

TURRIALBA

REVISTA INTERAMERICANA DE CIENCIAS AGRICOLAS

VOLUMEN 38

OCTUBRE-DICIEMBRE 1988

NUMERO 4

CODEN: TURRAB 38(4):261-389(1988)

Maduración artificial de banano: Comportamiento de la fruta frente a dos agentes de maduración: Carburo de calcio y Etileno en solución. S I. Chacón, F. Viquez, G. Chacón	261
Multivariate analysis of genetic divergence in wheat. S. Kuruvadi	267
Efecto alelopático del madero negro (<i>Gliricidia sepium</i>) en la germinación y crecimiento inicial de algunas malezas tropicales. E. Alan, U. Barrantes	271
Las hormigas como depredadoras de larvas y pupas de los Curculionideos <i>Contrachelus myrcariae</i> y <i>Contrachelus psiddi</i> dos plagas de la Guayaba y la Jaboticaba. H.G. Fowler	278
Soil-plant-water status and growth development and yield of maize (<i>Zea mays</i> L.) A. Núñez, M.H. Miller	281
Relaciones entre algunas características físicas del suelo y el rendimiento de alfalfa en parcelas tratadas con estiércol. J.Z. Castellanos, E. Walker	288
Destino del nitrógeno ureico aplicado a un Tropaquet arcilloso, bajo condiciones simuladas de arroz en siembra directa. C.E. de Cori, L.S. Holt, P.L. Vlek	294
Reducción de la capacidad vectora de <i>Sogatodes oryzicola</i> (Hom.:Delphacidae) al virus de la hoja blanca del arroz (<i>Oryza sativa</i>) M.E. Gaviria, C. Martínez, R. González	300
Control químico del tizón de la plántula en trigo. M.R. Carranza, H.O. Arriaga	306
Growth of teak, mahogany, and Spanish cedar on St. Croix, U.S. Virgin Islands. P.L. Weaver, J.K. Francis	308
Reacción de algunos cultivares de cacao a la inoculación manual con <i>Moniliophthora roreri</i> J.A. Sánchez, G. Enríquez	317
Light intensities and energy content of plant communities in the Andes of South Central Chile. M. Alberdi, H. Wenzel, M. Riveros, M. Romero	323
Regeneración de plantas de tomate (<i>Lycopersicon esculentum</i> por cultivo <i>in vitro</i> de folíolos. R. Zorzoli, E.L. Cointry, E.A. Prado, L.A. Mroginski, L.A. Picardi	332
Désinfection des semences D'igname par thermo ou chimiothérapie efficacité nématocide et conséquences agronomiques. P. Castagnone-Sereno	337
Eficiencia de algunos estiércoles y de abono verde de <i>Azolla filiculoides</i> como fuentes de nitrógeno para las plantas. G. Vázquez, J.J. Peña, J. Barquin	341
Efectos de una sucesión de cultivos en la fertilidad de suelos volcánicos respecto a la sucesión natural. M. Mazzarino, J. Ewel, C. Berish, B. Brown	345
Effect of nitrogen level and water deficit on nitrate reductase activity (NRA) from leaves of two sugarcane cultivars-Co 957 1001. Y.A. Abayomi, E.O. Etejere, O. Fadayomi	352
Influencia do diuron sobre a transpiração do amendoim-bravo I. Planta jovem (<i>Euphorbia heterophylla</i> L.) D.M. Mathias-Dos Santos, G.M. Corso	359
Propiedades físicas edáficas en dos sistemas de labranza. A.E. Andriulo, R.A. Rosell	365
Efectos de los medios de cultivo, regímenes luminosos y temperaturas sobre el crecimiento y esporulación de <i>Septoria lycopersici</i> Speg. S.M. Wolcan	376
Reseña de libros.	383



INSTITUTO INTERAMERICANO DE COOPERACION PARA LA AGRICULTURA

San José, Costa Rica

CR ISSN 0041 - 4360

Maduración Artificial de Banano; Comportamiento de la Fruta Frente a Dos Agentes de Maduración: Carburo de Calcio y Etileno en Solución¹

S.I. Chacón*, F. Viquez*, G. Chacón**

ABSTRACT

Green Costa Rican bananas (Musa AAA, Cavendish "Great Dwarf") were treated with calcium carbide and ethylene in water solution. At 20°C and 95% relative humidity, both treatments gave the same results, as far as the fruit quality and the ripening time is concerned. In the range of treatments tested, the following conditions were found to be the most effective: calcium carbide -0.25% concentration and contact time of 46 h; ethylene solution - 1 500 ppm and 6 min immersion time.

INTRODUCCION

En Costa Rica, la producción de banano es una de las actividades agrícolas más importantes y constituye una de las principales fuentes de divisas del país. Se estima que aproximadamente el 15% de la producción anual de banano en Costa Rica no se exporta y una cantidad considerable de fruta es subutilizada, aún cuando presenta buenas condiciones para su procesamiento o consumo en fresco.

El propósito de este estudio fue determinar el efecto de dos agentes de maduración artificial de banano. Se utilizó carburo de calcio y etileno en solución acuosa por inmersión, como agentes maduradores, y con la variedad de banano más comúnmente cultivada en Costa Rica (Musa AAA), subgrupo Cavendish, bajo las condiciones climáticas de las zonas de mayor producción en el país. Como resultado de la investigación, se conoció el comportamiento fisicoquímico de la fruta durante el proceso de maduración, con ambos agentes, en contraposición con la fruta madurada en forma natural.

1 Recibido para publicación el 20 de setiembre 1987.

Los autores agradecen al Centro de Investigaciones en Tecnología de Alimentos (CITA), de la Universidad de Costa Rica, el financiamiento de la investigación. Asimismo, a la Lic. Sandra Calderón Villaplana, su participación en la evaluación sensorial del estudio y al Ing. Fernando Aguilar Villareal, la valiosa asistencia técnica.

* Centro de Investigaciones en Tecnología de Alimentos, CITA, Universidad de Costa Rica.

** Escuela de Ingeniería Química, Universidad de Costa Rica.

COMPENDIO

Se estudió el comportamiento físico-químico del banano (Musa AAA), subgrupo Cavendish, a través del proceso de maduración, bajo la acción de dos agentes de maduración artificial: carburo de calcio y etileno en solución acuosa. Se evaluaron los efectos de la concentración del agente, tiempo de contacto del agente madurador con la fruta y tipo de agente madurador. No se encontró diferencia significativa entre los tratamientos evaluados a una temperatura de $20 \pm 1^\circ\text{C}$ y una humedad relativa de $95 \pm 5\%$. Se logró determinar que ambos compuestos químicos -carburo de calcio y etileno en solución- actúan eficientemente como agentes maduradores de banano. Se sugiere utilizar una concentración de carburo de calcio de 0.25% p/p y un tiempo de contacto con la fruta de 46 h. Con la solución de etileno por inmersión, se requieren 1 500 ppm y un tiempo de contacto con la fruta de 6 min. En ambos casos, el banano alcanza, a los siete días, un grado de madurez de consumo comercial, sin llegar al estado fermentable.

Los métodos más comunes empleados en la maduración artificial de banano son: el carburo de calcio y el etileno gaseoso o en solución. En 1928, Hartshon informó sobre el uso de carburo de calcio en la maduración de banano, con el cual se produce un aumento en la tasa de maduración y cambios en el color, sabor, contenido de almidón y razón de respiración. La cantidad de carburo puede variar dentro de límites muy amplios con el mismo resultado (8). El gas acetileno se usa como alternativa del gas etileno. Por lo general, el banano se madura a una temperatura de 25°C y a una humedad relativa de 90-95% en los dos primeros días y luego, a 20°C y a 85-90% H.R. (13). En las cámaras de maduración comerciales, es común el uso de etileno para lograr una maduración más rápida y uniforme (16). Marriot (9) informa que trazas cuantitativas de etileno acortan el período preclimático y que concentraciones mayores promueven una iniciación rápida del período climático.

MATERIALES Y METODOS

Se utilizaron bananos de rechazo (Musa AAA), subgrupo Cavendish, procedentes de la provincia de Limón, Costa Rica. Los bananos fueron cultivados bajo las siguientes condiciones climáticas: temperatura máxima de 30°C y mínima de 20°C , y con una precipitación promedio de 8 mm/día. Los racimos fueron

cosechados a las 14-16 semanas de parida la fruta, lo que por lo general corresponde a un diámetro de calibración del banano de 43/32 a 45/32 de pulgada por dedo. Los lotes de banano cosechado, se mantuvieron bajo condiciones ambientales de 20°C y 90% humedad relativa, hasta su tratamiento con etileno o carburo de calcio.

Maduración con carburo de calcio

En el estudio con carburo de calcio se analizó, preliminarmente, el efecto de siete diferentes posiciones del agente madurador dentro de la caja que contenía la fruta: arriba; abajo; nivel medio; abajo y en el medio; arriba y en el medio; en el medio y abajo; y finalmente arriba, en el medio y abajo. Se analizó la fruta en su contenido de almidón, azúcares totales, azúcares reductores, sólidos solubles, pH y humedad. Al no encontrarse diferencia significativa entre ellos, a una $P = 0.01$, se escogió colocar el carburo de calcio sobre los bananos.

El carburo de calcio se aplicó dos días después de la cosecha, en tres diferentes concentraciones: 0.25, 0.30% y 0.35% p/p.

Se utilizaron lotes de fruta de 30 kg en cada tratamiento. El carburo de calcio fue introducido en bolsas de papel Kraft natural y colocado sobre las cajas de banano, las cuales fueron cubiertas con papel polietileno; el agente madurador permanece, en esta forma, en contacto con la fruta (tiempo de pretratamiento) 35, 40, 46 y 52 h, según la condición prueba por evaluar. Una vez transcurrido el tiempo, se procedió a remover el agente madurador y el papel polietileno. Durante el proceso de maduración, los bananos se mantuvieron bajo condiciones controladas de temperatura a $20 \pm 1^\circ\text{C}$ y una humedad relativa de $95 \pm 5\%$, registradas con un higrotermógrafo en una cámara de 12 m^3 de capacidad. Cada 24 horas se hicieron determinaciones químicas de almidón y de azúcares totales, parámetros establecidos para medir la velocidad del proceso de maduración hasta un máximo de siete días, período en el cual el banano alcanzó el grado óptimo de madurez, sin estar sobremaduro.

Maduración con etileno en solución acuosa

Los bananos se sumergieron en una solución comercial de etileno conocida como Ethrel. Se emplearon concentraciones de 1 000, 1 500 y 2 000 ppm, con base en el ingrediente activo —ácido 2-cloro-etil-fosfónico— del cual se desprende el gas etileno. Los tiempos de pretratamiento fueron: 4, 6, 8 y 10 min. Los bananos fueron almacenados a $20 \pm 1^\circ\text{C}$ y $95 \pm 5\%$ H.R.

en la cámara de maduración antes mencionada, donde, simultáneamente, se maduraron bananos tratados con carburo de calcio. La velocidad del proceso de maduración se midió obteniendo la variación en el contenido de almidón y azúcares totales, cada 24 horas, hasta completar los siete días.

Diseño experimental

Los efectos de las variables estudiadas: tipo de agente madurador, concentración del agente y tiempo de contacto de la fruta con el agente (tiempo de pretratamiento), se evaluaron mediante el diseño factorial de dos niveles (2).

Se estudió, como respuesta, la tasa de variación de la concentración con respecto al tiempo, es decir, la pendiente (m) encontrada para la recta de mejor ajuste construida a partir de los datos obtenidos experimentalmente para azúcares totales y almidón. Las ecuaciones empleadas para encontrar la variable respuesta fueron las siguientes:

Para almidón:

$$\log y = q + m t^2 \quad (1)$$

donde $y = \%$ almidón

$t =$ tiempo de maduración (días)

Para el azúcar:

$$y = q + m t \quad (2)$$

donde $y = \%$ azúcar

$t =$ tiempo de maduración (días).

Se realizaron pruebas de evaluación sensorial con el fin de determinar si existía diferencia significativa entre los ocho tratamientos de cada experimento 1 y 2 (Cuadro 1). Se utilizó una escala de tipo descriptivo, no estructurada, de 0 a 100 puntos, para las características de sabor, textura y agrado general.

Bajo condiciones controladas de temperatura ($20 \pm 1^\circ\text{C}$) y humedad relativa de $95 \pm 5\%$, se almacenaron bananos sin ningún tratamiento por un período de 30 días, en la misma cámara de maduración. Se analizó el contenido del almidón y de azúcares totales a través del tiempo.

El contenido del almidón se determinó por espectrofotometría a una longitud de onda de 640 nm, según lo descrito por el método Nielsen (10). Los azú-

Cuadro 1. Variable estudiada: Respuesta.

Experimento 1					
Tratamientos (condiciones de prueba)	Agente madurador (T)	Concentración agente madurador (C)	Tiempo de pretratamiento (K)	Pendiente (m)	
				Almidón x 10 ³	Azúcar
1	CaC ₂	0.25%	35 h	-35.7	3.761
2	C = C	1 000 ppm	4 min	-36.6	3.957
3	CaC ₂	0.30%	35 h	-36.0	4.258
4	C = C	1 500 ppm	4 min	-41.2	3.925
5	CaC ₂	0.25%	40 hr	-40.2	3.739
6	C = C	1 000 ppm	6 min	-34.3	3.527
7	CaC ₂	0.30%	40 hr	-39.4	3.937
8	C = C	1 500 ppm	6 min	-32.9	3.744

Experimento 2					
Tratamientos (condiciones de prueba)	Agente madurador (T)	Concentración agente madurador (C)	Tiempo de pretratamiento (K)	Pendiente (m)	
				Almidón x 10 ³	Azúcar x 10 ³
1	CaC ₂	0.30%	46 hr	-34.3	20.1
2	C = C	1 500 ppm	8 min	-33.2	20.5
3	CaC ₂	0.35%	46 hr	-35.2	20.2
4	C = C	2 000 ppm	8 min	-39.0	20.3
5	CaC ₂	0.30%	52 hr	-32.9	20.2
6	C = C	1 500 ppm	10 min	-32.9	20.7
7	CaC ₂	0.35%	52 hr	-33.4	19.7
8	C = C	2 000 ppm	10 min	-31.7	20.2

cares totales y reductores se analizaron por el método espectrofotométrico de Gaines (4).

RESULTADOS Y DISCUSION

Las concentraciones de los agentes maduradores no fueron equivalentes (Cuadro 1), pero si su actividad biológica para las condiciones de aplicación especificadas. No se encontró diferencia significativa en el contenido de almidón y azúcares totales, entre los ocho tratamientos, conforme cambian las variables estudiadas: agente madurador, concentración del agente y tiempo de contacto de la fruta con el agente.

Burg y Burg (3) encontraron una actividad biológica del etileno 12 500 veces mayor que la del acetileno. Thompson y Symour (17) reafirman lo expuesto por los autores anteriores al señalar que bananos tratados con acetileno toman un mayor tiempo en la maduración que aquéllos expuestos a concentraciones equivalentes de etileno.

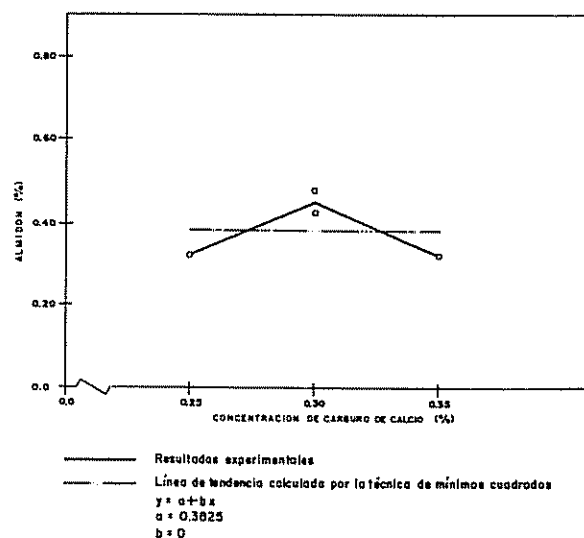


Fig. 1. % Almidón promedio para una misma concentración de CaC₂ al día siete de maduración del banano.

Cuadro 2. Contenido de almidón (%) en pulpa de banano a diferentes condiciones de prueba.

(Condiciones prueba)	Días de almacenamiento bajo condiciones controladas*						
	0	2	3	4	5	6	7
1	25.86	14.72	6.98	3.19	1.87	0.82	0.45
2	25.86	15.26	8.93	4.31	2.03	0.96	0.46
3	25.86	13.53	7.09	3.78	1.60	0.76	0.43
4	25.86	15.38	9.19	3.09	2.07	1.31	0.66
5	25.86	12.94	7.19	4.06	1.76	0.48	0.34
6	25.86	14.26	8.47	4.79	1.96	0.85	0.58
7	25.86	13.77	6.56	3.46	1.76	0.73	0.30
8	25.86	14.39	8.63	4.21	2.52	0.93	0.59

* 95 ± 5% humedad relativa y 20 ± 1°C de temperatura.

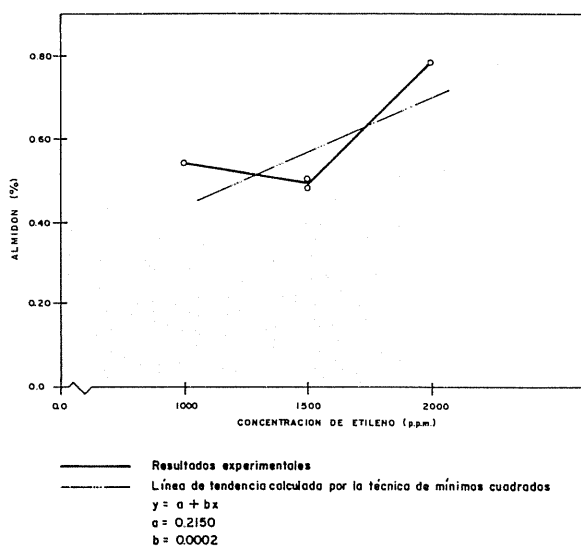


Fig. 2. % Almidón promedio para una misma concentración de Etileno al día siete de maduración del banano.

En el Cuadro 2 se puede observar que el contenido de almidón en la fruta verde alcanzó valores del orden de 25.86% y descendió a valores inferiores al 1% en pulpa de banano maduro, esto es, a los siete días de almacenamiento. La variación en el contenido de azúcares totales se da de manera inversa, con valores de 0.44% en la fruta verde y mayores del 20% en la fruta a los siete días de maduración, tal como se muestra en el Cuadro 3.

En las Figs. 1, 2, 3 y 4 se presentan los porcentajes promedio de almidón al día siete para variable. Trazando líneas de tendencia con el CaC₂ (Figs. 1 y 3) se observa que el porcentaje de almidón no varía, mientras que en los bananos tratados con etileno, existe una tendencia a aumentar el contenido de almidón conforme la concentración del agente madurador y el tiempo de pretratamiento se hace mayor,

dentro de los ámbitos estudiados (Figs. 2 y 4). Peacock (12) estudió el tiempo de aplicación del etileno con respecto al proceso de maduración y encontró una relación directamente proporcional, es decir, a menor tiempo de contacto, el banano permanece verde por más días.

No se estudiaron niveles más allá de los extremos límites máximos en las variables cuantitativas de concentración y tiempo de contacto del agente madurador, ya que los grados de maduración alcanzados al día siete para el experimento 2 (Cuadro 1) se ubican en el ámbito que satisfacía el objetivo de obtener un banano de consumo comercial sin alcanzar el estado fermentable (banano muy pecoso, sobremaduro). Thompson y Symour (17) utilizaron concentraciones de 1 ml etileno/litro de solución, donde el banano logró un 50% de madurez alrededor del sexto día.

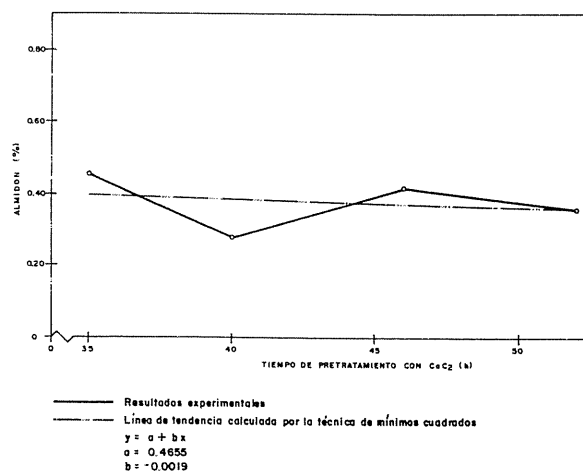


Fig. 3. % Almidón promedio para un mismo tiempo de pretratamiento con CaC₂ al día siete de maduración del banano.

Cuadro 3. Contenido de azúcares totales (%) en pulpa de banano a diferentes condiciones de prueba.

Tratamientos (Condiciones prueba)	Días de almacenamiento bajo condiciones controladas*				
	0	2	3	4	7
1	0.44	5.90	13.85	17.53	20.41
2	0.44	5.93	13.11	18.47	20.55
3	0.44	5.89	14.18	19.64	20.28
4	0.44	5.91	13.57	18.19	20.62
5	0.44	5.93	13.43	18.90	20.24
6	0.44	5.93	11.91	17.65	20.78
7	0.44	5.83	14.62	19.15	19.47
8	0.44	5.77	13.02	17.71	20.05

* 95 ± 5% humedad relativa y 20 ± 1°C de temperatura

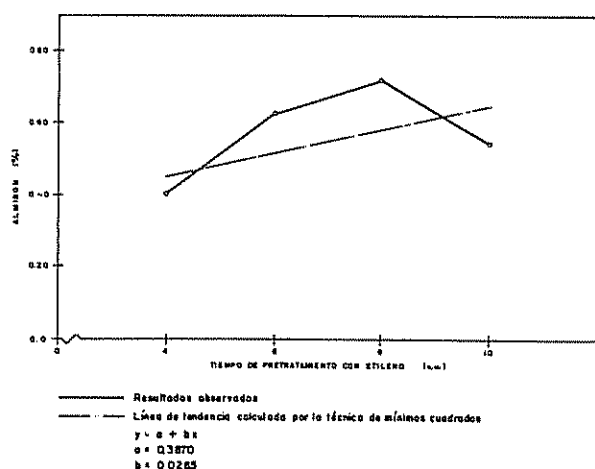


Fig. 4. % Almidón promedio para un mismo tiempo de pre-tratamiento con Etileno al día siete de maduración del banano.

Salem *et al.* (13) sugieren el método de maduración por rociado de Ethrel a una concentración de 1 200 ppm, 20°C y 80-95% de humedad relativa, mantenidos bajo una película de polietileno por 48 horas, como el tratamiento que permite extender hasta por una semana el periodo de mercado. En la investigación efectuada para ámbitos desde 1 000 ppm hasta 2 000 ppm de etileno y tiempos de 4 a 10 min, el banano, en siete días, alcanza el grado de maduración máximo considerado para este estudio (pocas pocas).

A pesar de no existir diferencia significativa entre los ocho tratamientos, en los experimentos 1 y 2 se determinó un proceso de operación para cada agente madurador. Para el tratamiento con carburo de calcio, se recomienda la concentración mínima de 0.25% p/p y un tiempo de contacto del agente madurador con

la fruta de 46 h. Cuando se usa el método de inmersión en una solución acuosa de etileno, se seleccionó la concentración de 1 500 ppm y un tiempo de pre-tratamiento de 6 min.

De las observaciones anotadas para el lote testigo se encontró una maduración heterogénea; mientras que algunos alcanzaban grados de putrefacción, otros permanecían aún en estado "verde" y otros maduros. Bondad (1) señala una irregularidad marcada en el color sin alcanzar un amarillo promedio del 100% en la fruta testigo. Por el contrario, el Ethrel promueve un desarrollo uniforme y elimina la gran variación en la maduración.

Los resultados del estudio de maduración artificial del banano, mediante el uso de carburo de calcio o etileno en solución, demuestran una aceleración en el proceso cuatro veces más que la fruta control madurada en forma natural.

Por otro lado, del modelo empleado en los paneles de degustación, en conjunto con los resultados promedio obtenidos para el día siete de maduración (Cuadro 4), se obtiene una fruta que presenta todas las características de ser aceptada por el consumidor, con un promedio cercano al 70% para el agrado en general. De manera similar, Bondad (1) obtuvo resultados de gran aceptabilidad en la evaluación sensorial, con frutas dulces y de textura firme, para tratamientos de 2 500 ppm y 5 000 ppm de Ethrel a 19-21°C y 24, 5-26, 5°C, respectivamente.

Realizados los análisis estadísticos para las pruebas organolépticas, se conoce que el proceso de maduración permite una variabilidad hasta del 10% en el promedio de las características estudiadas. Esta variabilidad responde a la naturaleza de la materia prima, ya

que es banano de rechazo que no satisface el criterio de selección establecido. Las muestras recibidas provienen de lotes heterogéneos, principalmente en apariencia (color, forma, peso, daño de cáscara y otros). Sin embargo, ninguno de los estimados, obtenidos por

medio del diseño factorial utilizado en el estudio organoléptico, dieron diferencias que representan porcentajes mayores a este margen (10%), en ambos experimentos; dicha variación se atribuye al azar

Cuadro 4. Resultados organolépticos promedios* al día siete de maduración para los experimentos 1 y 2.

Tratamientos (condiciones prueba)	Agrado		Sabor a banano		Dulce	
	1	2	1	2	1	2
1	66.18	72.33	64.09	62.29	17.23	50.54
2	75.41	76.92	66.59	76.71	46.82	57.50
3	80.77	80.25	77.05	71.29	45.55	49.25
4	78.27	74.67	74.36	70.29	56.23	52.13
5	74.73	69.71	61.27	59.83	50.14	46.00
6	75.27	72.83	68.73	59.63	56.59	50.25
7	76.05	72.46	66.32	66.33	50.18	50.67
8	80.18	67.38	75.27	57.00	54.27	48.67

* Promedios obtenidos por 20 catadores en paneles de degustación.

Continuación Cuadro 4. Resultados organolépticos promedios* al día siete de maduración para los experimentos 1 y 2.

Astringencia		Madurez		Textura	
1	2	1	2	1	2
28.14	25.08	13.03	43.96	34.55	24.54
26.05	15.50	13.30	55.24	34.73	19.04
23.50	17.08	11.75	49.00	29.82	18.50
19.05	17.38	15.56	55.08	33.32	18.96
23.32	21.42	19.36	49.33	36.05	26.08
27.18	24.08	13.57	49.25	28.68	26.83
26.05	16.54	12.27	50.67	36.33	21.96
18.64	29.46	10.39	45.54	26.23	23.08

LITERATURA CITADA

- BONDAD, N.D. 1973. Postharvest ripening and degreening of banana and citrus fruits with 2-chloroethylphosphonic acid (Ethrel). *Philippines Agriculturist* 55(7-8):310-318
- BOX, G.E.P.; HUNTER, W.G.; HUNTER, J.S. 1978. *Statistics for experiments; and introduction to design, data analysis and model building* New York, Wiley.
- BURG, S.P.; BURG, E. 1969. Interaction of ethylene, oxygen and carbon dioxide in the control of fruit ripening. *Qualitas plantarum. Plant Food for Human Nutrition* 19:185-200
- GAINES, T.P. 1973. Automated determination of reducing sugars, total sugars, and starch in plant tissue from one weighed sample. *Journal of the Association of Official Analytical Chemists* 56(6): 1 419-1 421.
- GALSTON, A. 1975. Rotten apples and ripe bananas. *Natural History* 84:30-33.
- LIU, F.W. 1976. Correlation between banana storage life and minimum treatment time required for ethylene response. *Journal of the American Society for Horticultural Science* 101(1):63-65.

7. LIZANA, I.A. 1976. Quantitative evolution of sugars in banana fruit ripening at normal to elevated temperatures. *Acta Horticultural* 57:163-171.
8. LOESECKE, W. VON. 1950. Bananas. 2 ed. New York, Interscience. v. 1.
9. MARRIOTT, J. 1980. Bananas-physiology and biochemistry of storage and ripening for optimum quality. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition* 13(1):41-88.
10. NIELSEN, J.P. 1943. Rapid determination of starch. *Industrial and Engineering Chemistry* 15:3-5.
11. PALMER, T.K. 1971. The Banana. In *The Biochemistry of fruits and their products* Ed by A.C. Hulme. New York, Academic Press v. 2.
12. PEACOCK, B.C. 1972. Role of ethylene in the initiation of fruit ripening. *Queensland Journal of Agricultural and Animal Sciences* 29(2):137-144.
13. SALEM, E.A.; RIZK, S.S.; EISSAWY, M.I.; MANSOUR, K.M. 1976. Banana fruit ripening: II. The use of plant growth regulators. *Agricultural Research Review* 54(3):83-89.
14. SCHIMOKAWA, K.; KASAL, Z. 1970. The role of -hydroxypropionate in ethylene biosynthesis; I. Ethylene formation from acetate-2-14 C and fumarate -2 y 3- 14 C in banana fruits II. Ethylene formation from propionate -2 14 C in banana pulp slices and homogenates. *Agricultural and Biological Chemistry* 34(11):1 633-1 639.
15. SEELIG, R.A. 1969. Fruit and vegetables facts and pointers; bananas. Washington, D.C., United Fresh Fruit and Vegetable Association.
16. SIMMONDS. 1973. Los plátanos. Barcelona, Bluone.
17. THOMPSON, A.K.; SEMOUR, G.B. 1982. Comparative effects of acetylene and ethylene gas on initiation of banana ripening. *Annals of Applied Biology* 101:407-410.
18. WADE, N.I.; RIGNEY, C.J. 1979. Phytotoxicity of ethylene dibromide to cherry and banana fruit. *Journal of the American Society for Horticultural Science* 104:900-903.
19. WATKINS, J.R. 1974. Fruit ripening rooms. Hints on equipping and operating. *Queensland Agricultural Journal* 309-312.

