el comportamiento de la maduración entre la sección tratada (glifosato) y la testigo (sin glifosato), se hicieron muestreos cada 15 días; el primero se realizó antes de la aplicación y el resto hasta que se completaron 60 días del experimento. Se ubicaron tres lotes comerciales, sembrados con los cultivares B-4362 (10.09 ha), Q-68 (8.89 ha) y B 50-377 (10.39 ha), cuyas edades en el momento del experimento fueron de 11.10, 11.06 y 10.03 meses, los que habían sido cosechados en tres, tres y nueve ocasiones, respectivamente. Los lotes fueron divididos en dos secciones: una, para la aplicación aérea de sal de glifosato, en una dosis de 0.86 kg/ha a, diluida en un volumen de 75 litros; y la otra como testigo. El diseño estadístico empleado fue al azar.

En cada lote tratado y en el testigo se establecieron cinco puntos de muestreo (repeticiones): cuatro en los vértices, 15 metros hacia la parte interna, y el otro en el centro. Por cada estación de muestreo, se tomaron diez tallos en un mismo punto, que fueran representativos del estado de desarrollo del cañaveral. Se eliminaron las hojas y el extremo del tallo hasta el octavo entrenudo (de la parte superior hacia abajo), el cual fue desfibrado y cuarteado para ser analizado en el laboratorio. Se pesaron 500 gramos y se obtuvo el jugo respectivo con la prensa oleoneumática y se aplicó una presión de  $100 \text{ kg/cm}^2$  durante un minuto. Se determinaron los grados brix del jugo, los porcentajes de pol y fibra en caña, el porcentaje de pureza del jugo, el porcentaje de humedad y el contenido de

sacarosa por tonelada de caña (rendimiento industrial).

El valor de la fibra logrado en la primera lectura en los tres cultivares, se obtuvo por el cálculo del promedio de los datos del segundo muestreo. No se disponía de esta información, necesaria para calcular el rendimiento industrial.

Para cada una de las variables se efectuó el análisis estadístico dentro de cada cultivar en las distintas fechas de evaluación.

#### RESULTADOS

En la Fig. 1 se muestran la cantidad de lluvia y las temperaturas máxima, media y mínima que se presentaron durante el estudio. La aplicación del producto madurador al final de la época lluviosa permitirá, dependiendo de la efectividad del producto y de la respuesta del cultivar, disponer de caña madura para iniciar la zafra. Como se verá después, la aplicación puede hacerse aun cuando el suelo presente suficiente humedad y en el período lluvioso.

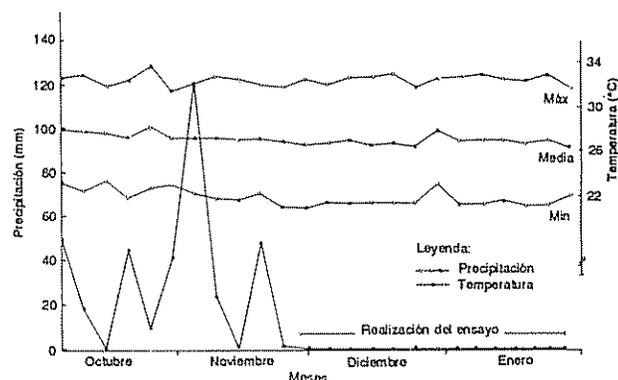


Fig. 1 Precipitación pluvial; temperatura máxima, mínima y media durante los meses de octubre, noviembre, diciembre y enero de 1985

Los resultados estadísticos de cada una de las variables estudiadas en los tres cultivares, se anotan en los Cuadros 1, 2 y 3.

En el cultivar B 50-377 el brix no presentó diferencias estadísticas entre períodos (Fig. 2). En el caso del porcentaje de pol en caña, sólo se observaron disparidades significativas 30 días después de la aplicación con valores del 16.72 % para el testigo y 19.16 % para el lote aplicado con glifosato (Fig. 3). Comportamiento similar se observó en el porcentaje de pureza del jugo: 87.19 % en el testigo y 89.11 % en el aplicado,

Cuadro 1. Análisis de las variables evaluadas a intervalos de 15 días en el cultivar B 50-377.

Días post. aplic.	Tratamiento	(%)					(kg/ha)
		Brix	Pol	Pureza	Fibra	Humedad	Rendimiento industrial
0	Testigo	17.99 N.S.	15.46 N.S.	85.76 N.S.	16.19 N.S.	71.34 *	96.47 N.S.
	Aplicado	18.73	16.61	88.69	15.45	68.70	107.02
	C.V. (%)	7.39	9.79	2.54	—	2.19	10.95
15	Testigo	18.50 N.S.	15.79 N.S.	85.33 N.S.	16.19 N.S.	75.54 **	98.14 *
	Aplicado	20.03	17.49	87.18	15.45	70.98	111.61
	C.V. (%)	5.92	8.50	2.92	6.56	2.80	8.11
30	Testigo	19.16 N.S.	16.72 *	87.19 *	14.07	66.77 N.S.	110.16 *
	Aplicado	21.48	19.16	89.11	14.24 N.S.	64.28	127.79
	C.V. (%)	8.16	9.33	1.48	6.13	3.69	8.55
45	Testigo	19.19 N.S.	16.74 N.S.	86.96 N.S.	14.97 N.S.	65.84 N.S.	108.24 N.S.
	Aplicado	21.72	19.35	89.04	15.05	63.23	126.00
	C.V. (%)	8.56	11.12	3.42	7.92	3.49	12.53
60	Testigo	19.35 N.S.	16.92 N.S.	87.52 N.S.	15.07 N.S.	65.58 N.S.	110.00 N.S.
	Aplicado	20.14	17.71	87.90	14.85	64.85	114.79
	C.V. (%)	9.34	9.61	2.45	7.46	3.44	9.65

\* Diferencias significativas al cinco por ciento de probabilidad.

\*\* Diferencias altamente significativas al uno por ciento de probabilidad.

N.S. Diferencias no significativas.

Cuadro 2. Análisis de las variables evaluadas a intervalos de 15 días en el cultivar Q-68.

Días post. aplic.	Tratamiento	(%)					(kg/ha)
		Brix	Pol	Pureza	Fibra	Humedad	Rendimiento industrial
0	Testigo	19.38 N.S.	17.10 N.S.	87.95 N.S.	15.12 N.S.	69.71 N.S.	110.54 N.S.
	Aplicado	20.72	18.58	89.72	15.51	68.67	120.21
	C.V. (%)	10.29	11.70	2.57	—	2.25	12.50
15	Testigo	19.01 N.S.	16.97 N.S.	89.18 N.S.	15.12 N.S.	71.99 N.S.	110.56 N.S.
	Aplicado	20.36	18.62	91.07	15.51	69.95	121.63
	C.V. (%)	6.30	7.57	2.32	6.74	2.48	8.72
30	Testigo	19.01 *	17.26 N.S.	90.82 N.S.	13.44 N.S.	67.54 N.S.	117.61 N.S.
	Aplicado	20.32	17.55	89.39	13.93	65.74	123.47
	C.V. (%)	3.98	7.25	1.75	10.67	2.84	5.34
45	Testigo	18.51 **	16.01 **	86.38 N.S.	14.26 N.S.	67.23 **	104.90 *
	Aplicado	20.57	18.41	88.44	14.71	64.72	121.18
	C.V. (%)	4.01	6.57	4.36	6.47	1.43	9.72
60	Testigo	17.87 **	15.65 *	87.41 N.S.	14.13 N.S.	68.00 **	103.31 N.S.
	Aplicado	20.90	18.53	88.67	15.42	63.68	119.52
	C.V. (%)	5.95	8.14	3.21	7.55	2.31	10.03

\* Diferencias significativas al cinco por ciento de probabilidad.

\*\* Diferencias altamente significativas al uno por ciento de probabilidad.

N.S. Diferencias no significativas.

en la misma fecha (Fig 4) El porcentaje de fibra en caña mostró valores semejantes en las diferentes épocas de muestreo El porcentaje de humedad en caña denotó diferencias significativas antes de la aplicación del madurador: 71.34 % y 68.70 % en el testigo y en el aplicado, respectivamente; y a los 15 días: 75.54 % en el testigo y 70.98 % en el aplicado, 'no así' en los muestreos posteriores (Fig 5) En cuanto al rendimiento industrial, hubo diferencias significativas en los 15 y 30 días posteriores a la aplicación En la primera fecha se obtuvo valores de 94.14 kg/t de sacarosa en el testigo y de 111.61 kg/t en el aplicado; en el otro muestreo, 110.16 kg/t y 125.79 kg/t en el testigo y aplicado, respectivamente (Fig. 6)

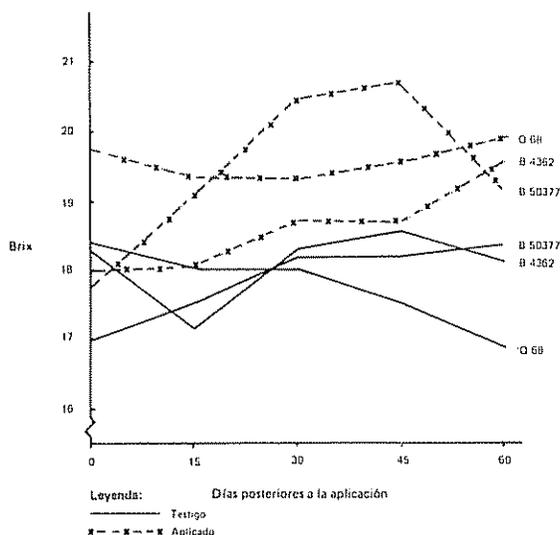


Fig 2 Efecto de la aplicación de glifosato en el brix del jugo en los cultivares B 50-377, B 4362 y Q 68

En el cultivar Q-68, se produjeron diferencias significativas en el brix a los 30 días con valores del 19.01 % y 20.32 % en el testigo y aplicado, respectivamente; también a los 45 y 60 días: 18.51 % y 20.57 % en el primer caso y 17.87 % y 20.90 % en el segundo para el testigo y aplicado con glifosato, respectivamente (Fig 2) Respecto del porcentaje de pol en caña, también se dieron disparidades altamente significativas a los 45 días: 16.01 % en el testigo y 18.41 % en el aplicado; a los 60 días: 15.65 % y 18.53 % en el mismo orden (Fig 3). En cuanto a la pureza y fibra no hubo diferencias sustanciales en ninguna de las fechas seleccionadas (Fig. 4)

A los 45 y 60 días se dieron grandes diferencias en el porcentaje de humedad en caña, con valores en el

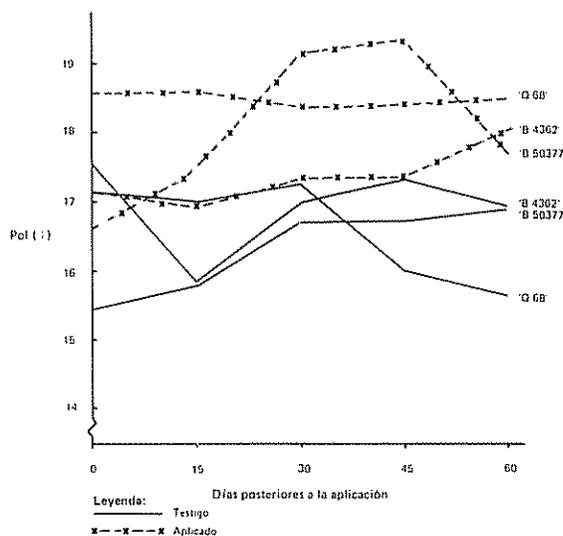


Fig 3. Efecto de la aplicación de glifosato en el porcentaje de pol del jugo en los cultivares B 50-377, B 4362 y Q 68

testigo y el tratado, respectivamente, de 67.23 % y 64.72 % en la primera fecha; 68.00 % y 63.68 % en la segunda (Fig. 5) Con respecto del rendimiento industrial solamente se lograron diferencias significativas 45 días después de haber hecho la aplicación, obteniéndose 104.90 kg/t de sacarosa en el testigo y 121.18 en el aplicado (Fig 6)

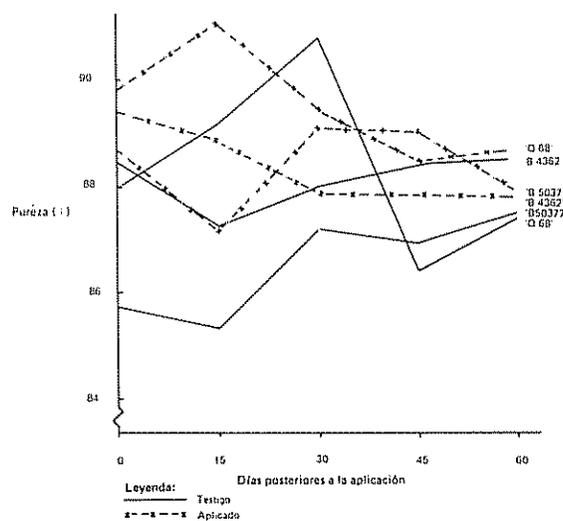


Fig 4. Efecto de la aplicación de glifosato en el porcentaje de la pureza del jugo en los cultivares B 50-377, B 4362 y Q 68.

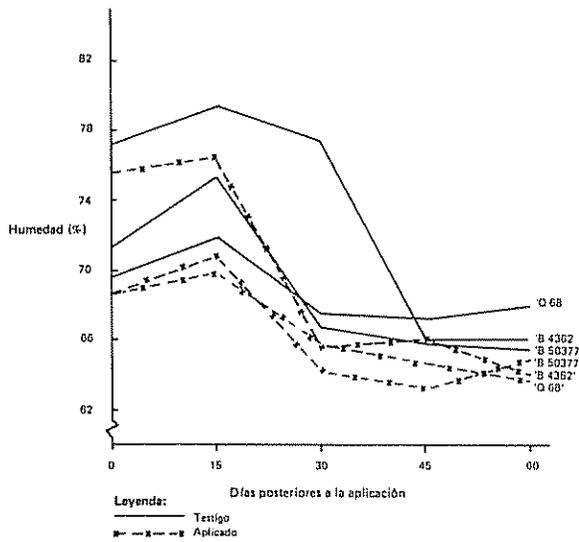


Fig. 5. Efecto de la aplicación de glifosato en el porcentaje de humedad en caña en los cultivares B 50-377, B 4362 y Q 68.

Los resultados en el cultivar B-4362 indican que el glifosato no causó ningún efecto en las diversas variables evaluadas (Fig. 1 al 5).

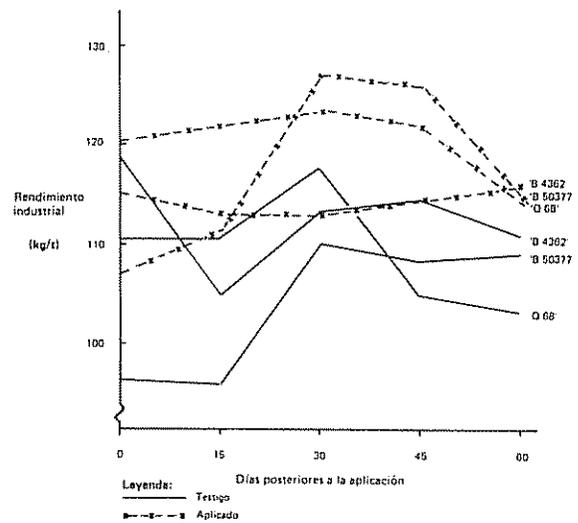


Fig. 6. Efecto de la aplicación de glifosato en el rendimiento industrial de los cultivares B 50-377, B 4362 y Q 68.

**Análisis económico**

Como se mencionó anteriormente, en 'B 50-377' y 'Q-68' se dieron diferencias significativas en el contenido de sacarosa al aplicar el madurador. Para deter-

Cuadro 3. Análisis de las variables evaluadas a intervalos de 15 días en el cultivar B-4362.

Días post. aplic.	Tratamiento	(%)					(kg/ha)
		Brix	Pol	Pureza	Fibra	Humedad	Rendimiento industrial
0	Testigo	18.97 N.S.	17.57 N.S.	88.41 N.S.	13.91 N.S.	77.25 N.S.	119.38 N.S.
	Aplicado	19.19	17.09	89.93	13.78	75.64	115.17
	C.V. (%)	6.53	9.14	2.51	-	2.24	11.09
15	Testigo	18.14 N.S.	15.84 N.S.	87.23 N.S.	13.91 N.S.	79.45 N.S.	104.92 N.S.
	Aplicado	19.05	16.92	88.83	13.78	76.49	113.17
	C.V. (%)	5.67	7.69	2.50	8.79	2.85	8.24
30	Testigo	19.29 N.S.	16.99 N.S.	88.00 N.S.	13.85 N.S.	67.44 N.S.	113.12 N.S.
	Aplicado	19.70	17.32	87.86	14.65	65.64	113.02
	C.V. (%)	4.96	5.51	2.22	9.36	2.75	5.41
45	Testigo	19.55 N.S.	17.33 N.S.	88.39 N.S.	14.36 N.S.	66.09 N.S.	114.36 N.S.
	Aplicado	19.70	17.33	87.83	14.22	66.20	114.33
	C.V. (%)	11.00	13.81	3.84	5.26	4.03	14.75
60	Testigo	19.12 N.S.	18.05 N.S.	88.58 N.S.	14.81 N.S.	66.08 N.S.	110.72 N.S.
	Aplicado	20.56	16.94	87.79	15.35	64.09	115.97
	C.V. (%)	5.27	6.99	4.47	5.02	2.30	8.52

\* Diferencias significativas al cinco por ciento de probabilidad.  
 \*\* Diferencias altamente significativas al uno por ciento de probabilidad.  
 N.S. Diferencias no significativas.

minar los beneficios económicos que se podrían obtener con esta práctica, se hizo un presupuesto parcial para cada uno de ellos.

#### 'B 50-377'

En la segunda y tercera lecturas, 15 y 30 días después de la aplicación, se encontraron disparidades en el rendimiento industrial, y se consideró la tercera lectura para realizar los cálculos.

En cuanto a los costos incurridos por hectáreas fueron: ₡1 894 para el glifosato; ₡34 90 por 1 26 horas de jornal; ₡35.00 por transporte del producto y ₡689.75 por la aplicación aérea. El costo total fue de ₡2 654 (1US\$ = ₡51).

El rendimiento industrial en la sección aplicada y en la testigo fue de 127 79 y 110.16 kg/t de sacarosa respectivamente; 16 % más de sacarosa en la primera, en esa fecha. Económicamente representa una diferencia de ₡9 263 por hectárea si se toma como base el rendimiento agrícola (65 17 t/ha) de este cultivar en la zafra 1984-1985, y el precio de liquidación (₡8.0625/kg). Considerando lo anterior el beneficio en el testigo fue de ₡57 881 y en el aplicado de ₡64 492; ₡6 610 por hectárea a favor del aplicado con madurador.

#### 'Q-68'

En este cultivar se observaron diferencias en el rendimiento industrial 45 días después de haber aplicado el producto, por lo que se tomó esta lectura para hacer los cálculos. Los rendimientos fueron de 121 18 y 104.90 kg/t de sacarosa respectivamente, para el aplicado y el testigo. La diferencia en términos porcentuales fue superior al 15 % de sacarosa en el aplicado. Tomando en cuenta el mismo precio de liquidación, utilizado en el cálculo anterior, y el rendimiento agrícola en promedio de 'Q-68' en la zafra 1984-1985, que fue de 82.67 t/ha, el ingreso en el aplicado sería de ₡80 770/ha, mientras que en el testigo fue de ₡69 919. Restando los costos totales por la aplicación del producto —iguales que en el cultivar anterior— se obtuvo una diferencia a favor del aplicado de ₡8 198. Sin embargo, como se expondrá más adelante, de acuerdo con los resultados logrados no se recomienda aplicar el producto en este cultivar a menos que se tenga que cosechar después de 45 días.

#### DISCUSION

El presente estudio revela un comportamiento diferente del glifosato como madurador en los tres cultivares de caña de azúcar.

En el cultivar B 50-377 se produjo un incremento en el rendimiento teórico cercano al 13 % a los 16 días y del 15 % a los 30 días, en comparación con el del testigo durante esas mismas fechas. El efecto positivo se dio al aumentar el brix y especialmente el pol, mejorando la pureza, excepto a los 15 días cuando disminuyó en comparación con la primera lectura. Este mismo cultivar mostró diferencias significativas en la humedad del tallo antes de la aplicación. Esto es atribuido al menor contenido de humedad en la sección del terreno donde fue aplicado el madurador. A pesar de eso el rendimiento industrial no fue afectado notoriamente.

El rendimiento industrial del testigo en 'Q-68' bajó 45 días después de la aplicación a causa de una disminución del brix, pol y pureza. Por otro lado, en la caña tratada hubo un aumento del brix y pol; no así en su pureza. Este ligero incremento en el rendimiento de sacarosa en el cañaveral aplicado y la disminución en el testigo permitió observar diferencias más marcadas en esa fecha. Puede deducirse en este caso, que el efecto del producto consistió en mantener ligeramente constante la madurez de la caña y no en producir un incremento en el rendimiento de sacarosa. Tomando en consideración lo anterior, lo más adecuado en este caso sería cosechar la caña anticipadamente en vez de aplicar el madurador.

El cultivar B-4362 no respondió al glifosato. Esto es de esperar, ya que los cultivares reaccionan en forma distinta a los maduradores (8, 17, 18). También se ha observado que los cultivares que no responden a los maduradores, algunas veces sí lo hacen cuando son agregados junto con agentes activos de la superficie (17, 18).

Un aspecto importante que ha de considerarse es que, durante la zafra en este estudio (1984-1985), se experimentó en general un rendimiento comercial alto en sacarosa, presumiblemente debido a factores climáticos que favorecieron la maduración de la caña. Eventualmente podrían esperarse mejores resultados con el madurador, si las condiciones prevalecientes fueran semejantes a las de años anteriores, cuando los rendimientos no son tan altos como los logrados en el año en que se realizó la prueba.

Antes de la aplicación del madurador, transcurrieron siete días sin que se presentara alguna precipitación pluvial, perdiendo el suelo parte del agua en reserva. La mejor condición para aplicar el madurador es cuando el suelo tiene suficiente humedad; de esta manera el producto se moviliza fácilmente. Clowes e Inman Bamber encontraron (5) que el glifosato en caña con poca humedad en el suelo, produce un incremento de la sacarosa por hectárea y la respuesta es

mucho mayor si prevalecen las buenas condiciones de humedad, ya que existe una alta interacción entre el riego o la humedad del suelo y la respuesta del madurador

Los cultivares empleados presentaron un comportamiento diferente en el desarrollo floral. El cultivar B 50-377 florea en mayor porcentaje; en 'Q-68' es escaso y en 'B-4362' es aún menor. La aplicación se efectuó en estado avanzado de floración; por tanto en el caso de cultivares que florecen, el momento más conveniente para realizar aquella sería apenas al inicio de la diferenciación floral, ya que la emisión de la panícula es interrumpida y en consecuencia se impide el desarrollo del primordio floral. En los cultivares que no florecen, la aplicación deberá hacerse cuando aquellos hayan alcanzado el máximo crecimiento. La dosis tendrá que ser suficiente como para interrumpir el crecimiento vegetativo y que, al pasar el efecto residual del producto, la planta pueda mostrar indicios de recuperación del meristema apical (6, 7). Es necesario tomar en cuenta que la aplicación debe obedecer a una condición vegetativa, no relacionada con la edad cronológica del cultivo (6).

Aunque en este estudio no se llevó a cabo ningún análisis del efecto de la misma en el rendimiento agrícola, es importante para determinar si se producen reducciones o aumentos en el tonelaje de caña y para establecer el mejor momento y la dosis de aplicación. Si se realiza tempranamente habrá una reducción en el rendimiento agrícola por la interrupción prematura del crecimiento del meristema apical (7). Por otro lado Fernández *et al.* (8) estudiaron la actividad de la sal de glifosina en el cultivar IAC 52-326, y encontraron que el peso de los tallos y el jugo aumentaron en un 14.17 % y un 15.74 %, respectivamente, en relación con los tallos no tratados. Clowes e Inman Bamber (5) también mencionan que el glifosato incrementa en ocasiones el rendimiento agrícola del retoño siguiente.

En el presente trabajo se utilizó una dosis de 0.86 kg/ha de i.a., que se puede considerar alta relativamente. Clowes (3) recomienda usar dosis entre 0.3 y 0.6 kg/ha de i.a., las cuales pueden provocar la maduración de la caña sin afectar el crecimiento. Es frecuente que las dosis altas causen la formación de tallos laterales en el extremo distal del tallo, generalmente en los últimos seis nudos; también puede producirse la formación de primordios radicales (3, 6). Estas características no se observaron en ninguno de los tres cultivares empleados; por lo tanto, la susceptibilidad estaría asociada con la sensibilidad de los cultivares y también debería tenerse presente que los efectos negativos que se dan pueden ser mayores si su empleo es frecuente y a largo plazo (4, 17, 18).

En el retoño se comprobó el efecto residual del producto. En observaciones hechas sobre el crecimiento, después de la cosecha, pudo notarse la presencia de una clorosis marcada, distribuida en forma de parches en los cultivares Q-68 y B-4362, lo mismo que en algunos lotes vecinos. Estos síntomas fueron muy semejantes a los denotados por Clowes (3); pero luego las plantas recobraron su color normal. No se constató este efecto en el cultivar B 50-377 ya que este lote, una vez cosechado, se renovó. En cuanto al efecto que tiene el producto en el sistema radical no se conocen de manera muy clara los efectos que puede causar. Gresshoff (10) lo menciona negativamente, pero Fernández *et al.* (7) citan que hay continuidad en los procesos de absorción de agua y nutrientes por las raíces, al emplear la glifosina.

Otras ventajas de los maduradores en general, son: el efecto positivo a la hora de quemar el cañaveral, pues la eliminación de la basura favorece la recuperación de la sacarosa; además que sirve para destruir insectos y ratas (17, 18); mayor resistencia del tallo al vuelco, debido a la acción del viento y el agua; mejor eficiencia de los cortadores que realizan la operación de cosecha manualmente, ya que un hombre puede cortar más toneladas por hora. Los suelos con alto contenido de materia orgánica, natural o agregada, como en el caso de las vinazas, tienen un efecto negativo en la maduración por su capacidad de retener humedad; una solución podría ser el uso de maduradores (6, 8).

La finalidad de la aplicación de algún tipo de madurador en caña de azúcar debe tener como objetivo inducir la maduración durante los periodos de menor concentración de sacarosa. Debe ser una práctica para realizarse a corto plazo; para ser sustituida, posteriormente, por un programa de selección de variedades que maduren en las épocas deseadas y obtener así un rendimiento aceptable durante los periodos críticos de la zafra.

#### LITERATURA CITADA

1. ANDREIS, H. J.; DESTEFANO, R. P. 1979. Chemical ripening of sugarcane suckers of variety CL 41-191. *Sugar Journal* (EE. UU.) 41(11):21-22.
2. CLAUS, J. S.; BEHRENS, R. 1976. Glyphosate translocation and quackgrass rhizome bud kill. *Weed Science* (EE. UU.) 24:149-152.
3. CLOWES, M. S. J. 1978. Early and late season chemical ripening of sugarcane. *Proceedings of the South African Sugar Technologist's Association* (South Africa) 52:160-165.

4. CLOWES, M. ST. J.; WOOD, R.A. 1978. Post harvest deterioration of whole stalk sugarcane treated with chemical ripeners. Proceedings of the South African Sugar Technologist's Association (South Africa) 52:166-168.
5. CLOWES, M. ST. J.; INMAN BAMBER, N.G. 1980. Effects of moisture regime, amount of nitrogen applied and variety of the ripening response of sugarcane to glyphosates. Proceedings of the South African Sugar Technologist's Association (South Africa) 54:127-133.
6. FERNANDEZ, J. 1977. Factores de amadurecimento da cana de açúcar. Brasil Acucareiro (Bra.) 3:116-122.
7. FERNANDEZ, J.; CAMPOLSIVAN, D.; FURLANI NETO, V.L. 1977. Efeitos do Polaris no rendimento agrícola de cana de açúcar. Brasil Acucareiro (Bra.) 6:333-350.
8. FERNANDEZ, J.; FURLANI NETO, V.L.; COMPOLSIVAN, D. 1978. Amadurecedores químicos na cana de açúcar. Coordinadoría Regional Sul Araras (SP) Boletín Técnico no. 5 31 p.
9. GOTTRUP, O.; O'SULLIVAN, P.A.; SCHRAA, R.J.; VANDEN BORN, W.H. 1976. Uptake, translocation, metabolism and selectivity of glyphosate in Canada thistle and leafy spurge. Weed Research 16:197-201.
10. GRESSHOFF, P.M. 1979. Growth inhibition by glyphosate and reversal of its action by phenylalanine and tyrosine. Australian Journal of Plant Physiology 6:177-185.
11. HARDISTY, J.A. 1980. The use of Asulam as a sucrose enhancer in sugarcane. Sugar News 56(4):137-139.
12. HILTON, H.W.; OSWOOD, R.V.; MARETZKI, A. 1980. Some aspects of Moon 8 000 as a sugarcane ripener to replace Polaris. Sugar News 56(5/6):176-180.
13. HURNEY, A.P.; SCHMALZL, K. 1978. Chemical ripening with Polaris under commercial conditions in North Queensland. Proceedings of the Queensland Society of Sugar Cane Technologists (A.C.T.) 45:139-144.
14. JULIEN, R.; GOOLLAMHOSEN. 1976. Results of industrial trial with ripener Polaris. Revue Agricole et Sucrière 55(4):389-399.
15. KINGSTON, G.; CHAPMAN, L.S.; HURNEY, A.P. 1978. Chemical ripening of sugarcane, BSES experiments during 1977. Proceedings of the Queensland Society of Sugar Cane Technologists (A.C.T.) 45: 37-53.
16. MCCATHY, T. 1980. A review of sucrose enhancer trial in Jamaica in 1974-78. In Congress of the International Society of Sugar Cane Technologist (70., 1980, Manila, Filipinas) Manila, Filipinas v 1, p. 614-617.
17. NICKELL, L.G. 1984. Revisión de los reguladores del crecimiento de la planta en la industria azucarera. Sugar y Azúcar (EE.UU.) 79(3):17-20.
18. NICKELL, L.G. 1985. Sucrose increases with bioregulators. Bioregulators: Chemistry and uses. ACS Symposium Series 257:101-112.
19. PULIDO, L.M. 1974. Nuevo madurador de la caña de azúcar. Sugar y Azúcar (EE.UU.) 69(6):175-179.
20. REEVERS JUNIOR, S.A. 1980. Evaluation of growth regulators for ripening of sugarcane. Texas Agricultural Experiment Station (EE.UU.) Progress Report no. 3664. 7 p.
21. SPRANKLE, P.; MEGGITT, W.F.; PENNER, D. 1975. Absorption, mobility and translocation of glyphosate. Weed Science (EE.UU.) 23:235-240.
22. TIANCO, A.P.; GONZALEZ, M.M. 1980. Effects of glyphosate ripener on growth response and sugar yield of sugarcane. In Congress of International Society of Sugar Cane Technologist (77., 1980, Manila, Filipinas) Manila, Filipinas v 1, p. 694-710.

# Efeitos de Acido 2-Cloroetilfosfônico (Ethrel) Sobre o Pólen de Aveia<sup>1</sup>

R. J. B. Pinto\*, F. E. F. de Carvalho\*\*, M. J. C. de M. S. Tavares\*\*\*, L. C. Federizzi\*\*\*\*

## ABSTRACT

The effects of 2-chloroethylphosphonic acid (Ethrel) on oat pollen grains were evaluated in four trials in the field and greenhouse, in 1985 and 1986. The andro-sterilizing action of Ethrel seems to vary according to the different genotypes, doses and stages of plant development at the time of pulverization. Increasing doses of Ethrel gave rise to a higher percentage of defective pollen, especially when applied before the pre-boot growth stage. On the other hand, cytological analysis indicated that breakdown in microsporogenesis was a consequence of disturbances in starch accumulation and distribution in the three-nucleus stage of the pollen grains.

## INTRODUÇÃO

Alguns trabalhos de pesquisa (2, 3) relacionam a ação gametocida do ácido 2-cloroetilfosfônico (Ethrel) com a liberação de etileno no interior das plantas tratadas. Desta forma, os efeitos desta substância sobre a expressão sexual dos cereais de estação fria têm sido estudados por vários pesquisadores (9, 3, 7, 1, 8). Basicamente estes trabalhos procuram avaliar a viabilidade de emprego deste produto químico na indução de androesterilidade, de forma a facilitar a obtenção de híbridos. Assim, a exploração prática da heterose traria reflexos positivos no incremento da produtividade de espécies autógamas como o trigo, aveia e cevada.

Em aveia, o uso do ácido 2-cloroetilfosfônico na indução da esterilidade de pólen parece promissor, de acordo com o genótipo, com a dose de Ethrel empregada e com o estágio de desenvolvimento das plantas no momento de sua pulverização (8). No entanto, persiste uma carência de informações mais detalhadas

## RESUMO

Com o objetivo de avaliar os efeitos do ácido 2-cloroetilfosfônico (Ethrel) sobre o pólen de aveia, foram conduzidos quatro experimentos, a campo e em casa de vegetação, nos anos de 1985 e 1986. A ação gametocida do produto dependeu do genótipo utilizado, da dose empregada e do estágio de desenvolvimento das plantas durante a pulverização. De maneira geral, doses crescentes de Ethrel corresponderam a maiores percentuais de pólen inviável, especialmente quando aplicado antes do pré-emborrachamento. Paralelamente, as análises citológicas indicam que o colapso na microsporogênese foi basicamente resultado de distúrbios no acúmulo e distribuição de amido nos grãos de pólen em fase de três núcleos.

sobre a real natureza dos distúrbios causados pelo produto à microsporogênese. Assim, o presente trabalho objetivou contribuir para um melhor entendimento dos efeitos do ácido 2-cloroetilfosfônico sobre as anteras de aveia, ressaltando sua participação no surgimento de anormalidades citológicas de vários tipos.

## MATERIAL E MÉTODOS

Os experimentos 1 (1985), 3 e 4 (1986) foram conduzidos a campo na Estação Experimental Agronômica da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, situada em Guaíba, RS. O experimento no 2 foi estabelecido em casa de vegetação da Faculdade de Agronomia da referida Universidade em Porto Alegre, RS. Alguns detalhes da metodologia adotada estão incluídas na Tabela 1.

O genótipo UFRGS 79A03 é uma linhagem e os genótipos UFRGS 5, UFRGS 6 e UFRGS 7 são variedades comerciais também desenvolvidas no programa de melhoramento genético da UFRGS, provenientes dos seguintes cruzamentos:

UFRGS 7903 = Cocker 234 x X 2616-2  
UFRGS 5 = Cocker 234 x RIT 230  
UFRGS 6 = Swam x 2616-2  
UFRGS 7 = X 1205 x FLA 1093

Em cada experimento, as panículas destinadas à análise citológica dos grãos de pólen foram coletadas de 5 a 10 dias após a última aplicação do ácido 2-cloroetilfosfônico. A seguir, foram fixadas em uma solu-

1 Recebido para publicação em 26 de janeiro de 1988. Contribuição do Setor de Plantas de Lavoura de Faculdade de Agronomia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (FA/UFRGS).

\* Eng. Agr., Mag. Sc., Pesquisador do Instituto de Pesquisas Agronômicas-RS.

\*\* Eng. Agr., Ph.D., Professor Titular, Faculdade de Agronomia Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), Caixa Postal 776, C. E. P. 90 001, Porto Alegre, RS.

\*\*\* Bióloga, Mag. Sc., Professora Assistente, FA/UFRGS, Pesquisador do CNPq.

\*\*\*\* Eng. Agr., Ph.D., Professor Adjunto, FA/UFRGS, Pesquisador do CNPq.

Tabela 1. Alguns detalhes da metodologia empregada nos experimentos a campo e em casa de vegetação-1985/86.

Metodologia	Experimentos			
	1	2	3	4
Delineamento experimental	PSSD*	BC**	PSD***	PSD
Genótipos avaliados	UFRGS 6; UFRGS 79A03	UFRGS 79A03	UFRGS 5	UFRGS 7
Doses de Ethrel (kg s.a./ha)	0, 3, 6, 12	0, 1, 5, 3, 0, 6, 0	0, 1, 5, 3, 0, 6, 0	0, 1, 5, 3, 0, 6, 0
Estádios de desenvolvimento das plantas quando da pulverização****	41; 45	38; 41; 43	38; 43	38; 43
Área útil da unidade experimental (m <sup>2</sup> )	4,50	0,05	1,80	1,80
Número de repetições	4	3	3	3

\* Parcelas subdivididas

\*\* Blocos casualizados

\*\*\* Parcelas subdivididas

\*\*\*\* Segundo a escala de Zadoks *et al* (10)

ção de álcool 99° e ácido acético na proporção de 3 para 1, sendo transferidas para álcool 70° e mantidas em congelador, dois dias após a coleta. Lewis e John (4) descreveram a técnica empregada no preparo das lâminas citológicas, sendo utilizado como corante uma solução de carmim propiônico. Foram analisadas duas lâminas por panícula, sendo observados em cada lâmina 200 grãos de pólen. Como critério para a classificação dos grãos de pólen em normais ou anormais, foram considerados viáveis somente os microgametófitos que possuíam um formato externo arredondado, distribuição regular de amido e bom aspecto dos 2 ou 3 núcleos existentes, conforme o grau de maturação das anteras analisadas. A Fig. 1 mostra as principais classes morfológicas de pólen nas plantas tratadas. Por outro lado, a proporção do número de grãos de pólen dividida por 200 indicou a frequência de pólen normal obtida.

Após a aplicação dos testes de Shapiro-Wilk e de Kolomogorov, destinados à comprovação da distribuição normal dos dados, foi procedida a análise de variância convencional, seguida da separação das médias de frequência de pólen viável por meio do teste de Duncan, com  $P > 0,05$ . No caso da Tabela 5, a separação das médias dentro de cada classe morfológica de pólen teve por base os respectivos intervalos de confiança calculados com dois desvios padrão, na média dos 2 genótipos.

#### RESULTADOS E DISCUSSÃO

De acordo com os dados obtidos em 1985 (Tabela 2), há evidências de um comprometimento na microsporogênese das plantas tratadas, especialmente com

aplicações no pré-emborrachamento. Neste estádio e sob a dose máxima, o ácido 2-cloroetilfosfônico fez com que as plantas tratadas produzissem apenas 3,59% do percentual detectado na respectiva testemunha. O efeito do produto foi sensivelmente menor, sob qualquer dose efetiva (3,6 e 12 kg/ha), quando aplicado durante o emborrachamento.

Os efeitos fitotóxicos observados em 1985 sugeriram o uso de doses menores de Ethrel no experimento 2. Mesmo assim, o efeito de doses sobre a microsporogênese novamente teve grande magnitude, ocorrendo diferenças significativas entre todas as médias de doses (Tabela 3). Por outro lado, Lougheed e Franklin (5) apontaram que a quantidade de etileno liberada pelo Ethrel era diretamente relacionada com o incremento da temperatura. Conseqüentemente, as altas temperaturas observadas em cas de vegetação poderiam ter contribuído para um efeito intenso do gametocida utilizado. Da mesma forma, uma comparação entre os percentuais de pólen viável nas testemunhas, a campo (Tabela 2) e em casa de vegetação (Tabela 3), parece ter confirmado o efeito das altas temperaturas sobre a promoção de anormalidades meióticas em plantas não tratadas, conforme indicado por Zanettini *et al* (11).

Os resultados obtidos nos experimentos 3 e 4 (Tabela 4), embora não apontem significância estatística para as diferenças entre as médias de distintos estádios no genótipo UFRGS 5, mostram que, em UFRGS 7, aplicações antes do pré-emborrachamento foram significativamente mais prejudiciais à microsporogênese do que pulverizações posteriores. Ao mesmo tempo, foi detectado que as doses efetivas tiveram idêntica ação gametocida em UFRGS 5. Já para

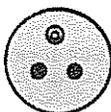
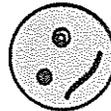
Nº da classe	Apresentação esquemática	Observações
1		Pólen binucleado. normal em anteras imaturas
2		Pólen binucleado de anteras imaturas. anormal por degeneração de um dos núcleos
3		Pólen trinucleado maduro. normal
4		Pólen trinucleado, considerado normal ou não de acordo com a extensão da deficiência amídica e o aspecto geral dos núcleos
5		Pólen trinucleado, anormal. com grande deficiência de amido
6		Pólen anormal. com distribuição muito irregular de amido
7		Pólen vazio. com ausência total de amido
8		Pólen com micronúcleos. anormal
Outros tipos:		Tipos anormais pouco frequentes, como grãos de pólen com forte carência de amido ou núcleos não distinguíveis

Fig 1 Classes morfológicas de pólen, em aveia, observadas nos experimentos de 1985/86, em decorrência de pulverizações com Ethrel

UFRGS 7, as plantas tratadas com as maiores doses produziram cerca da metade da percentagem de pólen normal detectada no tratamento padrão. Desta forma, em UFRGS 7, a comparação entre as médias da testemunha e da dose máxima mostra que a frequência de pólen inviável aumentou em 1120 %

Tabela 2. Percentagem média de pólen viável entre os genótipos de aveia UFRGS 6 e UFRGS 79A03 testados a campo com 4 doses de Ethrel aplicadas em 2 estádios de desenvolvimento de planta (1985).

Doses (kg/ha)	Percentagem de pólen viável com aplicações		Média
	No pré-emborrachamento	No emborrachamento	
0	95.19 <sup>a</sup>	94.58 a	94.88 a
3.0	33.63 b	66.26 bc	49.95 b
6.0	3.36 c	71.09 b	37.22 c
12.0	3.42 c	60.13 c	31.77 c
Média	33.90 <sup>**</sup> <sub>B</sub>	73.01 <sub>A</sub>	53.46

\* Médias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna não diferem entre si (P > 0.05)

\*\* Médias seguidas pela mesma letra maiúscula na linha não diferem entre si (P > 0.05)

A carência de informações sobre as propriedades gametocidas do ácido 2-cloroetilfosfônico exige o estabelecimento de uma análise mais detalhada sobre as anormalidades citológicas observadas. Desta forma, os dados da Tabela 5 mostram a distribuição percentual de cada classe morfológica de pólen sobre o total observado em cada estágio e dose na média dos dois genótipos, uma vez que não foram constatadas diferenças significativas entre UFRGS 5 e UFRGS 7

Tabela 3. Frequência de pólen normal do genótipo de aveia UFRGS 79A03 testado em casa de vegetação com 4 doses de Ethrel, na média de 3 estádios (1986).

Dose (kg/ha)	Frequência de pólen normal
0	0.82 <sup>a</sup>
1.5	0.51 b
3.0	0.40 c
6.0	0.23 d
Média	0.49

\* Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si (P > 0.05)

Tabela 4. Frequência de pólen normal dos genótipos de aveia UFRGS 5 e UFRGS 7 testados a campo com 4 doses de Ethrel aplicadas em 2 estádios de desenvolvimento de planta (1986).

Estádio	Dose (kg/ha)	Frequência de pólen normal		Média dos experimentos
		UFRGS 5 (experimento 3)	UFRGS 7 (experimento 4)	
Antes do pré-emborrachamento	0	0.95* a	0.95 a	0.95
	1.5	0.85 a	0.64 ab	0.74
	3.0	0.70 b	0.33 b	0.51
	6.0	0.60 bc	0.22 b	0.41
	Média	0.77** <sub>A</sub>	0.53 <sub>A</sub>	0.65
Após o pré-emborrachamento	0	0.93 a	0.95 a	0.94
	1.5	0.83 a	0.86 ab	0.84
	3.0	0.85 a	0.70 ab	0.87
	6.0	0.64 b	0.67 b	0.65
	Média	0.81 <sub>A</sub>	0.79 <sub>A</sub>	0.82

\* Médias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna não diferem entre si ( $P > 0.05$ ).

\*\* Médias seguidas pela mesma letra maiúscula na coluna não diferem entre si ( $P > 0.05$ ).

Inicialmente, pela Tabela 5, a observação das médias das duas primeiras colunas sugere que as doses crescentes de Ethrel estejam associadas a frequências progressivamente menores de pólen binucleado normal, e maiores de pólen binucleado anormal. Ainda que as diferenças entre estádios não tenham sido significativas, parece ter ocorrido um percentual maior de pólen binucleado, normal ou não, com aplicações de Ethrel anteriores ao pré-emborrachamento, talvez

porque no estádio mais avançado a maior parte dos micrósporos já tivesse formado os três núcleos definitivos.

Os dados da Tabela 5 mostram que, em ambos os estádios, as classes morfológicas três e quatro foram inequivocamente as mais visualizadas, confirmando que a ação do produto foi basicamente direcionada à indução de deficiências de amido localizadas nos

Tabela 5. Distribuição percentual média de pólen entre os genótipos de aveia UFRGS 5 e UFRGS 7 em distintas classes morfológicas, após aplicações de Ethrel a campo (1986).

Estádio de aplicação do Ethrel	Dose (kg/ha)	Classes morfológicas de grãos de pólen (%)								
		1	2	3	4	5	6	7	8	Outros
Antes do pré-emborrachamento	0	17.08*a	0.00 b	76.31 a	4.98 b	0.00 b	0.00 b	1.61 b	0.00 b	0.00 b
	1.5	5.56 ab	3.47 ab	18.71 ab	57.12 ab	0.47 ab	7.17 ab	6.52 b	0.97 a	0.00 b
	3.0	0.90 b	3.29 ab	11.87 ab	61.37 ab	8.02 a	9.96 ab	3.16 ab	0.67 ab	0.73 ab
	6.0	9.25 ab	4.98 a	4.54 b	60.84 a	0.54 ab	15.69 a	2.35 ab	0.49 ab	1.31 a
	Média	8.20** <sub>B</sub>	2.93 <sub>B</sub>	27.86 <sub>AB</sub>	46.07 <sub>A</sub>	2.26 <sub>B</sub>	8.20 <sub>B</sub>	3.41 <sub>B</sub>	0.53 <sub>B</sub>	0.51 <sub>B</sub>
Após o pré-emborrachamento	0	0.00 b	0.00 b	93.11 a	4.44 b	0.00 b	0.00 b	2.25 ab	0.00 b	0.00 b
	1.5	5.05*ab	0.41 ab	20.53 ab	63.12 ab	0.75 ab	5.77 a	2.56 a	0.00 b	1.88 ab
	3.0	1.58 ab	0.00 b	11.79 ab	75.53 a	0.55 ab	1.62 ab	1.95 b	6.95 a	0.00 b
	6.0	5.66 a	1.75 a	6.37 b	71.53 ab	0.98 a	3.63 ab	1.97 b	1.28 ab	6.84 a
	Média	3.07 <sub>B</sub>	0.54 <sub>B</sub>	32.95 <sub>AB</sub>	53.65 <sub>A</sub>	0.57 <sub>B</sub>	2.75 <sub>B</sub>	2.18 <sub>B</sub>	2.06 <sub>B</sub>	2.13 <sub>B</sub>

\* Médias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna não diferem entre si ( $P > 0.05$ ).

\*\* Médias seguidas pela mesma letra maiúscula na linha não diferem entre si ( $P > 0.05$ ).

bordos dos micrósporos trinucleados. Paralelamente, doses crescentes de Ethrel corresponderam a percentuais cada vez menores de grãos de pólen normais (classe 3). Da mesma forma, na classe 4, houve diferenças expressivas entre a frequência deste tipo de pólen nas plantas tratadas e não tratadas com o produto químico, não tendo ocorrido, porém, significância estatística para as diferenças entre as médias das doses efetivas (1,5, 3,0 e 6,0 kg/ha).

O ácido 2-cloroetilfosfônico parece ter induzido pequenos aumentos nos percentuais de pólen tipos 5 e 6 (Tabela 5), ratificando a existência de efeitos diretos ou indiretos sobre o acúmulo e distribuição de amido nos grãos de pólen das plantas tratadas. Por outro lado, os valores da classe 6 sugerem uma certa independência entre a ocorrência de grãos de pólen vazios e as aplicações do produto químico. Ao mesmo tempo, os dados da classe 8 sugerem uma ação discreta do gametocida sobre o surgimento de micronúcleos, os quais, por serem constituídos de DNA nuclear (6), podem estar associados a perdas de material genético, caracterizando, se houvesse viabilidade de tais micrósporos, uma ação até certo ponto mutagênica do 2-cloroetilfosfônico sobre a aveia. Por último, a grande ocorrência de valores nulos, na coluna relativa aos demais tipos morfológicos, indica que a divisão das observações de pólen em 8 classes morfológicas básicas foi adequada aos propósitos do trabalho.

#### CONCLUSÃO

Parece estar comprovada a ação gametocida do ácido 2-cloroetilfosfônico, em aveia. Assim, doses crescentes de Ethrel corresponderam a percentuais progressivamente maiores de anormalidades citológicas, induzidas pela ação do etileno sobre os processos meióticos e mitóticos, nas anteras das plantas tratadas. Paralelamente, as análises citológicas mostraram que o colapso na microsporogênese foi basicamente resultado de distúrbios no acúmulo e na distribuição de amido dos grãos de pólen em fase de três núcleos.