Multivariate Analysis of Genetic Divergence in Wheat¹

*S. Kuruvadi**

ABSTRACT

Fourteen bread wheat varieties representing conditions varying from irrigated high fertility to rainfed low fertility were examined for the nature of genetic divergence estimated by multivariate analysis using Mahalanobis's D^2 statistic. The analysis of variance revealed considerable variation among the populations, for all the 10 characters studied. It was possible to group the fourteen populations into eight well-separated clusters. The varieties Kayansona, Timgalin and EC 57191 constituted single clusters and were considered to be the most divergent material included in the study. The primary factors that contributed to genetic diversity in the present study were days to flower, flag leaf area, panicle length and 1000 grain weight. The genotypes with greater genetic diversity were suggested for breeding better varieties in wheat.

COMPENDIO

Catorce variedades de trigo harinero representativas de condiciones irrigadas de alta fertilidad y de condiciones de temporal de baja fertilidad, fueron estudiadas por la naturaleza de divergencia genética estimada mediante análisis multivariado usando el estadístico Mahalanobis D^2 . El análisis de varianza reveló una considerable variación entre las poblaciones para todos los 10 caracteres estudiados. Fue posible agrupar las catorce poblaciones dentro de ocho grupos bien separados. Las variedades Kalyansona, Timgalin y EC 57191 constituyeron simples grupos y pueden llegar a ser considerados como los más divergentes incluidos en el estudio. Los factores primarios que contribuyeron para la diversidad genética en el presente estudio fueron días a floración, área de la hoja bandera, longitud de la espiga y peso de 1000 gramos. Los genotipos con la más grande diversidad genética fueron recomendados en el programa de hibridación para producción de mejores variedades en trigo.

¹ Received for publication 20 July 1987.

* Professor and Research Specialist in Guayule, Department of Plant Breeding, Universidad Autónoma Agraria "Antonio Narro", Buenavista, Saltillo, Coahuila, México.

INTRODUCTION

The success of any plant breeding program depends on the choice of the parental material. Generally parents from diverse sources express more heterosis in their hybrids for yield and its components than the related ones, and their progeny exhibit a broad spectrum of variability for selection of superior genotypes. In the hybrid vigour breeding program, the diversity of parental material is always emphasised. Rational selection of parents depends on a knowledge of the genetic diversity. The detection of potential parents for crossing programs can be accomplished through the estimation of genetic diversity.

Mahalanobis's D^2 statistic seems to be a powerful tool in detecting divergence among groups based on multivariate analysis, and identifies highly divergent material for breeding better varieties in several crop plants. Genetic diversity studies have been carried out by several researchers (1, 3, 4, 6 and 8) in crop plants and have suggested excellent parental material in the crossing program. The present study aims at understanding the pattern of genetic diversity in a group of cultivars in bread wheat for suggesting potential parents for effecting hybridization.

REVIEW OF LITERATURE

Somayajulu *et al.* (8) studied genetic diversity among a set of 67 wheat strains under three different environments representing different levels of fertility. Sixty-seven varieties have been classified into different clusters. The widely divergent clusters remained distinct in all the environments. The association between genetic diversity and heterosis over superior parents was found to be significant when all the available 46 crosses were considered. At the individual cross level, there was also a fair agreement between heterosis and genetic diversity, even though there was no one-to-one correspondence.

In durum wheat, genetic diversity studies have been made (3) through Mahalanobis's generalised distance for days to flower, days to physiological maturity, height, lodging and grain yield in ten varieties. The studies suggested divergent material for crossing and obtaining heterosis in the F_1 generation. No association was found between genetic divergence and geographical origin of the varieties included in the study.

The primary factors contributing to genetic diversity were reported to vary from crop to crop (2, 5 and 8). In general, days to 50% flowering,

plant height and tiller number were considered to be very important to the genetic divergence in crop plants.

MATERIALS AND METHODS

Fourteen high-yielding bread wheat (*Triticum aestivum* L.) varieties with a broad spectrum of variability were included in this study. Seven varieties (Shera, Raj 821, HP 916, Hira, Moti, Sharbati Sonora and HD 2009) were selected based on their higher performance for grain yield under irrigated and fertilized conditions. All were the derivatives developed from Indian and Mexican germplasm and the three varieties (Raj 857, HP1739 and Hy65) recorded higher yields under low fertility, rainfed conditions, while the two varieties Sonalika and Kalyansona were better under both the environments. The two Australian varieties Timgalin and EC 57191 contained a higher percentage of protein. These genotypes were seeded in a randomized block design with four replications at the Division of Genetics, Indian Agricultural Research Institute, New Delhi, India. The experimental plots received 120 N, 60 P_2O_5 and 30 K_2O kg per hectare. Each plot had four rows of 5 m long and spaced at 20 cm between rows and 10 cm between plants within a row, maintaining a single seedling per hill. A five-plant random sample was taken in the middle two rows in each plot and observations were recorded on individual plants for ten characters, namely grain yield per plant, grains per main ear, grain weight per main ear, 100 grain weight, ears per plant, tillers per plant, plant height, flag leaf area, days to flower and ear length.

The means of the characters were utilized for calculating the analysis of variance and the genetic diversity among 14 populations using the Mahalanobis D^2 statistic as described in detail by Rao (7). The pivotal condensation method was followed to compute relationship between mean values of the characters and standardised uncorrelated variables. The grouping of the populations was done in Tocher's method, described by Rao (7).

RESULTS AND DISCUSSION

The mean values of the characters studied are presented in Table 1. The analysis of variance revealed significant differences for all the ten characters (Table 2), indicating substantial variability for all the traits between 14 populations.

The grain yield per individual plant varied from 10.14 g to 17.29 g with a mean of 12.54 grams. The variety HD 1739 recorded maximum grain yield per

Table 1. Mean values of different characters in wheat.

Variety	Grain yield/ plant (g)	Grains /main ear	Grain weight /main ear (g)	1000- grain weight (g)	Ears/ plant	Trillers per plant	Plant height (cm)	Flag leaf area/ (cm ²)	Days to flower	Ear length (cm)
Shera	12.48	49.48	1.81	31.65	10.05	10.75	81.73	32.75	97.80	10.95
Raj 821	12.47	47.68	1.73	35.25	9.30	9.72	89.45	30.75	98.90	12.80
Raj 857	13.21	58.43	1.51	28.58	10.55	11.30	76.35	33.52	99.90	11.30
HP 916	12.25	47.70	1.45	26.93	9.80	10.33	90.35	37.25	100.23	11.83
Sonalika	12.50	46.37	1.61	34.25	11.45	11.55	92.05	31.30	96.40	13.00
Kalyansona	11.69	76.08	1.87	20.18	10.00	10.53	88.13	40.70	107.50	12.73
Hira	11.46	56.97	1.73	27.35	9.00	9.75	67.87	27.70	97.60	11.40
Moti	13.28	48.37	1.56	28.85	12.30	12.87	61.05	17.12	98.80	11.68
S. sonara	11.03	46.32	1.37	28.00	10.99	11.14	82.15	23.38	99.83	10.48
HD 1739	17.29	55.28	1.92	44.08	13.25	13.35	107.55	26.28	101.25	10.28
HD 2009	12.66	57.70	1.45	24.10	10.70	10.89	84.38	22.00	101.18	12.35
Hy 65	14.18	49.80	1.42	37.43	13.93	14.30	107.87	24.30	101.57	10.20
Timgalin	10.14	42.13	1.29	28.03	11.45	11.73	89.50	16.50	107.68	9.18
EC 57191	10.94	40.80	0.85	19.80	11.25	11.48	119.43	27.75	120.00	14.83
SE (M)	1.10	2.23	0.10	1.32	0.95	1.16	5.52	1.21	0.47	0.29
CD at 5%	3.01	6.11	0.28	3.62	2.60	2.79	15.13	3.34	1.28	0.79
Mean	12.54	51.58	1.54	29.61	11.00	11.41	88.43	27.95	101.62	11.64

plant and was superior to the rest of the varieties. The variety Hy 65 registered second position for grain yield and was followed by Moti, Raj 857 and HD 2009. The grain number per main ear ranged from 40.8 to 76.08, with a mean of 51.85, and the varieties Kalyansona, Raj 857, HD 2009, Hira and HD 1739 recorded a superior number of grains per main ear compared to other varieties. The number of ears per plant varied from 9.3 to 13.93 and the mean was 11.0; the varieties HD 1739, Hy 65 and Moti were the best for this character. The two varieties HD 1739 and Hy 65 produced higher values for all three yield components and developmental characters.

It was interesting to note that fourteen populations showed considerable diversity and formed eight well-separated clusters on the basis of D^2 values. The D^2 values ranged widely from 13.59 to 987.24, indicating the diversity in the genetic material. The intracluster distance for the eight clusters are given in Table 3 and diagrammatically in Fig. 1. The highest inter-cluster distance was between V and VIII ($D = 29.73$), while the lowest was recorded between I and V ($D = 6.50$). The varieties included in each of the eight clusters are given below in Table 3.

Interestingly, the rainfed wheat varieties Hy 65 and HD 1739, the former of which is a parent of the latter, were found included in the same cluster and

were distinct from the rest of the lines. This showed that the hybrid HD 1739 was not divergent from one of its parents, HY 65.

The characters contributing to divergence were reported to vary from crop to crop (1, 2, 5). In general, days to flower, plant height and tiller number were considered to contribute to divergence in cereals.

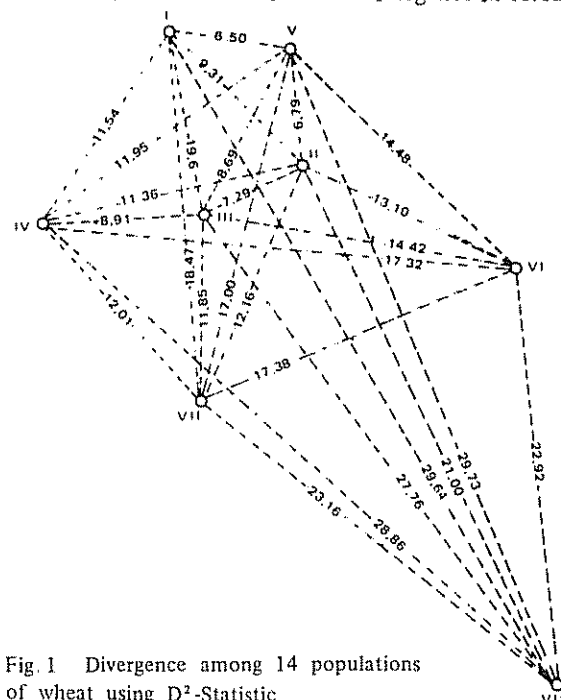


Fig. 1 Divergence among 14 populations of wheat using D^2 -Statistic

(2, 5). On the other hand, in the present study, days to flower, flag leaf area and panicle length were found to be important, followed by 1000 grain weight and grain number per ear. The characters, grain yield per plant, plant height and number of ears per plant, however, had only limited influence on genetic diversity.

The three strains Kalyansona (Cluster VI), Timgalin (Cluster VII) and EC 57191 (Cluster VIII) formed distinct, highly divergent and single strain clusters. These three varieties differed substantially with

regard to a number of developmental and yield-contributing characters, thus justifying the delimitation of these varieties in three widely scattered clusters.

Based on these studied the varieties EC 57191, Timgalin, HD 1739, Hy 65, Sonalika and Moti are suggested for hybridization program for breeding better varieties under irrigated and rainfed conditions simultaneously. The crosses involving these varieties manifested higher heterotic performance for yield and its components in both the environments over superior parents (data not presented) in the combining ability studies made using the same 14 varieties.

Table 2. Analysis of variance for different characters in wheat.

Source of variation	d.f.	Mean sum of squares									
		Grain yield/plant	Grains /main ear	Grain weight /main ear	1000-grain weight	Ears per plant	Tillers per plant	Plant height	Flag leaf area	Days to flower	Ear length
Replications	3	16 283	12 520	0 021	6 150	10 881	10 110	124 196	9 995	1 846	0 058
Genotypes	13	15 246**	320 133**	0 306	173 320**	7 271**	5 957**	1 067 375**	197 031**	148 546**	8 331**
Error	39	4 827	19 882	0 043	6 970	3 597	4 135	121 665	5 938	0 868	0 327

** Significant at 1 percent level

Table 3. Average inter-and intracluster distance among 14 wheat varieties.

Cluster number	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII
I	3.61	9.31	9.61	11.54	6.50	16.97	18.47	29.64
II		4.35	7.29	11.36	6.79	13.10	12.16	21.00
III			5.48	8.91	8.69	14.42	11.85	27.76
IV				5.71	11.95	17.32	12.01	28.86
V					5.83	14.48	17.00	29.73
VI							17.38	22.92
VII								23.16

LITERATURE CITED

1. ARUNACHALUM, V.; JAWAHAR, R. 1967. Geographical diversity in relation to genetic divergence in cultivated sorghum. *Indian Journal of Genetics and Plant Breeding* 27:369-379.
2. JAWAHAR, R.; PANWAR, D.V.S. 1970. Intraspecific divergence in rice. *Indian Journal of Genetics and Plant Breeding* 30:110.
3. LEE, J.; KALTAIKES, P.G. 1973. The application of Mahalanobis's generalised distance to measure genetic divergence in durum wheat. *Euphytica* 22:124.
4. MURTY, B.R.; ARUNACHALUM, V. 1966. The nature of divergence in relation to breeding system in some crop plants. *Indian Journal of Genetics and Plant Breeding* 26A:188-198.

- 5 MURTY, B.R.; TIWARI, J.P. 1967. Line x Tester analysis of combining ability and heterosis for yield factors in *Pennisetum typhoides* Indian Journal of Genetics and Plant Breeding 27:252-256.
6. RAMANNUJAM, S.; TIWARI, A.S.; MEHRA, R.B. 1974. Genetic divergence and hybrid performance in mung bean. Theoretical and Applied Genetics 45:211-214
- 7 RAO, C.R. 1952. Advanced statistical methods in biometrical research. New York, John Wiley.
8. SOMAYAJULU, P.L.N.; JOAHI, A.B.; MURTY, B.R. 1970. Genetic divergence in wheat Indian Journal of Genetics and Plant Breeding 30:47-58.

Efecto Alelopático del Madero Negro (*Gliricidia sepium*) en la Germinación y Crecimiento Inicial de Algunas Malezas Tropicales¹

E Alán*, U. Barrantes**

ABSTRACT

This study presents the allelopathic effects of the vegetative parts of madero negro (*Gliricidia sepium* Jacq) on the seed germination and the radicle-hypocotyle axis growth of *Hyptis capitata*, *Asclepias curassavica* and *Ipomea* sp. in vitro. Also included is an analysis of the allelopathic effects of madero negro on the germination of *Momordica charantia* and on the germination and initial growth of *Asclepias curassavica* in soil samples under laboratory conditions. All of the weeds tested are common in the region of San Carlos, Costa Rica. The magnitude of the effects varied according to the vegetative part from which the extracts were obtained, the extract concentration and the weed species. The most effective extracts were those from leaves, followed by those from roots. The tendency was toward an inverse relationship between the extract concentrations and the response variable. The resulting allelopathic effects were more evident in *Hyptis capitata* and *Ipomea* sp. than in *Asclepias curassavica*. Furthermore, the stem extracts did not produce any significant effects in the germination of the growth of *Asclepias curassavica*. A significant response was obtained in the germination of *Momordica charantia* with leaf extracts and in the germination and the growth of *Asclepias curassavica* with leaf and root extracts in the soil sample trials.

INTRODUCCION

Ante la agricultura basada en subsidios energéticos, ha surgido una corriente que visualiza la producción agrícola como una actividad en la que no se puede seguir ignorando o sustituyendo los

COMPENDIO

Se presenta un estudio sobre el efecto alelopático de partes vegetativas del madero negro sobre la germinación de semillas y el crecimiento del eje radículo-hipocotilar de *Hyptis capitata*, *Asclepias curassavica* e *Ipomea* sp., en cajas de Petri. Se incluye un análisis del efecto alelopático del madero negro sobre la germinación de *Momordica charantia* y sobre la germinación y crecimiento inicial de *Asclepias curassavica*, en muestras de suelo bajo condiciones de laboratorio. Todas son especies de malezas comunes en la región de San Carlos, Costa Rica. La magnitud del efecto varió según la parte vegetal de la que se obtuvo el extracto, la concentración del extracto y la especie de maleza. Los extractos más efectivos fueron los de hoja seguidos por los de raíz, encontrándose tendencia hacia una relación inversa entre la concentración de extractos y las variables de respuesta. El efecto alelopático resultó más evidente en *Hyptis capitata* y en *Ipomea* sp. que en *Asclepias curassavica* y los extractos de tallo no produjeron ningún efecto significativo en la germinación ni en el crecimiento de esta última especie. Se obtuvo respuesta significativa en la germinación de *Momordica charantia* con extractos de hoja y en la germinación y crecimiento de *Asclepias curassavica* con extractos de hoja y raíz, en las pruebas realizadas en muestras de suelo.

principios biológicos elementales y que debe dirigir los esfuerzos hacia áreas importantes de la investigación agrícola, en busca de formas de producción menos dispendiosas (8)

La alelopatía es un proceso biológico presente tanto en los ecosistemas naturales como en los agroecosistemas; ha sido propuesta como una alternativa potencial en el manejo de los componentes del agroecosistema, entre ellos, las malezas (1, 8)

El alto costo del control de malezas y el deterioro ambiental que a veces se produce con los métodos

¹ Recibido para publicación el 20 de junio de 1988.

Se agradece a la doctora Eugenia Flores la orientación técnica y al señor Orlando Barrantes, su colaboración como asistente en esta investigación

* Instituto Tecnológico de Costa Rica. Sede Regional San Carlos, provincia de Alajuela, Costa Rica. Departamento de Ciencias.

aplicados, justifican plenamente los esfuerzos que se realizan para encontrar evidencias que sirven de base para el desarrollo de técnicas más adecuadas, desde los puntos de vista ecológico y económico

Este trabajo tiene como propósito cuantificar, en condiciones de invernadero y laboratorio, el efecto alelopático de partes vegetativas de *Gliricidia sepium* (madero negro) en la germinación y crecimiento inicial de las malezas *Hyptis capitata* (chan de cabeza), *Asclepias curassavica* (viborana), *Ipomoea* sp. (churristate) y *Momordica charantia* (sorosi)

MATERIALES Y METODOS

Esta investigación se realizó en el Instituto Tecnológico de Costa Rica. Sede Regional San Carlos, provincia de Alajuela, a 160 msnm. El cantón de San Carlos pertenece a la zona de vida de Bosque Húmedo Tropical con transición a muy húmedo (9).

Las semillas se obtuvieron al hacer recorridos en el campus del IICR y en parcelas en barbecho, colectando en bolsas plásticas las que se encontraron en maduración avanzada.

Las muestras de madero negro fueron colectadas de cercas vivas, sin tener criterio previo para la selección de las plantas. Se obtuvieron hojas maduras, ramas leñosas y raíces laterales parcialmente leñosas

La investigación se desarrolló en dos etapas. La primera, de marzo a octubre de 1985, incluyó colecta de semillas en marzo y abril así como obtención de muestras de madero negro y desarrollo de un bioensayo en condiciones de invernadero, con semillas y plántulas de *H. capitata*, *A. curassavica* e *Ipomoea* sp. en setiembre y octubre

Se obtuvieron extractos acuosos de material macerado de hojas, tallos y raíces de madero negro, los cuales se mantuvieron durante un periodo de 24 horas en agua destilada; posteriormente, se decantó y filtró

Las concentraciones de extracto que se aplicaron fueron: 0 (testigo), 100, 200, 300, 400 y 500 gramos de peso fresco por litro de agua destilada. Estos extractos se mantuvieron en refrigeración; a los ocho días se descartaron los remanentes y se hicieron nuevos extractos.

Para cada especie de maleza se establecieron 18 tratamientos (6 concentraciones de tres partes de madero negro: hoja, tallo y raíz) con tres repeticiones por tratamiento; el diseño experimental fue un irrestricto al azar.

Se colocaron 20 semillas por caja de Petri de 100 x 15 mm en la que previamente se puso un papel de filtro de 16 mm de diámetro y se aplicaron 3 ml de extracto. A los tres días de la siembra se adicionó una solución de 2 ml de kasugamicina en 500 ml de agua. Una segunda aplicación de extracto se hizo cinco días después de la siembra.

Las variables de respuestas que se cuantificaron fueron: la germinación y la longitud del eje radículo-hipocotilar. La germinación se determinó mediante el número de individuos por placa de Petri que mostraran su radícula. El desarrollo del eje radículo-hipocotilar se midió en milímetros con un calibrador; las mediciones fueron hechas aproximadamente cada 48 horas a partir de la siembra y por un periodo de 13 días

La segunda etapa se realizó entre marzo y julio de 1987 y consistió en coleccionar semillas en marzo y abril así como en obtener muestras de madero negro y desarrollar pruebas con suelo en condiciones de laboratorio, para lo cual se utilizaron semillas de *Momordica charantia* y *A. curassavica*, en junio y julio.

Los extractos de madero negro se obtuvieron en forma similar a la descrita para la primera etapa, pero, sólo se aplicaron los tratamientos que mostraron un efecto alelopático significativo en esa etapa: extractos de hoja y raíz en concentraciones de 0 (testigo), 300, 400 y 500 g/l para *A. curassavica* y extractos de hoja y raíz en concentraciones de 0 (testigo), 400 y 500 g/l para *M. charantia*

A. curassavica se analizó en ocho tratamientos (cuatro concentraciones de dos partes de madero negro: hoja y raíz) con tres repeticiones por tratamiento.

En el caso de *M. charantia* se establecieron seis tratamientos (tres concentraciones de dos partes de madero negro: hoja y raíz) con tres repeticiones por tratamiento. El diseño experimental fue un irrestricto al azar

Para la siembra, se utilizaron bandejas de estereofón de 18 cm de largo, 13.5 de ancho y 2 de alto. En cada una, se colocaron 70 g de suelo del tipo ultisol, del grupo de los *tropohumults*, de textura franca; este suelo se esterilizó en autoclave a 100 libras de presión y a 70°C, durante una hora.

Las semillas se trataron con benomil (0.15 g/500 ml de agua) y se pusieron en el extracto correspondiente, durante 24 horas, antes de la siembra. Se sembraron 20 semillas de *A. curassavica* ó 10 de *M. charantia* en cada recipiente y se les adicionó 25 ml

Cuadro 1. Porcentaje de germinación en semillas de tres especies de malezas tratadas con distintas concentraciones de extractos de hoja, tallo y raíz de madero negro (*Gliricidia sepium*).

Especies de malezas		Concentraciones (g/l)					Testigo
		100	200	300	400	500	
<i>Hyptis capitata</i>	Hoja	38.33	13.33	16.66	0.00	1.66	46.60
	Tallo	46.66	18.33	35.00	41.65	30.00	35.00
	Raíz	43.33	30.00	30.00	3.33	8.33	36.66
<i>Asclepias curassavica</i>	Hoja	35.00	41.66	26.66	31.66	13.33	50.00
	Tallo	46.66	55.00	58.33	48.33	53.33	48.33
	Raíz	50.00	55.00	50.00	33.33	38.33	51.66
<i>Ipomoea sp.</i>	Hoja	16.66	8.33	5.00	3.33	3.33	23.33
	Tallo	21.66	20.00	30.00	30.00	30.00	33.33
	Raíz	35.00	30.00	28.33	21.66	30.00	28.33

de extracto; se hicieron nuevas aplicaciones de extracto los días 3, 6, 8, 11, 13, 15 y 19 después de la siembra y el día 22 se realizaron las mediciones.

Las variables dependientes que se cuantificaron fueron: germinación de *A. curassavica* y de *M. charantia* y desarrollo del eje radículo-hipocotilar de *A. curassavica*. La germinación se determinó por medio del número de individuos de cada bandeja que mostraran su radícula y el desarrollo del eje radículo-hipocotilar se midió en milímetros con un calibrador.

Los datos se sometieron a análisis de varianza para el diseño de irrestricto al azar (7) y a regresiones lineales (3).

RESULTADOS

En el Cuadro 1 se presentan los porcentajes de germinación de *Hyptis capitata*, *Asclepias curassavica* e *Ipomoea sp.* bajo los distintos tratamientos en cajas de Petri y en las Figs 1, 2 y 3 se muestran gráficamente.

Los análisis de varianza realizados indican diferencias significativas ($P \leq 0.01$) entre tratamientos en los porcentajes de germinación de *H. capitata*, tratadas con extractos de hoja y raíz y no significativa ($P > 0.05$) con extractos de tallo. La germinación de semillas de *A. curassavica* no mostró diferencias significativas ($P > 0.05$) entre tratamientos, en ningún caso.

En *Ipomoea sp.* se obtuvieron diferencias significativas ($P \leq 0.01$) en la germinación de semillas tratadas con extractos de hojas y no significativas ($P > 0.05$) con los extractos de tallo y raíz.

Las pruebas de regresión lineal entre los porcentajes de germinación y las concentraciones de extracto, muestran relaciones negativas significativas ($P \leq 0.01$) en los tratamientos con extractos de hoja y de raíz en *H. capitata*; también, fueron negativas y significativas ($P \leq 0.01$) en *A. curassavica* para extractos de hoja y raíz.

Los resultados en *Ipomoea sp.* fueron negativos y significativos ($P \leq 0.01$) con los extractos de hojas pero no significativos ($P > 0.05$) con los extractos de tallos y de raíz.

En el Cuadro 2 se muestra la longitud promedio del eje radículo-hipocotilar de cada especie de maleza, en los distintos tratamientos.

Los análisis de varianza efectuados señalan diferencias significativas ($P < 0.01$) entre tratamientos, en la elongación de *H. capitata* con aplicaciones de extractos de hoja, tallo y raíz de madero negro; en *A. curassavica* con extractos de hoja y de raíz y en *Ipomoea*

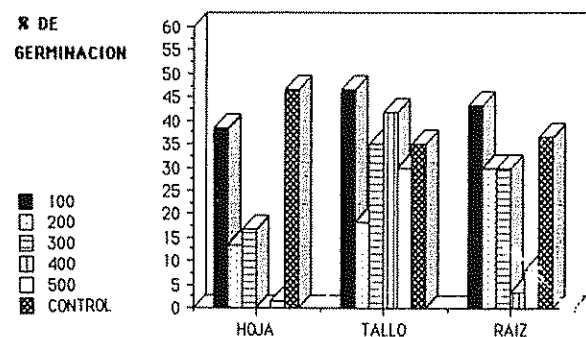


Fig 1. Germinación de semillas de *Hyptis capitata* tratadas con distintas concentraciones de extractos de hoja, tallo, y raíz de madero negro.

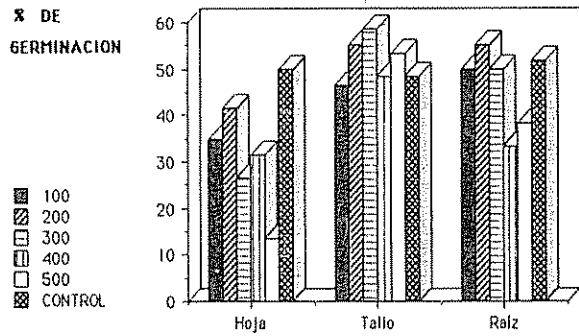


Fig 2 Germinación de semillas de *Asclepias curassavica* tratados con distintas concentraciones de extractos de hoja, tallo y raíz de madero negro

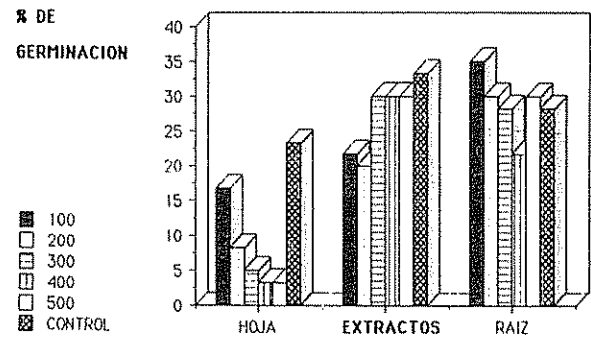


Fig 3 Germinación de semillas de *Ipomea* sp. tratados con distintas concentraciones de extractos de hoja, tallo y raíz de madero negro

sp con extractos de hoja. En esta última especie se obtuvieron diferencias significativas ($P < 0.05$) con extractos de tallo.