#### LITERATURA CITADA

1. BARBOSA NETO, J.F. 1985. Esterilidade de trigo induzida pelo ácido 2-cloroetilfosfônico (Ethrel). Dissertação de Mestrado. Porto Alegre, Bra., Faculdade de Agronomia da UFRGS. 104 p.
2. COOKE, A.R.; RANDALL, D.I. 1968. 2-Haloethane phosphonic acids as ethylene releasing agents for the induction of flowering in pineapples. *Nature (G.B.)* 218:974.
3. HUGHES, W.G. 1975. Use of Ethephon in wheat breeding. *Annual Applied Biologists (G.B.)* 81:112-114.
4. LEWIS, K.R.; JOHN, B. 1964. The matter of mendelian heredity. London, Churchill. 169 p.
5. LOUGHEED, E.C.; FRANKLIN, E.W. 1972. Effects of temperature on ethylene evolution from Ethephon. *Canadian Journal of Plant Science (Can.)* 52:769-773.
6. LOVE, R.M. 1949. Trigos riograndenses. *Agros (Bra.)* 11:66-85.
7. NELSON, L.R. 1975. Effect of Ethrel on sterility in triticale. *Crop Science (EE.UU.)* 15:727-728.
8. PINTO, R.J.B. 1987. Indução de androesterilidade em aveia pelo uso do ácido 2-cloroetilfosfônico (Ethrel). Dissertação de Mestrado. Porto Alegre, Bra., Faculdade de Agronomia da UFRGS. 114 p.
9. STOSKOPF, N.C.; LAW, J. 1972. Some observations of Ethrel as a tool for developing hybrid cereals. *Canadian Journal of Plant Science (Can.)* 52:680-683.
10. ZADOKS, J.C.; CHANG, T.T.; KONZAK, C.F. 1974. A decimal code for the growth stages of cereals. *Weed Research Organization (G.B.)* 14:415-421.
11. ZANETTINI, M.H.B.; FERNANDEZ, M.I.B.M.; SALZANO, F.M. 1979. Cytogenetic studies in two Brazilian wheat cultivars under natural and controlled temperature conditions. *Revista Brasileira de Biologia (Bra.)* 39:551-557.

# Poblaciones Extranjeras de Maíz como Fuente Potencial de Precocidad en el Trópico Mexicano<sup>1</sup>

R. E. Preciado\*, F. Caballero\*\*

## ABSTRACT

Early maize varieties can be successfully grown in different production systems in the humid tropics of Mexico. Unfortunately early tropical types are frequently associated with low yield. Consequently, United States corn belt germplasm, with good yield performance, has been introduced. Preliminary results suggest that this germplasm may be a good source of early, high-yielding materials. In this paper, the results of two back-crossing cycles between Mexican and US pools are discussed. The results showed that in two backcrosses into the Mexican pool, the earliness of the US temperate maize was maintained. Furthermore, an improvement in ear quality, husk coverage, and reduction of ear rots was observed. Nevertheless, an increase in plant and ear height, stem breakage and leaf area was observed in the back cross generations compared to the US germplasm.

## INTRODUCCION

En algunas áreas tropicales de México donde es posible sembrar maíz en humedad residual y en "tonalmil" (siembra que se efectúa durante los meses de noviembre y diciembre en las zonas norte y sur del Estado de Veracruz. Este sistema de siembra utiliza humedad residual del temporal y algunas lluvias ocasionales, producidas por los vientos del norte), o bien donde el temporal (secano) es errático, así como en diferentes patrones de cultivo, se pueden utilizar variedades con una precocidad aproximada de 50 días hasta la floración y 90 días hasta la cosecha. Sin embargo, no obstante los grandes esfuerzos que algunos investigadores invirtieron en el pasado para el desarrollo de ese tipo de variedades, a la fecha no hay resultados satisfactorios.

<sup>1</sup> Recibido para publicación el 1 de marzo de 1988

\* M. C. Líder del Programa de Maíz del Campo Agrícola Experimental Cotaxtla (CAECOT); Centro de Investigaciones Forestales y Agropecuarias de Veracruz, México.

\*\* M. C. Investigador del Programa de Maíz del Campo Experimental Valle de Apatzingán; Centro de Investigaciones Forestales y Agropecuarias de Michoacán, México.

## COMPENDIO

En el Trópico Húmedo de México existe una gran superficie de siembra en humedad residual y "tonalmil", así como diversos sistemas de producción, donde las variedades de maíz de ciclo precoz pueden ser utilizadas satisfactoriamente. Por otro lado, debido a que las variedades precoces tienen una alta correlación con el bajo rendimiento, se recurrió a la introducción de germoplasma de alto rendimiento en zonas templadas y que en el trópico tienen un comportamiento precoz, tal es el caso de algunas poblaciones de la faja maicera de Estados Unidos de América (EUA). En este trabajo se analizan algunas características agronómicas en las cruces intervarietales entre materiales de México y EUA, así como en dos ciclos de retrocruzamiento hacia la obtención de germoplasma mexicano. De los resultados más sobresalientes se observó que en los ciclos de retrocruzamiento, se mantuvo la precocidad de las poblaciones de EUA; hubo avance en los materiales retrocruzados en relación con la cruza en F<sub>2</sub>, al tener mejor calificación y sanidad de la mazorca, menor número de mazorcas podridas, amarillas y con mala cobertura de mazorca. También se observó en los genótipos, a través de los ciclos de retrocruzamiento, un incremento en la altura de la planta, mazorca, acame y área foliar en relación con los materiales de EUA.

Debido a que la precocidad tiene una alta correlación con el bajo rendimiento, en la actualidad algunas tendencias tratan de conjuntar el alto rendimiento y la precocidad; éstas son: seleccionar genótipos rendidores de fuentes precoces; cruzar genótipos precoces por genótipos intermedios y seleccionar según precocidad en materiales intermedios.

Por otro lado, ya que los materiales intermedios de zonas templadas tienen un comportamiento mucho más precoz en el trópico, es posible utilizarlos como fuentes de precocidad pues en su lugar de origen tienen un alto potencial de rendimiento como materiales intermedios; tal es el caso de las poblaciones introducidas de la faja maicera, usadas en este estudio. El término "faja maicera" se refiere a la ubicada en Estados Unidos de América ("Corn Belt"), que comprende los estados de Iowa, Nebraska e Illinois, principalmente.

La información que brinda la literatura es aplicada a la adaptación de germoplasma exótico a la faja maicera.

cera, donde se requieren materiales sumamente uniformes para utilizarlos en la formación de híbridos de cruce simple, principalmente. En México, la adaptación de variedades extranjeras a las condiciones locales, no necesita de materiales con tal uniformidad, sino simplemente adaptados, con buen potencial de rendimiento y precocidad —motivo de este estudio— y que puedan ser utilizadas como variedades de polinización libre a corto plazo. De ahí la importancia de las cruces intervarietales en este artículo.

### Objetivos

- Determinar la posibilidad de aprovechar las cruces intervarietales entre el material introducido en México para formar variedades precoces adaptadas a las zonas tropicales del país.
- Estudiar el rendimiento y características fenológicas de una serie de cruces intervarietales de poblaciones mexicanas y de Estados Unidos de América, a través de dos ciclos de retrocruzamiento con material mexicano.
- Señalar diferencias morfológicas y de precocidad en los genótipos estudiados a través de los ciclos de retrocruzamiento.

### REVISIÓN DE LITERATURA

Hallauer (2) definió en 1978 el término "exótico" como aquel germoplasma no nativo, de origen foráneo, introducido de otro lado; desadaptado y desaclimatado. Agrega que esta amplia definición debería incluir todo el germoplasma que no se puede utilizar de inmediato en un programa de mejoramiento. El mismo autor agrega que existen estudios de selección para adaptar germoplasma exótico, al usarlo dentro de los programas de mejoramiento de la faja maicera en forma efectiva.

Wellhausen (8), en 1965, enfatizó acerca del tremendo potencial para mejorar el maíz en la faja mencionada, mediante el uso de germoplasma exótico, que permitiría incrementar la variabilidad genética en las poblaciones e intensificar la heterosis debido a la diversidad genética.

Hallauer (2), en 1978, mencionó que el cruzar germoplasma exótico con el adaptado ha sido un procedimiento usual para incorporar el primero. Este procedimiento es exitoso si se permite un suficiente entrecruzamiento y una baja intensidad de selección, antes de iniciar ésta de manera intensa. Después el mismo autor (2) agrega que la adaptación y aclimatación de germoplasma exótico requiere un programa

a largo plazo, involucrando selección cíclica y recombinación, dedicándole tiempo y paciencia.

Posteriormente Hallauer (3) afirmó, en 1980, que los esquemas de selección recurrente a largo plazo son métodos de mejoramiento utilizados para desarrollar los caracteres cuantitativos; mantener la variabilidad genética y adaptar el germoplasma exótico. Para alcanzar los objetivos de mejoramiento a corto plazo, la aplicación del mejorador puede enfatizar en la selección por pedigrí, pero los esquemas de selección recurrente pueden suplementarlo y, después de un determinado periodo de tiempo, convertirse en parte integral de los programas de mejoramiento aplicados.

Troyer y Brown (7), en 1972, seleccionaron según precocidad en tres sintéticos de maíz, dos de ellos formados con germoplasma mexicano y de la faja maicera, y el otro con germoplasma del Oeste de la India y de la faja maicera. Encontraron en seis ciclos de selección una respuesta en promedio de 1.8 días de precocidad en floración por ciclo y 1.2 % de humedad menos por ciclo en el grano. Los autores agregan que la precocidad está asociada con la altura de la planta, ya que después de la aparición de la inflorescencia masculina no se forman más nudos; también mencionan que la altura de la mazorca está estrechamente relacionada con la altura de planta. En promedio estas alturas —planta y mazorca— se redujeron 7.2 y 5.2 cm por ciclo, respectivamente.

Compton, Mumm y Mathema (1) evaluaron, en 1979, el avance en la adaptación y rendimiento en 10 poblaciones de maíz, ocho de ellas formadas con germoplasma exótico, o bien con germoplasma de faja maicera por exótico, y las dos poblaciones restantes de la faja maicera, empleando en todos los casos la selección masal. En los ensayos se incluyeron dos generaciones de cada población como sigue: el ciclo original y el ciclo más avanzado de selección. La diferencia fue dividida entre el número de ciclos de cada población para determinar el avance por ciclo. En promedio, la selección incrementó más el rendimiento de grano en las poblaciones exóticas que en las adaptadas. Agregan los autores que los datos indican que cuando los rendimientos iniciales son altos, la tasa de incremento es menor al seleccionar para adaptación y proliferación.

Wellhausen (8) sugirió en 1965 la formación de cuatro complejos ("pooles") genéticos formados con materiales de 'Antigua', 'Cristalinos Cubanos', 'Harinoso de Ocho' y 'Tuxpeño', cruzándolos con germoplasma de la faja maicera. Wellhausen aconseja el empezar con pequeños porcentajes (> 25 %) de germoplasma exótico.

En general la literatura que habla de la utilización de germoplasma exótico en las condiciones de la faja maicera, apunta una serie de desventajas para su utilización inmediata, debido principalmente a que los materiales exóticos al cruzarse con adaptados, en aquellas condiciones, se vuelven fenotípicamente variables y más tardíos, por lo que se necesita mucho tiempo y trabajo para la formación de las cruza simples utilizadas en aquella región.

Por otro lado las siembras de maíz en zonas tropicales en México, no requieren variedades con tanta uniformidad, simplemente con adaptación y buen potencial de rendimiento, por lo que es factible la utilización a corto plazo de material "exótico"

#### MATERIALES Y METODOS

##### Area de Estudio

El presente trabajo fue realizado en el Campo Agrícola Experimental Cotaxtla (CAECOT), sede del Centro de Investigaciones Agrícolas del Golfo Centro (CIAGOC). Esta localidad se encuentra situada en el meridiano 95° 10' al Oeste de Greenwich y en el paralelo 18° 50' de latitud Norte, y a una altura de 26 m sobre el nivel del mar.

El clima es del tipo cálido subhúmedo, con una precipitación pluvial de 1300 mm; la temperatura media anual oscila entre 24 y 27°C con inviernos benignos y con una estación seca bien definida.

Cuadro 1. Algunas características de las mejores cruza intervarietales (Méx. EUA) evaluadas en Cotaxtla y utilizadas en el presente estudio (1981).

Genealogía	Características	Días a flor $\delta$
1 [P.R. 7822 X (BS 18 X BS 13 (S)) C2] F2	Rendidora precoz	50
2 [P.R. 7822 X (BSL (S)) C6] F2	Rendidora	52
3 [P.R. 7822 X (BS 23 (S)) C2] F2	Rendidora	52
4 [P.R. 7822 X (BS 16 (S2)) C2] F2	Rendidora precoz	50
5 [Pool 19 X (BS 16 (S2)) C2] F2	Precoz	50
6 [Pool 19 X (BS 16 X BS 13 (S)) C2] F2	Precoz	50
7 [Pool 19 X (BS 18 X BS 13 (S)) C2] F2	Precoz	50
8 [Pool 20 X (BS 13 (S)) C2] F2	Rendidora	50
9 [Pool 20 X (BS 16 (S2)) C2] F2	Precoz	50
10 [Pool 20 X (BSL (S)) C6] F2	Precoz	50
11 [P.R. 7843 X BSL (S)) C6] F2	Precoz	50
12 [Across 7729 X (BS 16 (S2)) C2] F2	Precoz	50
13 [Across 7729 X (BS 18 X BS 13 (S)) C2] F2	Precoz	50
14 [Across 7729 X (BS 16 X BS 13 (S)) C2] F2	Rendidora	51
15 [Across 7734 X (BS 18 X BS 13 (S)) C2] F2	Precoz	50
16 [Across 7832 X (BS 13 (S) C2 X BSL (S)) C6] F2	Rendidora	50
17 [Across 7832 X (BS 16 X BSL (S)) C6] F2	Rendidora	51
18 [Bco Dent 2 (BS 13 (S)) C2] F2	Precoz	50

##### Material Genético

Los materiales utilizados en este estudio se presentan en el Cuadro 1, y fueron 18 los que mostraron mejores atributos, tanto de rendimiento como de características fenológicas, en un ensayo de rendimiento (1981), establecido en el Campo Cotaxtla en tiempo de sequía (secano). Dicho ensayo incluyó 64 cruza de poblaciones de EUA con poblaciones tropicales.

El germoplasma involucrado en las cruza intervarietales, tanto de la faja maicera como del generado por el Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT), ha sido sometido a diversos esquemas de selección recurrente, acumulando genes favorables para diversas características. En el Cuadro 2 se presenta una relación del germoplasma involucrado en las cruza intervarietales superiores.

Las cruza intervarietales anteriores fueron avanzadas a F<sub>2</sub> en riego de 1982, y en el ciclo de temporal de ese año se incluyeron como hembras en el segundo ciclo de recombinación del Compuesto de Amplia Base Genética Precoz (CABG Precoz), donde fue formado el primer ciclo de recombinación de estos materiales que, para propósitos de este estudio, se denominó ciclo uno (C<sub>1</sub>); el ciclo dos (C<sub>2</sub>) fue formado en el tercer ciclo de recombinación del mencionado compuesto. El macho del segundo y tercer ciclos de recombinación del CABG Precoz se formó con un compuesto balanceado de los siguientes materiales:

- V-420 segundo y tercer ciclo de recombinación.  
V-410 segundo y tercer ciclo de recombinación.

VS-425 segundo y tercer ciclo de recombinación.  
 V-416 segundo y tercer ciclo de recombinación.  
 V-455 segundo y tercer ciclo de recombinación.  
 Pool 19 segundo y tercer ciclo de recombinación.  
 Bco. Dent. 2 segundo y tercer ciclo de recombinación.  
 Tuxp. C-17 segundo y tercer ciclo de recombinación.  
 Cot. XIX segundo y tercer ciclo de recombinación.  
 Tam 15 segundo y tercer ciclo de recombinación.

Cuadro 2. Origen de las poblaciones que intervienen en las cruza intervarietales superiores.

Población	Germoplasma
BSL (S) C <sub>6</sub>	('Lancaster Sure Crop')
BS 13 (S <sub>2</sub> ) C <sub>2</sub>	('Iowa Stiff Stalk Synthetic')
BS 16 (S <sub>2</sub> ) C <sub>2</sub>	('ETO')
BS 18	('Krug')
PR 7822	('Mezcla Tropical Blanca')
PR 7843	('La Posta')
Across 7729	('Tuxpeño Caribe')
Across 7832	('ETO Blanco')
Across 7834	('Cristalinos Cubanos')
Pool 19	('Intermedio Blanco Cristalino')
Pool 20	('Intermedio Blanco Dentado')

**Siembra y Labores de Cultivo**

En el ciclo de sequía de 1983 fue establecido en el CAECOT, un ensayo con 18 cruza intervarietales (Méx. EUA) en F<sub>2</sub> que, en adelante, llamaremos CO y sus respectivos C<sub>1</sub> y C<sub>2</sub> de retrocruzamiento

El ensayo se inició el 15 de julio de 1983, con un arreglo de parcelas divididas en: grandes, de 12 surcos con 5.5 m de largo y en chicas de cuatro surcos del mismo largo, con una distancia entre surcos de 0.75 m y entre matas de 0.50 metros. Dejando dos plantas por mata después del atierre, la parcela útil estaba conformada por los dos surcos centrales de la parcela chica.

Las demás prácticas agronómicas fueron las recomendadas por el programa de maíz del CAECOT.

**Toma de Datos**

Los datos tomados fueron: días hasta la floración ♂; altura de planta y de mazorca; calificación de planta y de mazorca; rendimiento por parcela convertido en kilogramos de semilla por hectárea. Se determinó el número de mazorcas amarillas debido a que los genótipos de EUA tienen grano amarillo y en los ciclos se seleccionó los de grano blanco; así como el número de mazorcas podridas y el de plantas acamadas y

con mala cobertura. El área foliar se estableció de acuerdo con el método propuesto, en 1973, por Mendoza y Ortíz (5), con el uso de un medidor electrónico (Licur 3100) del área foliar

El tamaño de la muestra para determinar el área foliar fue de 10 plantas por parcela chica (30 plantas por parcela grande), debido a la gran variabilidad genética que se presenta en los genótipos.

**Análisis Estadístico**

De acuerdo con los tratamientos tanto de cruza intervarietales como de ciclos de retrocruzamiento, se seleccionó el diseño de bloques al azar con arreglo en parcelas divididas con tres repeticiones, considerando como la cruza intervarietal a la parcela grande y el ciclo de retrocruzamiento a la parcela chica.

**Modelo Estadístico**

El modelo utilizado para el análisis estadístico de la información obtenida sobre el experimento en el campo, es el siguiente.

$$X_{ijk} = \mu + p_i + \alpha_j + D_{ij} + \beta_k + (\alpha\beta)_{jk} + E_{ijk}$$

donde:

X<sub>ijk</sub> = Observación de respuesta del i-ésimo bloque, de la j-ésima cruza intervarietal y el k-ésimo ciclo.

μ = media general

p<sub>i</sub> = efecto del i-ésimo bloque i = 1, 2, 3

α<sub>j</sub> = efecto de la j-ésima cruza intervarietal j = 1, 2, ... 18

D<sub>ij</sub> = error A asociado al i-ésimo bloque y j-ésima cruza intervarietal

β<sub>k</sub> = efecto del k-ésimo ciclo k = 1, 2, 3

(αβ)<sub>jk</sub> = efecto de la interacción de la i-ésima cruza intervarietal y el k-ésimo ciclo.

E<sub>ijk</sub> = error B (aleatorio).

Este modelo descrito por Steel y Torrie (6), en el cual todos los efectos se consideraron fijos, excepto los errores A y B que se consideran aleatorios, conduce al análisis de variancia que se muestra en el Cuadro 2, donde la relación de F para repeticiones y cruza intervarietales se obtuvo dividiendo el cuadrado me-

dio de cada uno de estos efectos entre el error A; respecto de los ciclos y la interacción cruza intervarietales por ciclos, la F se calculó con el cuadrado medio de cada componente entre el error B.

### RESULTADOS Y DISCUSION

En el Cuadro 3 se presenta el resultado del análisis de variancia para cada una de las variables estudiadas. Se puede apreciar que las cruza intervarietales muestran diferencias significativas en las variables: floración ♂; altura de planta y mazorca; calificación de mazorca; plantas con mala cobertura; mazorcas podridas; mazorcas amarillas; área foliar; calificación de planta y acame; y en el resto de las variables no hubo diferencia significativa. Esto indica que, no obstante que las cruza intervarietales no presentaron diferencias en su rendimiento, debido posiblemente a que sólo son cuatro las poblaciones de la faja maicera que se encuentran en diferentes combinaciones, existía una gran variación entre ellas en el resto de las variables.

Los ciclos de retrocruzamiento muestran diferencias altamente significativas en altura de planta y de mazorca; calificación de planta y de mazorca; sanidad de mazorca; cobertura y número de mazorcas podridas; acame, número de mazorcas amarillas y área foliar. No hubo diversidad en cuanto al rendimiento, floración y sanidad de planta. Las diferencias significativas para algunas variables en esta fuente de variación indican el cambio de las cruza intervarietales a través de los ciclos de retrocruzamiento. Además, es importante resaltar que aun cuando los genótipos de la faja maicera fueron cruzados con materiales tropicales y la F<sub>2</sub> fue retrocruzada dos veces, la precocidad no se modificó, lo cual apoya la posibilidad de utilizar dicho germoplasma en nuestros programas.

En el Cuadro 3 se aprecian también diferencias altamente significativas en la interacción de cruza intervarietales por ciclo en las variables floración ♂, altura de planta y de mazorca, calificación de planta, sanidad de planta y número de mazorcas amarillas.

Cuadro 3. Significancia de los cuadrados medios en el análisis de variancia de las cruza intervarietales Méx-USA. (CAECOI, 1983 B).

	Cruza intervarietal (PG)	Ciclos	Cruza intervarietal X Ciclo	C.V.
Rendimiento	NS	NS	*	15.56
Flor ♂	**	NS	**	1.48
Altura de planta	**	**	**	4.20
Altura de mazorca	**	**	**	6.71
Calificación de planta	*	**	**	13.50
Calificación de mazorca	**	**	NS	15.22
Sanidad de planta	NS	NS	**	11.85
Sanidad de mazorca	NS	**	NS	15.77
Cobertura	**	**	NS	64.79
Mazorcas podridas	**	**	NS	58.17
Acame	*	**	*	77.63
Número de mazorcas amarillas	**	**	**	54.13
Área foliar por planta	**	**	*	18.21

\*\* Altamente significativo al 1 % de probabilidad

\* Significativo al 5 % de probabilidad.

NS No significativo

En lo que respecta al rendimiento, acame y área foliar, la diferencia estadística es significativa, y no hubo disparidades en el resto de las variables. Esta interacción indica que las cruza intervarietales muestran otro comportamiento a través de los ciclos de retrocruzamiento.

En el mismo cuadro se muestran los coeficientes de variación de cada variable. La mayoría estuvo dentro de rangos aceptables, con excepción de las corres-

pondientes a cobertura de mazorca, número de mazorcas podridas, plantas acamadas y mazorcas amarillas; esto se atribuye posiblemente a que este tipo de variables no siempre tienen una distribución normal.

En el Cuadro 4 se presenta el rendimiento (que no fue estadísticamente significativo), las características agronómicas de los genótipos estudiados y las variables que mostraron diferencias importantes. Este cuadro es el producto de la media de las cruza interva-

rietales (parcelas grandes) a través de sus ciclos de retrocruzamiento y, dado que hubo disparidades entre ellos, sólo se presenta con el fin de ilustrar el rango de aparición de las variables. Por otro lado, las cruza intervarietales [Across 7729 X BS 16 X BS 13 (S) C2] F2 y [PR 7822 X BS 16 (S<sub>2</sub>) C2] F2, mostraron una buena precocidad y mejores características agronómicas que el resto

En la última columna del Cuadro 4 se muestra el área foliar total por planta, donde se observa un rango entre poblaciones de 3482 a 6140 centímetros cuadrados. Este aspecto es de importancia cuando se requieren plantas eficientes y con cierta resistencia a la sequía, según Johnson (4) en 1977

En el Cuadro 5 se presentan los rendimientos y características de la planta a través de ciclos de retrocruzamiento, así como la significancia según la prueba de Duncan para cada una de las variables. Aun cuando los rendimientos fueron estadísticamente iguales, se incluyeron para apreciar las diferencias numéricas en cada uno de los ciclos.

Respecto de las variables: altura de planta y de mazorca, se aprecia una tendencia a ganar altura a través de los ciclos de retrocruzamiento. Lo anterior se contradice con lo expuesto por Troyer y Brown (7) quienes encontraron una relación entre menor porte y precocidad; esto se explica porque el compuesto macho utilizado posee algunos progenitores altos. En el

Cuadro 4. Rendimiento y características fenológicas de la media de las cruza intervarietales en F<sub>2</sub>. (Campo Cotaxtla, CIAGOC, INIFAP, SARH, 1983).

Genealogía	Rend.	Flor ♂	Número de plantas								
			Altura		Calificación*		Mz. Cob.	Mz. Pod.	Acame	Ms. amarillas	Área foliar por planta (cm <sup>2</sup> )
			Planta	Mz.	Planta	Mz.					
1 [Across 7729 X BS16 X BS13 (S) C2]F2	5152	47	225	121	5	7	3	2	3	5	4923
2 [P.R. 7822 X (BS18 X BS13 (S)) C2]F2	5084	47	230	123	5	7	5	3	2	6	6140
3 [Across 7729 X BS18 X BS13 (S) C2]F2	5079	47	231	125	6	7	2	3	2	12	4317
4 [P.R. 7822 X BS16 (S <sub>2</sub> ) C2]F2	4898	46	222	115	7	7	2	1	1	3	4394
5 [Across 7732 X (BS13 (S))C2 X BSL(S))C6]F2	4821	47	232	122	6	7	3	3	3	5	4620
6 [P.R. 7822 X (BS12 (S)) C2]F2	4814	47	224	119	5	7	2	1	3	4	4142
7 [Across 7832 X (BS13 (S))C2 X BSL(S))C6]F2	4649	46	222	118	5	6	2	2	4	5	4025
8 [Pool 19 X (BS18 X BS13 (S))C2]F2	4642	48	226	112	5	7	3	3	2	7	5029
9 [Bco Dent 2 X BS13 (S) C2]F2	4621	48	204	99	6	7	2	1	1	6	5056
10 [Across 7734 X (BS18 X BS13 (S)) C2]F2	4575	47	239	129	5	7	5	2	3	4	4867
11 [Pool 19 X (BS16 (S)) C2]F2	4344	47	221	116	6	7	4	1	1	4	5986
12 [P.R. 7843 X BSL (S)) C6]F2	4259	49	234	122	6	7	4	2	2	4	4850
13 [Across 7729 X (BS13 (S)) C2]F2	4208	48	207	102	6	6	3	2	2	4	4789
14 [Across 7832 X (BS16 X BSL (S)) C6]F2	4127	47	218	118	5	6	3	2	3	11	3482
15 [Pool 20 X (BSL (S)) C6]F2	4086	46	235	122	5	6	2	2	4	10	5157
16 [Pool 19 X (BS13 (S)) C2]F2	3925	48	208	104	6	6	4	1	0	6	3976
17 [Pool 20 X (BS16 (S <sub>2</sub> )) C2]F2	3862	46	214	115	6	6	3	3	3	2	4213
18 [P.R. 7822 X (BSL (S)) F2	3796	49	225	118	6	6	2	2	3	4	4614

\* Escala de calificación del 1 a 9: 1, la peor; 9, la mejor

futuro este incremento en altura se puede evitar al seleccionar las plantas segregantes de porte bajo

En la calificación de la planta el ciclo cero mostró más uniformidad y mejor tipo de planta que los ciclos subsecuentes.

En la calificación según sanidad de mazorca se obtuvo un mejor puntaje por el tamaño y uniformidad y una mejor sanidad en los ciclos dos y uno, en com-

paración con el material original; lo cual indica que la selección fue satisfactoria

El número de mazorcas con mala cobertura también disminuyó a través de los ciclos de retrocruzamiento.

Igualmente el número de mazorcas podridas disminuyó a través de los ciclos de retrocruzamiento; esto puede estar correlacionado con la variable anterior, o

Cuadro 5. Rendimiento y características fenológicas por ciclo de retrocruzamiento. (Campo Cotaxtla, CIAGOC., INIA, SARH, 1983).

	Rendimiento	Altura		Calificación*		
		Planta	Mazorca	Planta	Mazorca	Sanidad de mazorca
Ciclo Cero	4676a	214.1b	109.0b	6.1a	6.0b	5.0b
Ciclo Uno	4457a	227.2a	120.2a	5.4b	6.6a	6.0a
Ciclo Dos	4358a	228.7a	121.3a	5.4a	7.0a	6.3a

	Mala cobertura de mazorcas	Mazorcas podridas (número)	Plantas con acame (número)	Mazorcas amarillas (número)	Área foliar por planta
Ciclo Cero	4.6a	2.8a	1.2b	8.9a	4579 b
Ciclo Uno	2.7b	1.7b	3.1a	5.5b	4823a
Ciclo Dos	2.1b	1.4b	2.8a	2.7c	4695ab

\* Escala de calificación de 1 al 9: 1, la peor y 9, la mejor

sea si se tiene buena cobertura en las mazorcas se tendrá un menor número de las podridas.

El número de plantas acamadas se incrementó en el primer ciclo de retrocruzamiento y disminuyó ligeramente en el segundo. Debido a que esta variable es influida grandemente por la altura de la planta, en el futuro se puede pensar en seleccionar plantas segregantes de porte bajo, que están presentes en las poblaciones.

El número de mazorcas amarillas disminuyó considerablemente a través de los ciclos de selección de grano blanco, ya que el ciclo cero tuvo una media de 8.9 mazorcas amarillas; el ciclo uno tuvo 5.5 mazorcas amarillas y el ciclo dos tuvo solamente 2.7 mazorcas amarillas. Esto se debió a la selección de grano blanco únicamente realizada para usarla como semilla del siguiente ciclo.

El área foliar por planta se incrementó en el primer ciclo de retrocruzamiento de 4579 cm<sup>2</sup> a 4823 cm<sup>2</sup> y decreció en el segundo ciclo a 4695 centímetros cuadrados.

En resumen se puede decir que hubo avance a través de los dos ciclos de retrocruzamiento en calificación, sanidad y cobertura de mazorca; número de mazorcas podridas y de mazorcas amarillas. Y se considera como decremento la tendencia de las poblaciones con una altura mayor de planta y de mazorca, una calificación de planta menor, cierta tendencia al acame y una mayor área foliar por planta. Por último la floración y el rendimiento no se modificaron a través de los ciclos.

No obstante estas desventajas, es posible utilizar el germoplasma del segundo ciclo de retrocruzamiento como población para formar variedades precoces más

rendidoras. La forma de hacerlo sería por cualquier método de selección para tratar de acumular características segregantes favorables en dichas poblaciones.

#### CONCLUSIONES

Con base en los resultados presentados se concluye que:

1. Debido a que, a través de los ciclos de retrocruzamientos se mantuvo la precocidad que mostraron las cruces intervarietales, se puede decir que existen genótipos que pueden ser utilizados como poblaciones que sirvan de base en la producción de variedades precoces de polinización libre.
2. Hubo avance en los ciclos de retrocruzamiento en las variables: calificación de mazorca, sanidad de mazorca, mazorcas con mala cobertura, número de mazorcas podridas y número de mazorcas amarillas, y hubo retroceso en los materiales con mayor altura de planta y de mazorca. Menor calificación de planta, cierta tendencia al acame y mayor área foliar por planta.

#### LITERATURA CITADA

1. COMPTON, E. A.; MUMM, R. F.; MATHEMA, B. 1979. Progress from adaptive mass selection in incompletely maize populations. *Crop Science* 10:531-533.
2. HALLAUER, R. A. 1978. Potential of exotic germplasm for maize improvement. In *International Maize Symposium*. Ed. by W. L. Walden. New York, McGraw-Hill. p. 229-247.

3. HALLAUER, R A. 1980. Relation of quantitative genetics to applied maize breeding *Brasil Journal of Genetic* 3(3):207-233.
4. JOHNSON, E.C. 1977. Arquitectura de la planta de maíz Lima, Universidad Nacional Agraria de Perú, Programa Cooperativo de Investigación. p. 5-8
5. MENDOZA, O.L.E.; ORTIZ, C.J. 1973. Estimadores del área foliar en relación con la eficiencia en la producción de grano de dos híbridos de maíz *Agrociencia* 11:57-71.
6. STEEL, G D R ; TORRIE, H.J. 1960. Principles and procedures of statistics New York, Mc Graw-Hill. p. 481.
7. TROYER, A.F ; BROWN, W.L. 1972. Selection for early flowering in corn *Crop Science* 12:301-304
8. WELLHAUSEN, E.J. 1965. Exotic germplasm for improvement of corn belt maize In *Hybrid Corn Ind. Res. Conference (20, 1965) Proceedings v. 20, p. 31-45*

# Selección Recurrente en un Maíz Criollo de la Raza Xnucnal<sup>1</sup>

R. Castillo\*, G. Aguilar\*

## ABSTRACT

Both selection cycles  $SFC_1$  and  $SFC_2$ , and the original variety (Co) were evaluated under the shifting cultivation system on stony soils to determine the genetic gain in yield. The modified ear to row recurrent selection was applied in native Xnucnal maize. Significant differences among treatments were found using a combined analysis of variance. Yield from both the  $SFC_1$  and  $SFC_2$  cycles were statistically different to the yield from the original variety. These results confirmed that selection modified the genetic properties of the Co cycle. Percentage gains in yield were 15.83 and 14.39 for the cycles  $SFC_1$  and  $SFC_2$ , respectively, in relation to the original variety. There was 6.53 % gain per selection cycle.

## INTRODUCCION

La superficie de maíz cultivada con la tecnología roza-tumba-quema en suelos pedregosos de México, es de 264 000 ha, localizadas en la Península de Yucatán, donde se utilizan maíces criollos de la raza Xnucnal (9), sobresalientes por su adaptación al clima, suelo y manejo por parte del campesino. Sin embargo, su desventaja son los bajos rendimientos en grano, así como el ambiente físico, que dificulta la tarea del fitomejorador debido a la heterogeneidad de los suelos pedregosos que enmascaran los genótipos superiores. Tomando en cuenta lo anterior se practicó la selección de mazorca por surco modificada (4) en una población de maíz criollo de la raza Xnucnal. Este tipo de selección permite la prueba de progenies (5), la estimación de la interacción genótipo-ambiente (3, 6 y 7) y la combinación de los resultados a través de ambientes para seleccionar las mejores progenies que han de recombinarse

Webel y Lonquist (8), Compton y Bahadur (1), Eberhart *et al.* (2) y Paterniani (7) han informado acerca de los resultados de la selección de mazorca

<sup>1</sup> Recibido para publicación el 14 de marzo de 1988

\* Investigadores del Programa de Maíz del Campo Agrícola Experimental de Uxmal, Instituto Nacional de Investigaciones Forestales y Agropecuarias, México.

## COMPENDIO

Con la finalidad de evaluar la ganancia genética en el rendimiento, obtenida al aplicar una selección recurrente en mazorca por surco, modificada en un maíz criollo 'Xnucnal' del Estado de Yucatán, se probaron los ciclos de selección  $SFC_1$  y  $SFC_2$  y la variedad original ( $C_0$ ), en condiciones del sistema de producción denominado "milpa" en suelos pedregosos. El análisis de variancia combinado para rendimiento, reveló diferencias significativas entre los tratamientos. Mediante la Prueba de Duncan ( $P \leq 0.05$ ) se encontró que el rendimiento de los ciclos  $SFC_1$  y  $SFC_2$  fue estadísticamente diferente al de la variedad original. Se confirma entonces que la selección modificó las propiedades genéticas del ciclo  $C_0$ . Las ganancias porcentuales en rendimiento para los ciclos  $SFC_1$  y  $SFC_2$  fueron de 15.83 % y 14.39 % respectivamente, con base en la variedad original; lo que significa una ganancia del 6.53 % por ciclo de selección.

por surco modificada, donde manifiestan las ganancias en rendimiento y la eficiencia del método de selección en diferentes poblaciones de maíz

El objetivo de este trabajo fue evaluar la ganancia genética en el rendimiento, obtenida a través de dos ciclos de selección de mazorca por surco modificada.

## MATERIALES Y METODOS

El material utilizado en este estudio pertenece a la progenie de un maíz criollo de la raza Xnucnal, proveniente de la raza Tuxpeño (9). Los métodos de campo se llevaron a cabo en condiciones del sistema de producción roza-tumba-quema, en suelos pedregosos (Litosoles) y períodos de descanso reducidos, asociados con frijol ib (*Phaseolus lunatus* L.) y con calabaza de ciclo tardío. Estas dos últimas especies se sembraron para representar las condiciones del cultivo en el sistema de "milpa": el maíz se sembró a esquepe con cuatro plantas por mata y una de frijol ib en la misma mata. En este caso los distanciamientos de siembra fueron de un metro por ambos lados; la calabaza se sembró cada 10 m<sup>2</sup> dejándose una planta por mata.

En 1981, se sembraron, para la obtención de los compuestos, 288 progenies de mediohermanos (m.h.) distribuidas en dos ensayos de rendimiento. Se utiliza-

ron dos diseños de "látice" simple 12 x 12, estructurados cada uno, con 144 progenies de m.h.: un ensayo se sembró en la localidad de Muna y otro en la localidad de Dzitás, en el Estado de Yucatán, México

Las 288 progenies de mediohermanos se plantaron en el Campo Experimental Uxmal como surcos-hembra en un lote de recombinación, las cuales fueron polinizadas por un compuesto balanceado-macho formado por las mismas 288 progenies

En las localidades de prueba se aplicó una intensidad de selección de 17.36 %, escogiéndose las mejores 50 progenies de m.h. con base en sus medias de rendimiento.

En el lote de recombinación se marcaron las 50 familias de m.h. seleccionadas por rendimiento, identificándose dentro de ellas las mejores cinco plantas, para obtener de esta forma 250 progenies de m.h., que constituyeron el primer ciclo de selección de mazorca por surco con avance de un año por ciclo (SFC<sub>1</sub>).

Al año siguiente, las 250 progenies de m.h. del ciclo I fueron evaluadas en un diseño de "látice" simple 16 x 16 con cuatro repeticiones. La selección entre familias se realizó en las localidades de prueba, donde se escogieron las mejores 50 familias de m.h. con base en su media de rendimiento. La intensidad de selección fue en este caso del 20 %. En el lote de recombinación, sembrado de la misma forma que en el año anterior, se identificaron las mejores cinco plantas

dentro de cada familia selecta por rendimiento, para obtener de nuevo las 250 progenies de m.h. y completar de esta forma el segundo ciclo de selección de mazorca por surco modificada (SFC<sub>2</sub>).

La evaluación de los ciclos de selección SFC<sub>1</sub> y SFC<sub>2</sub> con respecto al C<sub>0</sub> población original, se efectuó durante tres años en suelos pedregosos del sistema "milpa" o roza-tumba-quema, en diseños de bloques al azar con seis repeticiones, en el año de 1982, y con ocho repeticiones, en los años de 1983 y 1984. Las localidades para la prueba fueron: Muna y Dzitás (Yucatán) en 1982; Dzitás, Tzucacab y Campeche (Yucatán) en 1983; Libre Unión y Tzucacab (Yucatán) y Felipe Carrillo Puerto (Quintana Roo), en 1984

Los análisis individuales de variancia se realizaron con seis repeticiones para homogeneizar la información. Para el análisis combinado, se consideraron los años de 1983 y 1984 y las ocho repeticiones originales

#### RESULTADOS Y DISCUSION

En las evaluaciones efectuadas durante tres años, se detectaron diferencias estadísticas entre los tratamientos, en niveles de significancia de 0.05 y 0.01 (Cuadro 1). Esto pone de manifiesto que la selección ha modificado la expresión genética de los ciclos de selección con respecto a la variedad original (C<sub>0</sub>).

Cuadro 1. Cuadrados medios de los análisis de variancia para rendimiento de grano (kg/ha), de dos ciclos de selección de mazorca por surco modificada y la variedad original, evaluados en diferentes años y localidades de la Península de Yucatán.

F.V.	G.L.	1982		1983	
		Muna	Dzitás	Campeche	Dzitás
Tratamientos	2	1 404 999 6**	4 453 691 1**	4 934 090 2*	819 527 6*
Repeticiones	5	46 332 47 N.S.	94 259 5 N.S.	35 094 56 N.S.	10 090.9 N.S.
Error	10	53 422.4	241 498.7	887 368.28	177 007.9
C.V. (%)		19.94	33.5	36.9	25.1
F.V.	G.L.	1983		1984	
		Tzucacab	Libre Unión	Tzucacab	F. Carrillo P.
Tratamientos	2	1 128 220 5*	2 156 499 6*	1 461 550**	2 422 527 2**
Repeticiones	5	36 056 7 N.S.	890 987 N.S.	159 585 4 N.S.	157 851 9 N.S.
Error	10	213 619 76	395 237 06	154 060 4	197 309 12
C.V. (%)		21.8	25.5	23.6	33.5

\* Diferencia estadística significativa al 0.05 de probabilidad.

\*\* Diferencia estadística altamente significativa al 0.01 de probabilidad.

En general, los coeficientes de variación presentaron valores altos; no obstante se consideran aceptables, debido a que en las condiciones de pedregosidad donde se desarrolló la experimentación, no existe un gradiente de variación bien definido que hubiese permitido realizar un bloqueo eficiente con el diseño experimental utilizado. Por consiguiente, no se detectaron diferencias estadísticas entre las repeticiones.

Bajo estas circunstancias, por ser el rendimiento un carácter cuantitativo fuertemente influenciado por el medio ambiente, es probable que las diferencias estadísticas detectadas entre los ciclos de selección y población original se deban en mayor proporción al efecto genético-ambiental.

En el análisis combinado (Cuadro 2) se encontraron diferencias altamente significativas entre localidades, debido a la inestabilidad de las condiciones ambientales por sitio de prueba durante los dos años de la evaluación. En consecuencia, las diferencias encontradas entre localidades se deben al efecto ambiental, aspecto que escapa al control del mejorador. La falta de significancia para repeticiones era de esperarse, debido al bloqueo poco eficiente detectado en los análisis de variancia individuales. La falta de significancia para la interacción de genótipos x localidades indica que aparentemente la respuesta de los ciclos de selección y la variedad original no fue diferencial a través de los años y sitios de prueba. Este comportamiento podría explicarse por la gran variabilidad genética aún presente en el C<sub>0</sub> y los ciclos de selección obtenidos, lo que les permitió presentar cierta estabilidad en su respuesta a través de las localidades de prueba.

Cuadro 2. Cuadrados medios del análisis de variancia combinado para rendimiento de grano (kg/ha) de dos ciclos de selección de mazorca por surco modificada y la población original, evaluados durante dos años en seis localidades.

Fuente de variación	Grados de libertad	Cuadrados medios
Localidades	5	5 757 484 56**
Repeticiones/localidades	42	615 303 60
Tratamientos	2	1 175 184 93*
Tratamiento x localidad	10	409 588 80 N S
Error	84	241 048 87
Media (kg/ha)		1 966 2542
C.V		24 96

\* Diferencia estadística significativa al 0.05 de probabilidad.

\*\* Diferencia estadística altamente significativa al 0.01 de probabilidad.

El número de familias evaluadas, el promedio de rendimiento y su comportamiento con respecto a la variedad original se presentan en el Cuadro 3. Hallauer y Miranda (3) indican que la ganancia en rendimiento debe esperarse si existe variabilidad genética en la variedad original y el valor de la hereditabilidad del carácter de rendimiento es relativamente alto. En esta investigación, bajo las condiciones ambientales de la

Cuadro 3. Resumen de los experimentos de la evaluación de la efectividad de la selección mazorca por surco modificada (SF) en la variedad original y dos ciclos de selección.

Ciclo de selección	Familias de m.h. evaluados	Evaluación de los ciclos de selección*		
		1982 (12)	1983 (24) (kg/ha)	1984 (24)
Var. original (C <sub>0</sub> )	288	1 559.32	2 065.54	1 507.12
SF C <sub>1</sub>	250	1 817.84	2 127.07	2 011.30
SF C <sub>2</sub>	250	—	2 148.10	1 938.73
Ciclo de selección	Repeticiones	Media (kg/ha)	Prueba de Duncan 0.05	Ganancia real** (%)
SI C <sub>1</sub>	48	2 069.20	a	115.83
SI C <sub>2</sub>	48	2 043.40	a	114.39
C <sub>0</sub>	48	1 786.30	b	100.00

\* Dos localidades en 1982 y tres en 1983 y 1984. Los números dentro de los paréntesis indican el número de repeticiones.

\*\* Porcentaje de ganancia con respecto a C<sub>0</sub> para los años de 1983 y 1984. Los tratamientos unidos con la misma letra son estadísticamente iguales al cinco por ciento.

Península de Yucatán, y a pesar de la dificultad existente en los suelos pedregosos para seleccionar los genotipos superiores a través de su valor fenotípico, fue corroborado el planteamiento de Márquez (6) de que la prueba de progenies es el método más eficiente para la selección de genotipos superiores

Esta experiencia permitió obtener incrementos en el rendimiento de grano en los ciclos de selección obtenidos con la metodología de la mazorca por surco modificado, que involucra la prueba de familias o progenies. La ganancia real de los ciclos de selección estimada en porcentaje con respecto al  $C_0$ , indica que  $SFC_1$  y  $SFC_2$  fueron superiores a la variedad original en 15.83% y 14.39%, respectivamente. Por consiguiente se obtuvo una respuesta a la selección del 6.53% por ciclo de selección. Esta ganancia es considerada alta, pero probablemente se debe a que las frecuencias génicas del carácter objeto de selección en la variedad original ( $C_0$ ), tienen un valor más o menos intermedio. Esto por cuanto la respuesta a la selección no fue fuertemente influenciada por la variación en el muestreo al realizar la selección, ya que para la obtención del  $SFC_1$  y del  $SFC_2$  se ejerció una presión de selección del 7.36% y del 20%, respectivamente.

Los investigadores Webel y Lonquist (8) y Comoton y Bahadur (1) también han comprobado ganancias substanciales en rendimiento utilizando esta metodología.

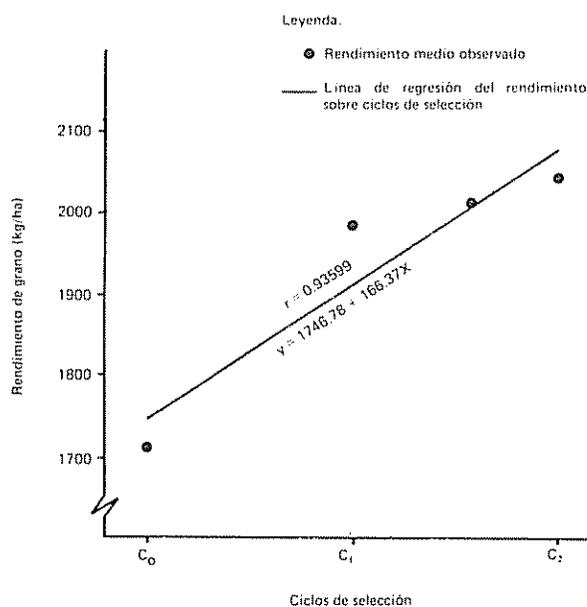


Fig. 1. Respuesta genética promedio observada y ajustada por regresión en ocho ambientes de prueba, para rendimiento de grano en los dos ciclos de selección de mazorca por surco modificada en una variedad de maíz criollo tipo Xnucnal.

Al comparar las medias de rendimiento, a través de la Prueba de Duncan al 5%, se observó que los ciclos de selección fueron estadísticamente diferentes a la variedad original ( $C_0$ ), confirmando de esta forma que la ganancia en rendimiento en los ciclos  $SFC_1$  y  $SFC_2$  fue un efecto de la selección, al modificar las frecuencias génicas y genotípicas de la variedad original.

Al comparar el  $SFC_1$  con el  $SFC_2$  no se encontraron diferencias estadísticas, solamente numéricas en favor del  $SFC_1$ ; atribuidas al azar. Sin embargo es muy difícil obtener diferencias muy marcadas entre ciclos de selección continuos, ya que depende mucho de la hereditabilidad del carácter, objeto de selección; de una alta probabilidad de rompimiento de los bloques de ligamiento en el proceso de recombinación para que se formen nuevas y mejores combinaciones génicas; y de la habilidad del fitomejorador para seleccionar los genotipos superiores.

#### CONCLUSIONES

Los resultados de este trabajo indican que al aplicar la selección recurrente de mazorca por surco modificada en un maíz criollo Xnucnal del Estado de Yucatán, se obtuvo una respuesta a la selección de 6.53% por ciclo de selección, con respecto a la variedad original.

Al comparar los ciclos de selección  $SFC_1$  y  $SFC_2$  por medio de la Prueba de Duncan ( $P \leq 0.05$ ) se encontró que su rendimiento de grano fue estadísticamente diferente al de la variedad original ( $C_0$ ), confirmando de esta manera que la selección modificó las propiedades genéticas de la variedad original.

La falta de significancia para la interacción genotipo x medio ambiente en el análisis combinado, indica que aún existe gran variabilidad genética en la población 'Xnucnal' en proceso de mejoramiento y que le permitió presentar cierta estabilidad ante los cambios ambientales.

#### LITERATURA CITADA

1. COMPTON, W.A.; BAHADUR, K. 1977. Ten cycles of progress from modified ear-to-row selection in corn. *Crop Science (USA)* 17:378-380.
2. EBERHART, S.A.; HARRISON, M.N.; OGADA, F. 1967. A comprehensive breeding system. *Theoretical and Applied Genetics (Germany)* 37:169-174.
3. HALLAUER, A.R.; MIRANDA, J.B. 1981. *Quantitative genetics in maize breeding*. Iowa State University Press, Ames. 468 p.