Las regresiones lineales entre el promedio de la longitud del eje radículo-hipocotilar de cada especie y las concentraciones de extracto aplicadas indican relaciones negativas significativas ($P < 0.01$) en el caso de plántulas de *H. capitata* con extractos de hoja y de raíz, significativas ($P < 0.05$) con extractos de tallo.

Por otra parte, en *A. curassavica*, las relaciones obtenidas fueron negativas y significativas ($P < 0.01$) con extractos de hoja y raíz, pero, resultaron no significativas ($P > 0.05$) con extracto de tallo. Una relación negativa significativa ($P < 0.01$) se presentó en los tratamientos con extractos de hoja y significativa ($P < 0.05$) con los extractos de tallo y de raíz en *Ipomoea* sp.

Las Figs 4, 5 y 6 representan las tasas de crecimiento de las plántulas de cada especie de maleza en extractos de hojas de madero negro, observándose una mayor diferencia entre el grupo testigo y los demás tratamientos en *H. capitata* y en *Ipomoea* sp, en comparación con *A. curassavica*.

En el Cuadro 3 se observan los porcentajes de germinación de *A. curassavica* y *M. charantia*, en condiciones controladas de suelo.

De acuerdo con los análisis de varianza registrados, existen diferencias significativas ($P \leq 0.01$) en la germinación de *A. curassavica* entre los tratamientos con extractos de hoja y significativas ($P \leq 0.05$) con los de raíz. Para *M. charantia*, se obtuvieron únicamente diferencias significativas ($P \leq 0.05$) entre los tratamientos con extractos de hoja.

Los cálculos de regresiones lineales, entre los porcentajes de germinación y la concentración de los extractos de raíz, indican una relación negativa y significativa ($P \leq 0.01$) en *A. curassavica*; la relación inversa entre porcentajes de germinación y concentración de los extractos de hoja es muy evidente (Cuadro 3). La misma tendencia se observó en *M. charantia* con extractos de hoja pero la relación fue no significativa ($P > 0.05$) con extractos de raíz.

Las longitudes promedio del eje radículo-hipocotilar alcanzadas por *A. curassavica*, en condiciones controladas de suelo, se presentan en el Cuadro 4. El efecto inhibitorio se incrementó conforme se aumentó la concentración de los extractos. Las diferencias entre tratamientos son significativas ($P \leq 0.01$) en lo que corresponde a extractos de hoja y raíz y la regresión lineal obtenida indica una relación negativa significativa ($P \leq 0.01$) entre el desarro-

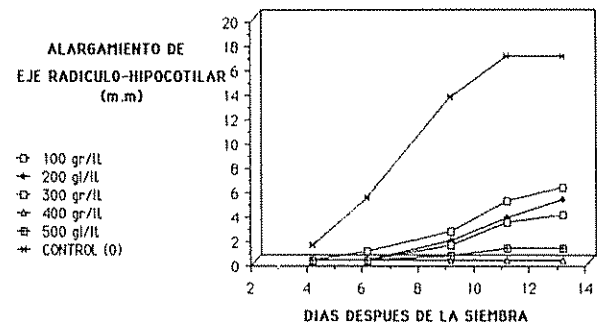


Fig. 4. Alargamiento del eje radículo-hipocotilar de plántulas de *Hyptis capitata* tratadas con extractos de distintas concentraciones de hojas de madero negro

Cuadro 2. Longitud promedio del eje radículo-hipocotilar (mm) de plántulas de tres especies de malezas tratadas con distintas concentraciones de extractos hoja, tallo y raíz de madero negro (*Gliciridia sepium*).

Especies de malezas		Concentraciones (g/l)					Testigo
		100	200	300	400	500	
<i>Hyptis capitata</i>	Hoja	5.96	5.02	3.76	0.00	1.00	16.21
	Tallo	13.79	5.75	13.95	6.17	2.83	13.96
	Raíz	5.84	3.79	3.50	0.76	0.50	13.46
<i>Asclepias curassavica</i>	Hoja	19.51	13.98	10.22	11.84	5.52	26.43
	Tallo	27.24	28.01	35.90	27.15	18.20	27.04
	Raíz	20.79	19.97	16.35	11.11	9.21	28.48
<i>Ipomoea sp</i>	Hoja	20.46	23.31	13.65	12.30	7.53	56.60
	Tallo	50.45	33.23	59.05	25.14	18.25	50.24
	Raíz	24.37	18.84	17.02	13.43	16.04	35.75

llo de las plántulas y las concentraciones de extractos de raíz aplicadas; esto resultó más evidente al utilizar extractos de hoja (Cuadro 4) En la Fig 7 se muestran estas relaciones.

Un resumen general de los resultados con base en los análisis de varianza y regresiones lineales obtenidos, se presenta en el Cuadro 5.

DISCUSION

En esta investigación se comprobó un efecto inhibitorio de los extractos de partes vegetativas de madero negro sobre la germinación y el crecimiento inicial de *H. capitata*, *A. curassavica* e *Ipomoea sp* y sobre la germinación de *M. charantia*.

La magnitud del efecto varió según la parte vegetal de la que se obtuvo el extracto, las concentraciones de los extractos y la especie de maleza.

Los extractos que mostraron mayor capacidad inhibitoria sobre la germinación y el crecimiento de las plántulas de prácticamente todas las especies de malezas estudiadas, fueron los de hojas, seguidos por los de raíz. Los extractos no tuvieron ningún efecto significativo sobre la germinación de *Ipomoea sp* y de *M. charantia*. La germinación no sufrió efecto significativo, en ningún caso, con los extractos de tallo y el alargamiento del eje radículo-hipocotilar de *A. curassavica* tampoco fue afectado.

Inostroza (4) sugiere que las sustancias alelopáticas son sintetizadas en las raíces y que de aquí se pueden movilizar al resto de la planta o bien que estas sustancias son producidas en los brotes de las hojas y se trasladan a la raíz para acumularse en la corteza.

La mayor eficacia obtenida con los extractos de hoja se pueden deber a que, en esta experiencia, las hojas fueron sometidas a una fuerte maceración faci-

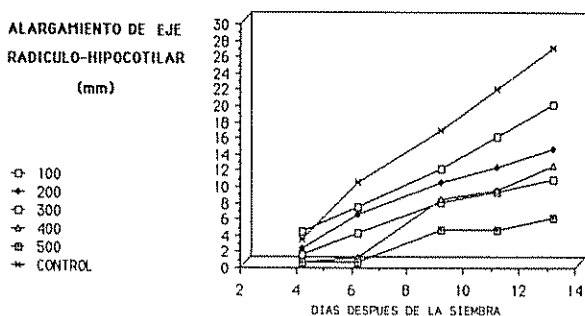


Fig 5. Alargamiento del eje radículo-hipocotilar de plántulas de *Asclepias curassavica* tratadas con extractos de distintas concentraciones de hojas de madero negro.

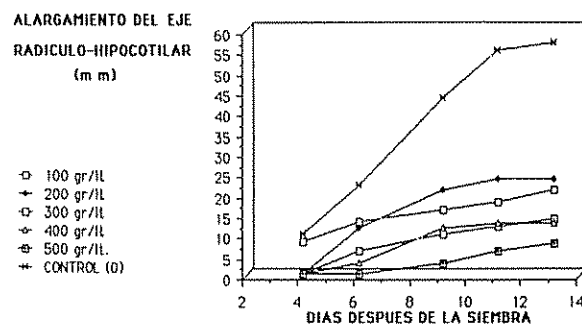


Fig 6. Alargamiento del eje radículo-hipocotilar de plántulas de *Ipomoea sp.* tratadas con extractos de distintas concentraciones de hojas de madero negro.

litando un mayor contacto de los tejidos con el agua y aumentando la solubilidad de las sustancias, mientras que las raíces sólo fueron partidas en trozos finos. Otras explicaciones (4, 10) atribuyen el mejor efecto alelopático de los extractos de hoja a la composición química y grosor de la cutícula, la falta de pubescencia y la orientación de las hojas

A pesar de que se ha comprobado que los extractos de hojas muy jóvenes o muy viejas son las que presentan mayor efecto alelopático (2, 4) en el presente trabajo se utilizaron hojas maduras pero no viejas y aún así, se obtuvo mayor inhibición que con extractos de otras parte de la planta.

Tanto en la germinación de las semillas como en el alargamiento del eje radículo-hipocotilar, la tendencia fue que, a mayor concentración del extracto, se presentó una mayor inhibición. Resultados similares fueron obtenidos por Lines y Fournier (5) quienes, trabajando con extractos de ciprés (*Cupressus lusitanica* Mill) encontraron que el efecto inhibitorio fue mayor conforme aumentó la concentración de los extractos de hoja aplicados. La misma tendencia fue observada por Inostroza (4) en la germinación de *Bidens pilosa* y *Lycopersicon esculentum*, tratadas con extractos de madero negro.

A pesar de que la relación entre concentración de extracto y porcentaje de germinación de las semillas de *A. curassavica*, tratadas con extractos de hoja y raíz, es significativa el análisis de varianza indica que no hay diferencias significativas entre tratamientos.

Esta aparente contradicción podría deberse a que, para el análisis de varianza, se consideraron los datos de las tres repeticiones que fueron bastantes disímiles, lo cual aumenta la dispersión de los datos, en tanto que, para la regresión, se utilizaron promedios de las tres repeticiones. Una situación parecida se presentó con el análisis de varianza de la longitud del eje radículo-hipocotilar y la regresión entre esta última varia-

Cuadro 3. Porcentajes de germinación en semillas de dos especies de malezas creciendo en muestras de suelo y tratadas con distintas concentraciones de hoja y raíz de madero negro.

Especie de maleza	Origen del extracto	Concentraciones g/l			
		300	400	500	Testigo
<i>Asclepias curassavica</i>	Hoja	5.00	0.00	0	45
	Raíz	26.66	21.66	10	35
<i>Momordica charantia</i>	Hoja	—	20.00	0	50
	Raíz	—	20.00	55	60

Cuadro 4. Longitud promedio del eje radículo-hipocotilar de plántulas de *Asclepias curassavica* después de 21 días creciendo en muestras de suelo y tratadas con distintas concentraciones de hoja y raíz de madero negro.

Origen del extracto	Concentraciones g/l			
	300	400	500	Testigo
Hoja	7.10	0.00	0.00	25.63
Raíz	19.96	18.72	13.68	26.42

ble y las concentraciones de extractos de raíz en *Ipomoea* sp.

La diferencia del desarrollo de las plántulas de *H. capitata* y de *Ipomoea* sp. entre el grupo testigo y los tratamientos con extractos de hoja (Figs. 4 y 6) es evidentemente mayor que la diferencia entre el grupo testigo y los tratamientos con extractos de hoja en plántulas de *A. curassavica* (Fig. 5). Estas consideraciones son también válidas para los tratamientos con extractos de raíz.

Así mismo, las respuestas al efecto inhibitorio de extractos de hoja y raíz de madero negro sobre la germinación de semillas de *H. capitata* y de extractos de raíz sobre la germinación de *Ipomoea* sp. comparadas con el testigo (Figs. 1 y 3) son más evidentes que en *A. curassavica* (Fig. 2).

Lo anterior sugiere una menor susceptibilidad de *A. curassavica* a los inhibidores. Putman y Duke (6) y Lines y Fournier (5) atribuyen la magnitud de la respuesta ante un inhibidor a la receptibilidad de la planta afectada. Inostroza (4) considera que la acción de las sustancias alelopáticas en la germinación de semillas no es uniforme sino que depende

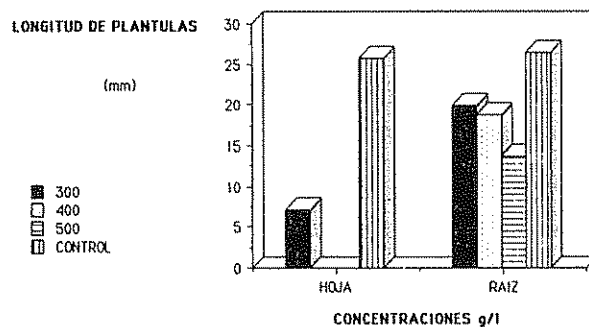


Fig. 7. Longitud promedio del eje radículo-hipocotilar de *Asclepias curassavica* después de 21 días creciendo en muestras de suelo y tratadas con distintas concentraciones de hoja y raíz de madero negro.

Cuadro 5. Resultados del efecto alelopático de extractos de hoja, tallo y raíz de madero negro en la germinación y el crecimiento de las malezas estudiadas en placas de Petri y en condiciones controladas de suelo, con base en los análisis de varianza y regresiones lineales obtenidas.

Especies de malezas		Origen de los extractos					
		Hoja		Tallo		Raíz	
		ANDEVA	Regresión	ANDEVA	Regresión	ANDEVA	Regresión
Pruebas en placas de Petri							
<i>H. capitata</i>	Germinación	+	+	-	-	+	+
	Crecimiento	+	+	+	+	+	+
<i>A. curassavica</i>	Germinación	-	+	-	-	-	+
	Crecimiento	+	+	-	-	+	+
<i>Ipomoea</i> sp	Germinación	+	+	-	-	-	-
	Crecimiento	+	+	+	+	-	+
Pruebas en suelo							
<i>A. curassavica</i>	Germinación	+	+			+	+
	Crecimiento	+	+			+	+
<i>M. charantia</i>	Germinación	+	+			-	-

+ Hubo efecto significativo.

- No hubo efecto significativo

de la especie sobre la que actúen y citando a Lines (5), señala, como algunas posibles causas de estas diferencias, la constitución química de la sustancia inhibidora y la estructura anatómica de la semilla

Respecto al porcentaje de germinación y las longitudes del eje radículo-hipocotilar alcanzadas por *A. curassavica* en muestras de suelo comparadas con los obtenidos mediante las pruebas en placas de Petri, se observa que en los primeros el efecto alelopático fue

marcadamente superior, mientras que los grupos testigo dieron resultados bastantes semejantes. Una posible explicación de este fenómeno es el mayor número de aplicaciones de extracto que fue necesario realizar para mantener la humedad del suelo (8 aplicaciones en 21 días), mientras que a las placas de Petri se les practicó sólo dos aplicaciones en 13 días. Esto parece indicar que las respuestas alelopáticas dependen no sólo de la concentración sino también de la cantidad de extracto adicionado.

LITERATURA CITADA

1. ALTIERI, M.A.; DOLL, J.D. 1979. The potential of allelopathy as a tool for weed management in crops fields. *Pans* 24(4):459-502.
2. COUTINHO, L.M.; HASHIMOTO, F. 1971. Sobre o efeito inibitorio da germinação de sementes produzido por folhas de *Calea cuneifolia* (São Paulo). *D.C. Cienc. Cult.* 23:759-764.
3. GOMEZ, K.A.; GOMEZ, A.A. 1976. Statistical procedures for agricultural research, with emphasis on rice. Los Baños, Philippines. International Rice Research Institute. 294 p.
4. INOSTROZA, S.I. 1981. Efecto alelopático de *Gliricidia sepium*. Tesis Lic. Biol. UCR. San José, Costa Rica. 45 p.
5. LINES, N.; FOURNIER, L.A. 1979. Efecto alelopático de *Cupressus lusitanica* Mill sobre la germinación de las semillas de algunas hierbas. *Revista de Biología Tropical* 127(2):223-229.
6. PUTMAN, A.R.; DUKE, W.B. 1978. Allelopathy in agroecosystems. *Annual Review of Phytopathology* 16:431-453.

7. QUIROGA, V. 1976. Manual práctico para el análisis de experimentos de campo. San José, Costa Rica. Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas. División de Procesamiento de Datos 113 p. (Serie Publicaciones Misceláneas no. 142)
8. RICE, E.L. 1979. Allelopathy: an update. *Botanical Review* 45(1):15-109.
9. TOSI, J.A. 1969. República de Costa Rica. Mapa Ecológico. San José, Costa Rica. Instituto Geográfico Nacional Esc.: 1:1.000.000. Color.
10. TUKEY, H.B. 1969. Implications of allelopathy in agricultural plant science. *Botanical Review* 35(1):1-6.

Las Hormigas como Depredadoras de Larvas y Pupas de los Curculionideos

Contrachelus myrmariae y *Contrachelus psidii*:

Dos Plagas de la Guayaba y la Jabuticaba¹

H.G. Fowler*

ABSTRACT

Manipulative experiments were conducted in orchards of guayaba (*Psidium guajava*) and jabuticaba (*Myrmecaria jaboticaba*) to examine ant predation of larvae and pupae of their principal fruit-attacking weevils, *Contrachelus psidii* and *C. myrmariae*, respectively. Ant predation was more intense at high larval and pupae densities. The principal ant species involved as predators were *Pheidole oxyops*, *Ectatomma planidens*, *Odonotmachus bauri*, *Neoponera villosa* and *Solenopsis invicta*. Together, these species consumed 60 - 90% of all pre-pupal larvae and pupae on the ground, and were responsible for weevil population control. Species-specific predation was not strongly associated with general species abundance, as indexed by pitfall traps.

INTRODUCCION

En Brasil, los escarabajos de la familia Curculionidae son dañinos a ciertos frutos. En particular, la especie *Contrachelus myrmariae* Marshall puede ocasionar tantos daños como las moscas de fruta en jabuticaba, *Myrmecaria jaboticaba* Berg, al igual que *Contrachelus psidii* Marshall en frutos de guayaba *Psidium guajava* L. (2). Las frutas de estas dos especies tienen un alto valor económico (3). A pesar de que estos escarabajos son plagas importantes, poco se sabe sobre su biología y sus enemigos naturales. En ambas especies, la hembra pone los huevos en la fruta no madura y las larvas se alimen-

COMPENDIO

Se hicieron experimentos de manipulación en pomares de guayaba (*Psidium guajava*) y de jabuticaba (*Myrmecaria jaboticaba*) para examinar la acción de hormigas como depredadoras de los curculionideos *Contrachelus psidii* y *C. myrmariae*, respectivamente. La depredación por hormigas fue mayor en condiciones de densidades altas de larvas y pupas. Las principales especies de hormigas fueron: *Pheidole oxyops*, *Ectatomma planidens*, *Odonotmachus bauri*, *Neoponera villosa* y *Solenopsis invicta*. En conjunto, estas especies consumieron 60 a 90% de las larvas prepuparias y pupas en el suelo, y fueron los agentes que tuvieron un papel importante en el control natural de estos escarabajos. La depredación, a nivel de especie, no fue altamente asociada con la abundancia de la especie de hormiga, determinada por trampas del suelo "pit-fall".

tan de la fruta. Las larvas prepuparias salen de la fruta para pupar en el suelo. Durante esta fase de su biología, las larvas y pupas nuevas serían vulnerables a la depredación por animales que procuran presas en o sobre el suelo. Los experimentos que son descritos en este artículo fueron realizados para documentar la acción de las hormigas como depredadores de *Contrachelus*, durante esta fase de su ciclo de vida.

MATERIALES Y METODOS

Se recogieron en el campo frutas de jabuticaba y guayaba mostrando daños característicos de ataque de *Contrachelus* y se mantuvieron en baldes plásticos con arena húmeda para lograr la emergencia de las larvas prepuparias. Al obtener un número suficiente de larvas, se colocaron en el campo placas de petri

1 Recibido para publicación el 12 de junio de 1987.

* Departamento de Ecología, Instituto de Biociencias UNESP. 13 500 Rio Claro, SP, Brasil.

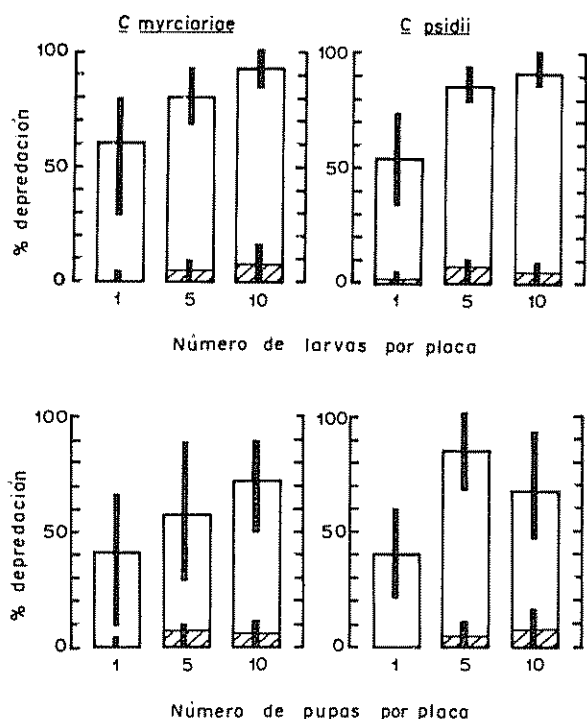


Fig. 1. La intensidad de depredación de larvas y pupas de *Contrachelus* como función de densidad. Los controles están representados en la parte inferior de cada histograma

de 10 cm de diámetro con arena húmeda, en puntos obtenidos de un cuadro de números por caso. En cada placa se colocaron 1, 5 ó 10 larvas o pupas recién formadas. Para cada estadio (larva o pupa) para cada especie de *Contrachelus* se usaron 15 placas. Las placas con *C. psidii* fueron colocadas en pomares de guayaba y las placas con *C. myrciariae* en pomares de jabuticaba. Durante cada ensayo se colocaron, placas de Petri con 10 larvas o pupas encima de tapas de aluminio de 18 cm de diámetro con agua, para prevenir la entrada de hormigas. Estas placas sirvieron como testigos para determinar la predación por otros animales. Cuando fue posible, las observaciones fueron tomadas sobre las hormigas que depredaron las larvas y pupas

En cada pomar, se colocaron 20 trampas de suelo "pit-fall", fabricadas con vasos de plástico de 8 cm de diámetro y con una solución de agua, formol y alcohol, también en puntos determinados por un cuadro de números aleatorios. Durante 15 días, las trampas fueron colectadas diariamente y las especies de hormigas y se registró el número de individuos de cada especie. Estos datos fueron usados para calcular la habilidad teórica del descubrimiento de las larvas y pupas de *Contrachelus* por cada especie de hormiga

Después, esta probabilidad fue comparada con las frecuencias de depredación observada para cada especie

RESULTADOS

Con el aumento del número de larvas o de pupas por placa (densidad simulada), aumentó la depredación de ambas especies de *Contrachelus* por hormigas (Fig. 1). Ambas especies, tanto en larvas como en pupas, fueron fuertemente depredadas por hormigas, como consta al comparar los testigos con las placas que tenían acceso a las hormigas (Fig. 1).

Con la ayuda de observaciones de depredación, fue posible identificar las principales especies de hormigas responsables de la reproducción del número de larvas y pupas de *Contrachelus*. Comparando la depredación por cada especie de hormiga con el número colectado en las trampas del suelo (Fig. 2), se constató que *Pheidole oxyops* depredaba más frecuentemente que lo esperado y que depredaba las pupas menos frecuentemente que lo esperado (Fig. 2). En los pomares, *P. oxyops* fue el depredador principal. Las hormigas ponerines, *Ectatomma planidens*, *Neoponera villosa* e *Odontomachus bauri* fueron las especies que más depredaron a las pupas (Fig. 2).

DISCUSION

La depredación de larvas de ambas especies de *Contrachelus* fue mayor que la depredación de las pupas. Sin embargo, como los testigos mostraron un índice bajo de desaparición, el papel de las hormigas en esta reducción fue confirmado. Las especies que se observó fueron depredadores importantes, también fueron especies muy activas en el área, como lo mostraron las capturas de las trampas de suelo. Sin embargo, especies como *Pheidole oxyops* y *Solenopsis invicta* usan reclutamiento para explorar fuentes de alimento, o en este caso recoger (1). El empleo de reclutamiento puede explicar el mayor porcentaje de depredación en densidades mayores de ambas larvas y pupas. Las hormigas ponerines, *Ectatomma planidens*, *Neoponera villosa* e *Odonotmachus bauri* usan una estrategia solitaria al recoger presas. Sin embargo, estas hormigas son grandes y pueden acarrear individualmente las larvas y pupas, lo que no ocurre con *S. invicta* y *P. oxyops*. Estas últimas especies dependen de la movilización de muchos individuos para recoger estas presas. Por esta razón, las frecuencias observadas de depredación no son, en términos generales, conformes con las frecuencias esperadas, estimadas por las capturas en las trampas del suelo.

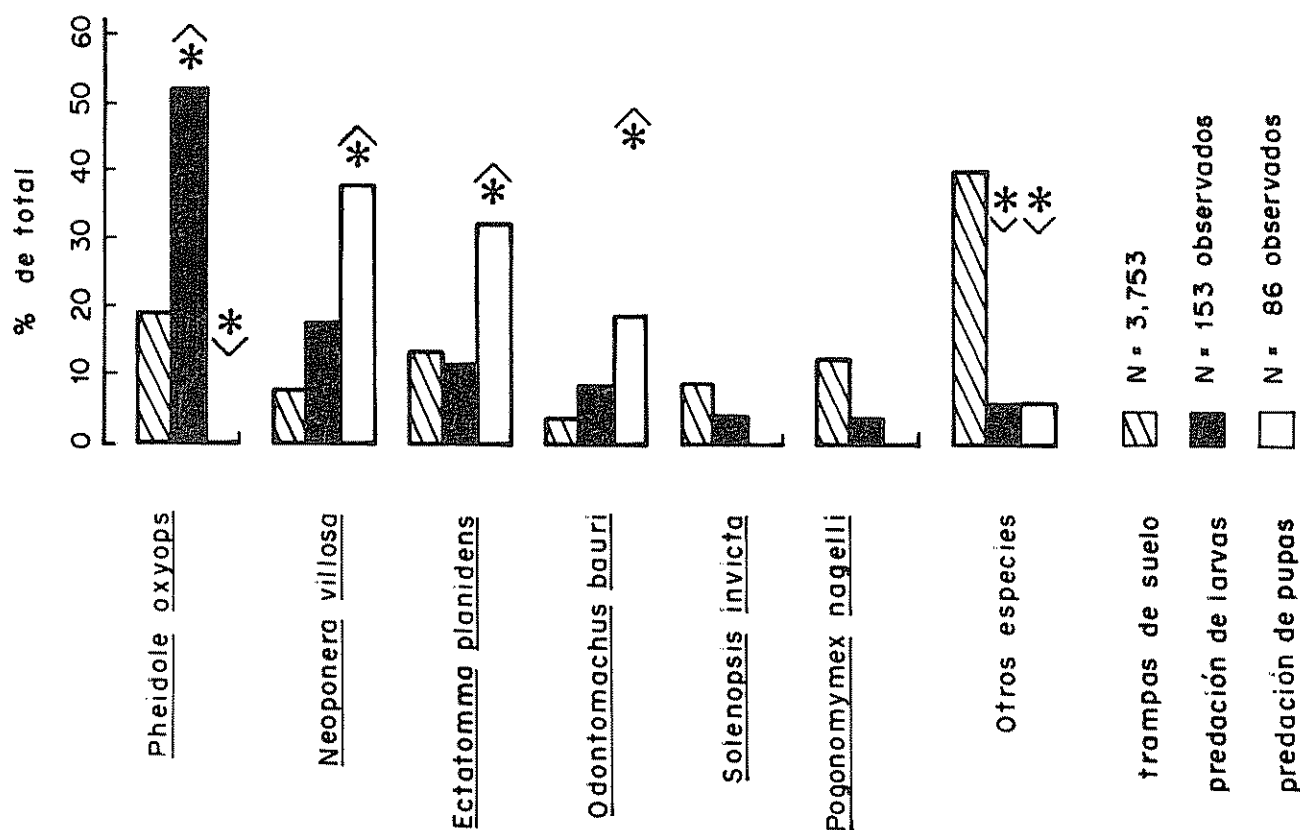


Fig. 2. Las frecuencias con que las especies de hormigas fueron capturadas en trampas de suelo (= frecuencia esperado como depredadores si la depredación fuera un proceso randomico) y las frecuencias observadas como depredadores de larvas y pupas de *Contrachelus*. Las diferencias significativas de depredación comparada con las capturas en las trampas de suelo, usando o teste G(4), está indicada con un* y la dirección de la diferencia con una flecha

CONCLUSION

Los resultados demuestran que poblaciones de *Contrachelus* experimentan una reducción fuerte debido a la depredación de hormigas, durante un periodo crítico de su ciclo de vida. A pesar de que las larvas que llegan al suelo ya produjeron daños a las frutas, la acción de las hormigas sirve para disminuir la población de la generación próxima y así, reducir

la magnitud de los daños futuros causados por *Contrachelus*. Es muy probable que, debido al número de especies constatadas como depredadoras y la heterogeneidad espacial de las mismas, existe una variación grande de pomar a pomar. Sin embargo, es muy probable que la reducción de las poblaciones de *Contrachelus* siempre sea grande y que quizás, existe la posibilidad de manipular especies de hormigas como agentes de control para *Contrachelus*

LITERATURA CITADA

1. FOWLER, H.G. 1984. Recruitment, group retrieval, and major worker behavior in *Pheidole oxyops* (Hymenoptera: Formicidae). Revista Brasileira de Biología 44:21-24.
2. GALLO, D.; NAKANO, O.; SILVEIRA NETO, S.; CARVALHO, R.P.L.; BATISTA, G.S. DE; BERTI FILHO, E.; PARRA, J.R.P.; ZICCHI, R.A.; ALVES, S.B. 1978. Manual de Entomologia Agrícola, Editora Agronómica "Ceres" Ltda., São Paulo, Brasil. 531 p.
3. JOLY, A.B.; LEITÃO FILHO, H.F. 1979. Botânica econômica. Editora Universidade de São Paulo, São Paulo, Brasil. 114 p.
4. SOKAL, R.R.; ROHLF, F.J. 1979. Biometry, 2nd Ed., Freeman. San Francisco, EE UU. 859 p.