4. LONNQUIST, J.H. 1964. A modification of the ear-to-row procedure for the improvement of maize populations. *Crop Science (USA)* 4:227-228.
5. LONNQUIST, J.H. 1965. Métodos de selección útiles para el mejoramiento dentro de poblaciones. Trad. por M.G. Guitiérrez. *Fitotecnia Latinoamericana (C.R.)* 2:1-10.
6. MARQUEZ, S.F. 1980. Sistemas de selección combinada, familiar e individual en el mejoramiento genético del maíz. *Fitotecnia (Méx.)* 4:1-52.
7. PATERNIANI, E. 1967. Selection among and within half-sib families in a Brazilian population of maize (*Zea mays* L.). *Crop Science (USA)* 7:212-215.
8. WEBEL, O.D.; LONNQUIST, J.H. 1967. An evaluation of modified ear-to-row selection in a population of corn (*Zea mays* L.). *Crop Science (USA)* 7:651-655.
9. WELLHAUSEN, E.J.; ROBERTS, L.J.; HERNANDEZ, E. 1952. Races of maize in México. USA, The Bussey Institution of Harvard University.

# Crecimiento de la Vaina y Semillas del Frijol<sup>1</sup>

F. Diaz M.\*

## ABSTRACT

Four varieties of bean (*Phaseolus vulgaris*) were sown in the greenhouse and in the field to study pod and seed growth and quantify yield. One variety, 'Cacahuete 72', has determinate growth (Type I); the other three, 'Zacatecas 21-1-2', 'Michoacán 12A-3', and 'Chapingo 72', have indeterminate growth (Type II). In the greenhouse, after anthesis (defined as day 0 in pod and seed growth), pod length (cm) and seed length (mm) and fresh and dry weight of pods and of seeds in each pod (mg) were measured in ten pods per variety every three days. In the field, at the time of physiological pod maturity, dry weight of seeds per pod and per plant, number of seeds per pod and per plant, size of seeds (dry weight of 100 seeds), and number of pods per plant were noted for 40 plants per variety. It was found that pods and seeds grow very rapidly in the few days, and that increase of fresh and dry seed weight occurs in the three phases. No relationship was found between rate of pod and seed growth and yield per plant (dry seed weight). Number of seeds per plant appears to be the variable that shows greatest correlation with yield.

## COMPENDIO

Se sembraron plantas de frijol (*Phaseolus vulgaris*) en el invernadero y en el campo a fin de estudiar el crecimiento de la vaina y de la semilla y cuantificar su rendimiento. Se usaron cuatro variedades: 'Cacahuete 72', 'Zacatecas 21-1-2', 'Michoacán 12A-3' y 'Chapingo 72'; la primera variedad tiene crecimiento determinado (tipo I) y las tres restantes, indeterminado (tipo II). Una vez que se inició la floración en el invernadero, se tomaron 10 vainas por variedad cada tercer día; el momento de la antesis fue definido como el día cero en el crecimiento de la vaina y las semillas. Se midieron la longitud de la vaina (pericarpio) en centímetros y de las semillas en milímetros; el peso fresco y seco de la vaina en miligramos y de las semillas por vaina en miligramos. En la época de madurez fisiológica de las vainas en el campo se tomaron 40 plantas por variedad y se calculó el peso seco de las semillas por vaina y planta; el número de semillas por vaina y planta; el tamaño de las semillas —peso seco de cada cien semillas— y el número de vainas por planta. Se halló que las vainas y las semillas crecen rápidamente en los primeros días y que además las semillas presentan un crecimiento en peso fresco y seco en tres fases. No se encontró relación entre la tasa de crecimiento de las vainas y semillas con el rendimiento por planta —peso seco de las semillas—; aparentemente la variable que presenta mayor relación con el rendimiento es el número de semillas por planta.

## INTRODUCCION

**E**n las angiospermas la fecundación determina el desarrollo de las semillas y del fruto a partir del óvulo en las primeras y de los carpelos en el segundo. Pero, en algunas ocasiones, los sépalos, el receptáculo, las brácteas, el tubo floral, el eje de la inflorescencia y otros pueden formar parte del fruto.

Las características de los frutos han cambiado por la selección y adecuación continuas de los cultivos realizados por el hombre, lo cual ha afectado las peculiaridades de las plantas y de los frutos. Entre las características que el hombre ha tratado de cambiar en el fruto se encuentran: tasa de crecimiento, tamaño, color, olor, sabor, textura y ausencia de semillas.

La formación del fruto es afectada por factores hormonales y ambientales; y el contenido de las hormonas parece disminuir al aproximarse la antesis. Este hecho más la aparición de inhibidores parece que son las causas de la detención del crecimiento del ovario; el cual no se reanuda a menos que se efectúe la polinización o que la flor reciba un estímulo equivalente.

El control del desarrollo del fruto, después de la polinización, lo ejerce la semilla. Aparentemente las semillas inciden fuertemente sobre el desarrollo de los tejidos del fruto y regulan hormonalmente su crecimiento (15).

Frutos diferentes presentan intensidades y curvas de crecimiento también diferentes; la curva de crecimiento de los frutos suculentos es ligeramente sigmoide, mientras que las drupáceas presentan dos fases separadas por un período en el que apenas tiene lugar un leve crecimiento.

<sup>1</sup> Recibido para publicación el 10 de enero de 1987

\* Departamento de Biología. Universidad del Valle, Cali, Colombia, Sur América.

El objetivo del presente trabajo fue estudiar el crecimiento de la vaina y de las semillas en frijol (*Phaseolus vulgaris*), en condiciones de invernadero y relacionar la tasa de crecimiento de las semillas con el rendimiento de plantas sembradas en el campo

#### MATERIALES Y METODOS

Para realizar la presente investigación, las plantas de frijol fueron cultivadas en el invernadero y en el campo, en el área de Chapingo, Estado de México, en México.

Se utilizaron cuatro variedades: 'Cacahuate 72', 'Zacatecas 21-1-2', 'Michoacán 12A-3' y 'Chapingo 72'. La primera variedad tiene crecimiento determinado (tipo I). Las tres restantes, con crecimiento indeterminado y guía corta (tipo II). Cada variedad estuvo representada en el invernadero por cuarenta plantas sembradas en macetas con tierra, las que tenían 35 cm de altura por 30 cm de diámetro. Se aplicaron 200 ml de una solución nutritiva de urea, cloruro de potasio y superfosfato en la proporción de 250:250:250 g diluidos en 400 l de agua corriente, cada seis días a cada una de las macetas. El riego diario se hizo con agua corriente.

Cuando la floración comenzó, se marcaron diariamente las flores abiertas; la antesis representó el día cero en el crecimiento de los frutos y las semillas. A partir del tercer día después de la antesis se tomaron diez frutos por variedad. Este muestreo fue repetido cada tres días hasta cuando las vainas tomaron un color amarillento y las semillas, un color rojo o negro según la variedad; este tiempo se definió como de madurez fisiológica de las vainas y las semillas.

Los frutos fueron separados en vainas (carpelos) y semillas, y se hicieron las siguientes mediciones: promedio en la longitud de las vainas (cm) y de las semillas (mm); promedio en miligramos del peso fresco y seco de las vainas y las semillas por vaina. Para obtener el peso seco se colocaron los materiales en una estufa a 80 °C hasta obtener un peso constante.

En condiciones de campo, las cuatro variedades del frijol se sembraron a una densidad de 8 900 plantas por hectárea, con una temperatura en promedio de 15.5 grados centígrados. El suelo fue fertilizado el día de la siembra con N, P, K, en un equivalente de 40, 40, 10 kilogramos por hectárea. Cada variedad fue sembrada en un área de 150 m<sup>2</sup> según un diseño al azar con cuatro repeticiones. En la madurez fisiológica de las vainas se tomaron diez plantas por repetición y se hicieron las siguientes medidas: número de vainas por planta, semillas por planta, semillas por vaina, peso seco de las semillas por planta y tamaño

de las semillas (peso seco de cien semillas). Para cada una de estas variables se realizó el análisis de variancia y se aplicó la Prueba de Duncan.

#### RESULTADOS

Tanto en el campo como en el invernadero las variedades mostraron diferencias en el lapso de duración del ciclo total e inicio de la floración. En una misma variedad se dio una diferencia pequeña en el tiempo necesario para la floración entre las plantas sembradas en el campo y el invernadero (Cuadro 1).

Cuadro 1. Duración total del ciclo de crecimiento y desarrollo de cuatro variedades de frijol (*Phaseolus vulgaris*).

Variedad	Ciclo total en el campo (días)	Inicio de la floración (d)	
		Campo	Invernadero
'Cacahuate'	91	40	40
'Zacatecas'	121	55	54
'Michoacán'	129	60	59
'Chapingo'	152	72	72

Las plantas sembradas en el invernadero mostraron cambios en su morfología con respecto a las cultivadas en el campo. Las variedades Michoacán y Chapingo presentaron en algunas plantas guías largas, perdiendo por tanto su forma arbustiva típica (tipo II) y dando la apariencia de plantas de crecimiento tipo III. Estos cambios han sido mencionados por algunos autores.

Al remover las vainas para tomar los datos de crecimiento en la variedad de crecimiento determinado ('Cacahuate'), sembrada en el invernadero, presentó como respuesta una segunda fase de floración y se alargó el período vegetativo y aumentó, por lo tanto, la duración del área foliar. En consecuencia las vainas producidas, en este nuevo período, fueron en apariencia más grandes (largas) y, por ende, no fueron consideradas en este estudio.

#### Crecimiento de la Vaina

Las vainas comienzan a crecer en longitud a partir del tercer día después de la antesis hasta los días 12 y 18; desde esa fecha el crecimiento es más lento (Figs. 1 y 2) hasta llegar a la madurez fisiológica cuando el crecimiento prácticamente se detiene.

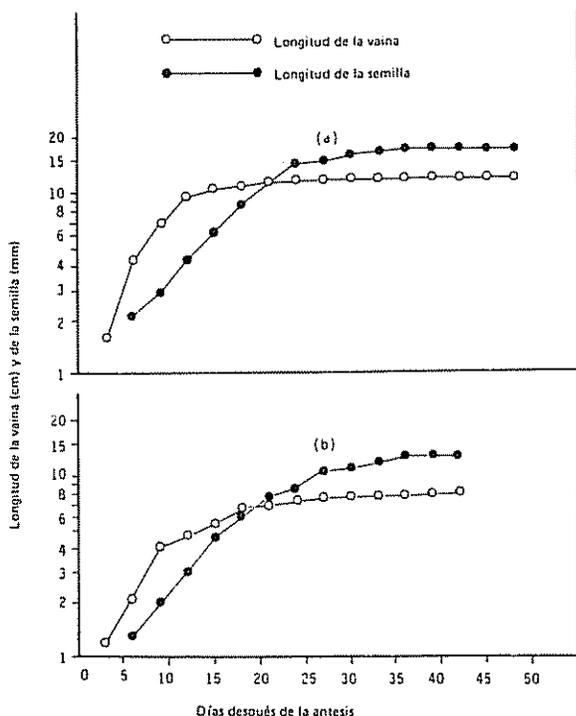


Fig. 1 Crecimiento de la vaina y de la semilla desde la antesis hasta la madurez fisiológica en (a) variedad Cacahuate, (b) variedad Zacatecas (escala logarítmica) en invernadero. Los valores son el promedio de 10 frutos

El peso fresco y seco de la vaina aumenta aceleradamente hasta los 15-18 días después de la antesis. En esa fecha comienza a disminuir la tasa de crecimiento (Figs. 3 y 4) y al final el peso fresco decae. El máximo peso de la vaina se logra cuando todavía las semillas están ganando peso.

**Crecimiento de las Semillas**

El crecimiento de las semillas en longitud se inicia seis días después de la antesis (Figs 1 y 2); y es acelerado a partir de esa fecha hasta los 21-24 días, cuando ocurre un descenso en la tasa de crecimiento. De aquí en adelante va decayendo poco a poco hasta llegar a ser muy bajo en el estado de madurez fisiológica. Cuando la vaina ha logrado su máxima longitud, las semillas continúan aumentando su tamaño; una situación similar es reportada en soja, pues cuando los carpelos han logrado su longitud final, las semillas continúan creciendo y aumentando su talla (13)

El crecimiento de las semillas en peso fresco y seco, se inicia aceleradamente el sexto día después de la antesis y termina este aceleramiento entre los 18-24 días,

cuando se presenta una disminución en la tasa de crecimiento. Este período tiene muy corta duración. Después comienza un segundo período de crecimiento rápido en el cual decae lentamente y al final el peso fresco disminuye (Figs. 3 y 4). Cuando el peso en la vaina inicia su descenso, las semillas todavía continúan ganando peso. Se reporta que cuando las vainas en soja han logrado su máximo peso, las semillas sólo han podido acumular entre un 15-30 % del peso final y, además, que los carpelos y semillas pierden peso fresco en las etapas finales (5, 6).

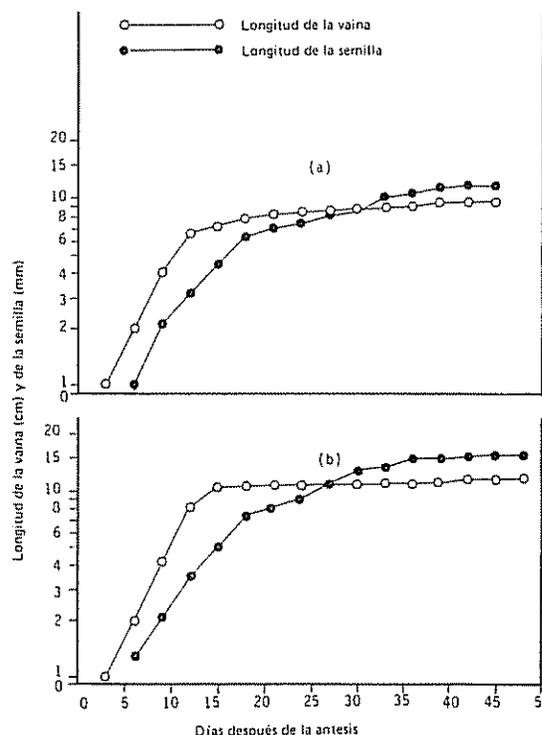


Fig. 2 Crecimiento de la vaina y la semilla desde la antesis hasta la madurez fisiológica en (a) variedad Michoacán, (b) Chapingo (escala logarítmica) en invernadero. Los valores son el promedio de 10 frutos.

Los incrementos en el peso de las semillas se muestran en la Fig. 5; como se puede observar se dan dos fases de crecimiento activo, separadas por un período muy corto en el cual la tasa decae. La primera fase es más corta en tiempo y es menor la materia seca acumulada; en cada una de las fases se junta diferente cantidad de aquella según sea la variedad. La fase de detención parcial y temporal del crecimiento se presenta entre los 21-24 días después de la antesis; Carr y Skene (2) informan para el caso del frijol un período en que el crecimiento de las semillas se detiene o decae temporalmente

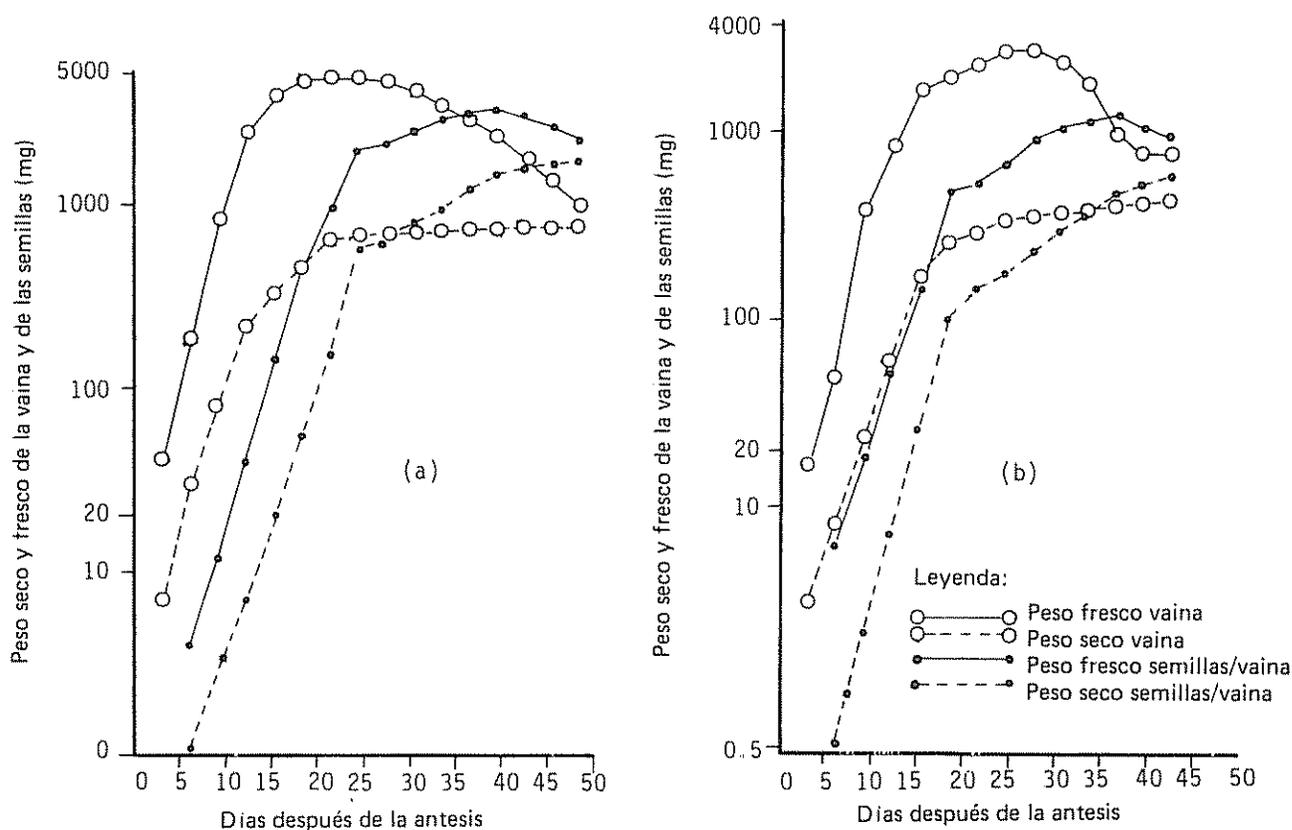


Fig 3 Crecimiento de la vaina y de las semillas en dos variedades de frijol, (a) "Cacahuate", (b) "Zacatecas", expresado en peso fresco y seco desde la antesis hasta la madurez fisiológica, (escala logarítmica). Los valores son el promedio de 10 frutos de plantas crecidas en el invernadero.

En el Cuadro 2 se muestran los pesos finales de las vainas, el promedio de peso de las semillas por vaina, al igual que el incremento en promedio diario del peso de las vainas y semillas. El mayor incremento diario lo logró la variedad Cacahuate, sin embargo esta variedad no logró el mayor rendimiento (ver Cuadro 3).

El inicio de la floración y llenado de las vainas varía de acuerdo con la variedad. El segundo principió cuando las plantas habían completado más o menos la mitad del ciclo total; sin embargo, las vainas experimentaron diferentes tiempos relativos en madurar, desde un 52.7 % del lapso total en la variedad de crecimiento determinado ('Cacahuate') hasta un 31.5 % en la variedad Chapingo.

Cuadro 2. Tamaño final en peso —fresco y seco— de la vaina y de las semillas por vaina, incremento diario en peso seco de la vaina y de las semillas en cuatro variedades de frijol en condiciones de invernadero.

Variedad	Peso fresco (mg)		Peso seco (mg)		Incremento diario (mg)*	
	Vaina	Semillas	Vaina	Semillas	Vaina	Semillas
'Cacahuate'	953.1	2 260.3	757.0	1 736.0	15.8	36.2
'Zacatecas'	786.7	953.2	442.8	619.8	10.5	14.7
'Michoacán'	825.4	1 615.6	508.6	1 240.9	11.3	27.6
'Chapingo'	866.0	1 315.9	591.4	1 258.9	12.3	26.2

\* Incremento en peso seco

El contenido de agua en el pericarpio (vaina) y en las semillas de las cuatro variedades de frijol, aumenta a diferentes tasas y en cantidades variables según la variedad (Fig 6). A partir del sexto día después de la antesis el pericarpio comienza a acumular agua, lle-

gando a su máximo punto alrededor de los 24-27 días, o sea, hacia la mitad del período de crecimiento. A partir de entonces se da un descenso rápido que llega a valores mínimos en la época de madurez fisiológica de las vainas

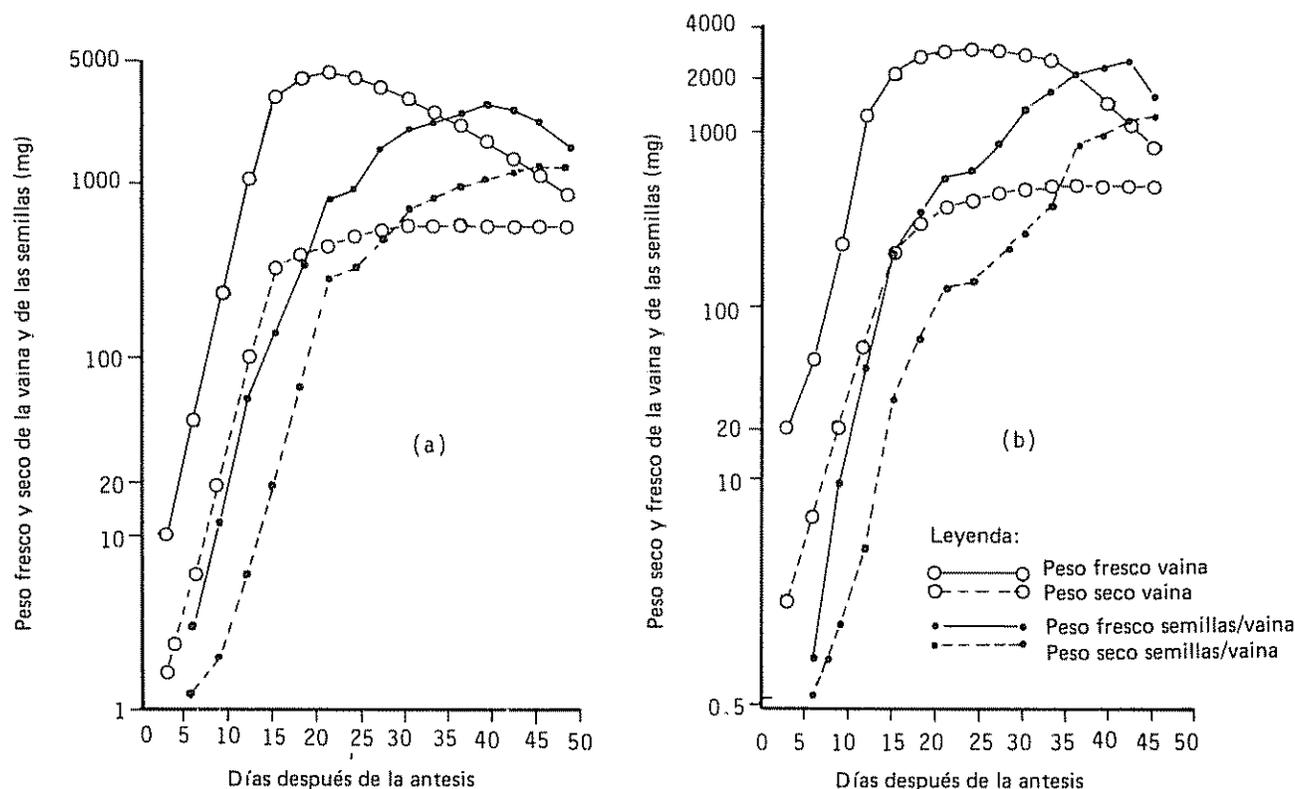


Fig 4 Crecimiento de la vaina y de las semillas en dos variedades de frijol, (a) "Chapingo", (b) "Michoacán", expresado en peso fresco y seco desde la antesis hasta la madurez fisiológica (escala logarítmica). Los valores son el promedio de 10 frutos de plantas crecidas en el invernadero.

Las semillas acumulan agua más lentamente pero la mantienen durante más tiempo; el pico máximo se logra entre los 36-39 días después de la antesis; a partir de ese momento las semillas pierden rápidamente

agua y alcanzan su punto mínimo en la madurez fisiológica. Al final el contenido de agua en las vainas y semillas es más o menos igual. Olikier *et al* (16) informan situaciones similares en frijol.

Cuadro 3. Rendimiento y valores de algunos componentes del rendimiento de cuatro variedades de frijol en condiciones de campo\*.

Variedad	Vainas por planta	Semillas por planta	Semillas por vaina	Tamaño de semillas	Peso seco*** (semilla/planta)
'Cacahuate'	17 0 a**	73 7 a	4.33 a	34 39 a	25 35 a
'Zacatecas'	66 0 b	268.2 b	4 06 a	18 54 b	49 35 b
'Michoacán'	65 0 b	350 3 b	5 38 b	16 24 b	56 90 b
'Chapingo'	87 0 c	455.5 c	5.23 b	17 25 b	78.50 c

\* Densidad de siembra: 8 900 plantas por hectárea.  
 \*\* Medias seguidas de letras iguales no son significativamente diferenciales (Duncan P = 0.05).  
 \*\*\* Semillas por planta.