Soil—Plant— Water Status and Growth Development and Yield of Maize (*Zea Mays* L.)¹

A. Niñez*, M H Miller*

ABSTRACT

Limitations of yield and dry matter production by water deficits on their enhancement through irrigation will depend on the degree, duration and timing of those deficits which, in turn, depend on the plant, atmospheric and soil conditions. The objective of this study was to investigate the relationship between soil-plant water status and nutrients and the growth, development and yield of maize under the soil and atmospheric conditions of the Guelph research station. Two levels of fertility were used under irrigated and non-irrigated conditions. Measurements of plant height, leaf area index (LAI) and silking were taken during the growing season, along with leaf and soil water potential and stomatal conductances. At the end of the season, grain yield and dry matter production data were collected. During the vegetative stage, irrigation caused significant differences in plant height in the high fertility treatments. Leaf area index increased more slowly in unirrigated than in irrigated treatments during dry periods in July. However, total LAI was not significantly influenced by irrigation at any stage of growth. Water supply caused significant differences in leaf water potentials during July and August. Nevertheless, the stomatal conductances were largely insensitive to irrigation and the stomates seemed to respond mostly to daily fluctuations in solar irradiance. Grain yield and dry matter production were significantly different between low and high fertility but not between irrigated and non-irrigated treatments, in spite of the large differences in soil water content.

INTRODUCTION

Soil and climatic conditions usually restrict growth and development of crop canopies in the field in such a way that the genetic potential is seldom achieved. Climate factors such as radiation, relative humidity, air temperature and CO₂ concentration cannot be modified by any feasible management practices. They limit and determine the maximum yield that can be obtained in a given region

Limitation to yield imposed by soil factors such as nutrient status, soil structure or soil moisture may

¹ Received for publication 22 April 1988

* Physiology Program, National Research Institute (INIFAP) Mexico

** Soil-Plant-Water Relationship, Land Resource Univ of Guelph, Ontario, Canada.

COMPENDIO

Las deficiencias hídricas en las plantas causan generalmente decrementos en la producción de grano y materia seca, debido a esto se evaluaron las relaciones hídricas suelo-planta en el cultivo de maíz bajo las condiciones climáticas de la estación experimental de la Universidad de Guelph, Ontario, Canadá. Los factores estudiados fueron riego y fertilización a dos niveles cada uno. El efecto de irrigación sobre rendimiento no fue estadísticamente significativo a pesar de la gran diferencia en humedad de suelo registrada del 8 al 15 de julio, etapa de prefloración, donde los tratamientos no irrigados alcanzaron valores de -1.50 MPa y -1.70 MPa en los primeros 30 cm de suelo. Los potenciales hídricos de las hojas tuvieron una respuesta más directa a las diferencias en presión de vapor del aire que a la diferencia en humedad del suelo. Los valores más bajos de potencial hídrico fueron -1.50 MPa y -1.70 MPa para los tratamientos no irrigados. Las diferencias en conductancia estomatal sólo fueron significativas el 15 de julio para el tratamiento de alta fertilidad no irrigado, registrándose valores de 0.3 cm seg^{-1} comparados con 1.0 y 1.2 cm seg^{-1} de los tratamientos irrigados. El cierre estomatal se observó entre valores de -1.65 MPa y 1.70 MPa de potencial hídrico.

be eliminated to some extent by tillage, fertilizer application, and irrigation. However, the extent to which these factors and the interaction among them, are limiting maximum dry matter production is still not very well understood. For instance, it is not clear how dry a soil can become before yield is decreased in any given climatic environment.

Plants usually withstand moderate water stress without a decline in their physiological functions. Stomatal closure in maize has been observed after leaf water potentials reached values about -1.7 MPa (10). However, leaf enlargement, in the same crop, declined rapidly at leaf water potentials below -0.2 MPa and ceased at potentials of -0.7 to -0.9 MPa (2, 4). Under field conditions, leaf expansion seems to be less sensitive to low water potentials. Watts (11) found that there was no reduction in maize leaf extension until leaf water potentials were below -0.8 MPa. Nevertheless, the sensitivity of cell elongation to water deficits may cause a marked reduction in leaf area. A decrease in leaf area may result in incomplete interception of irradiance or a delay in achieving full light interception by the crop.

canopy. The time at which full light interception is achieved may be of particular importance to yield under the seasonal incoming radiation in this area (Guelph, Ontario, Canada). On the other hand, under prolonged dry conditions a reduction in leaf area may be beneficial to the plant because of reduced water losses.

The objective of this study was to investigate the relationship between nutrient-soil-plant water status and the growth, development and yield of maize under the temperature, rainfall and irradiance conditions of the University of Guelph Research Station.

MATERIALS AND METHODS

The field research was conducted on the Guelph Research Station (43°38'N, 80°39'W). The edaphic characteristics of the experimental site are described within two series, the Guelph Loam and the London Loam.

Treatments used were (1), low fertility treatment: phosphorus 30 kg/ha, potassium 58 kg/ha, and 100 kg/ha of nitrogen (LFNI); (2), fertility conditions as in (1), but the plot was irrigated (LFI); (3), fertilizer rate considerably in excess of those recommended; phosphorus 425 kg/ha, potassium 810 kg/ha and 325 kg/ha of nitrogen (HFNI); (4), the same high fertility levels were applied as in (3), but plots were irrigated (HFI).

The corn hybrid PAG SX-111 was used because of its strong stalks and its relatively high yield for short growing seasons. The seed was treated and planted on May 7. Plant population was thinned to 80 000/ha.

Water was applied periodically through a trickle irrigation system at the time when water deficit (evaporation from a class A pan less rainfall) exceeded 2 cm. Water was supplied at an approximate rate of 0.3 cm per hour, keeping the irrigated plots close to field capacity. Neutron scattering technique was used to determine changes in moisture content of the soil profile every 15 cm depth (15-90 cm), during the growing season. This technique was replaced by a gravimetric method to determine the water content in the top 15 cm of soil. Soil water characteristics curves were used to estimate the soil water potential.

Measurements of stomatal conductance were taken with a LI 1 600 steady state porometer on the upper leaves of the canopy, which were completely exposed to direct sunlight. Readings were done in the adaxial and abaxial surface of the leaf. An average of two

leaves per plot and four replicates were considered as the sample size to estimate effects of treatment on stomatal conductance.

Leaf water potential was measured on the same days as stomatal conductance using a pressure chamber on the design of Scholander *et al.* (7). Tips of fully sunlit leaves were placed between two wooden boards lined with soft foam rubber and covered with polyethylene film to minimize water loss. A narrow strip, 2 or 3 cm wide and about 15 cm long, was torn off each leaf and immediately inserted through the slot into the pressure chamber to determine leaf water potential. Sample size was two leaves per plot and four replicates. Leaf area index (LAI) was determined by periodically measuring the maximum width (W) and length (L) of each leaf on six plants per plot. The linear regression equation for estimating LAI was $LAI = 0.75 (L \times W)$.

Final yield was obtained from the ears collected in the inner three meters of the two center rows in each plot. The same sample was used to determine dry matter production.

RESULTS AND DISCUSSION

There were two main periods of low rainfall during the growing season. The longest period was from June 23 to July 16, in which only 14.8 mm of rainfall were recorded. This period corresponded to the time of rapid growth in the vegetative stage. The second dry period was monitored from August 15 to 26, with a total rainfall of 7.2 mm.

Plant heights are shown in Fig. 1. The effect of high fertility on plant height was significant as early as June 25. The response of plant height to irrigation was different for the high and low fertility treatments. For instance, during the dry period between July 7 and July 15, and that between July 16 and July 23, treatment 3 had a significantly lesser increment of plant height than treatment 4, whereas the increment in treatment 1 was not significantly lower than that of treatment 2 (Fig. 2). In fact, differences in plant height caused by irrigation in the low fertility treatments were significant only at the end of the growing season.

Leaf development was greatly stimulated by high fertility treatments in the early stages of growth (Fig. 3). At this time, the irrigation imposed on treatments 2 and 4 did not cause any significant differences from treatments 1 and 3, respectively. The effect of water supply was more evident from July 7 to July 15; both treatments 2 and 4 reached signifi-

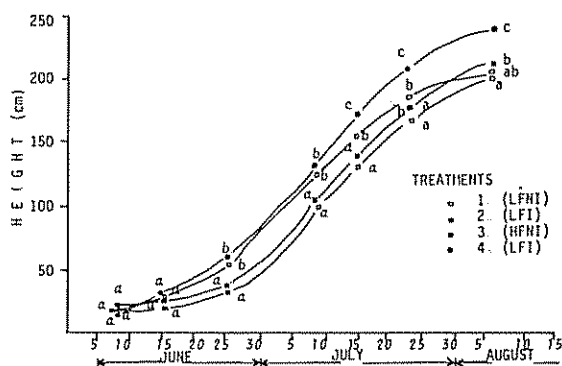


Fig. 1. Effect of water and nutrients on height of maize (PAG SX-111) Guelph Research Station. (The same letter are not significantly different, $\alpha = 0.05$)

cantly ($\alpha = 0.05$) higher LAI increments than treatments 1 and 3, respectively (Fig. 4). The effects of dry conditions were more severe for treatment 3, which achieved the lowest increment of leaf area index during the July 7-15 period. However, after a partial release of stress by a 17 mm rainfall received from July 17 to July 22, treatment 3 had a more rapid rate of leaf enlargement than treatment 4 (Fig. 4). This may indicate a "storage growth" phase, where most of the metabolic events continued unabated and leaf growth was only prevented by the lack of turgor required for cell expansion. Acevedo *et al.* (1), also working with maize, found a rapid phase of growth after release of stress under mild and severe water stress conditions.

Silking began just at the end of the critical dry period of July. During silking, from July 23 to August 7, an accumulated rainfall of 48.4 mm was received, so that water stress was not a major restriction at this stage. High fertility resulted in a more rapid plant development, and hence in an earlier silking for treatments 3 and 4 (Table 1). For these

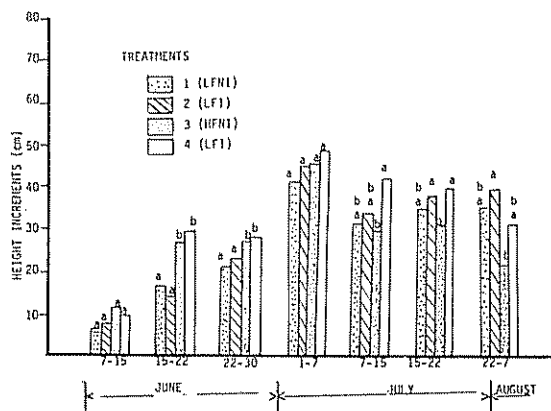


Fig. 2. Effect of water and nutrients on height increments of maize (PAG SX-111) Guelph Research Station (same letters are not significantly different, $\alpha = 0.05$).

treatments, the 75% silking stage was reached 5 and 7 days earlier than for treatments 1 and 2, respectively. Irrigation did not alter the time of silking. The final grain yield, dry matter production and harvest index are shown in Table 2. The high fertility treatments resulted in significantly ($\alpha = 0.05$) higher yield than the low fertility treatments. Irrigation imposed on treatments 2 and 4 did not cause significant differences in either grain yield or in dry matter production when compared to treatments 1 and 3, respectively. Harvest index is higher for the non-irrigated treatments, which could mean a greater reproductive effort under water stress (6).

Soil water potentials (ψ Soil). At the initial stage of rapid growth on June 19, irrigation kept high soil water potential for treatment 2 and 4. Meanwhile, lower ψ soil developed for treatments 1 and 3 in the upper 15 cm (Fig. 5). During the dry period from July 7 to 15, soil water in the top 30 cm was largely depleted in treatments 1 and 3 and the water potentials reached values between -1.5 MPa and -1.7 MPa (Fig. 6). Precipitation in the first two weeks of August (88.9 mm) was sufficient to replace much of the water lost during July in the unirrigated treatments. Soil water potentials had recovered for treatments 1 and 3 down to the 50 cm depth (Fig. 7).

Plant water status. Leaf water potentials (ψ leaf) measured on July 8 were not significantly different among treatments (Fig. 8a). Early in the morning the water potential readings ranged from -0.2 MPa to -0.4 MPa and reached minimum values of -1.1 MPa and -1.3 MPa (14:00 Eastern Standard Time). The soil water potential apparently had little effect on the leaf water potential. Measurements of root growth by Stypa (8) indicated that roots were already growing down to 35 cm, where soil moisture was more available. This may account, at least in part,

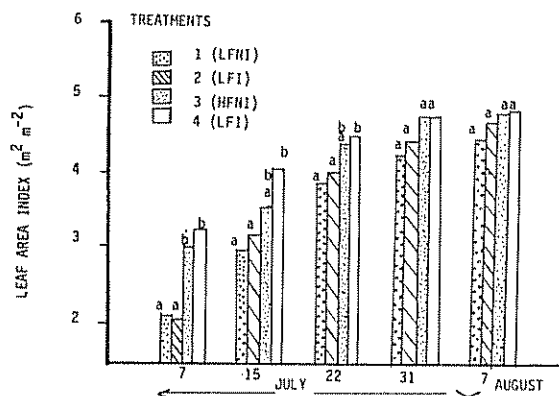


Fig. 3. Effect of water and nutrients on maize leaf area index (LAI) (the same letters are not significantly different, $\alpha = 0.05$).

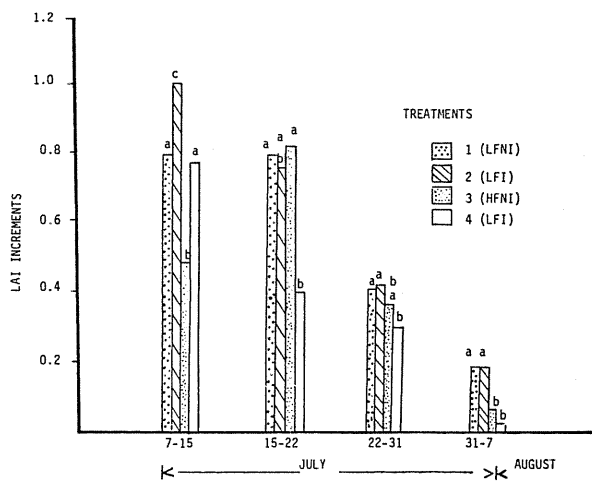


Fig. 4. Effect of water and nutrients on the increment of maize leaf area index (same letters are not significantly different, $\alpha = 0.05$).

for the lack of differences in leaf water potential between irrigated and non-irrigated treatments.

There was no apparent pattern in stomatal conductance among treatments (Fig. 8b). However, stomates seemed to respond more to diurnal changes in solar irradiance than to differences in soil moisture. A decrease in solar irradiance between 09:30 and 10:30 EST (not shown) is likely to be the cause of the lower stomatal conductance monitored at this time. This variation in conductance had no apparent effect on leaf water potential for any of the treatments.

Table 1. Percentage of maize plants silked at different dates. Guelph Research Station.

Treatment	July 23	July 29	July 31	Aug. 5	Aug. 7
1 (LFNI)	0.0	4.2	13.2	77.0	
2 (LFI)	0.0	2.8	11.8	60.4	78.5
3 (HFNI)	6.9	44.4	68.8		
4 (HFI)	15.6	59.7	75.4		

July 15 was one of the driest days on which measurements were taken. The soil water potentials for the unirrigated treatments had reached values less than -1.5 MPa in the top 15 cm (Fig. 6). Leaf water potential showed a clear response to these stress conditions (Fig. 9a). The potentials on treatment 1 and 3 reached values less than -1.4 MPa as early as 08:30 EST in the morning and remained below that level until 13:30 EST. For treatments under irrigation, the leaf water potentials were also low, reaching values between -1.2 MPa and -1.4 MPa. The differences among treatments were not significant ($\alpha = 0.05$) in the morning, despite large differences in soil water potentials (Fig. 6). In the afternoon, the leaf water potential of plants in treatment 3 became significantly lower than those of the irrigated treat-

ments. However, the leaf water potential in treatment 1 was not significantly lower than those in treatments 2 and 4.

Stomatal conductances on July 15 were significantly ($\alpha = 0.05$) lower for plants in treatments 1 and 3 than for 2 and 4 (Fig. 9b) during both the morning and afternoon. There was also some indication that the low leaf water potential may have induced stomatal closure in the afternoon (12:30 EST). In one of the plots of treatment 3, stomatal conductances of 0.042 and 0.045 cm sec^{-1} were measured in adaxial and abaxial surfaces respectively. Leaf water potential monitored in the same plot within a few minutes of the stomatal conductance measurements gave values of -1.65 MPa. This is in fairly close agreement with observations of Turner (10), who found a "critical potential" of -1.7 MPa in maize, at which stomates began to close. However, not all the plants in that plot reached such low stomatal conductances. Readings in a nearby plant gave values of 0.33 and 0.25 cm sec^{-1} (adaxial-abaxial surfaces), even though the plant showed the same leaf rolling symptoms as that with the lower conductances. Suggestions that stomates close abruptly when the critical potential is reached (4, 5) might account for these differences.

The leaf water potential of plants in the unirrigated treatments apparently was not influenced by the low soil water content in the top 15 cm of the profile in spite of the fact that a large proportion of the root length was in that layer (8). The water potential gradient between the soil (top 15 cm) and the leaves of plants in treatment 3 was very small (approx. 0.2 MPa) compared to that of the irrigated treatments (approx. 1.2 MPa). Although the stomatal conduc-

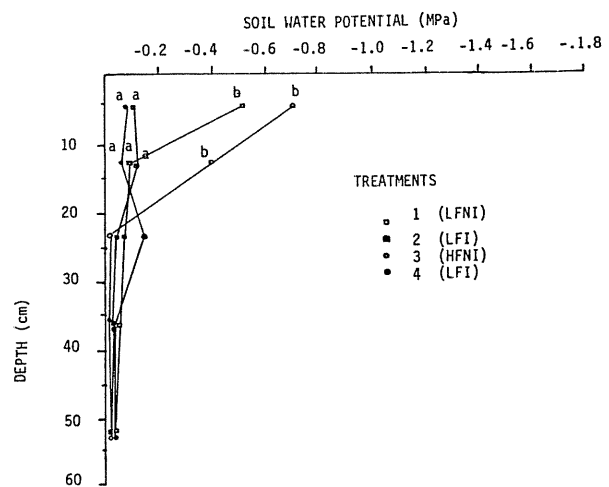


Fig. 5. Soil water potential of treatments at different depths in the soil profile, June 19. Guelph, Research Station (same letters are not significantly different $\alpha = 0.05$).

Table 2. Final grain yield, total dry matter production and harvest index of maize. Guelph Research Station.

Treatment	Grain* (kg ha ⁻¹)	Dry matter (kg ha ⁻¹)	Harvest Index
1 100 N + 30 P + 58 K (LFNI)	6 276 a**	10 766 a	0.682 a
2 100 N + 30 P + 58 K (LFI)	6 357 a	11 616 ab	0.556 b
3 325 N + 425 P + 810 K (HFNI)	7 443 b	12 199 cb	0.612 a
4 325 N + 425 P + 810 K (HFI)	7 543 b	13 072 c	0.576 b

* 15.5% Moisture

** (same letters are not significantly different, $\alpha = 0.05$).

tance was lower in treatment 3 than in the irrigated treatments, the difference was not sufficient to reduce transpiration to the extent suggested in the water potential gradient. This indicates that in the unirrigated treatments water was being absorbed from deeper layers in the soil profile to meet the transpiration demand and to keep nearly the same leaf water potentials as those in the irrigated treatments. It also suggests that relatively low densities of root system (5% of total), growing under favorable soil water conditions, may largely satisfy the transpiration demand and maintain plant hydration. In this research, a large amount of the root length (approx. 90%) was measured on the top 30 cm (8). The rest of the root system was growing in deeper layers where soil wetness was more available for non-irrigated treatments

On August 26, plants in all treatments had reached full vegetative growth and were into the maturity phase. The rainfall in the first two weeks of August was abundant, replacing, to a large extent, the soil

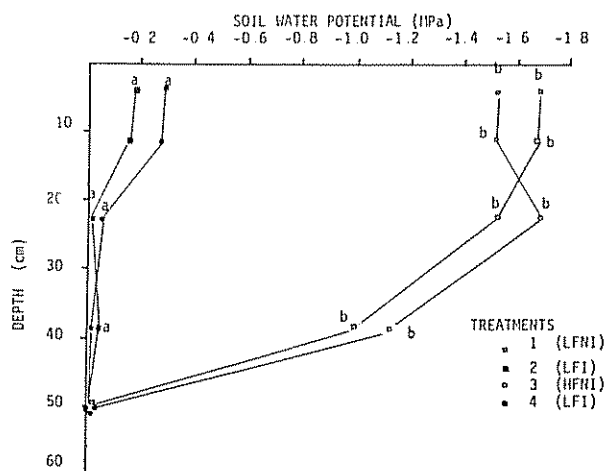


Fig 6. Soil water potential of treatments at different depth in the soil profile, July 15 (Same letters are not significantly different, $\alpha = 0.05$).

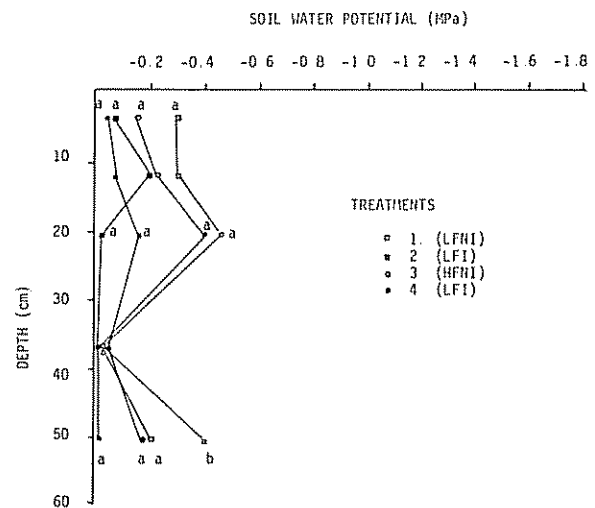


Fig 7 Soil water potential of treatments at different depths in the soil profile August 23 Guelph Research Station. (Same letters are not significantly different, $\alpha = 0.05$).

water lost in July (Fig 7). After this rainfall, there was a dry period of about 10 days, from August 16 to 26

GENERAL DISCUSSION

The effect of irrigation on plant growth was not significant during the early vegetative stage. Soil moisture at this stage was enough to satisfy the actual demand for water without causing major stress in plants. No significant differences were observed in either leaf water potential or stomatal resistance between irrigated and non-irrigated treatments on July 8 (Fig 8).

As the soil dried out in treatments 1 and 3, the water absorbed from deeper layers was not enough to keep the same plant growth rate as that of treatments 2 and 4. Between July 7 and 15, the unirrigated treatments had lower increments in terms of plant height and leaf area index. On July 15, the leaf water potential reached the lowest values measured during the season. However, the stomatal conductance

(Fig. 9b) seems not to have changed compared to other days. This could indicate that some of the physiological events necessary for growth, such as CO₂ absorption and indirect photosynthesis, continued unabated during the dry period, and the decrement of plant height and leaf area index in treatment 1 and 3 was mainly caused by the lack of physical turgor required for cell expansion.

The high fertility conditions of treatments 3 and 4 produced a rapid growth and leaf expansion during the earlier stages.

As a consequence, duration of nearly complete light interception was a week longer than that of the comparative low fertility treatments. Tollenaar and Daynard (9) suggested that the duration of complete light interception is an important factor in dry matter production under the seasonal solar irradiance at Guelph, Ontario. High fertility caused also an earlier silking (July 30) and hence an extended period of grain filling. This, along with the effect of complete

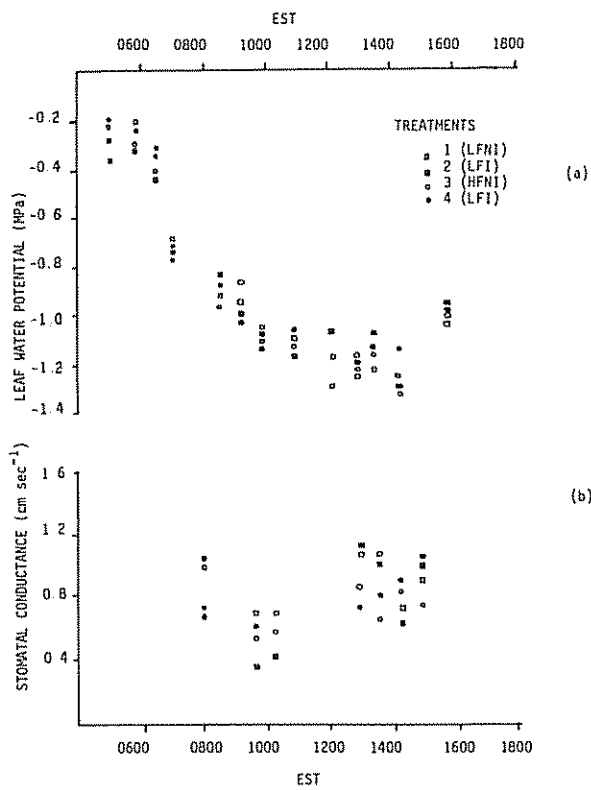


Fig. 8. Diurnal trends of leaf water potential (a) and stomatal conductance (b) of maize July 8.

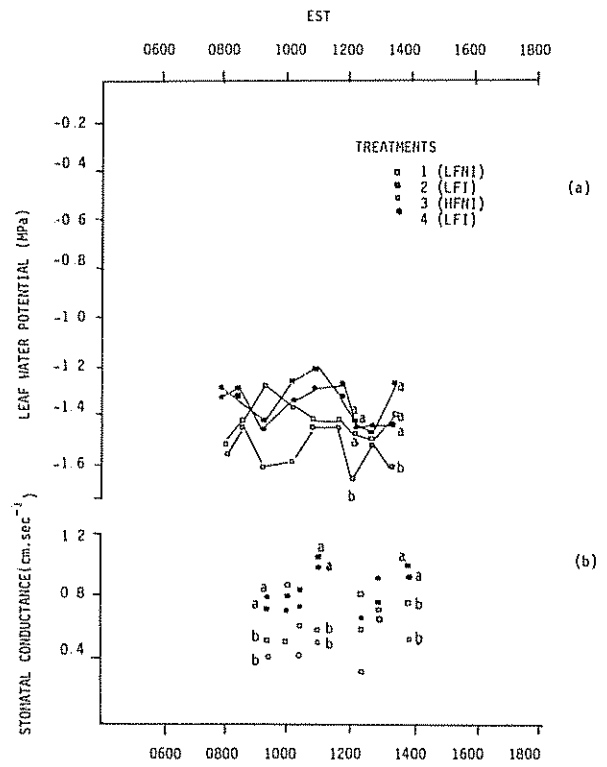


Fig. 9. Diurnal trends of leaf water potential (a) and stomatal conductance (b) of maize July 15. Guelph Research Station.

light interception, may largely explain the differences in grain and dry matter production between the high and low fertility treatments. There was no effect of irrigation on silking date

During anthesis, available water was increased due to the high precipitation between July 23 and August 7, so no water stress was observed in this period. Finally, the stomatal conductances, which are inherently linked to plant biomass production, were significantly lower in the non-irrigated treatments only when the water potential in the upper 30 cm of soil was at or below -1.0 MPa. Despite differences in soil water content during the vegetative stage, the irrigation imposed on treatments 2 and 4 did not cause significant differences in grain yield and dry matter production when compared to treatments 1 and 3. This means that, under the existing atmospheric conditions at Guelph Research Station, plants could withstand the stress imposed by the soil water conditions without decreasing dry matter production or grain yield.