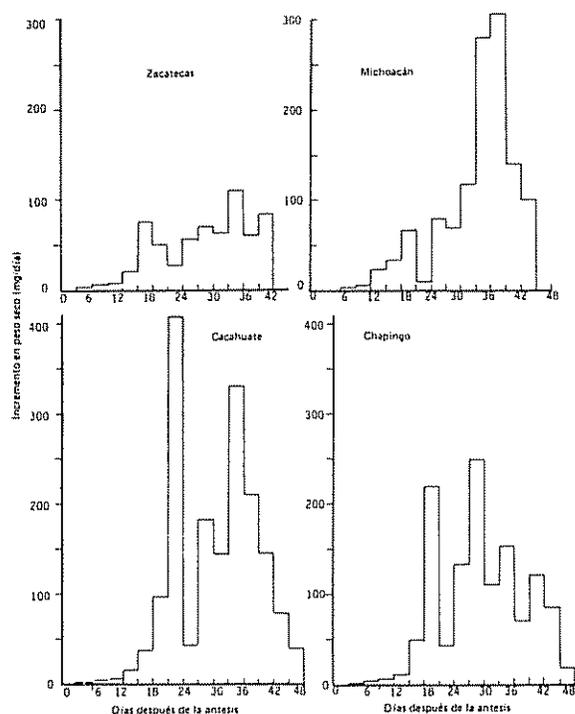


Fig 5. Incremento en peso seco (mg/día) de las semillas por vaina en cuatro variedades de frijol, desde la antesis hasta la madurez fisiológica. Los valores son el promedio de 10 frutos de plantas crecidas en el invernadero.

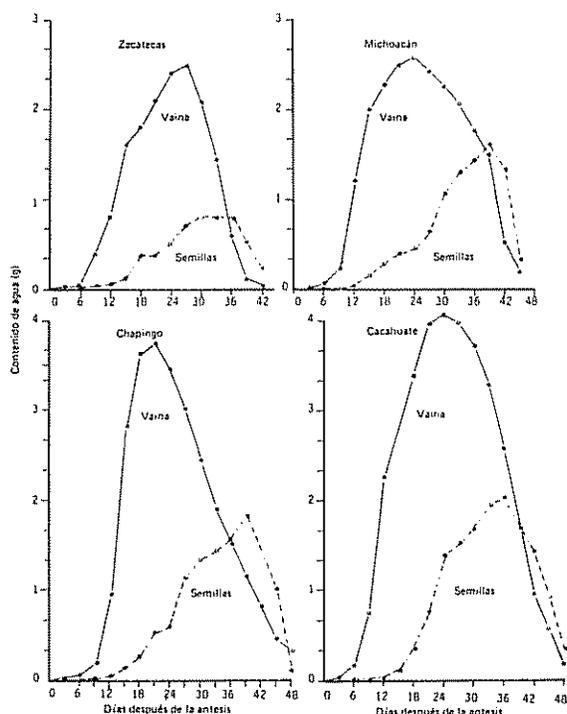


Fig 6. Contenido de agua en gramos, en vainas (pericarpio) y en semillas por vaina en cuatro variedades de frijol, desde la antesis hasta la madurez fisiológica. Los valores son el promedio de 10 frutos de plantas crecidas en el invernadero.

## DISCUSION

Cuando se contaron los días hasta la floración, se halló que dos variedades de crecimiento indeterminado, sembradas en el invernadero, llegaron a esta etapa más rápido que las cultivadas en el campo. Es posible que en el invernadero la cantidad y calidad de luz fueron menores y la temperatura un promedio mayor, e hicieron variar, por ende, las condiciones del ambiente. Olikei *et al* (16), informan que, en frijol, las plantas sembradas en invernadero florecen antes que las cultivadas en el campo.

El cambio en el hábito de las plantas sembradas en el invernadero, fue una característica significativa. Las variedades Michoacán y Chapingo mostraron poca estabilidad en su hábito, ya que son de tipo arbustivo (tipo II); y aparecen plantas con guías (ramas) largas dándoles el aspecto de un crecimiento de tipo III. Solórzano (20) indica variaciones en el hábito de las plantas de frijol por cambios en el ambiente en algunas variedades sembradas en Palmira (Colombia) y en Chapingo e Iguala (México).

La variedad Zacatecas fue muy estable pues su hábito fue similar en el campo y en el invernadero. En la variedad con crecimiento determinado ('Cacahuate'), sembrada en el invernadero, se presentó una segunda floración al removerle los frutos, y se alargó el tiempo en el período vegetativo; en soja se informa que el inicio de la clorosis en la planta, coincide con el máximo crecimiento de las vainas y que además la remoción de los frutos previene la senescencia de las hojas (6, 13); Wien *et al* (23) indican que la remoción de flores en el frijol incrementa el área foliar y la mantiene activa por más tiempo.

El crecimiento de la vaina en longitud parece ser una característica varietal, pues mientras en el presente caso la vaina crece aceleradamente entre el tercer y el decimotercero días después de la antesis, Figueroa (8) encontró en la variedad Porrillo sintético (tipo II), que el crecimiento acelerado en la vaina se da en los primeros nueve días. Carr y Skene (2) informan que la vaina de frijol empieza a crecer el segundo día después de la antesis con una tasa máxima hasta el undécimo día.

La máxima longitud de la semilla se logra hacia la etapa final del crecimiento de la misma y depende de la variedad. Suge y Flórez (21), en una variedad de crecimiento determinado, indican que la longitud de la semilla aumenta gradualmente con el tiempo hasta alcanzar su máximo 30 días después de la antesis. Cuando la vaina ha logrado su máxima longitud las semillas continúan aumentando de tamaño; esto también se nota cuando el crecimiento se mide en peso; este fenómeno también se presenta en la soja (5, 6).

El crecimiento de las semillas en peso fresco y seco muestra dos fases de crecimiento activo, separado por una fase intermedia durante la cual la tasa decae. Carr y Skene (2) señalan que en frijol el peso fresco y seco aumenta exponencialmente entre los 8-20 días; en el vigésimo día la tasa de crecimiento relativo decae durante tres días para luego comenzar un nuevo incremento que llega hasta los 30 días, cuando la tasa decae otra vez.

Oliker *et al* (16) determinaron que el crecimiento global de la semilla de frijol es difásico, pero cuando se mide el crecimiento en cada una de sus partes éste es monofásico en cada una de ellas también. Carr y Skene (2) señalan que la detención parcial del crecimiento de la semilla de frijol puede deberse a efectos mecánicos.

El incremento en el peso de las semillas es una característica de la variedad y, tal vez, esté asociada con el rendimiento. Datos de Egli (5) indican que la tasa de acumulación de peso seco en soja puede ser una característica de la variedad.

Los factores ambientales parecen influir sobre el crecimiento de la vaina y de las semillas de frijol; sin embargo Carr y Skene (2) informan que el crecimiento de estas dos estructuras no es afectado por las condiciones ambientales. Investigaciones sobre soja indican que la radiación lumínica baja, provoca la disminución en la acumulación de peso en las vainas y en las semillas (17); igualmente se afirma que la tasa de crecimiento de los frutos del frijol varía según las condiciones ambientales: el factor que más diferencias causa es la temperatura, especialmente la nocturna (16).

El tiempo demandado por el fruto para crecer con respecto del ciclo total, sería un factor importante, o sea, la floración temprana podría aumentar el tamaño de los frutos. Izquierdo y Hosfield (11) indican que el mayor peso de las semillas se logró con un período más largo para el llenado de los frutos.

Se reconoce que para maximizar el rendimiento en soja se debe incrementar la longitud del período de producción económica y la eficiencia en la interceptación de la energía solar (18). Hanway y Weber (9); Egli y Legget (6) señalan que las diferencias en el rendimiento de soja estuvieron relacionadas con la variación en el período de llenado de los frutos.

Hay bastante evidencia sobre el hecho que las semillas regulan algunos aspectos en el crecimiento del fruto; existe el principio de que las semillas son fuente de sustancias reguladoras del crecimiento de los frutos (15).

En el crecimiento del fruto y las semillas de frijol se nota una estrecha relación entre el tamaño final del fruto y el de las semillas (Cuadro 2); aunque esto no se observa entre el número de semillas y el tamaño del fruto. La variedad 'Cacahuaté' presenta un bajo número de semillas por vaina y a la vez mayor tamaño en los frutos (Cuadros 2 y 3). Visser (24) y otros autores señalan una alta correlación entre el número de semillas por fruto y el tamaño del fruto, y sugieren que las semillas son fuente de señales para el crecimiento del fruto.

La ocurrencia de giberelinas en los frutos es más común de lo que se afirma (3, 6) Suge y Flórez (21) encontraron al trabajar en frijoles, que la cantidad absoluta de giberelinas en los frutos llega a su punto máximo veinte días después de la antesis y que éste coincide con la fecha en la cual el fruto logró su mayor peso fresco. Los mismos autores denotan que cuando la vaina no crece normalmente por el aborto de las semillas, la cantidad de giberelinas es muy baja.

Takahashi *et al* (22) analizaron el contenido y tipo de giberelinas en vainas y semillas de frijol en crecimiento, y encontraron diferencias en las dos variables según la edad de los frutos.

La tasa de acumulación de peso en las semillas de soja es un proceso importante en la producción de granos (6, 9). En el trabajo presente no es muy clara la relación entre el peso acumulado diariamente por las semillas y el rendimiento por planta, ya que el mayor rendimiento por planta se presentó en la variedad Chapingo con 78.5 g de peso seco (Cuadro 3) de las semillas, y el más bajo en la variedad Cacahuaté con 25.3 g. Pero las mayores tasas de acumulación de peso fueron en estas variedades, con 36.2 mg/d y 26.2 mg/d, respectivamente (Cuadro 2).

Aparentemente, más que la tasa de acumulación de peso en las semillas, es el número de semillas por vaina y por planta el que influye en el rendimiento; Egli (5) informa que la reducción en el rendimiento de soja se debió a una reducción en el número de semillas y no al descenso en el peso de las mismas. En frijol se advierte una situación similar (1, 7).

Ahora bien, el número total de semillas por planta o por área de cultivo es influido por la cantidad de vainas retenidas y de semillas normales en cada vaina.

El número de vainas por planta parece que es determinado por una competencia entre ellas, que en un momento dado puede reducir el rendimiento. Lindoo y Nooden (13) indican que las plantas de soja raramente abortan frutos cuando se les ha removido las vainas mientras que las plantas normales sin remoción

de vainas, abortan entre un 20-30 %. Egli y Legget (6) afirman que la presencia de frutos desarrollados en plantas de soja, inducen un descenso en el inicio de frutos jóvenes y aumentan el aborto de éstos

La competencia por la fotosíntesis puede presentarse entre las fases vegetativa y reproductiva, o entre las distintas partes de la etapa reproductiva; esto puede afectar el número de vainas por planta. El enriquecimiento con CO<sub>2</sub> en cultivos de soja incrementa el peso de las hojas y de los tallos, lo cual se interpreta como una evidencia de la competencia por fotosíntesis (10). Figueroa (8) encontró en frijol que todas las flores que abren en los primeros cuatro días llegaron a producir vainas que crecieron hasta la madurez fisiológica; mientras que ninguna de las abiertas entre el décimo y el trigésimonoveno días llega a madurar

La competencia que se presenta entre semillas y vainas en crecimiento, puede afectar el número de vainas y semillas. Olikier *et al* (16) indican que en frijol se puede generalizar sobre que el crecimiento de la vaina y las semillas son dos eventos secuenciales y no recurrentes, con lo cual se descarta la competencia entre semillas y pericarpio

Por alguna razón no muy bien explicada al final del período de crecimiento de la planta, el número de vainas y semillas desciende, lo cual hace que el rendimiento disminuya. En apariencia algún factor hormonal o nutricional influye en el aborto de las semillas y en la abscisión de flores y frutos. Suge y Flórez (21) encontraron que el promedio de semillas por vaina en una variedad de frijol, fue de 5.19; sin embargo, algunas fueron abortadas —no desarrolladas—, por lo tanto el promedio real fue de 3.94 semillas fértiles. Estos mismos autores relacionaron el contenido de giberelinas con el crecimiento de las semillas y vainas, y encontraron que las vainas con semillas abortadas presentaron una baja concentración de esta hormona

Skene y Carr (19) indican que en el crecimiento de las semillas de frijol los contenidos de giberelinas aumentan fuertemente en los dos períodos de crecimiento activo; mientras que en la fase de detención parcial del crecimiento estas hormonas descienden en su concentración

La tasa de acumulación de peso seco en las semillas de soja parece no estar relacionada con el rendimiento (5); el número de vainas por planta y el número de semillas por vaina son los factores que más inciden en el rendimiento del frijol (1, 4, 7, 12). Mauck (14) afirma que el riego intensivo disminuye la abscisión de flores y vainas en el frijol; Hardman y Brun (10) señalan que el enriquecimiento del medio ambiente con bióxido de carbono incrementa el rendimiento en soja por el

aumento en el número de vainas retenidas; esto demuestra que la fotosíntesis es uno de los procesos que limita el rendimiento

A partir de esta idea Saterlee y Koller (17) afirman que cuando se reduce la radiación lumínica en soja la tasa de acumulación de peso en las vainas y en las semillas disminuye

Es necesario enfatizar sobre los estudios de las causas que promueven la abscisión de las vainas y flores, lo mismo que de los factores que inducen al aborto de semillas, para entender mejor el proceso de producción en frijol

#### CONCLUSIONES

Según los resultados obtenidos se puede concluir que el crecimiento de la vaina y de las semillas de frijol, en las cuatro variedades, presenta igual tendencia, o sea, un crecimiento rápido en los primeros días y posteriormente uno más lento

El crecimiento de la semilla se puede representar en dos fases de crecimiento activo, separadas por una tercera fase en la cual el crecimiento es mínimo. Esta tercera fase es de muy corta duración, comparada con las dos mencionadas anteriormente

La tasa de crecimiento en la vaina y las semillas de frijol es, aparentemente, una característica del cultivar o variedad y no muestra una relación muy estrecha con el rendimiento, medido éste último como el peso seco de semillas por planta

#### LITERATURA CITADA

- 1 ADAMS, M.W. 1973. Arquitectura vegetal y eficiencia fisiológica en frijol común. In Seminario sobre potenciales del frijol y otras leguminosas comestibles en América Latina. (1973, Cali, Col.) Cali, Colombia 25 p
- 2 CARR, D.J.; SKENE, G.M. 1961. Diauxic growth curves of seeds, with special reference to french beans (*Phaseolus vulgaris*). Australian Journal of Biological Science (A.C.T.) 14:1-11
- 3 DENNIS, E.G. 1965. Apple fruit-set: evidence for a specific role of seeds. Science (EE.UU.) 156:71-73.
- 4 DUARTE, A.R.; ADAMS, M.W. 1972. A path coefficient analysis of some yield component interrelations in field beans (*Phaseolus vulgaris*). Crop Science (EE.UU.) 12:579-582

5. EGLI, D B : 1975. Rate of accumulation of dry weight in seed of soybeans and its relationship to yield. Canadian Journal of Plant Science (Can ) 55:215-219
6. EGLI, D B : LEGGETT, J.F. 1976. Rate of dry matter accumulation in soybean seed with varying source-sink ratios. Agronomy Journal (EE UU.) 68:371-374.
7. ESCALANTE, E L. 1982. Efecto de la densidad de población sobre el rendimiento en grano y sus componentes en dos variedades de frijol (*Phaseolus vulgaris*) Tesis Ing. Agr. Iguala, Guerrero, Méx., Instituto Superior Agropecuario del Estado de Guerrero. 81 p.
8. FIGUEROA, C E. 1975. Reporte del ensayo 7504 Cali, Centro Internacional de Agricultura Tropical 23 p
9. HANWAY, J J : WEBER, C R. 1971. Dry matter accumulation in eight soybean (*Glycine max* (L) Merrill) varieties. Agronomy Journal (EE UU ) 63: 277-280
10. HARDMAN, L.L ; BRUN, W A. 1971. Effect of atmospheric carbon dioxide enrichment at different development stages on growth and yield components of soybeans. Crop Science (EE UU.) 11:886-888
11. IZQUIERDO, J A ; HOSFIELD, G L. 1983. The relationship of seed filling period to yield among dry beans with differing architectural forms. Journal of American Society for Horticultural Science 108:106-111
12. LEAKEY, C L A. 1972. The effect of plant population and fertility level on yield and its components in two determinate cultivars of *Phaseolus vulgaris*. Journal of Agricultural Science (G B ) 79:259-267
13. LINDOO, S J ; NOODEN, L D. 1976. The interrelation of fruit development and leaf senescence in "Anoka" soybeans. Botanical Gazette (EE UU) 137:218-223
14. MAUCK, C.S. 1982. Influence of irrigation and plant population on yield parameters, flower and pod abscission and photosynthate distribution in snap beans, *Phaseolus vulgaris*. Ph.D. Thesis. Corvallis, EE UU., Oregon State University. 149 p
15. NITSCH, J P. 1952. Plant hormones in the development of fruits. Quarterly Review of Biology (EE UU) 27:33-57.
16. OLIKER, M ; POLJAKOVIĆ-MAYBER, A ; MAYER, A M. 1978. Changes in weight, nitrogen accumulation, respiration and photosynthesis during growth and development of seeds and pods of *Phaseolus vulgaris*. American Journal of Botany (EE UU) 65:366-371
17. SATERLEE, L D ; KOLLER, H.R. 1984. Response of soybean fruit respiration to changes in whole plant light and CO<sub>2</sub> environment. Crop Science (EE UU.) 24:1007-1009
18. SHIBLES, R M ; WEBER, C R. 1967. Interception of solar radiation and dry matter production by various soybean planting patterns. Crop Science (EE UU ) 6:55-59
19. SKENE, K G ; CARR, D J. 1961. A quantitative study of the gibberellin content of seeds of *Phaseolus vulgaris* at different stages in their development. Australian Journal of Biological Science (A.C.T) 14:13-25
20. SOLORZANO, V.R. 1982. Clasificación de hábitos de crecimiento en *Phaseolus vulgaris*. Tesis Mag. Sc. Chapingo, Méx., Colegio de Postgraduados. 72 p
21. SUGE, H ; FLÓREZ, G D M. 1977. Changes of gibberellins during seed and pericarp development in common bean with special reference to abortion. Japanese Journal of Crop Science (Japón) 46:371-378.
22. TAKAHASHI, N ; MOROYUSHI, N ; YAMANE, H. 1976. Metabolism of gibberellins in maturing and germinating bean seeds. In International Conference on Plant and Growth Substances (9., 1976, Lausanne, Switzerland) Lausanne, Switzerland p 338-385.
23. WIEN, H C ; SANDSTED, R F.; WALLACE, D B. 1973. The influence of flower removal on growth and seed yield of *Phaseolus vulgaris*. Journal of the American Society for Horticultural Science (EE UU ) 98:45-49
24. VISSER, I. 1964. Juvenile phase and growth of apple and pear seedlings. Euphytica (Holanda) 14:125-134

# Identificación del Marchitamiento Moteado del Tomate (TSWV) en *Impatiens walerana* en Costa Rica<sup>1</sup>

C. Rivera\*, R. Pereira\*, P. Ramírez\*\*

## ABSTRACT

The tomato spotted wilt virus (TSWV) was identified for the first time in *Impatiens walerana* in commercial greenhouses in Costa Rica by electron microscopy of crude sap and thin sections, and by DAS-ELISA. Quasi-spherical enveloped particles some 85 nm in diameter were observed in crude sap by negative staining. In thin sections, the virus particles appeared in clusters within membranous cisternae in the cytoplasm. Amorphous, densely stained masses (viroplasm) and tubules were also observed in the cytoplasm of infected cells. Two serologically distinct isolates of the tomato spotted wilt virus group, related to TSWV-I and TSWV-L, were identified by DAS-ELISA. No relationship between symptoms, varieties and the ELISA results were observed.

## COMPENDIO

El virus del marchitamiento moteado del tomate (TSWV) se identificó, por primera vez, en *Impatiens walerana* en viveros comerciales de Costa Rica, mediante técnicas de microscopía electrónica de extractos crudos y de cortes finos, y del *Enzyme-linked immunosorbent assay* (ELISA). Por microscopía electrónica de extractos crudos teñidos negativamente, se observaron partículas virales cuasiesféricas con envoltura de aproximadamente 85 nm de diámetro. En las secciones finas el citoplasma tenía masas amorfas electrodensas o viroplasmas, túbulos, y las partículas virales en agregados dentro de cisternas membranosas. Mediante la técnica de ELISA se identificaron dos aislamientos serológicamente diferentes, relacionados con TSWV-I y TSWV-L. No se observó ninguna relación entre los diferentes síntomas denotados, las diferentes variedades analizadas y los resultados obtenidos por ELISA.

## INTRODUCCION

El virus del marchitamiento moteado del tomate o *tomato spotted wilt virus* (TSWV) es el miembro tipo del grupo del mismo nombre (13), y es el único virus conocido, transmitido en forma persistente por algunas especies de trips (4, 23). El virus presenta un amplio rango de hospederos: 157 especies de dicotiledóneas en 29 familias y seis especies de monocotiledóneas en cinco familias (2). Tiene una amplia distribución mundial y causa pérdidas en algunos cultivos económicamente importantes tales como los ornamentales, (1, 18, 20, 21), tomate, chile dulce, tabaco (8), melón (12, 16), lechuga (3) y papaya (7). Induce síntomas diversos,

aun dentro de la misma planta hospedera, fácilmente confundidos con los síntomas inducidos por otros virus o por hongos y bacterias e incluso con desórdenes nutricionales (2). Este virus se ha encontrado frecuentemente en plantas infectadas con otros virus en infecciones mixtas, y algunas plantas atacadas por este tipo de enfermedad presentaron solamente los síntomas del marchitamiento, mientras otras tuvieron además otros síntomas (5). En algunas hospederas son comunes las infecciones asintomáticas de TSWV (21).

Existen diferentes aislamientos del virus. Kameyi-Iwaki *et al.* (16) identificaron una raza (TSWV-W) en melón. Law y Moyer (18) describen un aislamiento del virus en *Impatiens* sp. Nueva Guinea (TSWV-I), como un miembro diferente del grupo del TSWV. Hsu *et al.* (11) produjeron un anticuerpo monoclonal en ratón contra un aislamiento de TSWV de *Lactuca sativa* L. (TSWV-L) y utilizaron para la detección de TSWV el *Dot-blot immunoassay* (DBIA) y el *Enzyme-linked immunosorbent assay* (ELISA) (10).

<sup>1</sup> Recibido para publicación el 1 de marzo de 1991.

Los autores agradecen a los doctores Róger Lawson y Hi-Ti Hsu, por su colaboración en este trabajo.

\* Centro de Investigación en Biología Celular y Molecular, Universidad de Costa Rica.

\*\* Escuela de Biología, Centro de Investigación en Biología Celular y Molecular, Universidad de Costa Rica. Teléfono 24-67-49. Fax (506) 24-93-67. Télex UNICORI 2594

La partícula viral del TSWV es estructuralmente compleja, cuasiesférica, de aproximadamente 85 milimicrones (nm) de diámetro, compuesta por una nucleocápside, rodeada de una envoltura con proyecciones o espículos (2, 22, 25), la que se encuentra generalmente dentro de cisternas membranosas en el citoplasma (6). Las células infectadas con el virus presentan regularmente parches amorfos o granulares (viroplasma) y membranas tubulares características en el citoplasma (6).

La nucleocápside (N) está formada por una subunidad proteínica de peso molecular entre 26 y 28 kilodaltons (K) (18, 22). La envoltura está formada por dos glicoproteínas G1 y G2 de 78 K y 52 K de peso molecular, respectivamente (18). El virus tiene un genoma ARN tripartita; cada ARN se "encapsida" individualmente dentro de diferentes partículas virales (15, 18, 26, 27).

Este artículo describe la caracterización del virus como uno de los asociados a diferentes variedades de *Impatiens walerana* ("chinas" en Costa Rica) sintomáticas, en invernaderos comerciales en Costa Rica. Esa caracterización se realizó mediante microscopía electrónica de extractos crudos y de cortes finos de tejido, y ELISA-DAS (*Enzyme linked immunoassay-double antibody sandwich*).

## MATERIALES Y METODOS

### Descripción de las plantas

Plantas de diferentes variedades comerciales de *Impatiens walerana* que presentaron síntomas diversos, se observaron y recolectaron en viveros comerciales y se mantuvieron en invernadero en la Universidad de Costa Rica durante este estudio. Muestras de hojas de las diferentes variedades, asociadas a diferentes mezclas de los síntomas descritos en la sección de resultados fueron preparadas para microscopía electrónica de extractos crudos y de corte fino y ELISA. Como controles sanos se utilizaron muestras de *Impatiens* silvestres asintomáticos.