LITERATURE CITED

1. ACEVEDO, E.; HSIAO, T.C.; HENDERSON, D.W. 1971. Immediate and subsequent growth responses of maize leaves to changes in water status. *Plant Physiology* (EE. UU.) 48:631-636.
2. BOYER, J.S. 1970. Leaf enlargement and metabolic rates in corn, soybean and sunflower at various leaf water potentials. *Plant Physiology* (EE. UU) 46:233-235.
3. BOYER, J.S. 1971. Resistance to water transport in soybean, bean and sunflower. *Crop Science* (EE. UU.) 11:403-407.
4. HSIAO, T.C. 1973. Plant response to water stress. *Annual Review of Plant Physiology* (EE. UU) 24:519-570.
5. RASCHKE, K. 1975. Stomatal action. *Annual Review of Plant Physiology* (EE. UU.) 26:309-340.
6. SACHS, R.M. 1977. Nutrient diversion: an hypothesis to explain the chemical control of flowering. *Hort-Science* (EE. UU.) 12(3):220-222.
7. SCHOLANDER, P.F.; HAMMEL, H.T.; BRADSTREET, H.D.; HEMMINGSON, E.A. 1965. Sap pressure in vascular plants. *Sciences* (EE. UU) 148:339-346.
8. STYPA, M. 1982. The relationship between corn (*Zea mays* L.) yield and root growth under field conditions. Thesis. Ontario, Canada, University of Guelph.
9. TOLLENAAR, M.; DAYNARD, R.B. 1981. Limitations to yield of maize in Southern Ontario. In *Breaking the climate soil barriers to crop yield*. Ed. by M.H., Miller; D.M. Brown; E.G. Beauchamp. Ontario, Canada, University de Guelph. p. 75-84.
10. TURNER, N.C. 1974. Stomatal behaviour and water status of maize, sorghum and tobacco under field conditions. II. At low soil water potential. *Plant Physiology* (EE. UU.) 53:360-365.
11. WATTS, W.R. 1974. Leaf extension in *Zea mays* III. field measurements of leaf extension in response to temperature and leaf water potential. *Journal of Experimental Botany* (Inglaterra) 25:1 085-1 096.

Relaciones entre Algunas Características Físicas del Suelo y el Rendimiento de Alfalfa en Parcelas Tratadas con Estiércol¹

J.Z. Castellanos*, E. Walker**

ABSTRACT

Data of 40 plots which had received manure in rates from 0 to 240 t/ha were analyzed for evaluating the relationship between soil physical properties and for predicting alfalfa yields. Determinations were made for infiltration, clay content, bulk density, oxygen diffusion rate (ODR) and penetrometer resistance and water content after irrigation. These variables were correlated among them and with cumulative alfalfa yields during 18 cuttings. A predictive yield model was obtained. Water infiltration was highly correlated with ODR after irrigation and with alfalfa yield. When water infiltration after 10 h is less than 0.3 to 0.5 cm/h, soil aeration is affected and crop yields are lowered. Since this is a soil with infiltration problems, from a practical view point, depth of soil moistening in the profile after a normal irrigation was a good indicator of soil physical quality. This condition can be easily measured by the use of a penetrometer, and was a good predictor of alfalfa yield ($R^2 = 0.57$). By the use of six variables, a multiple regression model was obtained which explained 79% of variation in dry matter production, allowing approximate prediction of alfalfa yield.

INTRODUCCION

El rendimiento de la alfalfa, como el de algunos otros cultivos, es severamente afectado por las propiedades físicas del suelo. Sin embargo, existen pocos informes en los que se haya evaluado el efecto del medio físico del suelo sobre el desarrollo del cultivo. El conocimiento de este efecto es importante para predecir oportunamente el comportamiento del cultivo y por ende, planear más adecuadamente el manejo del terreno.

Los objetivos del presente trabajo fueron: evaluar la interrelación existente entre varias propiedades

¹ Recibido para publicación el 12 de marzo de 1987.

* Investigador Titular de Suelos del Campo Agrícola Experimental La Laguna. Apartado Postal 112. Celaya, Gto. México.

** Investigador de Estadística del Campo Agrícola Experimental La Laguna. CIAN-INIFAP. Actualmente, Profesor Asistente de la Universidad de Tennessee, Knoxville, EE.UU.

COMPENDIO

Con el fin de evaluar la interrelación entre algunas propiedades del suelo y de predecir el rendimiento de alfalfa en función de dichas características, se analizó la información de 40 parcelas que habían recibido diferentes dosis de estiércol. En cada parcela se tomaron datos de infiltración, contenido de arcilla, resistencia del suelo después del riego, densidad aparente, velocidad de difusión de oxígeno (VDO) y contenido de humedad después del riego. Estas variables fueron correlacionadas entre sí y con el rendimiento de materia seca de alfalfa de 18 cortes y se obtuvo un modelo de predicción. La conductividad hidráulica del suelo estuvo altamente correlacionada con la VDO después del riego y el rendimiento de alfalfa. Valores de infiltración básica menores de 0.3 – 0.5 cm/h afectaron la aireación del suelo y redujeron el rendimiento de alfalfa. Debido a que este es un suelo con problemas de infiltración, desde el punto de vista práctico la profundidad de humedecimiento del perfil, después de un riego normal, resultó un buen indicador de la calidad del medio ambiente físico del suelo. Esta condición pudo medirse fácilmente mediante el uso de un penetrometro y resultó ser un buen predictor del rendimiento de alfalfa ($R^2 = 0.57$). Mediante el uso de 6 variables se obtuvo un modelo de regresión lineal múltiple para predecir el rendimiento de alfalfa con el cual se explicó el 79% de la variación en la producción de materia seca total.

físicas y químicas del suelo y el rendimiento de alfalfa, así como también obtener modelos de predicción del rendimiento en función de una serie de características del suelo.

REVISION DE LITERATURA

La matriz del suelo consiste primordialmente de partículas minerales de varios tamaños, formas y compuestos mineralógicos, así como de un pequeño porcentaje de materia orgánica que recubre estos minerales. El contenido y arreglo de estas partículas y compuestos constituyen la estructura física dentro de la cual ocurren una variedad de interacciones químicas, físicas y biológicas (13).

La estructura del suelo afecta varios procesos físicos como son: conducción vertical de agua, conducción de gases y deformación del suelo (22). Estos procesos afectan el desarrollo de la raíz y consecuentemente, el rendimiento del cultivo.

La estabilidad estructural del suelo es afectada por la textura, tipo de arcilla, agentes cementantes y nivel de materia orgánica del suelo. Meek *et al.* (16) encontraron una relación muy estrecha entre contenido de materia orgánica y conductividad hidráulica del suelo. Similares resultados fueron encontrados por Mathers y Stewart (15) en parcelas tratadas con estiércol.

La velocidad de infiltración del agua es una variable muy importante pues, cuando se reduce por debajo de un valor crítico, puede afectar la aireación del suelo y en determinadas circunstancias determina el manejo del agua que debe recibir el cultivo para no enfrentar problemas de aireación (5). Sin embargo, esta variable es muy dinámica y es afectada por muchos factores tales como contenido de humedad, compactación, estabilidad estructural de la superficie del suelo, textura y contenido de sodio intercambiable (8).

Los problemas de aireación del suelo ocurren durante los días posteriores al riego. La mayoría de los cultivos son afectados al reducirse la velocidad de difusión de oxígeno en el suelo. Stolzy y Letey (21) encontraron un valor crítico de $20 \text{ a } 30 \text{ g O}_2 \times 10^{-8} \text{ cm}^{-2} \text{ min}^{-1}$, dependiendo del cultivo y del estado de desarrollo del mismo.

La relación entre contenido de materia orgánica y densidad aparente ha sido ampliamente documentada por la literatura (1, 7, 15, 20). Con relación a la compactación del suelo se ha observado que, cuando la resistencia del suelo excede de 20 kg/cm^2 medida a capacidad de campo, el desarrollo radicular se ve afectado (10). Sin embargo, esta variable es muy sensible a cambios ligeros en el contenido de humedad del suelo (23). Por tal razón, el uso generalizado de este dato no es recomendable. Hopkins y Patrick (12) investigaron la relación entre compactación del suelo, aireación y crecimiento radicular, encontrando que, a bajos niveles de compactación, el crecimiento radicular aumenta con la concentración de oxígeno, mientras que a altos niveles de compactación el crecimiento radicular apenas era afectado al incrementarse la aireación del suelo, posiblemente debido a que el crecimiento estaba controlado mayoritariamente por la resistencia del suelo.

Las variables antes mencionadas arriba afectan, en mayor o menor grado, el crecimiento de la raíz. Igualmente se ha establecido claramente que existe una estrecha relación entre densidad de raíz y rendimiento del cultivo (10, 11, 19).

MATERIAL Y METODOS

Los datos del presente trabajo fueron obtenidos de 40 parcelas tratadas con estiércol en un suelo arcilloso, calcáreo y de lenta infiltración, con un contenido inicial de 1.15% de materia orgánica, pH de 7.6 y sin problemas de sodio intercambiable. El trabajo se estableció en la parte norte centro de México cuyo clima es desértico, con una precipitación media anual de 234 mm y una temperatura media de 21°C . En este experimento se aplicó, en octubre de 1981, estiércol bovino en las dosis de 30, 60, 120 y 240 t/ha, incluyendo un testigo sin estiércol y un tratamiento con nitrógeno; se aplicó también una dosis constante de $240 \text{ kg P}_2\text{O}_5/\text{ha}$ para igualar todos los tratamientos en lo que respecta a este nutrimento. El experimento se sembró en noviembre del mismo año con alfalfa variedad NK-819, cuya semilla fue inoculada con *Rhizobium melliloti*. El cultivo recibió cuatro riegos durante el establecimiento y en lo sucesivo dos riegos por corte durante el verano y un riego por corte durante el otoño e invierno. En cada riego se aplicaron 14 cm de lámina y al cabo de 24 horas se evacuaba el agua que no se había infiltrado. Se dieron 18 cortes entre marzo 24 de 1982 y marzo 12 de 1984. Un tratamiento con nitrógeno mostró la ausencia de respuesta a este nutrimento, por lo que fue descartado el efecto del estiércol desde el punto de vista de la suplementación de nitrógeno o fósforo al suelo. Los datos de rendimiento por tratamientos se presentan en otro informe (6).

Durante el desarrollo del experimento se tomaron datos de velocidad de Difusión de Oxígeno (VDO), durante ocho ocasiones, desde junio de 1982 hasta agosto de 1983. Estos datos se tomaron en tratamientos seleccionados a 10 cm de profundidad, durante el 2°, 3° y 4° días después del riego, mediante la técnica de los microelectrodos de platino (14).

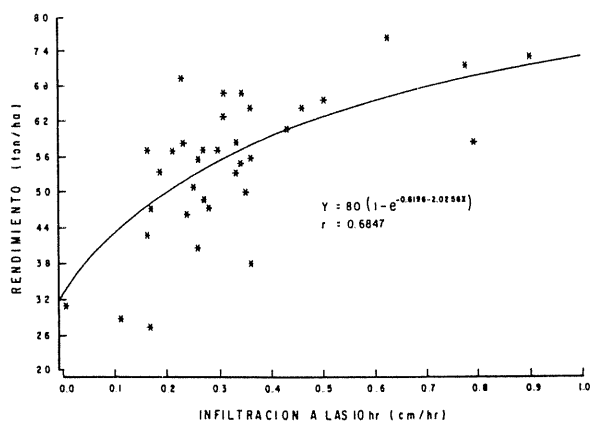


Fig. 1. Relación entre la velocidad de infiltración a las 10 horas y el rendimiento de materia seca de Alfalfa.

En junio de 1982, se tomaron datos de infiltración mediante la técnica de la microcuencia (2) Estos valores se ajustaron mediante el modelo $I = Kt^n$ en todas las parcelas y cuyos valores se calcularon para $t = 1$ h y $t = 10$ h

Después del riego de noviembre de 1983 y después de evacuar el agua no infiltrada en las parcelas, se realizó una prueba de penetrabilidad mediante el penetrógrafo descrito por Carter y Tavernetti (4). En cada parcela se determinó la profundidad del suelo con resistencia menor de 70 kg/cm^2 , lo cual se usó como un indicador de la profundidad de penetración del agua en el perfil. En febrero de 1984 se determinó densidad aparente en tratamientos seleccionados, usando el método de la barrena para muestras inalteradas descrito por Blake (3)

Al final del experimento se tomaron 12 muestras por parcela para obtener una muestra compuesta para cada estrato de suelo. Las muestras fueron secadas al aire y en ellas se analizó materia orgánica por el método de Walkley y Black (25) y textura por el método de hidrómetro (9)

En el presente estudio se aprovechó la variación en las propiedades físicas y químicas del suelo provocada por el estiércol y la variabilidad natural entre las parcelas, para evaluar las interrelaciones antes planteadas. La lista de variables que se incluyó en el análisis se presenta en el Cuadro 1

Con las variables del Cuadro 1 se obtuvo la matriz de correlaciones. Por otro lado, con el fin de obtener

Cuadro 1. Lista de variables incluidas en el estudio.

Variable	Unidades	Rango Estudiado
1. Materia Orgánica 0-30 cm	%	1.00 - 2.25
2. Infiltración 1 h	$\text{cm} \cdot \text{h}^{-1}$	0.52 - 3.13
3. Infiltración 10 h	$\text{cm} \cdot \text{h}^{-1}$	0.11 - 0.87
4. Arcilla 0-60 cm	%	37 - 52
5. Profundidad con Resist > 70 kg/cm^2	cm	30 - 90
6. Densidad Aparente	$\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$	1.18 - 1.35
7. VDO (2 días desp. riego)	$\text{g} \times 10^{-8}$ $\text{cm}^{-2} \text{ min}^{-1}$	15 - 42
8. VDO (4 días desp. riego)	$\text{g} \times 10^{-8}$ $\text{cm}^{-2} \text{ min}^{-1}$	28 - 72
9. Contenido humedad 0-120 cm*	%base peso	12 - 25
10. Rendimiento total forraje seco	$\text{ton} \cdot \text{ha}^{-1}$	26.5 - 75.7

* Después de un riego de 14 cm en agosto 24 de 1982 y evacuada el agua no infiltrada 24 horas después.

un modelo de predicción para rendimiento (variable dependiente), se estudió las combinaciones de seis variables independientes: Materia Orgánica (MO), Infiltración a 1 h (I 1), Infiltración a 10 h (I 10), Contenido de Arcilla 0-60 cm (AR), Profundidad con Resistencia < 70 kg/cm^2 (R 70) y contenido de humedad en el perfil después de un riego (Pw). Mediante el uso de estas variables se pretendió seleccionar el o los modelos entre aquéllos que sobresalieran con base a su ajuste y a su poder predictivo

RESULTADOS Y DISCUSION

En el Cuadro 2 se presenta la matriz de correlaciones para las 10 variables estudiadas. El contenido de materia orgánica fue significativamente correlacionado con la infiltración inicial y correlacionado en forma altamente significativa con la densidad aparente. Unger (24) encontró una correlación similar, con una reducción en la densidad aparente de 0.15 g/cm^3 por cada incremento unitario en el porcentaje de materia orgánica del suelo y cuya cifra resultó similar en este estudio. La materia orgánica incorporada a través del estiércol incrementó la estabilidad estructural del suelo y consecuentemente, la capacidad de éste para captar humedad en un tiempo determinado. Meek *et al* (16) encontraron también una relación estrecha entre el contenido de materia orgánica y la conductividad hidráulica del mismo en parcelas tratadas con estiércol.

Una posible explicación de la baja correlación entre contenido de materia orgánica y el resto de las variables estudiadas es que el ámbito explorado de la primera fue muy bajo en comparación con los datos obtenidos en otros estudios.

La velocidad de infiltración es una variable muy ligada a las condiciones de aireación del suelo después del riego, lo que puede afectar drásticamente el rendimiento del cultivo. Además, dado el problema de intercambio de gases en suelos de textura pesada, la lámina de agua potencialmente almacenable en el perfil del suelo se reduce significativamente ya que se requiere un tiempo muy largo para aplicar la lámina necesaria que resulta prohibitivo para el cultivo, habiendo necesidad de evacuar el excedente de agua o tener que aplicar láminas pequeñas para así evitar daños al cultivo. De ahí la estrecha asociación entre infiltración, VDO, Pw en el perfil y rendimiento del cultivo.

En la Fig. 1 se muestra la relación existente entre la velocidad de infiltración a las 10 h y el rendimiento de alfalfa. De acuerdo con estos datos, cuando la infiltración a dicho tiempo es menor de 0.5 cm/h el rendimiento del cultivo de alfalfa disminuye

En la Fig. 2 se presenta la relación entre VDO dos días después del riego y el rendimiento. No obstante que el número de datos es bajo, se puede considerar que, cuando la VDO es menor de 20 a 30 g de O₂ x 10⁻⁸ cm⁻² min⁻¹ el rendimiento de alfalfa tiende a bajar. Este valor es diferente para cada cultivo; así por ejemplo, Stolzy y Letey (21) obtuvieron un nivel crítico de 15 g x 10⁻⁸ cm⁻² min⁻¹ para el cultivo de cebada y 40 g x 10⁻⁸ min⁻¹ para el cultivo de tomate.

Un suelo con problemas de infiltración reduce su capacidad para captar agua en el perfil en un tiempo determinado y consecuentemente, la cantidad de agua disponible para el cultivo también se reduce, además de afectarse la aireación del suelo después del riego. Bajo condiciones de escasas variación en la densidad

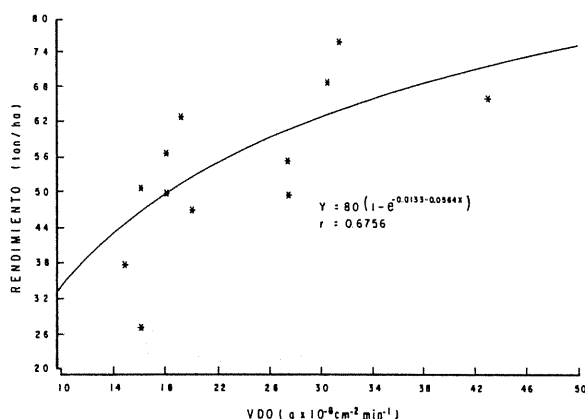


Fig. 2. Relación entre la velocidad de difusión de oxígeno dos días después del riego y el rendimiento de materia seca de Alfalfa.

aparente, la resistencia del suelo está principalmente influenciada por el contenido de humedad del mismo (17, 23). Por lo que, para este suelo, la prueba de penetrabilidad resultó ser un buen indicador del avance del frente de humedad en el perfil del suelo. Tal como se aprecia en la Fig. 3, la parcela 35 (testigo sin estiércol) presentó siempre problemas severos de infiltración que limitaron la penetración del agua a unos 30 cm de profundidad y el resto del agua hubo de ser evacuado 24 horas después. Por otro lado, en la parcela 1 que recibió 120 t de estiércol/ha la penetración del agua rebasó los 90 cm de profundidad. De acuerdo a mediciones hechas en el terreno se observó que, cuando la resistencia del suelo fue mayor de 70 kg/cm², el contenido de humedad del suelo estaba por debajo del punto de marchitez permanente. Por lo tanto, se consideró que el frente de humedecimiento llegó hasta donde el suelo presentó una resistencia menor de 70 kg/cm². El rendimiento de forraje seco total de las mencionadas parcelas fue respectivamente de 26.5 y 75.7 t/ha para el período de 18 cortes. La relación entre resistencia del suelo y rendimiento para todas las parcelas se muestra en la Fig. 4. Se puede observar la estrecha relación entre estas dos variables con un coeficiente de correlación de 0.81. De hecho, ésta fue la variable que estuvo más asociada con el rendimiento de alfalfa. Cuando la profundidad del suelo con resistencia menor de 70 kg/cm² está por debajo de los 70 cm, después de un riego normal, el rendimiento de alfalfa tiende a reducirse. Estos 70 cm se pueden también considerar como el avance del frente de humedecimiento. Desde el punto de vista práctico esta determinación es fácil de realizar con equipo sencillo, pues, para tal fin, se puede usar también un penetrómetro

Cuadro 2. Matriz de correlaciones de las 10 variables evaluadas en el experimento.

Variable dependiente / Variable Independiente	Materia Orgánica	Infiltración 1 h	Infiltración 10 h	Arcilla 0-60 cm	Prof. con re Resist. menor de 70 kg/cm ²	Densidad Aparente	VDO 2 días desp. riego	VDO 4 días desp. riego	Pw 0-120 cm	Rendimiento
Mat. Orgánica	1.00	0.36*	0.29	0.20	0.12	-0.70**	0.39	0.31	0.52*#	0.42**
Infiltración, 1 h		1.00	0.90**	-0.26	0.61**	-0.25	0.35	0.64*	0.49**	0.64**
Infiltración, 10 h			1.00	-0.31*	0.71**	-0.22	0.34	0.46	0.50**	0.62**
Arcilla 0-60 cm				1.00	-0.54**	-0.54	-0.56*	-0.61*	-0.21	-0.53**
Prof. Resist. < 70 kg/cm ²					1.00	-0.10	0.68**	0.59*	0.50**	0.75**
Densidad Aparente						1.00	0.10	0.19	0.47	0.11
VDO, 2 días							1.00	0.73**	0.30	0.70**
VDO, 4 días								1.00	0.19	0.73**
Pw 0-120 cm									1.00	0.67**
Rendimiento										1.00

* Significativo al 5%.
** Significativo al 1%.

de impacto. Estos resultados se aplican para suelos de lenta infiltración como el estudiado en este trabajo

Existen, por ejemplo, áreas cultivadas con alfalfa en esta región del país en que por problemas de estructura del suelo, el agua no penetra más 30 ó 45 cm, aún manteniéndola sobre el suelo durante varios días. Este hecho es un indicador del problema y se puede medir mediante la sencilla técnica descrita en este trabajo.

Con el fin de predecir el rendimiento en función de todas las variables involucradas (no se consideraron las variables 6, 7 y 8 por no tener datos de todas las parcelas) se obtuvieron los coeficientes de determinación y la Cp de Mallows (18) para un total de 63 posibles modelos. En el Cuadro 3 se presentan los mejores modelos seleccionados con base al número de variables

Debido a la alta correlación entre 11 e 110 ($R^2 = 0.90$), se decidió eliminar los modelos donde aparecen ambas variables. Entre los restantes, los mejores modelos, con base en los valores de R^2 y Cp fueron los que incluían a las variables X_1 , X_2 , X_3 , y X_1 , X_2 , X_3 , X_4 . En los dos modelos las pruebas de t (parciales) fueron significativas para cada coeficiente al 5%. Sin embargo, para usar el segundo modelo se requiere medir la infiltración inicial, variable que resulta afectada por una serie de condiciones del suelo entre las que se encuentra la humedad. El modelo que incluye tres variables resulta fácil de adoptar en la práctica y produce valores de $R^2 = 0.746$ y $C_p = 6.4$

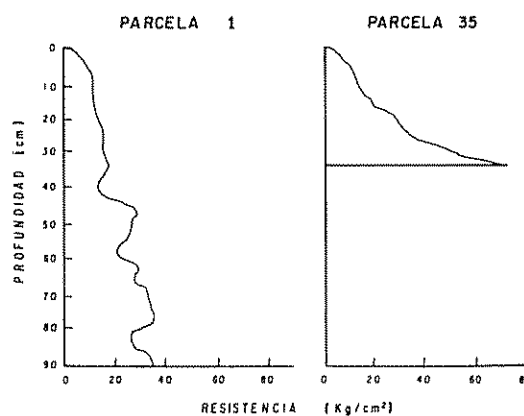


Fig. 3. Relación entre resistencia y profundidad del suelo en las parcelas uno y treinta y cinco.

CONCLUSIONES

1. La conductividad hidráulica del suelo estuvo altamente correlacionada con la VDO después del riego y el rendimiento de alfalfa. Valores de infiltración a las 10 h menores de 0.5 cm/h afectan la aireación del suelo y tienden a reducir el rendimiento de alfalfa.
2. Desde el punto de vista práctico, la penetración del frente de humedad en el perfil del suelo, después del riego normal, es un buen indicador de las condiciones físicas del suelo y es una buena forma de predecir el rendimiento mediante el uso de un penetrómetro.

Cuadro 3. Modelos de predicción del rendimiento de alfalfa de acuerdo al número de variables incluidas.

No. de variables	Modelos	R^2	Cp de Mallows*
1	$y = 80 (1 - e^{-0.3727 - 0.0261 X_2})$	0.664	-
2	$y = 7.53 + 13.72 X_1 + 0.49 X_2$	0.678	17.9
3	$y = 58.52 + 17.28 X_1 + 0.355 X_2 - 1.08 X_3$	0.746	9.2
4	$y = 59.60 + 14.24 X_1 + 0.25 X_2 - 1.02 X_3 + 4.53 X_4$	0.775	6.4
5	$y = 55.94 + 14.27 X_1 + 0.31 X_2 - 0.99 X_3 + 9.09 X_4 - 20.56 X_5$	0.785	6.3
6	$y = 51.62 + 11.58 X_1 + 0.26 X_2 - 0.99 X_3 + 8.70 X_4 - 19.52 X_5 + 0.65 X_6$	0.796	7.0

donde X_1 = Contenido de Materia Orgánica en el estrato de 0-30 cm, %

X_2 = Profundidad con resistencia menor de 70 kg/cm, cm

X_3 = Contenido de arcilla en el estrato de 0-60 cm, %

X_4 = Infiltración inicial (1 h), cm/h

X_5 = Infiltración final (10 h), cm/h

X_6 = Contenido de humedad 0-120 cm, %base peso

Y = Rendimiento total de materia seca, ton/ha

* = Montgomery y Peck (18).

3. Desde el punto de vista del número de variable, el modelo que incluye materia orgánica, profundidad con resistencia menor de 70 kg/cm^2 y contenido de arcilla resultó un buen predictor del rendimiento de alfalfa.

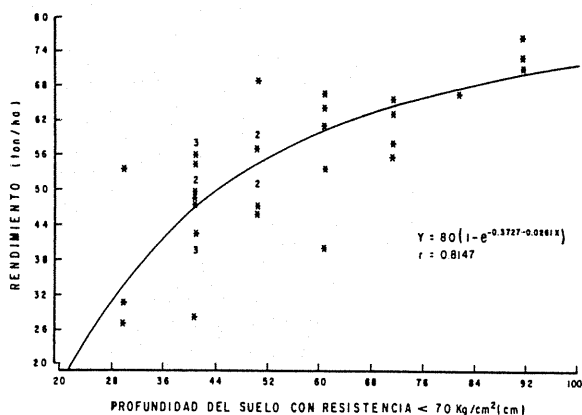


Fig. 4. Relación entre profundidad del suelo con resistencia menor de 70 kg/cm^2 después del riego y rendimiento de Alfalfa.

LITERATURA CITADA

1. BAVER, A. 1974. Influence of soil organic matter on bulk density and available water capacity of soils. North Dakota Agricultural Experimental Station Farm Research 31(5):44-52.
2. BERTRAND, A.R. 1965. Rate of water intake in the field. In Methods of soil analysis. Ed. by C.A. Black. Madison, Wisc., American Society of Agriculture Engineers. Pt. 1, p. 197-208. Monograph no. 9.
3. BLAKE, G.R. 1965. Particle density. In Methods of soil analysis. Ed. by C.A. Black. Madison, Wis., American Society of Agriculture Engineers. v. 1, pt. 1, p. 65-67, 73. Monograph no. 9.
4. CARTER, L.M.; TAVERNETTY, J.R. 1968. Influence of precision tillage and soil compaction on cotton yields. Transaction ASAE 11(1):65-67, 73.
5. CASTELLANOS, J.Z. 1985. El medio ambiente físico del suelo y su modificación mediante la aplicación de materia orgánica. Matamoros, Coah., Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo. 30 p. Serie Temas Didácticos, Publicación no. 2.
6. CASTELLANOS, J.Z.; MUÑOZ, J.A. 1985. Soil physical properties and alfalfa yields as affected by manure application to a low infiltration clayey soil. Madison, Wisc., American Society of Agriculture Engineers. p. 222-228. SP 13-85.
7. CURTIS, R.O.; POST, B.W. 1964. Estimating bulk density from organic matter content in some Vermont soils. Soil Science Society of America Proceedings 28:285-286.
8. CHANCELOR, W.J. 1977. Compaction of soils by agricultural equipment. Berkley, University of California. Bulletin no. 1 881.
9. DAY, P.R. 1965. Particle fractionation and particle size analysis. In Methods of soil analysis. Ed. by C.A. Black. Madison, Wisc. American Society of Agronomy. Part 1. Monograph no. 9. p. 545-567.
10. GRIMES, D.W.; MILLER, R.J.; WILEY, D.C. 1975. Cotton and corn root development in two field soils of different strength characteristics. Agronomy Journal 67:519-523.
11. GRIMES, D.W.; SHEESLEY, W.R.; WILEY, P.L. 1978. Alfalfa root development and shoot regrowth in compact soil of wheel traffic patterns. Agronomy Journal 70:955-958.
12. HOPKINS, R.M.; PATRICK JUNIOR, W.H. 1970. Combined effect of oxygen concentration and soil compaction on root penetration. Soil Science 108:408-413.
13. LETEY, J. 1977. Physical properties of soils In Soils for management of organic wastes and waste waters. Ed. by L.F. Elliot, F.J. Stevenson. Madison, Wisc. America Society of Agronomy. p. 101-114.
14. LETEY, J.; STOLZY, L.H. 1964. Measurements of oxygen diffusion rates with the platinum micro-electrode. I. theory and equipment. Hilgardia 35:545-554.
15. MATHERS, A.C.; STEWART, B.A. 1980. The effect of feedlot manure on soil physical and chemical properties. In Livestock Waste: A renewable resource. Amarillo, Texas. p. 159-162.

Presented at the International Symposium on Livestock Wastes (4., 1980, Amarillo, Texas).
16. MEEK, B.L.; DONOVAN, T. 1982. Long-term effects of manure on soil nitrogen, phosphorus, potassium, sodium, organic matter and water infiltration rate. Soil Science Society of America Journal 46:1 014-1 019.
17. MIRREH, H.F.; KETCHESON, J.W. 1972. Influence of soil bulk density and matric pressure on soil resistance to root penetration. Canadian Journal of Soil Science 52:477-483.
18. MONTGOMERY, D.C.; PECK, E.A. 1982. Introduction to linear regression analysis. New York, Wiley. p. 252.
19. PHILLIPS, R.E.; KIKHAM, H. 1962. Soil compaction in the field and corn growth. Agronomy Journal 54:29-34.
20. SHAYKEWICH, C.F. ZWARICH, M.A. 1968. Relationship between soil physical constants and soil physical components of some Manitoba soils. Canadian Journal of Soil Science 48:199-204.

21. STOLZY, L.H.; LEITEY, J. 1964. Measurements of oxygen diffusion rates. *Hilgardia* 35:566-576. Presented at the International Congress of Soil Science.
22. STOLZY, L.H.; LAIRD, R.J.; ACOSTA, R. 1969. Métodos para medir el ambiente físico del suelo. In *Memoria del 4 Congreso de la Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo* p. 13-33.
23. TAYLOR, J.H.; BRUCE, R.R. 1968. Effects of soil strength on root growth and crop yield in the Southern United States. New Brunswick, N.J., Transaction Books p. 803-811.
24. UNGER, P.W. 1975. Relationship between water retention, texture, density and organic matter content of west and south central Texas soils. Texas Miscellaneous Publication 1192 c 20 p.
25. WALKLEY, A.; BLACK, I.A. 1934. An examination of the Degtja-seff method for determining soil organic matter and a proposed modification of the chromic acid nitration methods. *Soil Science* 27:29-38.

Destino del Nitrógeno Ureico Aplicado a un Tropaquept Arcilloso, bajo Condiciones Simuladas de Arroz en Siembra Directa¹

C.E. de Cori*, I.S. Holt**, P.L.G. Vlek**

ABSTRACT

In Venezuela, rice is largely direct-seeded. Over 20 000 tons of N are applied, mostly as urea, to rice annually. Although fertilizer uptake efficiency in rice is known to be low, no data are available from rice-growing areas of Latin America. Incubation studies were conducted on a low-activity clay soil (Tropaquet) from Venezuela using ¹⁵N-labeled urea, to follow the fate of N applied to soil with different soil-moisture conditions representing alternative soil/water/fertilizer management options. Ammonia volatilization losses of 40%-45% within four weeks were observed when urea was top-dressed into floodwater, whether the soil was puddler or not. Denitrification losses under these circumstances were around 10%. Incorporation of the urea at the time of puddling followed by continuous flooding reduced NH₃ loss (≈ 10%), but apparently denitrification loss partly negated this gain, as reflected in a total loss of approximately 50% after eight weeks. The most conservative system was dryland rice cultivation with a total loss of less than 30% after eight weeks. The magnitude of N loss in this study points to the need for field research on the fate of applied N under the rice-growing conditions existing in Latin America.

COMPENDIO

En Venezuela, el arroz se cultiva en su mayor parte bajo el sistema de siembra directa, aplicándose anualmente más de 20 000 toneladas de N, principalmente en forma de urea. Aunque se reconoce que la eficiencia del N absorbido es baja, no se dispone de datos provenientes de las zonas cultivadas con arroz en América Latina. En este trabajo se realizaron estudios de incubación utilizando un suelo arcilloso venezolano con arcilla de baja actividad (Tropaquept) y aplicando urea marcada con ¹⁵N, a fin de estudiar la distribución del nitrógeno añadido al suelo con diferentes condiciones de humedad que representaban diferentes opciones de manejo suelo-agua-fertilizante. Cuando la urea se aplicó superficialmente en el agua de inundación, se observaron pérdidas entre 40 y 45% del N aplicado, correspondiente a volatilización de amoníaco, independientemente de si el suelo había sido o no batido, mientras que las pérdidas por desnitrificación sólo alcanzaron al 10%. La incorporación de la urea al momento del batido, seguida por inundación continua, redujo drásticamente las pérdidas de amoníaco hasta aproximadamente el 10%. Sin embargo, bajo este sistema, las pérdidas por desnitrificación aparentemente compensaron esta ganancia, tal como se refleja en la pérdida total, la cual alcanzó alrededor del 50% después de 8 semanas. El sistema que mejor conservó el nitrógeno fue aquél que representó al cultivo de secano, con una pérdida total menor al 30%, después de 8 semanas de incubación. La magnitud de la pérdida de nitrógeno en este estudio, señala la necesidad de realizar investigaciones bajo condiciones de campo, para conocer el destino del N aplicado en las diferentes condiciones bajo las cuales se cultiva el arroz en América Latina.

¹ Recibido para publicación el 20 de junio 1988.

* Profesor Agregado, Instituto de Edafología, Facultad de Agronomía, Universidad Central de Venezuela. Maracay 2105, Venezuela.

** Químico Analítico y Director de la División Agroeconómica, respectivamente, del International Fertilizer Development Center, P.O. Box 2040, Muscle Shoals, Alabama 35662, EE.UU.

INTRODUCCION

En Venezuela, el consumo de fertilizantes ha experimentado un notable incremento durante la última década. El renglón de mayor demanda ha sido el nitrógeno, cuyo consumo aumentó de 20 000 a 108 000 toneladas entre 1970 y 1980 (IFDC, 1981). Sin embargo, el aumento en los rendimientos debido a ese incremento no ha sido el esperado, debido en parte a la baja eficiencia del nitrógeno absorbido, obtenida con las prácticas tradicionales de manejo de los suelos.

Alrededor del 60% del fertilizante nitrogenado utilizado en Venezuela en 1980, fue aplicado a los cultivos de arroz, maíz y sorgo, siendo el arroz el responsable por el 20% del nitrógeno aplicado (11). Aunque en estos cultivos el nitrógeno se aplica en forma de urea, sulfato de amonio, 15-15-15 y 12-12-12, es la urea la fuente nitrogenada más importante debido principalmente a su alta concentración en nitrógeno y a que se produce en Venezuela, no solamente para consumo interno sino también para exportación.

El arroz en Venezuela se cultiva bajo el sistema de siembra directa. En la región Central se siembran unas 40 000 hectáreas sobre suelos batidos manteniéndose inundados después de la emergencia. En la región Centro-Occidental, en una área de aproximadamente 160 000 hectáreas, el arroz de secano representa alrededor del 70% de la producción total.

Las condiciones bajo las cuales se cultiva el arroz en Venezuela son comunes en muchas regiones de América Latina y de África.

Debido a la eliminación parcial de los subsidios, el aumento de los precios de los fertilizantes en Venezuela, ha despertado el interés por aumentar la eficiencia en el uso de estos insumos. En Venezuela, no se dispone de información relacionada con el uso de la urea en el cultivo del arroz. En otros países de América Latina se han hecho algunas investigaciones, pero, la mayor parte de ellas está relacionada con arroz de transplante (17).

La eficiencia de la urea absorbida en arroz de transplante, ha sido estudiada extensivamente, encontrándose que, en general, no excede del 30% (4). Esta baja eficiencia está relacionada principalmente con pérdidas debidas a volatilización de amoníaco (6, 20).

Los estudios de eficiencia en el uso del nitrógeno en arroz bajo el sistema de siembra directa son escasos. Patrick *et al.* (12) obtuvieron eficiencia de absorción menores de 25% utilizando sulfato de amonio marcado, en arroz sembrado en seco e inundado tres

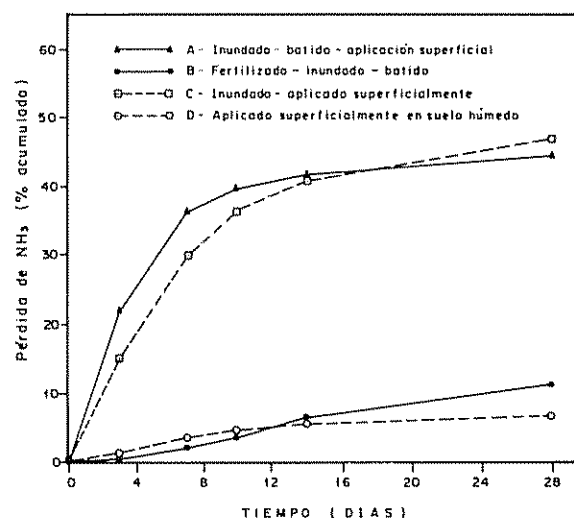


Fig. 1. Efecto del sistema de manejo suelo/fertilizante sobre la pérdida de amoníaco proveniente de la urea aplicada.

semanas después de la siembra. Sin embargo, Reddy y Patrick (15) lograron recuperaciones que variaron entre 33 y 61%. Patrick y Reddy (15) determinaron pérdidas entre 15 y 25% del nitrógeno aplicado como sulfato de amonio. Pérdidas similares fueron constatadas por Reddy y Patrick (16); cuando aplicaron, en forma superficial, urea y sulfato de amonio. Aunque todos estos experimentos fueron en siembra directa, la fertilización nitrogenada se realizó posterior a la inundación, aproximadamente tres semanas después de la siembra.

De Datta y Kerim (5) observaron poco efecto del batido sobre la recuperación aparente del fertilizante en arroz bajo siembra directa. Sin embargo, esta práctica del batido mejoró notablemente la disponibilidad del nitrógeno del suelo.

El objetivo de este estudio fue el de determinar el efecto que tiene el manejo del suelo y el agua en el balance del nitrógeno, cuando se aplica urea marcada con ¹⁵N a un suelo venezolano, bajo condiciones simuladas de los diferentes tipos de manejo del sistema suelo-agua, propios del cultivo de arroz en siembra directa.

MATERIALES Y METODOS

Este trabajo fue realizado en los Laboratorios del International Fertilizer Development Center, Muscle Shoals, Alabama, EE.UU.

El suelo utilizado en este estudio fue recolectado en la región Centro Occidental de Venezuela (Estado Cojedes) y procede de un lote donde se ha sembrado arroz durante los últimos cinco años. Corresponde a

Cuadro 1. Condiciones suelo-agua durante la preincubación e incubación de los diferentes tratamientos.

Tratamiento	Preincubación	Fertilización	Incubación
A	Inundado y batido ^a	Superficial	Inundado
B	CC - SAT ^b	Incorporado	Inundado y batido
C	Inundado	Superficial	Inundado
D	CC - SAT	Superficial	CC - SAT

a = Los suelos inundados contenían 100% de agua, resultando una lámina de 1 cm.

b = El contenido de humedad del suelo se mantuvo entre capacidad de campo (36%) y saturación (50%).

CC = Capacidad de Campo.

SAT = Saturación.

un **Tropaquept** con 52% de arcilla, 2.7% de materia orgánica, 22 me/100 g de CIC, 0.25% de N total y pH 5.5. El suelo había sido molido y tamizado a una finura de 2 mm y fue precondicionado mediante cinco ciclos sucesivos de humedecimiento y secado, quedando, al final, con 2.7% de humedad.

Se tomaron 48 submuestras de 150 g (calculados como suelo seco) y se colocaron en recipientes plásticos de 9.5 cm de diámetro interno. Se seleccionaron cuatro tratamientos, tratando de reflejar el rango de combinaciones relacionadas con el manejo del agua y del fertilizante, dando especial relevancia a la siembra directa de arroz utilizada en Venezuela y comparando el manejo del arroz de secano con el sistema de arroz inundado y batido.

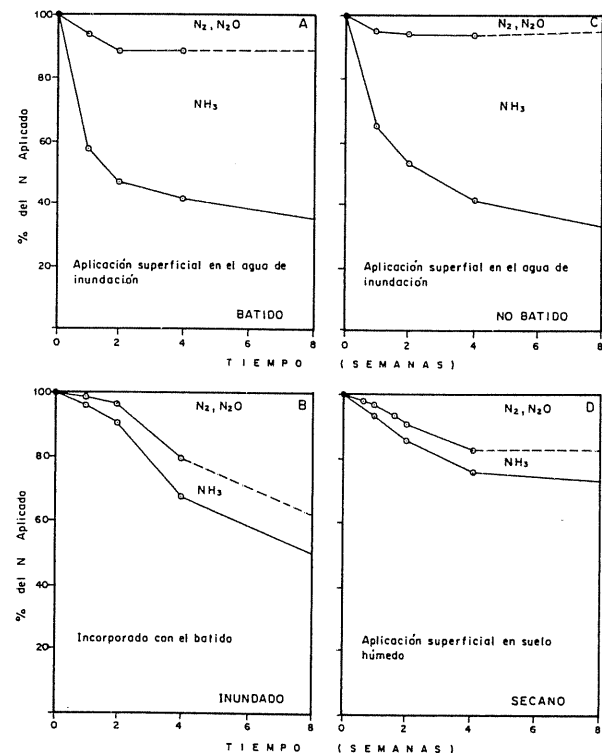
Antes de la incubación, los suelos fueron preincubados bajo diferentes contenidos de humedad. Las condiciones para la preincubación e incubación se muestran en el Cuadro 1.

Los suelos fueron preincubados por un período de 21 días; luego, se aplicó el fertilizante en forma superficial, manteniéndose así durante la incubación en los tratamientos A, C y D, mientras que en el tratamiento B el fertilizante fue mezclado con el suelo dos días después de la fertilización. La incubación se mantuvo durante 56 días.

Tanto en la preincubación como en la incubación, en los tratamientos inundados, a cada recipiente se le añadieron 150 ml de agua, lográndose de esta manera una lámina de 1 cm. El resto de los suelos se mantuvieron saturados mediante la adición de 75 ml de agua. El agua fue añadida cada dos días para compensar pérdidas por evaporación. En los tratamientos no inundados la humedad no bajó de capacidad de campo (36% p/p). En la cámara de incubación, las condiciones fueron: 30°C y bajo nivel de luz (3 $\mu\text{mol}/\text{m}^2 \cdot \text{s}$).

El suelo fue fertilizado con urea granulada (2.38 mm de diámetro) en dosis de 100 mg N/kg de suelo, requiriéndose dos gránulos/recipiente. La urea utilizada contenía 45.21% de N y estaba marcada con 15 N.

Después de la fertilización, los recipientes fueron colocados en 12 cámaras de volatilización, con circulación de aire forzado, conectadas con trampas de ácido sulfúrico 0.1 N, según modelo descrito por Vlek y Craswell (21). Cada cámara contenía cuatro recipientes, es decir, una repetición de un tratamiento para ser muestreados después de 1, 2, 4 y 8 semanas, respectivamente.



Fi. 2. Fracciones del N aplicado que permanecen en el suelo y pérdidas debidas probablemente a volatilización del amoníaco y desnitrificación a través del tiempo.

Las cámaras de volatilización fueron distribuidas al azar en la cámara de crecimiento y se le inyectó aire humedecido a una tasa de 20 litros/minuto

Las trampas de 500 ml de H_2SO_4 1N fueron reemplazadas a los 3, 7, 10, 14 y 28 días de la incubación. El ácido sulfúrico de las trampas ácidas fue analizado por destilación y titulación, seguido por análisis en espectrómetro de Masas (3)

El suelo contenido en cada recipiente (proveniente de los muestreos realizados después de 1, 2, 4 y 8 semanas de incubación), fue mezclado cuidadosamente y conservando su humedad se tomó una submuestra en la cual se determinó el N total y ^{15}N (3). En otra submuestra de 50 g, se hizo una extracción con 150 ml de KCl 2M + acetato fenil mercúrico y en el extracto se analizó el nitrógeno ureico (N-urea), nitrógeno amoniacal ($N-NH_4^+$) y nitrógeno nítrico + nítrico (N- $NO_3^- + N-NO_2^-$) (18, 19)

Además, se analizó una muestra testigo para tiempo cero, encontrándose una recuperación de 101% del ^{15}N aplicado

RESULTADOS Y DISCUSION

La volatilización del amoníaco en los cuatro sistemas de manejo se presenta en la Fig 1, en la cual se aprecia una considerable pérdida de amoníaco (hasta 45% del N aplicado) en los suelos donde el fertilizante se aplica en la superficie, independiente de si los suelos habían sido previamente inundados (tratamiento A) o si se inundaron y batieron durante la preincubación. Es interesante observar que la mayor parte del amoníaco se perdió durante las dos primeras semanas. Por otra parte, en aquellos suelos a los cuales se aplicó urea al suelo que había permanecido entre capacidad

de campo y saturación, las pérdidas de amoníaco sólo alcanzaron al 10%, en tanto, en los suelos en los cuales se mantuvieron esas condiciones de humedad (tratamiento D) como en aquéllos que fueron inundados después de la fertilización (tratamiento B). Estas diferencias pueden ser atribuidas a los niveles de N amoniacal en el agua de inundación que se producen después de la aplicación de la urea (20)

La recuperación del ^{15}N en el suelo y en las trampas ácidas se muestra en la Fig. 2, para los tratamientos (A-D).

Debido a que estos estudios fueron conducidos en recipientes de fondo cerrado no hubo lixiviación, por lo cual las pérdidas de ^{15}N desde el suelo se atribuyen a la volatilización de amoníaco y a la desnitrificación

Las pérdidas totales en los suelos inundados con aplicaciones superficiales de urea (tratamiento A y C) fueron rápidas y se debieron principalmente a la volatilización del amoníaco (Fig 1)

La fracción de nitrógeno no determinada, presumiblemente resultante de la desnitrificación, alcanzó un 12% (tratamiento A) y 7% (tratamiento C), no habiéndose observado pérdidas por este concepto, a partir de la segunda semana.

Después de la hidrólisis de la urea, parte del nitrógeno amoniacal permanece en la superficie (22). Las condiciones de oxidación desarrolladas en los primeros milímetros de la superficie del suelo, pueden haber inducido la nitrificación. Posteriormente, este NO_3^- se difundió al estrato de suelo donde predominan condiciones de reducción sirviendo de sustrato para desnitrificación, tal como lo señalan Reddy *et al* (15).

Cuadro 2. Diferentes formas de N inorgánico (mg N/kg suelo) extraídos con KCl 2N, en diferentes etapas, durante el período de incubación.

Sistema de manejo	Tiempo (días)											
	7			14			28			56		
	Urea	NH_4^+	$NO_3^- + NO_2^-$	Urea	NH_4^+	$NO_3^- + NO_2^-$	Urea	NH_4^+	$NO_3^- + NO_2^-$	Urea	NH_4^+	$NO_3^- + NO_2^-$
	(ppm)											
A	8.2	111	0.0	0	76	0.5	0	75	0.0	0	52.0	3.8
B	5.7	123	0.0	0	112	0.5	0	92	1.0	0	56.0	6.2
C	5.4	107	0.0	0	91	0.2	0	69	0.0	0	57.0	3.5
D	4.9	116	10.1	0	90	18.5	0	76	10.0	0	8.6	150.0

a Ver Cuadro 1 para la descripción de los sistemas de manejo.

La incorporación de la urea antes de inundación y batido (tratamiento B), causó una pérdida total del 50% del N ureico aplicado. Sin embargo, con este sistema de manejo, las pérdidas de amoníaco por volatilización fueron de menor importancia, contribuyendo en un 12% al final de las ocho semanas.

En este caso, las condiciones iniciales del suelo (aeróbicas), fueron favorables para que ocurriera la nitrificación después de la aplicación e hidrólisis de la urea; sin embargo, las pérdidas por desnitrificación sólo alcanzaron un 2% del N aplicado por semana, en las dos primeras semanas. Esto se explica por los bajos niveles de $\text{NO}_2^- + \text{NO}_3^-$ encontrados en los extractos de suelo: 0 ppm en la primera y 0.5 ppm en la segunda semana (Cuadro 2). La tasa inicial de desnitrificación aumentó después de la fase inicial de retardo de dos semanas y los niveles de $\text{NO}_3^- + \text{NO}_2^-$ permanecieron casi constantes hasta la cuarta semana. Estos resultados coinciden con los de Reddy *et al.* (15), quienes encontraron una fase inicial de retardo de 10 días en un sistema de manejo similar.

Con relación al tratamiento D, el cual posee condiciones que se aproximan al sistema de siembra directa (en el cual se evita la inundación durante todo el ciclo, aunque los suelos permanecen saturados), se observa que las pérdidas de amoníaco sólo alcanzaron a 10% del N aplicado. Pérdidas por volatilización de esta magnitud coinciden con las encontradas por Bouwmeester *et al.* (2) en estudios hechos con túneles de viento y en los cuales la aplicación de urea fue seguida por frecuentes lluvias ligeras.

Las pérdidas por desnitrificación fueron estimadas en 19% hasta la cuarta semana, cuando se estabilizaron (Fig. 2D). La nitrificación ocurrió en forma lenta durante las primeras cuatro semanas, pero, a partir de allí, se aceleraron (Cuadro 2). Aparentemente, la suplencia del sustrato para la desnitrificación fue adecuada durante todo el experimento, ocurriendo paralelamente con la nitrificación durante el primer mes, debido, posiblemente, a la presencia de microporos con condiciones reducidas, según lo explican Flühler *et al.* (8).

CONCLUSIONES

De los cuatro sistemas de manejo agua/fertilizante más utilizados por los agricultores en América Latina para el cultivo del arroz en siembra directa, los tres primeros sistemas que involucran inundación conducen a pérdidas considerables.

Si los agricultores preparan el terreno mediante el batido para evitar la percolación (tratamiento A) y

aplican la urea superficialmente sobre el terreno inundado (después del establecimiento de las semillas), probablemente ocurrirán pérdidas considerables de amoníaco las cuales alcanzarán hasta el 50%.

De acuerdo con trabajos previos conducidos por el IFDC en Alabama, EE.UU. y en otras partes del mundo, estas pérdidas pueden reducirse mediante la incorporación de la urea (20), práctica comúnmente recomendada para el arroz de transplante.

Donde no se practica el batido, bien porque no hay pérdidas por percolación o debido a la carencia de implementos para realizarlo (tratamiento C), las pérdidas de amoníaco son similares en magnitud a las pérdidas con el tratamiento A. En ambos sistemas, las pérdidas por desnitrificación son reducidas (10%).

Si los agricultores incorporan la urea durante la preparación del terreno y siembran luego en suelo batido (tratamiento B), se reducen las pérdidas de amoníaco, aunque las pérdidas debido a la desnitrificación pueden compensar en gran proporción la ganancia anterior.

Desde el punto de vista de la pérdida de nitrógeno, el sistema de manejo más conservativo es el cultivo de secano.

En áreas en donde se cultiva el arroz de secano, la precipitación debe ser lo suficientemente confiable para asegurar el lavado de la urea en el suelo y así protegerla de la volatilización de amoníaco (2). Por otra parte, la limitada anaerobiosis puede restringir las pérdidas de N_2 y N_2O . Lamentablemente, este sistema de manejo es el que produce los rendimientos más bajos.

Es conveniente señalar que los estudios que se describen en este artículo, no incluyen plantas, es decir, no hubo consumo del N aplicado. Con mucha probabilidad, este método conduce a una sobreestimación de la magnitud de las pérdidas de nitrógeno, especialmente las debidas a la desnitrificación (7).

Los resultados obtenidos parecen justificar futuras investigaciones para diseñar un sistema de manejo agua-fertilizante, para el arroz de siembra directa, con una mejor conservación del N aplicado. Algunas de las opciones que podrían ser exploradas son las siguientes:

1. Colocación profunda de la urea en bandas inmediatamente antes de inundar y sembrar.
2. Completa incorporación de la urea en suelo batido antes de la siembra.

- 3 Incorporación profunda de la urea en suelo batido antes de la siembra.
- 4 Incorporación en la urea de un inhibidor de la nitrificación para el sistema B.

- 5 Incorporación de un inhibidor de la ureasa, para los sistemas A y C.

En relación con las dos últimas porciones, los inhibidores deberán probarse para determinar si su incorporación, como aditivos de los fertilizantes, resulta económica.

LITERATURA CITADA

1. AOMINE, S. 1979. Movement of ammonium in paddy soils in Taiwan. *Soil Science and Plant Nutrition* 24:571-580.
2. BOUWMEESTER, R.J.B.; VLEK, P.L.G.; STUMPE, J.M. 1984. Effect of environmental factors on ammonia volatilization from a urea fertilized soil. *Soil Science Society of America Journal* 49:376-381.
3. BURESH, J.J.; AUSTIN, E.R.; CRASWELL, E.T. 1982. Analytical methods in ¹⁵N research. *Fert. Res.* 3:37-62.
4. CRASWELL, E.T.; VLEK, P.L.G. 1983. Fate of fertilizer nitrogen applied to wetland rice. In *Gaseous loss of nitrogen from plant-soil systems. Developments in plant and soil sciences*. Ed. by J.R. Freney, J.R. Simpson. The Hague, Netherlands Martinus Nyhoff/Dr. W. Junk.
5. DE DATTA, S.K.; KERIM, M.S.A.A. 1974. Water and nitrogen economy of rainfed rice as affected by soil puddling. *Soil Science Society of America Proceedings* 38:515-518.
6. FILLERY, I.R.P.; SIMPSON, J.R.; DE DATA, S.K. 1984. Influence of field environment and fertilizer management on ammonia loss from flooded rice. *Soil Science Society of America Journal* 48:914-920.
7. FILLERY, I.R.P.; VLEK, P.L.G. 1982. The significance of denitrification of applied nitrogen in fallow and cropped rice soils under different flooding regimes. *Plant and Soil* 65:153-169.
8. FLUHLER, H.; STOLZY, L.H.; ARDAKANI, M.S. 1976. A statistical approach to define soil aeration in respect to denitrification. *Soil Science* 122:115-123.
9. GREENWOOD, D.J. 1963. Nitrogen transformations and the distribution of oxygen in soil. *Chemistry and Industry* 799-802.
10. INTERNATIONAL FERTILIZER DEVELOPMENT CENTER. 1981. Venezuela fertilizer supply strategy, 1981-1990. Muscle Shoals, Alabama. v. 3.
11. PALMAVEN. 1982. Los fertilizantes en Venezuela. Uso y manejo de fertilizantes en función de su máxima eficiencia. Taller de Trabajo. Sociedad Venezolana de la Ciencia del Suelo.
12. PATRICK JUNIOR, W.H.; DELAUNE, R.D.; PETERSON, F.J. 1974. Nitrogen utilization by rice using ¹⁵N-depleted ammonium sulfate. *Agronomy Journal* 66:819-820.
13. PATRICK JUNIOR, W.H.; REDDY, K.R. 1976. Fate of fertilizer nitrogen in a flooded rice soil. *Soil Science Society of American Journal* 40:678-681.
14. REDDY, K.R.; PATRICK, W.H.; PHILLIPS, R.E. 1976. Ammonium diffusion as a factor in nitrogen loss from flooded soils. *Soil Science Society of American Journal* 40:528-533.
15. REDDY, K.R.; PATRICK JUNIOR, W.H. 1976. Yield and nitrogen utilization by rice as affected by method and time of application of labelled nitrogen. *Agronomy Journal* 68:965-969.
16. REDDY, K.R.; PATRICK JUNIOR, W.H. 1978. Utilization of labelled urea and ammonium sulfate by lowland rice. *Agronomy Journal* 70:465-467.
17. SANCHEZ, P.A.; GAVIDIA, A.O.; RAMIREZ, G.E.; VERGARA, R.; MINGUILLO, F. 1973. Performance of sulfur-coated urea under intermittently flooded rice culture in Peru. *Soil Science Society of America Proceedings* 37:789-792.
18. TECHNICON. 1974. Urea nitrogen Technicon method no. 40001 FD4. New York. Technicon, Tarrytown.
19. TECHNICON. 1973. Ammonia in water and waste water. Technicon Industrial method no. 98-70W. New York. Technicon, Tarrytown.
20. VLEK, P.L.G.; CRASWELL, E.T. 1981. Ammonia volatilization from flooded soils. *Fertilization Research* 2:247-259.
21. VLEK, P.L.G.; CRASWELL, E.T. 1979. Effect of nitrogen source and management on ammonia volatilization losses from flooded rice-soil systems. *Soil Science Society of American Journal* 43:352-358.
22. VLEK, P.L.G.; STUMPE, J.M.; BYRNES, B.H. 1980. Urease activity and inhibition in flooded soil systems. *Fertilization Research* 1:191-202.

Reducción de la Capacidad Vectora de *Sogatodes oryzae* (Hom.: Delphacidae) al Virus de la Hoja Blanca del Arroz (*Oryza sativa*)¹

M E Gaviria*, C Martínez**, R González***

ABSTRACT

In order to determine the progressive reduction of vectorial capacity of *Sogatodes oryzae* to white leaf rice virus and other biological aspects concerning the vector and the host plant, an experiment was established using a vectorial colony with a transmission capacity estimated between 60 and 70% in eight consecutive generations. Through them, the insect vectorial capacity was reduced lineally in accordance with the equation $\Psi = 7.49x + 67.05$. The virus incubation period inside the plant changed considerably, but the most frequent values were present between six and nine days (66.46% of the plants). The number of nymphs used in the experiment, as well as the number of female vectors, was larger than the number of males through the eight generations. The vector's longevity varied between 17.8 and 37.2 days, being higher, in certain cases, in males than in females.