### Microscopía electrónica de extractos crudos

Las hojas se cortaron con bisturí sobre un porta-objeto en presencia de un tampón fosfato  $\text{Na}_2\text{HPO}_4$ -

$\text{KH}_2\text{PO}_4$  0.01 molaridad (M), pH 7.2 (PB). El extracto obtenido se colocó sobre rejillas de cobre de 400 "mesh", recubiertas previamente con una membrana de "formwar" y carbón. Después de lavar con agua destilada, las rejillas se tiñeron con acetato de uranilo al uno por ciento y se observaron en un microscopio electrónico.

### Enzyme-linked immunosorbent assay (ELISA)

Se prepararon extractos de hoja mediante la trituración del tejido en una dilución de 1/10 p/v en un tampón de fosfato de sodio y potasio 0.01 M, pH 7.4, NaCl 0.15 M, Tween-20 al 0.05% (PBS-T), conteniendo 2% de ovo-albúmina, 2% de polivinilo pirrolidona (PVP-40) y 0.01 M de sulfito de sodio.

Los extractos fueron analizados por dos diferentes procedimientos de ELISA-DAS. En el primero se utilizó un anticuerpo policlonal anti-TSWV-I producido en conejo y conjugado con peroxidasa. El conjugado-IgG-peroxidasa se utilizó en una dilución de 1/1000 v/v, de acuerdo al protocolo suministrado. En el segundo procedimiento se empleó un anticuerpo monoclonal de ratón anti-TSWV-L biotinilado, 1/1000 v/v (9), según Hsu *et al.* (11), y un conjugado avidina-fosfatasa alcalina 1/1000 v/v. Platos de microtitulación de cloruro de polivinilo se incubaron secuencialmente a la temperatura ambiente con: IgG-anti-TSWV en presencia de un tampón de carbonato de sodio 0.01 M, pH 9.6 por dos horas, albúmina de suero bovino (BSA) al uno por ciento por treinta minutos, extractos vegetales preparados por dos horas, anti-TSWV-L biotinilado por dos horas, conjugado avidina-fosfatasa alcalina por una hora, y p-nitrofenil fosfato (PNP) por treinta minutos. Después de cada incubación los platos fueron lavados tres veces con PBS-T. Los valores de absorbencia se leyeron a 405 nm en un lector de ELISA. Se consideraron como reacciones positivas aquellos valores de absorbencia mayores o iguales que la media de los sanos (n=5) más tres desviaciones estándar.

### Microscopía electrónica de cortes finos

Secciones de un milímetro cuadrado de tejido foliar de plantas comprobadas previamente por

serología como positivas para TSWV (véase Cuadro 1, muestras 1 y 11), se trataron de acuerdo al protocolo modificado de Lawson y Hearon (19). Las secciones se fijaron al vacío a 40°C por dos horas en un tampón de fosfato de sodio y potasio 0.05 M, pH 7.0 (PB), conteniendo 2% de glutaraldehído y 1.5% de acroleína. Las muestras se posfijaron en PB que contenía uno por ciento de OsO<sub>4</sub> por una hora y treinta minutos. Se deshidrataron en una serie de etanol al 30, 50, 90 y 100 por ciento; se transfirieron a óxido de propileno y se embebieron en LX 112. Las secciones se cortaron con un ultramicrotomo, se tñieron con acetado de uranilo al uno por ciento y citrato de plomo (24) y se observaron en un microscopio electrónico.

## RESULTADOS

### Síntomas

Los síntomas observados fueron: mosaico (M) y deformación de la lámina foliar (DH) (Fig. 1a), anillos necróticos concéntricos (ACN) (Fig. b), patrones cloróticos anulares y lineales en la hoja (PC) (Fig. 1c), manchas necróticas en el tallo (NT) (Fig. 1d), deformación y reducción del tamaño de la flor (Fig. 1e) y enanismo de la planta (Fig. 1f). Las plantas presentaron, generalmente, mezclas de los síntomas descritos, los que son similares a los reportados para TSWV en diversos hospederos (13, 20, 21).

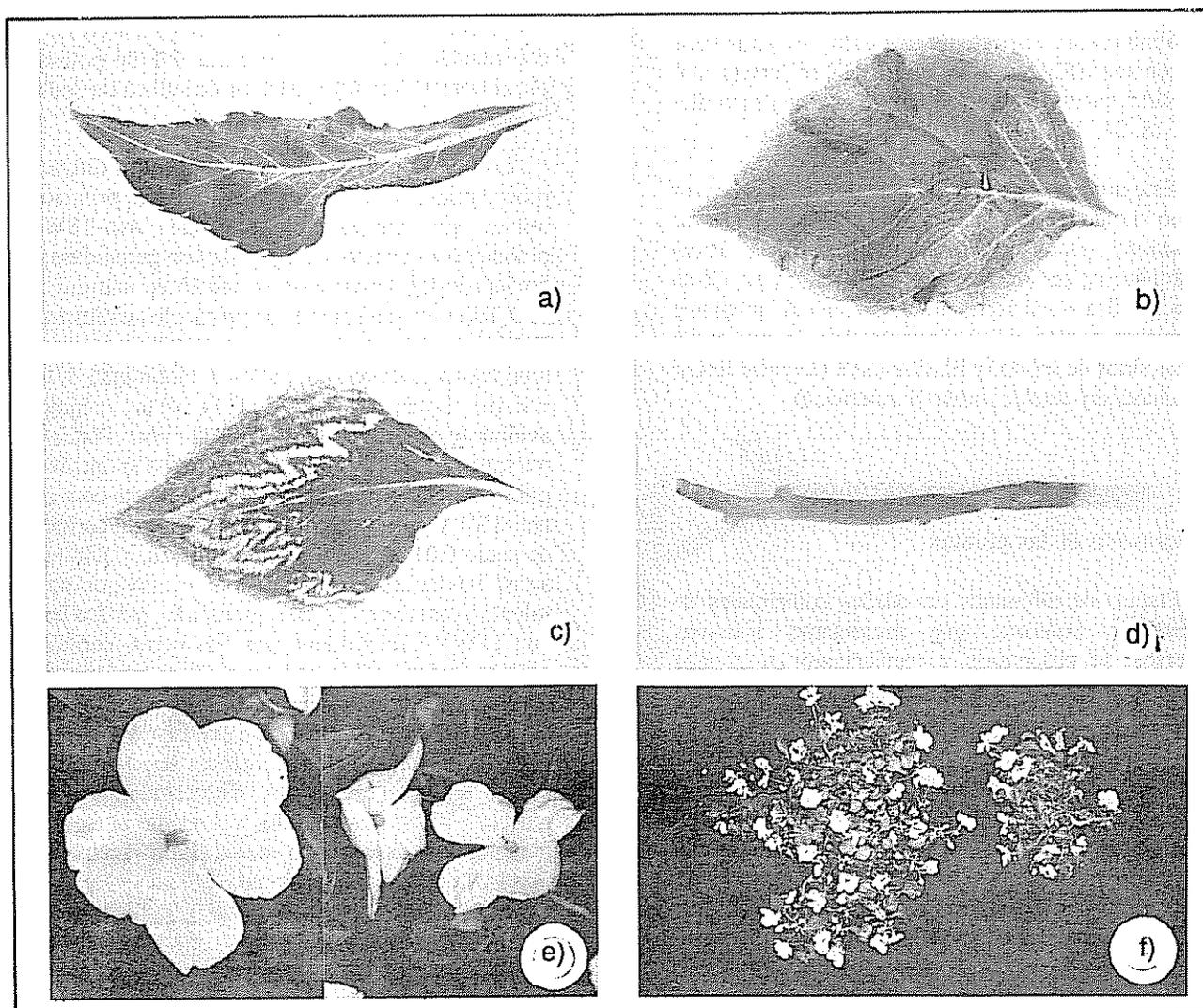


Fig. 1. Síntomas observados en diferentes variedades de *Impatiens walerana*; a) mosaico y deformación de la lámina foliar; b) anillos necróticos concéntricos; c) patrones cloróticos lineales; d) manchas necróticas en el tallo; e) deformación y reducción del tamaño de la flor (derecha) comparada con flores sanas; f) reducción del tamaño de la planta (derecha) comparado con el tamaño de plantas sanas.

### Microscopía electrónica de extractos crudos

Se observaron partículas virales con envoltura, con un diámetro aproximado de 85 nm, similares a las descritas por Francki *et al.* (6) (Fig. 2).

### Enzyme-linked immunosorbent assay (ELISA)

La mayoría de las plantas que presentaron mezclas diferentes de síntomas fueron positivas por ELISA para TSWV (Cuadro 1). No se observó relación entre los resultados obtenidos por ELISA, los diferentes patrones de sintomatología y las distintas variedades de *Impatiens*. Por ejemplo, plantas de una misma

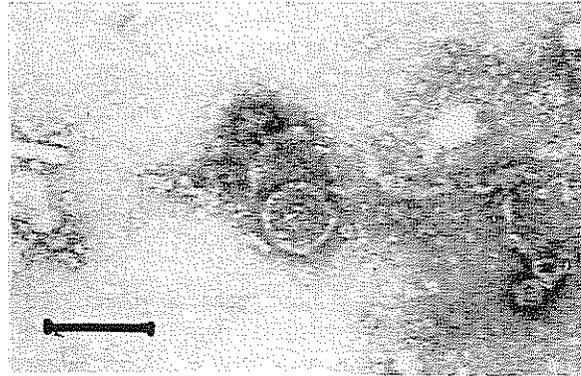


Fig 2. Partículas virales observadas por microscopía electrónica en extractos crudos de *Impatiens*. Barra = 100 nm.

Cuadro 1. Análisis serológico de plantas sintomáticas de *Impatiens* sp.

Número de muestra	Planta	Síntomas	ELISA Absorbencia	
			Anticuerpo	
			TSWV-I	TSWV-L
1	ID1083-4	ANC, M, NT	0.187	0.018
2	ID1083-4	ANC, M, NT	0.117	0.012
3	ID125-3	ANC, M	0.116	0.014
4	ID67-1	ANC, M, NT, DH	0.167	0.016
5	ID67-1	ANC, M, NT, DH	0.118	0.021
6	ID67-1	ANC, M, NT, DH	0.119	0.008
7	ID67-1	ANC, M, NT, DH	0.018	0.021
8	ID67-1	ANC, M, NT, DH	0.016	0.017
9	ID9743	ANC	0.120	0.014
10	ID1083-3	M, DH	0.170	0.023
11	ID1083-3	M, DH	0.143	0.181
12	Fast47C13	ANC, DH	0.156	0.449
13	Fast47C13	ANC, DH	0.023	0.133
14	BAU-75C1	*	0.254	0.010
15	22514-725	*	0.267	0.016
16	David44C55		0.142	0.018
17	Ines1505C8	M, DH, PC	0.120	0.021
18	Ines1505C8	M, DH, PC	0.021	0.027
19	WRG-163C5	ANC, M, DH	0.041	0.224
20	Wen43C-11		0.011	0.012
21	Lino68-C3	ANC, M, DH	0.026	0.016
22	135-1	M, DH	0.012	0.014
23	EOR1420-2	M, PC	0.012	0.013
24	KWKW1713		0.013	0.012
25	Verde1578-C3		0.015	0.013
26	Rojos236-2	ANC, M	0.012	0.014
27	21 Pulsar	ANC, DH	0.018	0.017

#### Leyenda:

(ANC) anillos necróticos concéntricos, (M) mosaico, (NT) manchas necróticas en el tallo. (DH) deformación de la lámina foliar, (PC) patrones cloróticos anulares y lineales. (\*) Sin descripción de síntomas.

variedad, con síntomas similares, dieron resultados diferentes por ELISA (Cuadro 1, muestras 6 y 7, 10 y 11, 12 y 13); plantas de distintas variedades, con síntomas diferentes, dieron resultados similares por ELISA (Cuadro 1, muestras 1, 3, 5, 9), y plantas de distintas variedades, con los mismos síntomas, dieron diferentes resultados por ELISA (Cuadro 1, muestras 13 y 27).

De las 27 plantas sintomáticas analizadas, 12 plantas (44.4%) fueron positivas para TSWV-I; dos plantas (7.4%), positivas para TSWV-L; dos plantas (7.4%), positivas para ambos anticuerpos; y 11, negativas (40.8%) (Cuadro 1).

Se asumieron como positivos aquellos valores de absorbencia mayores o iguales que 0.045; valor de

absorbencia obtenido de la media de los sanos ( $X = 0.021$ ) más tres desviaciones estándar ( $3s = 0.0079$ ), donde  $n = 5$ .

### Microscopía electrónica de cortes finos

En el citoplasma de células infectadas se observaron parches amorfos o granulares (viroplasmas) teñidos densamente, y membranas tubulares características de la presencia de TSWV (6) (Fig. 3a). Se observaron también partículas virales cuasiesféricas, con envoltura, con un diámetro aproximado de 85 nm, dentro de cisternas membranosas (Fig. 3b) similares a las reportadas para TSWV (6, 14, 17).

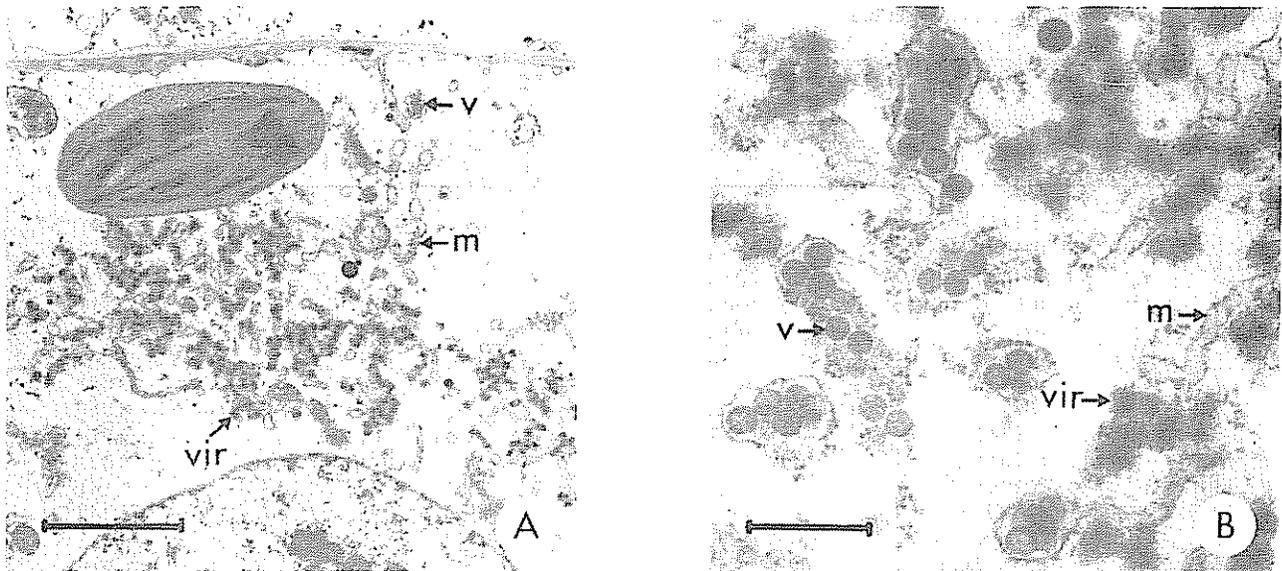


Fig 3 Micrografía electrónica de cortes finos de *Impatiens* infectadas naturalmente por TSWV: a) parches amorfos granulares o viroplasmas (vir) y membranas tubulares (m) Barra = 200 nm; b) partículas virales (v) cuasiesféricas de 85 nm; de diámetro dentro de cisternas membranosas Barra = 400 nm

### DISCUSION

Los resultados obtenidos por microscopía electrónica de extractos crudos, de cortes finos y por ELISA permiten concluir que TSWV es uno de los virus que infectan *Impatiens* sp. en invernaderos comerciales en Costa Rica. La morfología de la partícula y la citopatología del virus son muy diferentes a las de cualquier otro virus de plantas, lo que permite utilizar ambas características como un

diagnóstico para TSWV (6). La citopatología observada en la muestra 11 (Fig. 3), positiva por ELISA contra TSWV-I y TSWV-L (Cuadro 1), fue idéntica a la denotada en la muestra 1, la que fue positiva únicamente para TSWV-I. En ambas se observaron parches amorfos granulares electrodensos, membranas tubulares (Fig. 3a) y partículas virales dentro de cisternas membranosas (Fig. 3b). En ninguna de las muestras se dieron las estructuras filamentosas, asociadas a TSWV-I y descritas por

Law y Moyer (18). Los resultados por ELISA confirman la naturaleza del agente viral encontrado por microscopía electrónica e indican la presencia en *Impatiens* en dos aislamientos de TSWV serológicamente diferentes entre sí; uno relacionado al TSWV-L y el otro al TSWV-I. Hsu y Lawson (10) reportan que 12 muestras de *Impatiens* provenientes de Costa Rica, analizadas con los anticuerpos contra TSWV-L y TSWV-I por los métodos de ELISA y DBIA, fueron negativas para TSWV-L. Es probable que el análisis de un mayor número de muestras en este trabajo, permitió detectar el 14.8% de plantas positivas para TSWV-L.

La presencia de un 40.8% de plantas sintomáticas negativas por ELISA contra ambos anticuerpos, podría reflejar los límites de sensibilidad de la técnica de ELISA. Hsu y Lawson (10) indican una mayor sensibilidad del DBIA para detectar TSWV en *Impatiens* que la presentada por ELISA; ellos obtuvieron resultados positivos por DBIA en plantas que fueron negativas por ELISA.

La identificación del TSWV por sintomatología en *Impatiens wallerana* carece de un valor de diagnóstico por falta de conocimiento de la respuesta ante la infección de las diferentes variedades, los niveles relativos de la misma, y la similitud de los síntomas observados con los inducidos por otras enfermedades o por infecciones mixtas.

#### LITERATURA CITADA

- ALLEN, W.R.; MATTEONI, J.A. 1988. Cyclamen ringspot: Epidemics in Ontario greenhouses caused by the tomato spotted wilt virus. *Canadian Journal of Plant Pathology* 10:41-46.
- BEST, R.J. 1988. Tomato spotted wilt virus. *Advances in Virus Research* 13:65-146.
- CHO, J.J.; MITCHELL, W.C.; MAU, R.F.L.; SAKIMURA, K. 1987. Epidemiology of tomato spotted wilt virus disease on crisphead lettuce in Hawaii. *Plant Disease* 71:505-508.
- CHO, J.J.; MAU, R.F.L.; HAMASAKI, R.T.; GONSALVES, D. 1988. Detection of tomato spotted wilt virus in individual thrips by enzyme-linked immunosorbent assay. *Phytopathology* 1348-1352.
- FRANCKI, R.I.B.; HATTA, T. 1981. Tomato spotted wilt virus. In *Handbook of Plant Virus Infections and Comparative Diagnosis*. E. Kurstak (Ed.). Elsevier/North-Holland, Biomedical Press. (Ed.). p 491-512.
- FRANCKI, R.I.B.; MILNE, R.G.; HATTA, T. 1987. Tomato spotted wilt virus group. In *Atlas of Plant Viruses*. Vol. 1. Boca Raton, CRC Press. p 101-110.
- GONSALVES, D.; TRUJILLO, E.E. 1986. Tomato spotted wilt virus in papaya and detection of the virus by ELISA. *Plant Disease* 70:501-506.
- GREENOUGH, D.R.; BLACK, L.L.; STORY, R.N.; NEWSON, L.D.; BOND, W.P. 1985. Occurrence of *Frankliniella occidentalis* in Louisiana. A possible cause for the increased incidence of tomato spotted wilt virus. *Abstracts of Phytopathology* 75:1362.
- HSU, H.T.; LAWSON, R.H. 1989. Detection of tomato spotted wilt virus in *Impatiens* using biotinylated mouse monoclonal antibodies. *Abstracts of Phytopathology* 79:1197.
- HSU, H.T.; LAWSON, R.H. s.f. Direct tissue blotting for detection of tomato spotted wilt virus in *Impatiens*. *Plant Disease*. (En prensa).
- HSU, H.T.; WANG, R.H.; LAWSON, R.H.; WANG, M.; GONSALVES, D. 1990. Splenocytes of mice with induced immunological tolerance to plant antigens for construction of hybridomas secreting tomato spotted wilt virus-specific antibodies. *Phytopathology* 80:153-162.
- IWAKI, M.; HONDA, Y.; HANADA, K.; TOCHIARA, H.; YONAHARA, H.; HOKAMA, K.; YOKOYAMA, T. 1984. Silver mottle disease of watermelon caused by tomato spotted wilt virus. *Plant Disease* 68:1006-1008.
- IE, T.S. 1970. Tomato spotted wilt virus. In *Description of Plant Viruses*. England, Commonwealth Mycological Institute, Kew, Surrey. 4 p.
- IE, T.S. 1971. Electron microscopy of developmental stages of tomato spotted wilt virus in plant cells. *Virology* 2:468-479.
- IE, T.S. 1982. A sap-transmissible defective form of tomato spotted wilt virus. *Journal of General Virology* 59:387-391.
- KAMEYI-IWAKI, M.; HANADA, K.; HONDA, Y.; TOCHIHARA, H. 1988. A watermelon strain of tomato spotted wilt virus (TSWV-W) and some properties of its nucleocapsid. Abstract. In *Fifth International Congress of Plant Pathology*.
- KITAJIMA, E.W. 1965. Electron microscopy of vira-cabeca virus (Brazilian tomato spotted wilt virus) within the host cell. *Virology* 26:89-99.
- LAW, M.D.; MOYER, J.W. 1990. A tomato spotted wilt-like virus with a serologically distinct N protein. *Journal of General Virology* 71:933-938.

19. LAWSON, R.H.; HEARON, S. 1970. Subcellular localization of chrysanthemum aspermy virus in tobacco and chrysanthemum leaf tissue. *Virology* 41:30-37.
20. MATTEONI, J.A.; ALLEN, W.R.; BROADBENT, A.B. 1988. Host range and symptoms of tomato spotted wilt virus. In Conference on Insect and Disease Management on Oramentals (4., 1988). Proceedings. Alexandria, Virginia, Society of American Florists 214 p.
21. MATTEONI, J.A.; ALLEN, W.R. 1989. Symptomatology of tomato spotted wilt virus infection in florist's chrysanthemum. *Canadian Journal of Plant Pathology* 11:373-380.
22. MOHAMED, N.A. 1981. Isolation and characterization of subviral structures from tomato spotted wilt virus. *Journal of General Virology* 53:197-206.
23. PALIWAL, Y.C. 1979. Occurrence and localization of spherical virus-like particles in tissue of apparently healthy tobacco trips, *Frankliniella fusca*, a vector of tomato spotted wilt virus.
24. REYNOLDS, E.S. 1963. The use of lead citrate at high pH as an electron-opaque stain in electron microscopy. *Journal of Cell Biology* 17:208-212.
25. TAS, P.W.L.; BOERJAN, M.L.; PETERS, D. 1977. The structural proteins of tomato spotted wilt virus. *Journal of General Virology* 36:267-279.
26. VAN DEN HURT, J.; TAS, P.W.L.; PETERS, D. 1977. The ribonucleic acid of tomato spotted wilt virus. *Journal of General Virology* 36:81-91.
27. VERKLEIJ, F.N.; DE VRIES, P.; PETERS, D. 1982. Evidence that tomato spotted wilt virus RNA is a positive strand. *Journal of General Virology* 58:329-338.

## Reseña de Libros

LAL, R.; STEWART, B.A. (Eds.). 1990. *Soil Degradation Advances in Soil Science*. Vol. 2. Springer Verlag, New York. 346 p.

Este volumen presenta un caso especial en la valiosa serie que forman *Advances in Soil Science*. Dieciocho destacados especialistas se dedicaron a resumir y a unir la información muy dispersa en el campo de la degradación de suelo. El enfoque es amplio ya que se consideran también, en adición a la degradación física, los problemas pertinentes a las degradaciones químicas y biológicas. Cada capítulo tiene una bibliografía amplia que señala trabajos clásicos y muchas revistas menos conocidas. Se ha dado gran énfasis a la experiencia de la India, poco notoria pero interesante, especialmente para los países del trópico y subtropico.

En los capítulos se insiste particularmente en los orígenes de los diferentes procesos que llevan a la degradación y también se sugieren métodos para la corrección de problemas.

El primer capítulo está dedicado a la compactación de suelos y trata de presentar una visión sobre el manejo de suelos que no conduzca al problema, para lo cual se consideran los diferentes sistemas suelo-cultivo-equipos agrícolas. Se recomienda una serie de decisiones sobre manejo, los cuales, según se explica, permiten un cultivo continuo de tierras sin perjudicarlas.