COMPENDIO

Para determinar la reducción progresiva de la capacidad vectora del áfido *Sogatodes oryzae* al virus de la hoja blanca del arroz y estudiar otros aspectos biológicos relativos al vector y a la planta, se hizo una investigación utilizando una colonia vectora con una capacidad de transmisión estimada entre 60 a 70%, durante ocho generaciones sucesivas del insecto. A lo largo de estas generaciones, la capacidad vectora del insecto se redujo linealmente siguiendo la ecuación $\Psi = 7.49x + 67.05$. El período de incubación del virus en la planta varió considerablemente pero los valores más frecuentes se presentaron entre los 6 y 9 días (66.46%) de las plantas. El número de ninfas utilizadas en el experimento, así como el número de hembras vectoras fue siempre mayor que el de los machos, durante las ocho generaciones. La longevidad de los vectores varió entre 17.8 y 37.2 días siendo, en algunos casos, mayor en los machos que en las hembras.

INTRODUCCION

El virus de la hoja blanca del arroz (VHB), el cual es transmitido por el insecto chupador *S. oryzae*, es una de las enfermedades más perjudiciales que atacan a este cereal en el Continente Americano, no sólo por su incidencia en los rendimientos sino por lo difícil de su combate

Los síntomas de la enfermedad en la planta se observan en las hojas que emergen después de la inoculación del virus e incluyen bandas blancas, moteado clorótico o amarillamiento; las hojas también pueden presentar una variación dando la apariencia de un mosaico típico que, posteriormente, al hacerse más numerosas, se fusionan formando franjas de color amarillo pálido a lo largo de la hoja (7).

Los daños causados a la planta de arroz son múltiples y se pueden clasificar en mecánicos, fisiológicos y

causados por la inoculación del agente del virus de la hoja blanca. Este último se manifiesta posteriormente en reducción del macollamiento y en altura de la planta, vaneamiento y decoloración de las espiguillas.

Aunque en Colombia hasta hoy, la virosis no ha causado pérdidas como las que han ocurrido en Cuba y Venezuela, es cierto que la hoja blanca es una amenaza seria para la industria arrocera de Colombia (12).

El virus puede ser adquirido y transmitido por ambos sexos en estado ninfal, como adultos y trasovariamente (85-90% de los huevos) a las progenies sucesivas, o por machos a través del esperma (4)

La eficiencia de transmisión del agente causal de la hoja blanca (ACHB) por la población de campo de *S. oryzae* es bastante baja. Acuña *et al.* (1) registraron un 7 a 12% de insectos vectores, mientras que Gálvez *et al.* (6) encontraron de 10 a 15%

Esta eficiencia está controlada genéticamente siendo posible desarrollar una colonia con un 70 a 95% de transmisión por cruzamientos selectivos (11)

No todos los individuos de *S. oryzae* están igualmente capacitados para transmitir la virosis de la hoja

¹ Recibido para publicación el 12 de julio de 1987.

* Bióloga, Universidad del Valle Cali, Colombia

** Fitomejorador, CIAT, Apartado Aéreo 6713. Cali, Colombia

*** Profesor Asociado, Departamento de Biología, Universidad del Valle. Cali, Colombia.

blanca aún cuando, previamente, se alimenten sobre la planta enferma; parece que el factor decisivo para adquirir la capacidad como vector es una condición de permeabilidad de ciertas membranas del tracto digestivo del insecto al agente de la virosis. Una vez adquirida esta capacidad se hace viable a través del huevo, a la ninfa e insecto adulto. En una población de *S. oryzicola* se encuentran: individuos que son incapaces de transmitir el virus, vectores potenciales y vectores activos.

La virosis de la hoja blanca dispone de un agente capaz de multiplicarse y mantenerse viable e infectivo en el insecto vector durante toda su vida. El largo período de incubación del virus en el insecto (siete a nueve días) y el paso transovárico sugieren multiplicación del virus en el insecto, indicando que el VHB pertenece al grupo de virus persistentes o propagativos (10). Los estudios indican que se trata de un patógeno circulativo y posiblemente propagativo (17, 20).

El período del virus en la planta está comprendido entre el día que se colocaron los vectores sobre la planta y el día en que aparecieron los primeros síntomas (4). Este período depende de la edad de la planta, al momento de la inoculación y varía entre cuatro y 30 días (8).

Los estudios anteriores indican la necesidad de precisar y confirmar la reducción progresiva de la capacidad de transmisión del VHB por *S. oryzicola*, lo cual constituye el objetivo específico de este trabajo.

MATERIALES Y METODOS

El trabajo se realizó en los invernaderos del programa de arroz del Centro Internacional de Agricultura Tropical, CIAT, en Palmira, Departamento del Valle, Colombia, entre los meses de enero de 1983 a febrero de 1984, a una temperatura promedio de 30°C y una humedad relativa de 77.3%.

El experimento se inició con una colonia de 300 a 400 insectos en varios estados de desarrollo y con una capacidad de transmisión estimada entre 60 a 70%; la colonia se confinó en una jaula de 56 x 56 x 116 cm la cual tenía paredes laterales de malla de nylon, paredes posterior y superior de vidrio, y dos puertas frontales para manipulación de los insectos y plantas. Los insectos se alimentaron permanentemente en plantas de diferentes edades de la variedad de arroz Bluebonnet 50, con síntomas de hoja blanca, colocadas en el interior de la jaula descrita.

Las plantas enfermas provenían de una reserva de diferentes edades que se mantuvo en una jaula auxi-

liar, de 125 x 109 x 100 cm, con paredes laterales de plástico transparente y techo de malla de nylon.

El porcentaje de transmisión de la colonia vectora, durante ocho generaciones, se determinó mediante la evaluación de 200 ninfas de cuarto a quinto instar; las ninfas se transfirieron individualmente con un aspirador bucal a 200 plántulas sanas de ocho días de edad de la variedad Bluebonnet 50 (2 plántulas por pote); las plantas e insectos se confinaron en una microjaula cilíndrica de 22 cm de largo y 2.5 cm de diámetro, cuyo extremo superior se cubrió con una malla fina de nylon sujeta con una banda de caucho, donde permanecieron hasta la muerte del adulto.

La determinación sobre el número de plantas enfermas, se hizo a partir del cuarto día después de la inoculación, mediante la observación visual directa de síntomas de VHB, hasta que las plantas completaron entre 30 y 40 días de edad; posteriormente, se cuantificó el porcentaje de transmisión con base en el número de plantas con síntomas de la enfermedad por cada generación del insecto. Se tomó como una generación el lapso transcurrido entre el estado ninfal (cuarto-quinto instar) hasta la nueva aparición de ninfas, lo cual equivale aproximadamente a 30 días.

Se determinaron otros parámetros, tales como el período de incubación del virus de la hoja blanca en la planta (se observó cada una de las plántulas y se promedió, en cada generación, destacando el período mínimo y máximo de duración). Igualmente, en cada una de las observaciones, se determinó la relación de sexos de insectos vectores y no vectores, el período de supervivencia de ninfas de cuarto-quinto instar a adulto, y además, algunas observaciones descriptivas sobre síntomas de la enfermedad.

Hubo un testigo que consistió de 200 plántulas de Bluebonnet 50, de ocho días de edad, confinadas en microjaulas pero en ausencia de insectos.

Los datos se analizaron estadísticamente, mediante regresión lineal, análisis de varianza y estadística descriptiva.

RESULTADOS Y DISCUSION

1. Capacidad vectora de la colonia de *S. oryzicola*

Los datos sobre reducción de la capacidad vectora se presentan en el Cuadro 1. El porcentaje de transmisión inicial de la colonia para la generación cero fue de 64.5% y disminuyó a 58.5% en la primera generación; el porcentaje de transmisión continuó disminuyendo hasta llegar a 8.5% en la octava generación.

Cuadro 1. Reducción de la capacidad vectora de *S. oryzae* al VHB en condiciones de invernadero.

Generación	Vectores	No vectores	% de transmisión	Reducción (%)	Promedio
0	—	—	54.5	—	—
1	117	83	58.5	6.0	—
2	105	95	52.5	6.0	—
3	94	106	47.0	5.5	5.7
4	83	117	41.5	5.5	—
5	62	138	31.0	10.5	—
6	39	161	20.0	11.0	10.0
7	21	179	10.5	9.5	—
8	17	183	8.5	2.0	—

El porcentaje de reducción fue más o menos constante en las primeras cuatro generaciones, con un valor promedio de 5.7%; sin embargo, en las tres generaciones siguientes (quinta a séptima) la reducción se incrementó aproximadamente el doble de las cuatro primeras generaciones (10.0%). Sin embargo, el valor de la reducción no es constante entre las diferentes generaciones ya que en la octava generación sólo se redujo un 2%.

El número de insectos vectores disminuye en cada generación, mientras que el número de insectos no vectores se incrementa; esta situación se mantuvo constante durante las ocho generaciones pero los cambios significativos en la relación de insectos vectores y no vectores se presentaron después de la cuarta generación.

Los resultados indican que la capacidad vectora de una colonia de *S. oryzae*, cuando se deja aparear libremente, aún teniendo una fuente infectiva, sigue un comportamiento lineal con pendiente negativa lo cual indica que la capacidad de transmisión se reduce y que la relación entre las dos variables (porcentaje de transmisión y generación) es inversamente proporcional, puesto que la eficiencia de transmisión disminuye cuando avanzan las generaciones.

Lo anterior indica que la capacidad vectora del insecto se ajusta a un modelo de "Regresión Lineal Simple", que se indica por la ecuación $Y = 7.49X + 67.05$. ($X = 1$ a 8), (intercepto $b = 67.05$), (pendiente $m = 7.49$). Los valores ajustados de "Y" y "X" indican que la desviación de los valores observados es mínima, lo que les da una buena confiabilidad (Fig. 1). El uso de la ecuación de la recta ajustada permite predecir, aproximadamente, qué sucederá con los niveles de infección de generaciones anteriores a la primera y posteriores a la octava.

La pérdida de la eficiencia de transmisión sugiere que los transmisores activos se encuentran en desventaja competitiva con los no transmisores (9); y posiblemente el insecto no está en capacidad de adquirir el virus durante la alimentación. Otra posibilidad sería que al ser la transmisión transovárica, podría disminuir o diluirse la concentración del virus de una generación a otra, o presentarse una combinación de los aspectos anteriores, lo que merece ser confirmado en otros experimentos.

2. Período de incubación del VHB en la planta

Los valores del período de incubación del VHB en la planta, después de alimentar en ellas el respectivo vector, son presentados en el Cuadro 2. Aunque el valor más frecuente fue el de siete días (26.1%), se puede observar que la mayoría de los valores obtenidos (66.46%) están entre seis y nueve días. La varia-

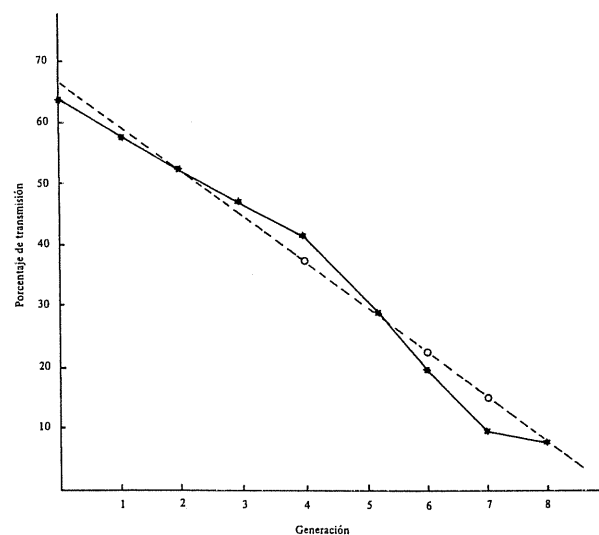


Fig. 1. Reducción de la capacidad vectora de *Sogatodes oryzae* en condiciones de invernadero.

ción tan grande que se observó durante el experimento (4-27 días) no es claramente explicable. Gálvez (11) y McMillan *et al.* (20) encontraron períodos de incubación de siete a nueve días, lo cual está parcialmente de acuerdo con lo observado por los autores de esta investigación mientras que períodos de cinco y seis días están de acuerdo con lo observado por Lobatón (15) y Martínez (18). Por otra parte, Hendrick (12) y Gálvez (9) también encontraron valores de cuatro días.

El período de incubación promedio varió significativamente entre algunas generaciones, siendo particularmente diferente el de la primera (Cuadro 3). Esto se explica, posiblemente, en el hecho de que las plantas utilizadas en esta generación eran de más edad que las otras (15 y 8 días), lo cual sugiere que, a mayor edad de la planta, mayor será el período de incubación.

3. Relación de sexos de insectos vectores y no vectores

En la evaluación de las ocho generaciones resultó un total de 1542 insectos adultos, correspondiendo el 60% a hembras y 40% a machos; la relación de sexos hembra/macho varió entre 1.1 y 2.08:1 (Cuadro 4).

Cuadro 2. Distribución de frecuencias del período de incubación del virus de la hoja blanca en plántulas de arroz.

Incubación (días)	No. de plantas	Porcentaje
4	6	1.11
5	32	5.95
6	32	13.03
7	140	26.07
8	83	15.45
9	64	11.91
10	38	7.07
11	29	5.40
12	23	4.28
13	16	2.98
14	19	3.53
15	18	3.35
16	13	2.42
17	8	1.49
18	4	0.74
19	3	0.55
20	3	0.55
21	3	0.55
22	1	0.18
23	1	0.18
	1	0.18

Cuadro 3. Períodos de incubación del virus de la hoja blanca en la planta, durante ocho generaciones.

Generación	Promedio (días)	Ambito (días)
1	12.50 a*	4-27
2	8.70 bc	4-17
3	8.09 cd	4-20
4	9.47 b	4-18
5	7.67 cd	5-12
6	8.10 cd	4-22
7	7.23 d	5-14
8	7.52 cd	5-10
Total	9.27	4-27

* Promedios seguidos por la misma letra no son diferentes significativamente al nivel 5% (Prueba de Rangos Múltiples de Duncan).

Posiblemente, el alto número de hembras en la población de las diferentes generaciones incida por ende en el alto número de hembras vectoras registradas en el transcurso de las ocho generaciones y en cada una de ellas. De 522 insectos vectores, 322 fueron hembras y 200 machos. Aunque el número de insectos vectores disminuyó a medida que transcurrieron las generaciones con el tiempo, la constante de un mayor número de hembras vectoras se mantuvo desde la primera hasta la última generación evaluada (Fig. 2).

4. Período de supervivencia de ninfas de cuarto-quinto instar, adulto

Los datos de longevidad de machos y hembras en la población de *S. oryzicola* utilizada en el experimento son presentados en el Cuadro 5. El valor promedio más bajo (18.24 días) obtenido en la segunda generación se atribuyó a alteraciones en el sistema de ventilación del invernadero. Con excepción de la primera y segunda generación en las cuales no se observa casi diferencia entre machos y hembras en cuanto a su longevidad; en el resto de las generaciones; los machos fueron más longevos que las hembras. Sin embargo, esta diferencia tampoco es estadísticamente significativa. Estos resultados contradicen lo observado por Beltrán (3) y Rentería citado por Gálvez (10) y Gálvez (11).

Aunque no se observaron diferencias en la longevidad de los insectos entre las ocho generaciones las diferencias anteriores, posiblemente, se deban a que se trabajó con una población altamente vectora, diferente a la utilizada por los autores citados o bien, por condiciones ambientales diferentes que influyeron en la vida de los insectos.

Cuadro 4. Relación de sexos de *S. oryzae*, durante ocho generaciones.

Generación	Sexo		Total insectos	Relación hembra/macho
	Hembras	Machos		
1	101	91	192	1.10
2	117	72	189	1.62
3	116	80	196	1.45
4	107	81	188	1.32
5	121	74	195	1.63
6	118	76	194	1.55
7	129	62	191	2.08
8	116	81	197	1.43
Total	925	617	542	1.12

5. Algunas observaciones sobre síntomas de la enfermedad

Aunque lo característico fue observar síntomas de la enfermedad similares a la descripción dada por Atkins (3), Gálvez (11), Jennings *et al.* (14), Martínez (18), Malaguti (16), y McMilliam (20), también se observaron otros casos de plántulas que manifestaron los síntomas iniciales de la virosis, en forma diferente al patrón normal esperado. Se describen a continuación algunos de ellos: en ciertas plántulas se apreciaron estrías longitudinales blancas hacia la mitad de la hoja y sobre la nervadura central; luego, se presentó otra estría longitudinal más pequeña también sobre la nervadura central, hacia el extremo basal, originándose entre estas dos estrías unas pequeñas manchas rectangulares que se extendieron a toda la hoja.

En otros casos, apareció una línea longitudinal de aproximadamente 2 cm de longitud sobre la nervadura central, hacia el ápice de la hoja; debajo de

esta línea se observaron puntos pequeños. En estos casos, fue difícil e incierta la lectura de la hoja blanca, debido a la variación en la sintomatología, lo que obligó a esperar por varios días hasta que se manifestaron los síntomas típicos de la virosis en la última hoja. Estos síntomas fueron demasiado lentos en manifestarse totalmente, comparado con lo que corrientemente se observó cuando la planta siguió el curso normal de la enfermedad; cabe aclarar que las plantas con síntomas anormales se desarrollaron con igual vigor vegetativo y bajo las mismas condiciones.

En cuanto a las plantas destinadas a servir como testigos y que no fueron inoculadas, se observó que, en algunos casos aislados y solo en la cuarta y séptima generación, una o dos plantas mostraron síntomas de la enfermedad; esto indicó infección incontrolada causada por insectos libres en el invernadero pero estos casos fueron pocos, considerando este número como despreciable y por lo tanto, no fue tenido en cuenta para el análisis.

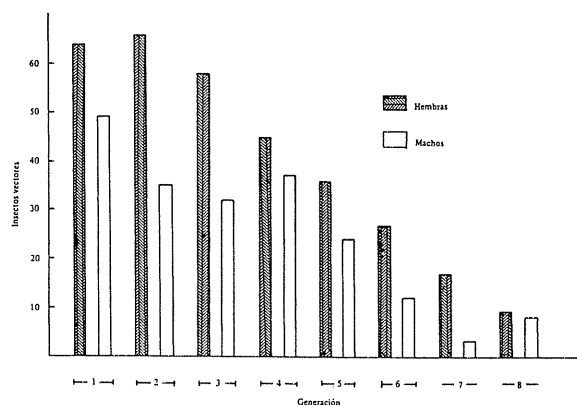


Fig. 2. Distribución de sexos de insectos vectores por generación.

Cuadro 5. Longenidad de hembras y machos (nina-adulto) de *S. oryzae* y de la población total, durante ocho generaciones.

Generación	Duración promedio (días)		Durac. prom. (días) de machos y hembras	Rango (total)	Dev. estándar	
	Hembras	Machos			Hembras	Machos
1	25.50	24.47	24.70	6-45	6.91	7.25
2	18.36	17.78	18.24	3-29	4.84	5.31
3	24.68	27.84	25.61	5-47	7.30	8.60
4	26.77	28.97	34.28	5-58	7.50	11.81
5	27.63	29.86	28.06	3-55	8.86	9.93
6	28.69	32.66	29.66	4-58	9.09	12.10
7	27.25	30.15	27.09	2-51	9.97	11.73
8	28.96	37.15	32.00	4-59	8.10	10.82

LITERATURA CITADA

1. ACUÑA, J.; RAMOS, I. 1958. Informes de interés general en relación con el arroz. Administración de Estabilización del Arroz (Cuba). v. 7.
2. ATKINS, J.G.; McGUIRE, J.U. 1958. The "hoja blanca" disease of rice. FAO, plant project 6(11):161-166.
3. BELTRAN, A. 1967. Principales plagas del arroz en Colombia. Bogotá, Col., Federación Nacional de Arroceros. p. 11-12.
4. GALVEZ, G.; JENNINGS, P.R. 1959. Transmisión de la hoja blanca del arroz en Colombia. Agriculture Tropic 15(8):507-515.
5. GALVEZ, G.; JENNINGS, P.R.; THURSTON, H.D. 1960. Transmission studies of "hoja blanca" of rice in Colombia. Plant. Dis. Repr. 44:80-81.
6. GALVEZ, G.; JENNINGS, P.R.; THURSTON, H.D. 1961. Host range and insect transmission of the hoja blanca disease of rice. Plant Disease 45(12): 949-953.
7. GALVEZ, G.; JENNINGS, P.R.; THURSTON, H.D. 1962. Hospedantes e insectos transmisores de la enfermedad hoja blanca del arroz. Agricultura Tropical 18(3):139-151.
8. GALVEZ, G.; JENNINGS, P.R.; THURSTON, H.D. 1967. Frecuencia del *Sogatodes oryzicola* Muir y *Sogatodes cubana* Crawford en arroz y liendrepuerto en Colombia. Agricultura Tropical 23(6):385-390.
9. GALVEZ, G.; JENNINGS, P.R.; THURSTON, H.D. 1968. Transmission studies of "hoja blanca" virus with highly active virus free colonies of *Sogatodes oryzicola*. Phytopathology 58(6):818-821.
10. GALVEZ, G.; JENNINGS, P.R.; THURSTON, H.D. 1974. Hoja blanca del arroz; transmisión y caracterización del virus y su control. Revista ICA 9:229-267.
11. HENDRICK, R.D.; EVERETT, R.R.; LAMEY, H.A.; SHOWERS, W.B. 1965. An important method of selecting and breeding for active vectors of hoja blanca virus. Journal of Economic Entomology 58:539-542.
12. JENNINGS, P.R.; ROSERO, M.J.; BURGOS, J. 1958. Hoja blanca del arroz. Agricultura Tropical 14(8): 511-516.
13. JENNINGS, P.R.; ROSERO, M.J.; BURGOS, J.; PINEDA, A. 1971. The effect of the hoja blanca virus on its insect vector. Phytopathology 61(2):142-143.
14. LOBATON, V.; MARTINEZ, G. 1976. Algunas relaciones biológicas insecto-planta-patógeno en la enfermedad hoja blanca del arroz. Noticias Fitopatológicas 5(1):29-37.
15. MALAGUI, G.; DIAZ, C.H.; ANGELES, N. 1976. La virosis hoja blanca del arroz. Noticias Fitopatológicas 5(1):29-37.
16. MARTINEZ, C. 1980. Importancia socio-económica del cultivo de arroz en Colombia y el mundo. Trabajo presentado ante el Comité Nacional Investigación Tecnología Alimentos y Nutrición. COLCIENCIAS.
17. MARTINEZ, G. 1982. Virología agrícola con énfasis en el problema de la hoja blanca del arroz en Colombia. Congreso Sociedad Colombiana de Entomología (9., Cali, Col.). Memorias.
18. MCGUIRE JUNIOR, J.U.; McMILLAN, W.W.; LAMEY, H.A. 1960. Hoja blanca disease of rice and its insect vector. Rice Journal 63(13):15-16, 20-24, 28.
19. McMILLAN, W.W.; MCGUIRE JUNIOR, J.J.; LAMEY, H.A. 1961. Relationship of hoja blanca to the inoculation point and to the age and yield of rice plants. Plants Disease 44(6):389.
20. MORALES, F.J. 1982. Transmisión biológica de virus por insectos. Congreso Sociedad Colombiana de Entomología (9., Cali, Col.). Memorias. 188 p.
21. ROSERO, M.J. 1983. Reacción varietal a la hoja blanca del arroz. 9 Conferencia IRTP.

Control Químico del Tizón de la Plántula en Trigo¹

M.R. Carranza*, H.O. Arriaga**

ABSTRACT

The purpose of the present paper was to ascertain the effectiveness of different fungicides on seed treatments of infected wheat (*Triticum aestivum* L.) samples with *Fusarium graminearum* Schw. The essays were carried out *in vitro* in sand using commercial varieties. The fungicides thiabendazole 10%, benomyl 50%, dodine 65%, fenfuram 75%, and fenfuram 37% + thiram 37% were tested. Thiabendazole and benomyl offered the best results *in vitro*. Thiabendazole, benomyl and fenfuram-thiram were best on sand.

INTRODUCCION

En años recientes el hongo *Fusarium graminearum* se ha constituido en uno de los principales factores bióticos adversos del cultivo de trigo en la República Argentina. Existen referencias similares en otras zonas trigueras del mundo (1, 3).

Como resultado de su acción, se constatan fallas muy importantes en la fertilidad de las espiguillas y en la formación de granos defectuosos, con bajo peso hectolítrico; tales granos producen harinas de inferior calidad y causan problemas de toxicidad; si se usan como semillas, ocasionan fallas en la germinación y/o emergencia, anormalidades todas que repercuten en las etapas comerciales, industriales y culturales.

Algunos de estos perjuicios ocasionados por la "fusariosis", "golpe blanco" o "tizón" pueden ser dis-

COMPENDIO

En el presente trabajo y a partir de muestras de trigo (*Triticum aestivum* L.) que presentaban porcentajes de infección con *Fusarium graminearum* Schw. muy elevados, se comprueba el comportamiento de diferentes fungicidas. Las pruebas fueron hechas *in vitro* y en arena empleando diferentes variedades comerciales y con los siguientes productos: thiabendazole 10%; benomyl 50%; dodine 65%; fenfuram 75% y fenfuram 37% + thiram 37%. Los mejores resultados *in vitro* fueron obtenidos por thiabendazole y benomyl; por su parte, en sustrato de arena se agrega a los anteriores el fenfuram-thiram.

minuidos mediante el empleo de fungicidas, siendo posible encarar los tratamientos para el combate del hongo en distintos estados del cultivo. En la semilla, se puede reducir el daño del tizón de la plántula el cual disminuye la germinación o provoca la necrosis de la plántula en pre o postemergencia. Por otra parte, es posible prevenir, con pulverizaciones adecuadas, la infección de la espiga en la etapa de postfloración (tizón de la espiga).

Con referencia al tizón de la plántula se debe señalar que, independientemente de la acción fungicida que puedan ejercer los diferentes productos, la eficacia del control dependerá también de los porcentajes de infección que presenten los granos y su relación con el grado de lesiones embrionarias que los afecta.

Teniendo en cuenta ensayos anteriores (2) y las experiencias de otros autores (4, 6, 7), en el presente trabajo se efectuaron pruebas con distintos fungicidas, algunos de ellos con antecedentes conocidos y otros que permiten ampliar la información referida a su posible eficacia para el control de la fusariosis.

MATERIALES Y METODOS

En ensayos previos se comprobó que las variedades de trigo de la quinta época de los Ensayos Comparativos de Rendimiento (ECR), conducidos por la Red

1 Recibido para publicación el 14 de setiembre de 1987. Trabajo realizado en las Cátedras de Fitopatología y Cerealicultura de la Facultad de Agronomía, UNLP, con apoyo del Ministerio de Asuntos Agrarios y Comisión de Investigaciones Científicas, Provincia de Buenos Aires. Los autores agradecen a la Sección Trigo de la EERA INTA, de Pergamino, la remisión de las muestras y al señor Teodoro Berman, la colaboración prestada en la conducción de los ensayos en cámara de frío.

* Jefe de Trabajos Prácticos, Cátedra de Fitopatología y Personal de Apoyo a la Investigación de la CIC.

** Profesor Titular Ded. Exc., Cátedra de Cerealicultura.

Oficial de Ensayos Territoriales (ROET) de la Secretaría de Agricultura, Ganadería y Pesca, en la Estación Experimental Regional Agropecuaria (INTA), de Pergamino, en la campaña 85-86, resultaron muy afectadas por *Fusarium graminearum*. Entre ellas se seleccionaron San Agustín INTA, Diamante INTA, Labrador INTA, Klein Chamaco y Norkin 70 las cuales fueron las que presentaron porcentajes más altos de infección.

Los fungicidas y dosis empleadas fueron: thiabendazole 10% (300 gr/qq); benomyl 50% (200 gr/qq); dodine 65% (200 gr/qq); fenfuram 75% (150 gr/qq) y fenfuram 37% + thiram 37% (200 gr/qq)

Con los granos tratados se utilizaron dos técnicas diferentes. En un primer caso, se realizaron los análisis de sanidad siguiendo las recomendaciones de la Asociación Internacional para Test de Semillas (ISTA) (5) impartidas para el método del papel de filtro. La cámara climatizada permitió trabajar con 18 a 22°C, 70 a 90% de humedad relativa y ciclos alternantes de 12 h de oscuridad y 12 h de luz, acompañadas estas últimas con luz de longitud de onda cercana a la ultravioleta, 365 nm (NUV). En este caso, los datos de germinación e infección se registraron a los 7 días.

Por otra parte, con el material tratado se efectuaron siembras sobre sustrato de arena esterilizada en autoclave, empleando una cámara climatizada regulada a 10°C, +/- 1°C y total oscuridad. Los valores finales de emergencia de plántulas se obtuvieron a los 20 días.