Aquellos suelos que se endurecen sin presión externa ("hard setting soils"), su comportamiento y manejo constituyen el tópico del segundo capítulo. Estos suelos que conforman aproximadamente un octavo de los suelos en Australia; han sido estudiados especialmente allí, pero el problema fue identificado en condiciones mediterráneas y del trópico. Este ocurre cuando se pierde la estructura del suelo al mojarlo. La información es muy novedosa y puede aclarar aquellos problemas que previamente no fueron visualizados.

En el tercer capítulo se examina el papel de la plinita y de materiales similares en la degradación de suelos. Se estudian los procesos que intervienen aquí y se dan algunas recomendaciones para el manejo y recuperación difíciles de suelos con estos materiales.

En el cuarto capítulo se enfoca la erosión y la degradación de tierras como un peligro global en escala. Se examinan los principales procesos de erosión por agua y viento, tanto en los trópicos como en condiciones templadas. Se discuten los problemas de suelos en las diferentes regiones geográficas y su impacto sobre la producción de alimentos.

La humedad excesiva y la falta de aire resultante, que deterioran los suelos, son el tópico del quinto capítulo. Se analizan los varios procesos que resultan en excesos de agua, como el aumento en el nivel de la tabla freática o lluvias excesivas. Se estudian los efectos de estos problemas y se recomiendan técnicas de corrección.

El sexto capítulo se ocupa de la degradación química de suelos. Se consideran aquí los procesos de degradación que resultan de procesos agrícolas mal diseñados como los que se originan en operaciones mineras y en el traslado de residuos urbanos e industriales hacia la tierra. Este novedoso capítulo también resalta los procesos químicos que afectan la degradación y se sugieren medidas para reducir estos efectos.

El séptimo capítulo está dedicado a un caso particular, muy importante en la degradación química, cual es la solinización y alcalinización de suelo. Se estudia su clasificación, las interrelaciones de estas propiedades con otras, su reclamo y el manejo de cultivo sobre ellos. Este capítulo, el segundo más largo, se basa especialmente en la experiencia asiática y proporciona información novedosa.

El octavo capítulo analiza la degradación biológica de suelos; un tópico sobre el cual hay muy pocas revisiones. Se reseñan grupos microbiológicos en suelos y el efecto de la degradación de las tierras sobre ellos.

Se discute un detalle las consecuencias de las operaciones mineras y sus residuos y el manejo de tierras sobre los microorganismos en el suelo. Como último se examina el efecto de la contaminación sobre los microorganismos.

Es otro volumen muy valioso, especialmente para las bibliotecas en ciencias agrícolas, ambientales y biológicas.

ELEMER BORNEMISZA  
UNIVERSIDAD DE COSTA RICA

STEWART, B.A. (Ed.). 1990. *Advances in Soil Science*. Vol. 12. Springer Verlag, New York. 221 p.

Este reciente volumen continúa con el enfoque de la serie *Advances in Soil Science* de presentar resúmenes bastante completos, pero más cortos que un tratado, sobre aspectos importantes y novedosos en la ciencia del suelo.

El primer capítulo, uno de los más completos, se centra en el tópico del cambio de estructura del suelo bajo diferentes sistemas de cultivo. Este problema es conocido como una limitante de la producción en varios países de Latinoamérica, especialmente en aquellos con agricultura mecanizada. Se analizan y se cuantifican, en profundidad, los procesos responsables por los cambios y se proponen mecanismos para disminuir el deterioro de la estructura de los suelos. En el segundo capítulo se resume la información sobre las respuestas de los cultivos ante la inoculación con A2 ospirillum. Este tema se investigó ampliamente pero los mecanismos básicos y su aplicación adecuada presentan todavía numerosos interrogantes.

La aplicación de la espectroscopia Mössbauer del  $^{57}\text{Fe}$  para solucionar problemas de mineralogía de arcillas y de ciencia del suelo es el tópico del capítulo tres. Esta técnica ha adquirido gran importancia en el examen de sustancias que contienen hierro como óxidos y muchos silicatos. El capítulo enfatiza en los aspectos donde es aplicable esta técnica novedosa y dónde no es recomendable.

La microscopía electrónica de transmisión con alta resolución, otra técnica reciente, aplicada a suelos y arcillas, se examina en el cuarto capítulo. Aquí se expone cómo esta técnica permite adquirir información sobre la estructura y las propiedades físicas y químicas de los minerales en los suelos y, especialmente, arcillas. Se explican los instrumentos y las técnicas necesarias, la preparación de muestras y su caracterización. Se sugieren varios aspectos de los problemas de suelos que podrán ser aclarados con la aplicación de técnica.

El volumen concluye con un capítulo sobre la evaporación del agua de suelos sin cobertura vegetal y la influencia de prácticas de cultivo sobre ella. Este fenómeno es responsable por más de la mitad de la pérdida de agua que reciben los suelos, y es analizado en función de las propiedades de los suelos, su manejo y condiciones ambientales correspondientes.

Este libro es otra contribución útil de la serie de *Advances in Soil Science* a la información sobre ciencia del suelo.

ELEMER BORNLEMISZA  
UNIVERSIDAD DE COSTA RICA

## Comunicaciones

### Introducción de *Cephalonomia stephanoderis* (Hymenoptera: Bethyilidae) a Centroamérica para el control biológico de la broca del café, *Hypothenemus hampei* (Coleoptera: Scolytidae)

**Compendio.** El parasitoide *Cephalonomia stephanoderis* (Hymenoptera: Bethyilidae) fue introducido en 1990, desde México a tres países centroamericanos (Guatemala, El Salvador y Honduras), con la finalidad de controlar biológicamente la broca del café, *Hypothenemus hampei* (Coleoptera: Scolytidae). Su introducción es parte de las actividades del proyecto regional que, sobre esta plaga, se inició en 1989 con la coordinación del Programa Cooperativo para la Protección y Modernización de la Caficultura de México, Centroamérica, Panamá y República Dominicana (PROMECAFE), y que incluye la participación de países mesoamericanos y europeos. En este artículo se presenta también una breve revisión de literatura sobre la distribución, biología y posibilidades futuras de *C. stephanoderis* como agente de biocontrol de la broca del café.

En 1989 se inició un proyecto regional en Mesoamérica para investigar el control biológico de la broca del café, *Hypothenemus hampei* (Ferrari) (Coleoptera: Scolytidae), con parasitoides. Dicho proyecto tiene una duración de cuatro años y sus objetivos son crear, liberar y evaluar experimentalmente la eficiencia de *Cephalonomia stephanoderis* Betrem y *Prorops nasuta* Waterston (Hymenoptera: Bethyilidae), dos parasitoides de la broca del café, así como capacitar a personal científico y técnico sobre este tema.

El proyecto cuenta con el financiamiento de la Comunidad Económica Europea (CEE), en el que participan países de Mesoamérica y Europa. Las investigaciones se realizan en el Centro de Investigaciones Ecológicas del Sureste (CIES) de México, el Instituto Salvadoreño de Investigaciones del Café (ISIC) de El Salvador, la Asociación Nacional del Café (ANACAFE) de Guatemala y el Instituto Hondureño del Café (IHCAFE) de Honduras, con la cooperación de PROMECAFE, del Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA). Los países europeos participantes son Francia e Inglaterra, representados por el *Institut de Recherches du Café et du Cacao* (IRCC) y el *International Institute of Biological Control* (IIBC), respectivamente.

El objetivo de este artículo es informar a la comunidad científica y técnica sobre la introducción

a Centroamérica de *C. stephanoderis*, parasitoide que será usado en el control biológico de la broca del café. Asimismo se presenta información relevante sobre esta especie con relación a su origen, distribución, biología, y se comentan sus perspectivas como agente de biocontrol de la broca del café.

### Introducción de *C. stephanoderis* a Centroamérica

Este parasitoide fue introducido por el CIES a Centroamérica desde México, en mayo de 1990. Los antecesores de los ejemplares enviados a Centroamérica, fueron originalmente obtenidos por el IBC en Togo, en el Africa, con ayuda de la estación experimental del IRCC en Kpalimé (3,4).

En el Cuadro 1 se presentan los datos relativos a la introducción de *C. Stephanoderis* a Centroamérica. Se enviaron ejemplares adultos desde México y se les proporcionó miel de abeja diluida en agua, como alimento, durante el transporte. En total fueron 1214 ejemplares adultos, enviados a tres países: 431, a Guatemala (ANACAFE); 300, a Honduras (IHCAFE) y 483, a El Salvador (ISIC). El porcentaje de supervivencia durante el viaje fue de 96.5%, 82.7% y 86.3%, respectivamente. Como se puede apreciar en el Cuadro 1, el efecto de la duración del viaje se vio reflejado sobre la supervivencia.

Los laboratorios que recibieron a los insectos, están ubicados en la estación experimental "Finca Buenavista" de ANACAFE, San Sebastián, Retalhuleu, Guatemala; el laboratorio de Entomología del ISIC, Nueva San Salvador, El Salvador; la estación experimental "La Fe" del IHCAFE, Ilama, Santa Bárbara, Honduras. El laboratorio del CIES está ubicado en Tapachula, Chiapas, México.

Como primera fase de las actividades del proyecto, los parasitoides se criarán en los laboratorios citados; posteriormente, serán liberados en campo y se procederá a evaluarlos como agentes de control biológico en las condiciones de cada región.

### Origen y Distribución

El primer registro de *C. stephanoderis* se hizo en 1960 en Costa de Marfil, a unos 20 km al nordeste de Abidján, en Costa de Marfil, en muestras de frutos de café 'Robusta' (*Coffea canephora*) atacadas por *H. hampei* (14), y su descripción taxonómica fue

realizada por Betrem (6). Identificaciones positivas también han sido hechas en Camerún y Zaire (11) y, recientemente, en Togo por Borbón-Martínez (7). En un estudio realizado por Mbondji (12) en Camerún, señala que no se encontró a *C. stephanoderis* en muestras tomadas en las regiones de Nkongsamba y d'Abong-Mbang, aunque si menciona la presencia de *P. nasuta*. Hasta ahora, la distribución de *C. stephanoderis* en Africa se remota al occidente de ese continente. Es interesante mencionar que, en 1986, en los municipios de Linhares y Marilandia, en el Estado de Espírito Santo, Brasil, se reportó la presencia de un Bethyilidae como parásito de *H. hampei* en café 'Robusta', el mismo que fue identificado como *Cephalonomia* sp. (5). De acuerdo con estos autores, en Brasil solamente se tiene registrada la presencia de *P. nasuta*, especie introducida a ese país en 1929, desde Uganda (9).

### Biología

La biología de *C. stephanoderis* ha sido investigada por Ticheler (14), Koch (11), Barrera *et al.* (2), Abraham *et al.* (1) y Borbón-Martínez (7). Comparativamente, se conoce menos la biología de *C. stephanoderis* que la de *P. nasuta*, aunque cabe señalar que es bastante similar en ambas especies. Considerando los trabajos antes mencionados, en los siguientes párrafos se resume la biología de este parasitoide.

Una hembra de *C. stephanoderis* se introduce a un fruto de café infestado por *H. hampei*, a través de la perforación que la plaga hace sobre éste, y depreda sobre huevos, larvas pequeñas y adultos de la broca del café, mientras que parasita a las larvas, completamente desarrolladas, prepupas y pupas. El huevo del parasitoide es puesto sobre la parte ventral de una larva o prepupa, o en la parte dorso-ventral de las pupas de *H. hampei*; es muy raro encontrar superparasitismo. Del huevo emerge una pequeña larva que se alimenta externamente del hospedero hasta que deja solamente la piel vacía. Completamente desarrollada, la larva del parasitoide construye un capullo donde se transforma en pupa. Según Barrera *et al.* (2), los rangos de la duración del huevo, larva, pupa y el ciclo de huevo a adulto, a 27°C y bajo condiciones *in vitro*, son de 2 a 3, 6 a 9, 7 a 11 y 16 a 21 días, respectivamente.

Los adultos del parasitoide se parecen a pequeñas hormigas aladas de color oscuro, de más o menos 2

Cuadro 1. Introducción de *Cephalonomia stephanoderis* desde México\* a Centroamérica para el control de la broca del café, *Hypothenemus hampei*

Introducido a	Fecha de salida	Fecha de llegada (1990)	Duración del viaje	Número de insectos			Porcentaje de supervivencia
				Enviados vivos	muer-tos		
Guatemala (Asociación Nacional del Café)	3 de mayo	3 de mayo	menos de un día	431	416	15	96.5
Honduras (Instituto Hondureño del Café)	8 de mayo	10 de mayo	dos días	300	248	52	82.7
El Salvador (Instituto Salvadoreño de Investigaciones del Café)	15 de mayo	16 de mayo	un día	483	417	66	86.3
Total				1 241	1 081	133	89.0

\* Los insectos fueron introducidos a Centroamérica desde el laboratorio del Centro de Investigaciones Ecológicas del Sureste, Tapachula, Chiapas.

mm de longitud. A simple vista, no es fácil distinguir un sexo de otro, aunque los machos tienden a ser más pequeños. El apareamiento se realiza en el interior del fruto de café, donde los adultos se desarrollaron. Casi siempre las hembras son fecundadas antes de salir del fruto de café y su descendencia es bisexual; las hembras vírgenes se reproducen por partenogénesis, dando origen solamente a machos (arrenotokia). En la relación de sexos, predominan las hembras; y, en condiciones de campo, se ha encontrado un macho por cada 2.7 a 3.5 hembras (11) y, en laboratorio, la relación ha sido de 1:8 (3).

La producción de huevos depende de la nutrición de la hembra, y un factor que determina el inicio de la ovoposición es la temperatura, ya que a 21°C no hay puesta de huevos (11); según el mismo autor, el periodo de ovoposición es de dos días a 27°C. La producción de huevos en las hembras fecundadas es mayor que en las vírgenes. En condiciones *in vitro*, Barrera *et al.* (2) encontraron que una hembra puso 71 veces en 30 días; en otro caso, se observó que una hembra puso 139 veces en 66 días de vida.

La emergencia del fruto del café se inicia más o menos a los 22 días a 27°C. Las hembras son más longevas que los machos; la longevidad promedio de hembras y machos alimentados con miel de abeja diluida en agua, fue de 41 a 20 días respectivamente (3, 13). Sin embargo, los adultos no viven más de cinco días (1).

### Agente de Biocontrol

Actualmente las únicas alternativas viables para el control biológico de *H. hampei* son los parasitoides *P. nasuta* y *C. stephanoderis* (13). Con la finalidad de mostrar las posibilidades de *C. stephanoderis* como agente de biocontrol de la broca del café, a continuación se da una información relativa a los niveles de parasitismo reportados en África y en los programas de Ecuador y México.

Ticheler (14), en Costa de Marfil, informó sobre parasitismos de *C. stephanoderis* del 27% y 50% en frutos infestados de color rojo y negro, respectivamente; posteriormente, en ese mismo país, Koch (11) señaló que el efecto de ese parasitoide sobre la broca del café fue del 20% al 30% al final de la estación del cultivo del café, mientras que tendió a bajar al 5% en el período inter-cosechas. Datos más recientes en Togo (7) indican que este parasitoide eliminó en una cosecha del 38% al 47% de las brocas del café.

Los primeros intentos por utilizar a *C. stephanoderis* en programas de control biológico se iniciaron en 1988, cuando esta especie fue enviada por el IRCC a Ecuador y México (10, 3, 13). Datos preliminares en Ecuador, indican que los niveles de parasitismo en campo abierto, en varias fincas cafetaleras, fluctuaron entre 0 y 12%, 0 y 13%, 0 y 23%, 24 y 45% y 2 y 9% (8). En México, los niveles

de parasitismo en dos fincas fueron de 4% y 23% (3) a los 13 y 19 meses después de la liberación de *C. stephanoderis* en campo abierto.

La declinación de la población del parasitoide entre ciclos de cultivo del café, tal vez constituye el problema de mayor significancia (11; 13); aunque las poblaciones de la broca también disminuyeron drásticamente después de la cosecha. Estas se incrementan más rápido al principio del ciclo del café que aquellas del parasitoide.

A la luz de la información vertida en los párrafos anteriores, se piensa que para el control satisfactorio de *H. hampei*, se requerirá que la acción de los parasitoides sea complementada con otros agentes, especialmente con el desarrollo de micoplásmidas (4, 13). También es cierto señalar que el efecto de *C. stephanoderis* podría ser favorecido con medidas de conservación e incremento de los enemigos naturales (3), ya que su biología sugiere que podría ejercer considerable control sobre la broca del cafeto (2, 7, 13).

#### Agradecimientos

Se agradece el apoyo financiero de la CEE, en nombre de los países que conforman PROMECAFE y que participan en el desarrollo del proyecto "Investigaciones referentes al control biológico de la broca del café *Hypothenemus hampei* (Ferr.), mediante la utilización de parasitoides de origen africano" (clave TS2a-0234-M(CD)).

J. F. BARRERA\*  
F. INFANTE\*  
M. VEGA\*\*  
O. GONZÁLEZ\*\*  
E. CARRILLO\*\*\*  
O. CAMPOS\*\*\*

R. MUÑOZ+  
A. SERRANO+  
J.J. OSORTO++  
B. DECAZY+++  
D. MOORE++++

\* Centro de Investigaciones Ecológicas del Sureste, Tapachula, México.  
\*\* Instituto Salvadoreño de Investigaciones del Café, Nueva San Salvador, El Salvador.  
\*\*\* Asociación Nacional del Café, Guatemala, Guatemala  
+ Instituto Hondureño del Café, Tegucigalpa, Honduras  
++ Programa Cooperativo de Modernización y Protección de la Caficultura, Guatemala.  
+++ Institut de Recherches du Café et du Cacao, Montpellier, Francia.  
++++ International Institute of Biological Control, Silwood Park, Inglaterra.

#### LITERATURA CITADA

1. ABRAHAM, Y.J.; MOORE, D.; GODWIN, G. 1990. Rearing and aspects of biology of *Cephalonomia stephanoderis* and *Prorops nasuta* (Hymenoptera: Bethyilidae) parasitoides of the coffee berry borer, *Hypothenemus hampei* (Coleoptera: Scolytidae). *Bulletin of Entomological Research* 80:121-128
2. BARRERA, J.F.; GOMEZ, J.; INFANTE, F.; CASTILLO, A.; ROSA, W. DE LA. 1989. Biologie de *Cephalonomia stephanoderis* Betrem (Hymenoptera: Bethyilidae) en laboratoire I. Cycle biologique, capacité d'oviposition et emergence du fruit du caféier. *Cafe, Cacao, The* 33:101-108
3. BARRERA, J.F.; BAKER, P.S.; SCHWARZ, A.; VALENZUELA, J.E. 1990a. Nota Científica: Introducción de dos especies de parasitoides africanos a México para el control biológico de la broca del café *Hypothenemus hampei* (Ferrari) (Coleoptera: Scolytidae). *Folia Entomológica Mexicana* 79:s p. (en prensa).
4. BARRERA, J.F.; MOORE, D.; ABRAHAM, Y.J.; MURPHY, S.T.; PRIOR, C. 1990b. Biological control of the coffee berry borer, *Hypothenemus hampei*, in Mexico and possibilities for further action. In *Brighton Crop Protection Conference- Pest and Diseases* (1990) 4B-14. p. 391-396.
5. BENASSI, V.L.R.M.; BERTI FILHO, E. 1989. Nota sobre a ocorrência de *Cephalonomia* sp. Hymenoptera: Bethyilidae) parasitando a broca-do-café, *Hypothenemus hampei* (Ferrari, 1867) (Coleoptera: Scolytidae) no Estado do Espírito-Santo. *Revista de Agricultura* 64:105-106.
6. BETREN, J.G. 1961. *Cephalonomia stephanoderis* nov. spec. (Hym., Bethyilidae). *Entomologische Berichten* 21:183-184.
7. BORBON-MARTINEZ, O. 1989. Bioecologie d'un ravageur des baies de caféier, *Hypothenemus hampei* Ferr. (Coleoptera: Scolytidae) et de ses parasitoides au Togo. Ph.D Thesis. Toulouse, France, Université Paul-Sabatier. 185 p.
8. DELGADO, D.; SOTOMAYOR, I.; PALIZ, V.; MENDOZA, J. 1990. Cría, colonización y parasitismo de los entomófagos *Cephalonomia stephanoderis* Betrem y *Prorops nasuta* Waterston. *Sanidad Vegetal* 5:51-66.
9. HEMPEL, A. 1934. A *Prorops nasuta* Waterston no Brazil. *Archivos do Instituto Biologico* 5:197-212.
10. KLEIN-KOCH, C.; ESPINOZA, O.; TANDAZO, A.; CISNEROS, P.; DELGADO, D. 1988. Factores naturales de regulación y control biológico de la broca del café (*Hypothenemus hampei* Ferr.) *Sanidad Vegetal* 3:5-50.

- 11 KOCH, V.J.M. 1973. Abundance de *Hypothenemus hampei* Ferr., scolyte des graines de café, en fonction de sa plante-hôte et de son parasite *Cephalonomia stephanoderis* Betrem, en Cote d'Ivoire. Mededelingen. Landbouwhogeschool Wageningen 73(16):1-85.
- 12 MBONDJI, P.M. 1988. Etude epidemiologique d'*Hypothenemus hampei* (Coleoptera: Scolytidae), ravageur des baies du caféier, dans deux régions du Cameroun. Naturaliste Canadien; revue d'écologie et de systématique 115:245-249.
- 13 MURPHY, S.I.; MOORE, D. 1990. Biological control of the coffee berry borer, *Hypothenemus hampei* (Ferrari) (Coleoptera: Scolytidae): previous programmes and possibilities for the future. Biocontrol News and Information 11:107-117.
- 14 TICHELER, J.H.G. 1961. Etude analytique de l'épidémiologie du scolyte des graines de café *Stephanoderis hampei* Ferr., en Cote d'Ivoire. Mededelingen. Landbouwhogeschool Wageningen 61(11):1-49.

## Revisores, Volumen No. 40 de Turrialba

El Comité Editorial expresa su agradecimiento a los siguientes revisores, quienes con su apoyo han permitido mantener la calidad científica de los artículos publicados en el Volumen 40 de la revista **Turrialba**.

- Aguilar, Hugo: Universidad de Costa Rica (UCR).  
 Araya V., Rodolfo: UCR.  
 Arboleda, Orlando: Centro Agronómico Tropical para la Investigación y la Enseñanza (CATIE).  
 Arce, Jorge: CATIE.  
 Arias, Oscar: UCR.  
 Bertsch, Floria: UCR.  
 Borel, Rolain: UCR.  
 Bornemisza, Elemer: UCR.  
 Burgos, Carlos: CATIE.  
 Bustamante, Elkin: CATIE.  
 Calderón V., Sandra: Centro de Investigaciones en Tecnología y Alimentos (CITA), Costa Rica.  
 Canessa M., Walter: UCR.  
 Carballo, Alfredo: Colegio de Postgraduados, México.  
 Carballo, Manuel: CATIE.  
 Ceballos, Hernán: Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT).  
 Chavarría, Primo L.: UCR.  
 Chinchilla, Carlos: Compañía Bananera de Costa Rica.  
 Chiri, Angel A.: Agency for International Development, ROCAP.  
 Comité Editorial del CATIE (CEC).  
 Coto, Daniel: CATIE.  
 Cuevas P., Federico: IRTP.  
 Dao, Federico: IICA.  
 De la Cruz, Ramiro: CATIE.  
 Di Stéfano, José Francisco: UCR.  
 Enríquez, Gustavo: IICA.  
 Equipo Manejo Integrado de Plagas: CATIE.  
 Fernández, Carlos Enrique: IICA.  
 Fournier, Luis A.: UCR.  
 Frías, Gustavo A.: Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT).  
 Fuentes, Gilbert: UCR.  
 González, Luis C.: UCR.  
 González, Walter: UCR.  
 Gorbitz, Adalberto (+): IICA.  
 Guevara Berger, Eric: UCR.  
 Jiménez, Eduardo: UCR.  
 Jiménez, Kenneth: UCR.  
 Jirón, Luis F.: UCR.  
 Kass, Donald: CATIE.  
 Korytkowski, Cheslavo A.: Universidad de Panamá, Panamá.  
 Liegel, Leon H.: United States Environmental Protection Agency, EE.UU.  
 López, Roger: UCR.  
 Müller, Ludwig: CATIE.  
 Pareja, Mario: CATIE.  
 Perdomo, Alberto: IICA.  
 Ramírez P., Alberto: CIAT.  
 Ramírez, Carlos: CATIE.  
 Rego, Manuel: IICA.  
 Rodríguez M., Werner: IICA.  
 Rowan-Robinson, Michael: Queen Mary College, Inglaterra.  
 Ruiz, Manuel: IICA.  
 Salas, Carlos: UCR.  
 Salazar, Rodolfo: CATIE.  
 Santana, Carlos: IICA.  
 Saunders, Joseph: CATIE.  
 Soto, Adolfo: UCR.  
 Suárez de Castro, Fernando: IICA.  
 Villalobos R., E.: UCR.  
 Villarreal, Milton: Instituto Tecnológico de Costa Rica (ITCR).  
 Villena, Willy: CIMMYT.  
 Zúñiga, Cira: UCR.