En todas estas pruebas se trabajó con un diseño experimental de bloques al azar con cuatro repeticiones el cual permitió realizar un análisis de varianza aplicando el test de Tukey.

RESULTADOS

En todos los tratamientos *in vitro* se verificó un eficaz control del hongo, el cual se reflejó en un aumento de los valores de germinación y en una disminución de las infecciones, con relación a las muestras testigo. En el caso de la germinación, la mayor dife-

LITERATURA CITADA

1. BOOSALIS, M.G.; DOUPNIK, B.L.; WYSON, D.S.; WATKINS, J.E. 1983. The wheat scab epidemic of 1982. Farm Ranch and Home Quarterly. Nebraska Agricultural Experiment Station 29(4):7-9.
2. CARRANZA, M.R. 1979. Ensayos para el control de *Fusarium graminearum* Schw. en granos de trigo candeal. Actas III Jor. Fit. Arg. 3:1 299-1 305

Cuadro 1. Influencia de los distintos tratamientos sobre la germinación, infección y emergencia de los granos*.

Tratamientos	(A)	(B)	(C)
	Germinación <i>in vitro</i>	Infección <i>in vitro</i>	Emergencia en arena
Thiabendazole	68.27 a	3.85 a	65.29 a
Benomyl	65.44 b	2.70 a	64.02 a
Dodine	60.80 c	22.69 c	59.74 b
Fenfuram	61.80 c	21.14 c	61.16 b
Fenfuram-thiram	65.40 b	14.49 b	63.44 a
Testigo	48.50 d	40.83 d	47.10 c
DMS 5%	2.33	2.74	2.17

* Para el cálculo de varianza los valores fueron transformados en grados. Los valores señalados con una misma letra no difieren significativamente al 5% del test de Tukey.

rencia se obtuvo con el thiabendazole (Cuadro 1, Columna A). Por su parte, con la infección, resultaron muy positivos los tratamientos con thiabendazole y benomyl (Cuadro 1, Columna B).

En los ensayos realizados en arena y al igual que en el caso anterior, todos los productos mejoraron significativamente el número de plantas con referencia al testigo, aunque la mayor eficiencia correspondió al thiabendazole, benomyl y fenfuram-thiram (Cuadro 1, Columna C).

CONCLUSIONES

De acuerdo con los antecedentes, constatados en la revisión de literatura, el thiabendazole y benomyl ejercieron un significativo control de *Fusarium graminearum*, en granos de trigo con un elevado índice de infección, tanto en germinación *in vitro* como en emergencia en arena. Por su parte, el fenfuram-thiram, aunque no redujo como los dos productos anteriores los valores de infección, permitió obtener un número elevado de plantas que, en sustrato de arena, no arrojó diferencias significativas con los dos fungicidas antes mencionados.

3. INGLIS, D.A.; MALOY, O.C. 1983. Scab caused by *Gibberella zeae* occurring on irrigated wheat in eastern Washington. Plant Disease American Phytopathology Society 67(7):827-828.
4. JONES, J.P.; BASSI, A. 1982. Evaluation of fungicide seed treatment for control of scab on soft red winter wheat. Fungicide and Nematicide Test; result American Phytopathology Society 37:183.

5. NEERGAARD, P. 1974. Report of the Fourth Regional Workshop on Seed Pathology for Developing Countries. Institute of Seed Pathology for Developing Count. 22 p.
6. PALM, E W. 1982. Evaluation of Fungicide Seed Treatment in Control of Seed-Borne and Soil-Borne Disease of Winter Wheat. Fungicide and Nematicide Test; results. American Phytopathology Society 37:184
7. WILLIS, W.G. 1983. Seed Treatment to Control Scab Seedling Blight. Fungicide and Nematicide Test; results. American Phytopathology Society 38:45.

Growth of Teak, Mahogany, and Spanish Cedar on St. Croix, U.S. Virgin Islands¹

P.L. Weaver*, J.K. Francis*

ABSTRACT

Plantation growth of mahogany (*Swietenia* spp.) and teak (*Tectona grandis*), and the performance of teak and Spanish cedar (*Cedrela* spp.) provenances located in subtropical dry and moist life zones, are summarized for St. Croix, U.S. Virgin Islands. Hybrid mahogany (*S. macrophylla* x *S. mahagoni*) from St. Croix had the best form and growth rate of all tree species tested. The mean trunk volume growth of a 30-year old mahogany hybrid at Bodkin was $8.1 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ yr}^{-1}$, mean dbh growth was 0.78 cm yr^{-1} , and mean height growth was 0.47 m yr^{-1} . Comparable growth figures for 30-year-old teak at Estate Thomas were $3.9 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ yr}^{-1}$, 0.76 cm yr^{-1} and 0.51 m yr^{-1} , respectively. West Indies mahogany (*S. mahagoni*), after 25 years at Estate Thomas, averaged $6.0 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ yr}^{-1}$, 0.86 cm yr^{-1} , and 0.44 m yr^{-1} . Pacific Coast mahogany (*S. humilis*) at Estate Thomas, in contrast, averaged only $2.0 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ yr}^{-1}$, 0.83 cm yr^{-1} , and 0.39 m yr^{-1} after 25 years. Testing of seven Spanish cedar provenances was confounded by mortality losses in the nursery and fire after outplanting. The surviving five provenances showed 39 and 59 percent survival at 16 years in Estate Thomas and Hams Bluff, respectively. Growth rates for the Belize provenance at Estate Thomas and the Mexican provenance at Hams Bluff were superior to others; their survival rates were 66 and 89 percent, respectively. Testing of six provenances of teak showed significant differences in dbh and height, with the Tamilnadu, India provenance growing most rapidly, but having the highest mortality.

¹ Received for publication 24 March 1988.

In cooperation with the University of Puerto Rico, Rio Piedras, P.R.

We are grateful to Larry Bough, Gregorio Rosa, and Ramon Velez of the Virgin Islands Department of Agriculture for their cooperation in the location and measurement of these plots. Mr. Jerry Bauer of the Caribbean National Forest, Rio Piedras, Puerto Rico, reviewed the manuscript and made helpful comments.

* Research Foresters, Institute of Tropical Forestry, Southern Forest Experiment Station, USDA Forest Service, Rio Piedras, Puerto Rico

COMPENDIO

Se resume el crecimiento de caoba (*Swietenia* spp.) y de teca (*Tectona grandis*) en plantaciones, y el comportamiento de procedencias de teca y de cecro (*Cedrela* sp.), localizadas en las zonas de vida de bosque seco subtropical y bosque húmedo subtropical, en San Cruz, Islas Vírgenes, EE.UU. El híbrido de caoba (*S. macrophylla* x *S. mahagoni*), de Santa Cruz, mostró la mejor forma y tasa de crecimiento de todas las especies probadas. El crecimiento promedio del volumen de los fustes de caoba híbrida de 30 años de edad, en Bodkin fue $8.1 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$; el crecimiento promedio del dap fue 0.78 cm año^{-1} y el crecimiento promedio en altura fue 0.47 m año^{-1} . Cifras comparables de crecimiento para teca en Estate Thomas, durante 30 años, fueron $3.9 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$, 0.76 cm año^{-1} y 0.51 m año^{-1} , respectivamente. La caoba de las Indias Occidentales (*S. mahagoni*), después de 25 años, en Estate Thomas, promedió $6.0 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$, 0.86 cm año^{-1} , y 0.44 m año^{-1} . La caoba de la costa del Pacífico (*S. humilis*), en Estate Thomas, en contraste, promedió solamente $2.0 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$, 0.83 cm año^{-1} , y 0.39 m año^{-1} después de 25 años. La prueba de siete procedencias de cedro resultó confusa por pérdidas debido a la mortalidad en el vivero y a un incendio forestal ocurrido después de plantarse en el campo. Las cinco procedencias sobrevivientes mostraron 39- y 59-por ciento de supervivencia después de 16 años, en Estate Thomas y en Hams Bluff, respectivamente. Las tasas de incremento de la procedencia de Belize, en Estate Thomas, y la procedencia de México, en Hams Bluff, fueron superiores a las otras; sus tasas de supervivencia fueron 66 y 89 por ciento, respectivamente. La prueba de seis procedencias de teca mostró diferencias significativas en dap y en altura, con la procedencia de Tamilnada, India, creciendo más rápidamente aunque mostrando la mortalidad más alta.

INTRODUCTION

St Croix, one of the U.S. Virgin Islands (Fig. 1), was discovered by Columbus on his second voyage in 1493. Between 1700 and 1850, most of the Island was cleared and planted with sugar cane and cotton. By the late 1920's, the local wood-using

industries were confined to charcoaling, bay oil extraction, and small-scale cabinet making (14). In 1950, 30 percent of the Island was again covered with trees, including 120 ha of previously introduced, naturally regenerated West Indies mahogany (*Swietenia mahagoni*) trees (21).

In early 1955, the USDA Forest Service implemented a forestry program on St. Croix. The objectives included forest management and utilization, promotion of wood-using industries, and production of local planting stock. Cooperation with private landowners was aimed at timber production, soil and water conservation, and the establishment of wind-breaks and shade trees in pastures and along roadsides.

Forestry research began in 1958. Teak (*Tectona grandis*) was introduced, and species adaptability trials, growth studies, and provenance trials of teak and Spanish cedar (*Cedrela* sp.) were initiated. Plantations of hybrid mahogany, a natural cross between West Indies mahogany and Honduras mahogany (*Swietenia macrophylla* x *S. mahagoni*), first discovered at Davis Bay where both species had been planted in the early 1900's, were established at Estate Thomas, Bodkin, and Sion Farm. From 1955 through 1972, the forestry program was credited with establishing about 250 000 mahogany, teak, and Spanish-cedar trees on 110 ha in St. Croix (25), averaging 6.5 ha yr⁻¹ of successfully regenerated forest. By the early 1970's the Island had an estimated 500 000 board feet of merchantable mahogany in roadside, streambank, urban, and research plantings as well as mahogany plantations.

Because more than 40 percent of the forests located within tropical latitudes are dry (3), and many of these areas are currently experiencing wood shortages, there is a need to identify useful tree species and provide information on their survival and performance. The purpose of this study was to summarize plantation growth of mahogany and teak and to assess provenance trials of Spanish cedar and teak.

Environmental background

The island of St. Croix occupies 220 km² of land area, with Mt. Eagle in the northwest being the highest point at a 355 m elevation (Fig. 1). The mountainous areas of the north and east are flanked by a rolling plain in the south-central and western parts of the Island. Intermittent streams are found in both ranges.

Geology. The oldest rocks on St. Croix are of late Cretaceous age and were eroded from volcanic rocks

and deposited as sand beds by turbidity currents deep on the ocean floor (30). Mountain building forces during the Oligocene, when St. Croix was emerging from the sea, compressed the Island's two mountain ranges causing folds and a thrust fault. The mountain ranges formed two islands joined by a large coral reef during the lower Miocene, and later were joined by continual uplift. In recent times, alluvium and beach deposits formed at the edges of the marl formation and in coastal areas.

Soils. The Island's soils were derived from basic, volcanic rocks, formed in sediments derived from soft limestone or volcanic rocks (23). Seventy different soils and land use types have been mapped, and six soil associations (Fig. 1) have been recognized (19). The soils have been further classified into woodland suitability groups based on their suitability for wood crops, production potential, and management requirements (23).

Climate. Mean rainfall ranges from < 760 mm yr⁻¹ at the eastern tip of the Island to > 1 270 mm yr⁻¹ in the northwest (Fig. 1). September through November are wetter than the remaining months, and February and March are drier (Fig. 2). Temperatures fluctuate between 21 and 32°C and are characterized by more diurnal than annual variation (4).

Although infrequent, hurricanes influence forestry. The last storm to directly hit St. Croix was San Felipe of 1928. Similar storms with trajectories close to or directly over Puerto Rico have caused considerable damage in both plantations (16) and natural forests (5, 27, 28).

Natural vegetation. The natural vegetation of St. Croix was classified into two Holdridge (12) life zones. The subtropical dry forest comprises 83 percent of the Island; the subtropical moist forest, located in the northwest, occupies the remainder (6). Ten ecosystem types are also recognized: semi-evergreen forest, deciduous forest, thorn woodland, thorn scrub, mangrove swamp, littoral woodland, beach strand vegetation, and three vegetation types derived from human activity (7).

The original species composition of St. Croix's forests has been drastically altered (8). Changes began with the indigenous groups before Columbus' arrival. Clearing and burning for agricultural production and the introduction of species for agriculture and forestry continue today.

Study sites

Plantings on five sites were studied. The Annaly (Hams Bluff), Bodkin, and Mahogany Road sites are

in subtropical moist forest (Fig. 1) and receive an average rainfall of 1 140 to 1 270 mm yr⁻¹. The soils are in the Descalabrado-Jacana association (**Inceptisols**) (18), which are characterized as well-drained on steep slopes, with clay loam to clay subsoils. The Estate Thomas and Sion Farm sites are in subtropical dry forest where rainfall averages about 1 000 mm.yr⁻¹. The soils are in the Aguilita-Fredensborg-Sion association (**Mollisols**), which are characterized as sloping and well drained, with shallow clay loam or silty clay loam subsoils, located over soft, marly limestone.

METHODS

In early 1986, six previously unmeasured plantations and two provenance trials were surveyed. West Indies mahogany planted along Mahogany Road and naturally regenerated at Estate Thomas was also assessed. Tree diameters were measured to the nearest 0.1 cm at breast height (dbh) with a diameter tape. Total heights and merchantable heights to a top diameter of 10 cm or the point of major bifurcation were estimated to the nearest 0.1 m with an optical rangefinder. The point of measurement for top diameter was determined with a pentaprism. Trunk volume in the growth studies was estimated by the relationship: volume = 0.5 x basal area x height (20). Merchantable volume was calculated by the relationship: volume = 0.5 (basal area top + basal area bottom of log) x length. All calculations were based on outside bark measurements.

The plantations included two plots of West Indies mahogany, a plot of Pacific Coast mahogany (*S.*

humilis), three plots of hybrid mahogany, and a plot of teak. In the plantations, all trees intercepted by a basal area prism (BAF = 2.5 m² ha⁻¹) were measured. Crown classes (1), slope positions, and aspect were noted for most of the plots. To determine volumes on the prism plots, the actual basal area and volume of each intercepted tree was calculated. The actual basal area of each tree was then divided into the BAF factor to estimate the number of trees of that size class per hectare. Tree numbers were then multiplied by their respective volumes, and these data were summed to derive plot volumes per hectare. Mean diameter and height growth were also derived with the same weighting.

The Institute of Tropical Forestry teak provenance trial had been established in October of 1975 on St. Croix to compare the performance of five seed sources (Thailand, Ghana, Indonesia, and two from India) with seed collected from Sabana, Puerto Rico. At Bodkin, 272 stumps were planted. Four-tree rows were replicated 12 times with five provenances at a spacing of 3 by 3 m, with provenances assigned at random within each replication. Only eight replications of the Thailand provenance were available. They were planted around the margin of the other provenances. Height and dbh, stem form, and the number of trees producing seeds were recorded on all surviving trees at Bodkin. Tree dbh and height were compared among provenances using the Tukey-Kramer test (34).

The Commonwealth Forestry Institute Spanish cedar provenance trial had been established in August

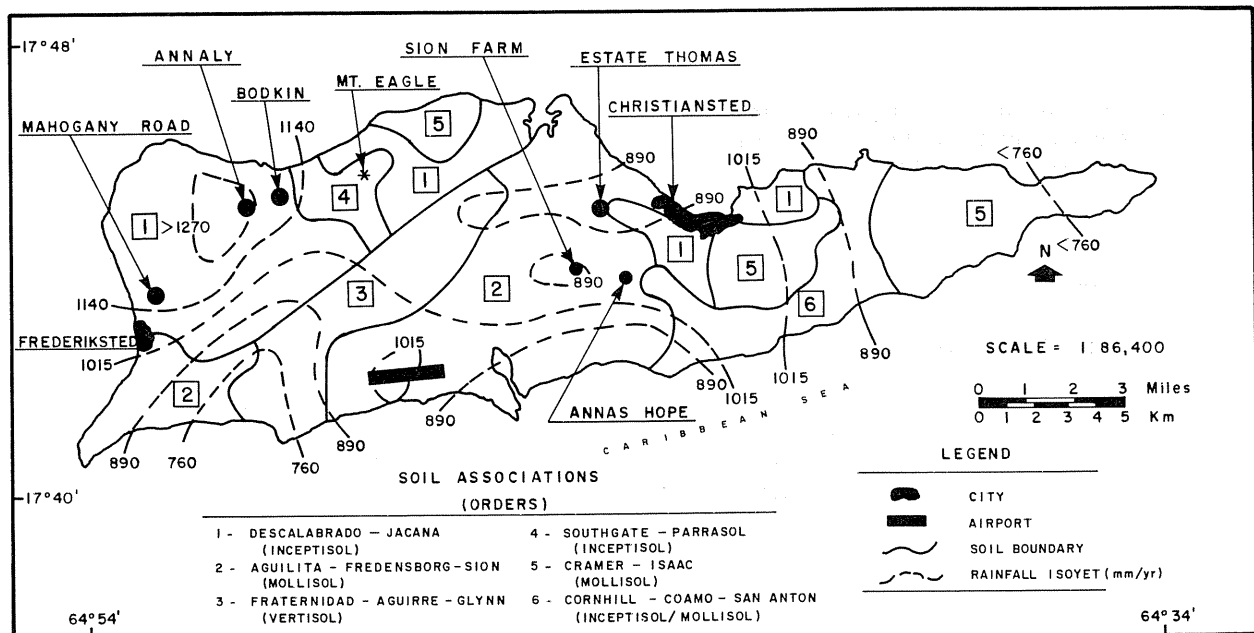


Fig. 1. Soil associations, soil orders, rainfall distribution, and location of study plots on St. Croix, U.S. Virgin Islands.

and September of 1969 at Estate Thomas, Hams Bluff, and two other sites on St. Croix that were subsequently lost by fire. On each site, 320 trees were planted (four trees per treatment, five treatments per replication, and 16 replications per site). Eight seed sources from Costa Rica, Jamaica, Mexico, Cuba, and Belize were included in the adaptability trials. The main objective was to determine the best sources for planting in the areas tested based on survival, growth rates, form, and phenology. All surviving trees on Estate Thomas and Hams Bluff were measured. Because mortality was high, data on survival, height, and dbh were inappropriate for analysis. Therefore, the data were converted to the sum of the main stem volumes per plot which were compared using Tukey's Omega procedure (26).

RESULTS

(1) **West Indies mahogany (Mahogany Road).** The sample of 20 mahogany trees planted along Mahogany Road ranged in dbh from 92.5 to 190.0 cm with heights between 16.8 and 25.1 m. The trees had a mean dbh of 125.7 ± 5.8 cm and a mean height of 22.4 ± 0.4 m. Estimated trunk volumes ranged from 6.4 to 29.4 m³ per tree with a mean

value of 14.6 ± 1.5 m³. Although the age of these trees is uncertain, it appears that they were planted about 1790. An estimate of mean dbh growth, assuming an age of 200 years, is 0.63 cm yr⁻¹.

(2) **West Indies mahogany regeneration (Estate Thomas).** The naturally regenerated Estate Thomas mahogany stand, located on lands abandoned in 1928 after having been used for agriculture, was situated mainly on midslopes with north and south aspects. Mahogany trees accounted for 87 percent of the 176 stems tallied on 14 prism plots. Most sample plots contained mahoganies that varied considerably in size. Some trees dated to the time of abandonment and others were recent regeneration. Records indicate that much of the area had been thinned in the 1960's. The mean basal area in 1986 was 27 m² ha⁻¹ and the mean trunk volume was about 109 m³ ha⁻¹ (Table 1).

The largest trees in the natural regeneration were found on the north-facing slopes. Detailed calculations were not merited because neither the age nor the effect of recent silvicultural treatments were known.

Table 1. Summary of studies conducted on St. Croix, 1986, with estimated basal areas and volumes for plantation species.

Study number and species ¹	Plots ² (number)	Trees (number)	Year established	Parameters (mean \pm SE) ³			Location
				Basal area (m ² /ha)	Trunk volume (m ³ /ha)	Merchantable volume (m ³ /ha)	
Growth:							
(1) <i>Swietenia mahogani</i> ⁴	—	20	1 790	—	—	—	Mahogany Road
(2) <i>S. mahogani</i> ⁵	14	176	1928	27.3 \pm 3.8	108.9 \pm 12.4	—	Estate Thomas
(3) <i>S. mahogani</i> ⁶	5	51	1960	25.5 \pm 1.4	146.2 \pm 6.8	39.4 \pm 2.2	Estate Thomas
(4) <i>S. humilis</i>	5	31	1961	39.5 \pm 1.4	47.3 \pm 6.8	18.0 \pm 2.2	Estate Thomas
(5) <i>S. hybrid</i> ^{7, 8}	7	51	1971	18.2 \pm 1.0	90.5 \pm 6.6	—	Sion Farm
(6) <i>S. hybrid</i> ^{7, 8}	6	53	1971	22.1 \pm 2.0	124.8 \pm 14.5	—	Sion Farm
(7) <i>S. hybrid</i> ⁷	5	66	1956	32.0 \pm 2.1	239.7 \pm 14.0	153.8 \pm 14.1	Bodkin
(8) <i>Tectona grandis</i>	8	50	1956	15.3 \pm 0.7	116.5 \pm 5.9	79.1 \pm 9.3	Estate Thomas
Provenance:							
(9) <i>T. grandis</i>	—	272	1975	—	—	—	Bodkin
(10) <i>Cedrela</i> spp.	—	314	1969	—	—	—	Estate Thomas Hams Bluff

1 Study numbers are coded to text.

2 Plots in growth studies are prism plots (BAF = 2.5 m²).

3 Basal area equals number of trees intercepted by a prism. Volume determined by relationships outlined in methods.

4 Assumed planting date about 1790.

5 Natural forest on land abandoned in 1928. Basal area plots also intercepted 23 trees of other species. Aspect was recorded.

6 "Plum pudding" variety of West Indies mahogany.

7 *Swietenia macrophylla* \times *S. mahogani*.

8 U.S. Park Service plantings.

(3) **West Indies mahogany (Estate Thomas)** West Indies mahogany selected from seed sources with an attractive wood grain configuration, locally called "plum pudding" variety, was planted on level land on Estate Thomas in 1960. Basal area, trunk volume, and merchantable volume increment were satisfactory (Table 1). Mean volume growth rate averaged $6.0 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ yr}^{-1}$. Mean dbh and height growth rates for all 51 trees sampled on five prism plots were 0.86 cm yr^{-1} and 0.44 m yr^{-1} , respectively. Ratios of diameter and height growth by crown class are shown in Table 2. The growth of dominant and co-dominant stems indicate the potential for trees when there is adequate space.

(4) **Pacific Coast mahogany (Estate Thomas)** The Pacific coast mahogany plantation, located on level ground in Estate Thomas, was established in 1961. Mean trunk volume was about one-third that of West Indies mahogany (Table 1) and averaged $2.0 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ yr}^{-1}$. Mean dbh and height growth rate of the 31 trees recorded in five rows were 0.83 cm yr^{-1} and 0.39 m yr^{-1} , respectively.

(5) **Mahogany hybrid (U.S. Park Service Planting No. 1)** The mahogany hybrid, planted at Sion farm in 1971 and thinned in 1981, was located on mid-slopes that faced south. The mean basal area and mean trunk volume are shown in Table 1. Mean annual volume increment was $6.2 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ yr}^{-1}$, excluding thinnings. Mean dbh and height of the 51 trees sampled on seven prism plots are shown in Table

2; mean rates of growth were 1.19 cm yr^{-1} and 0.66 m yr^{-1} , respectively.

(6) **Mahogany hybrid (U.S. Park Service Planting No. 2)** The second Park Service plantings of mahogany hybrid, also established in 1971 at Sion farm, were located on mid-slopes with a north aspect, and on bottomlands. They were thinned once at an unknown date. The mean basal area and mean trunk volume are about 20 and 40 percent greater, respectively, than those on the first site. Mean dbh and height of the 53 trees sampled on six prism plots are shown in Table 2. Rates of growth for dbh and height were 1.16 cm yr^{-1} and 0.72 m yr^{-1} , respectively.

(7) **Mahogany hybrid (Bodkin)** The mahogany hybrids planted in Bodkin in 1956 were located on mid-slopes. Mean basal area, mean trunk volume and mean merchantable volume are shown in Table 1. Mean volume growth was $8.1 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ yr}^{-1}$. Mean dbh and height of the 65 trees sampled on five prism plots are shown in Table 2. Mean dbh and height growth rates were 0.78 cm yr^{-1} and 0.47 m yr^{-1} , respectively.

(8) **Teak (Estate Thomas)** The teak planted in 1956 on Estate Thomas was located on level terrain and did not show much variation in stem size. Mean basal area, mean trunk volume and mean merchantable volume are shown in Table 1. Mean trunk volume growth rate was $3.9 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ yr}^{-1}$. Mean dbh

Table 2. Relationships of tree diameters and heights by crown class in the sampled plantations.

Study number and species ¹	Diameter (cm)				Height (m)					
	Mean \pm SE	Ratio ²				Mean \pm SE	Ratio ²			
		D	C	I	S		D	C	I	S
(3) <i>Swietenia mahogani</i> ³	22.05 \pm 0.88	1.52	1.15	0.85	—	11.31 \pm 0.29	1.08	1.06	0.95	—
(4) <i>S. humilis</i> ⁴	20.2 \pm 1.22	1.87	1.14	0.84	0.70	9.45 \pm 0.33	1.44	1.05	1.01	0.80
(5) <i>S. hybrid</i> ⁵	17.34 \pm 1.69	1.30	1.08	0.82	0.44	9.64 \pm 0.54	1.11	1.03	0.93	0.81
(6) <i>S. hybrid</i> ⁶	16.91 \pm 1.70	1.99	1.32	0.83	0.47	10.45 \pm 0.58	1.26	1.11	0.93	0.80
(7) <i>S. hybrid</i> ⁷	23.05 \pm 1.04	1.77	1.39	0.83	0.57	13.75 \pm 0.40	1.23	1.16	0.91	0.84

1 Study numbers coded to text.

2 Ratios for dominant (D), codominant (C), intermediate (I), and suppressed (S) stems. Ratios are a function of weighted mean values except for *S. humilis*, which was sampled in rows. To determine mean growth for any crown class, multiply overall mean by the ratio.

3 Total stems sampled, 51: D = 3, C = 33, and I = 15.

4 Total stems sampled, 31: D = 2, C = 13, I = 8, and S = 8.

5 Total stems sampled, 51: D = 4, C = 43, I = 2, and S = 2.

6 Total stems sampled, 53: D = 2, C = 45, I = 4, and S = 2.

7 Total stems sampled, 65: D = 7, C = 32, I = 19, and S = 7.

and height growth rates of the 50 trees sampled on eight prism plots were 0.76 cm yr^{-1} and 0.51 m yr^{-1} , respectively

(9) **Teak provenances.** The teak provenances at Bodkin, located on gently sloping lands, were established in October, 1975. Survival ranged from about 80 percent for the Tamilnadu, India provenance, to about 95 percent for the remaining provenances (Table 3).

The best mean values for dbh and height were 13.8 cm and 10.5 m, respectively, attained by the Tamilnadu, India provenance; these values were significantly greater than dbh and height values for any of the remaining provenances. This provenance still had not produced seed and had an intermediate amount of forking. The Puerto Rico provenance showed comparatively poor dbh and height growth, averaging 11.0 cm and 9.3 m, respectively

(10) **Spanish cedar provenances.** The Spanish cedar provenances planted in August and September of 1969 were on level ground at Estate Thomas and on gently sloping lands at Hams Bluff. High mortality on both sites and the loss of two other plantations by fire altered the approach to data analysis specified in the original study.

Survival and dbh growth for all provenances combined were greater at Hams Bluff; height growth was better at Estate Thomas (Table 4). At Estate Thomas, the best volume growth was attained by the Belize provenance, whereas at Hams Bluff, the Mexico provenance performed best. Incidentally, these same provenances performed best in each of the three criteria tested: survival, height growth, and dbh growth.

DISCUSSION

Plantations

Mahogany and teak. The wood properties of mahogany and teak (17) make these species desirable for planting on St. Croix. The 30-year growth of the hybrid mahogany was the best of all species tested. The 25-year growth of West Indies "plum pudding" mahogany was similar in dbh increment, but averaged only 80 and 75 percent of the height and volume increment, respectively, of the hybrid growth rates. The 25-year growth of the Pacific Coast mahogany averaged only 90 percent of the dbh and 83 percent of the height growth and about one-third of the trunk volume growth of West Indies mahogany. Initial survival in all plantations appears to have been high,

although some stems were subsequently thinned or lost through competition.

Naturally occurring hybrid mahogany has been reported in Puerto Rico, St. Croix, and Martinique (15). Moreover, hybrid mahogany has been planted with success in the subtropical wet life zone of the Luquillo Mountains in Puerto Rico (29). The hybrid has a finer wood texture when compared with typical Honduras mahogany, yet shows a more rapid growth rate when compared with the West Indies

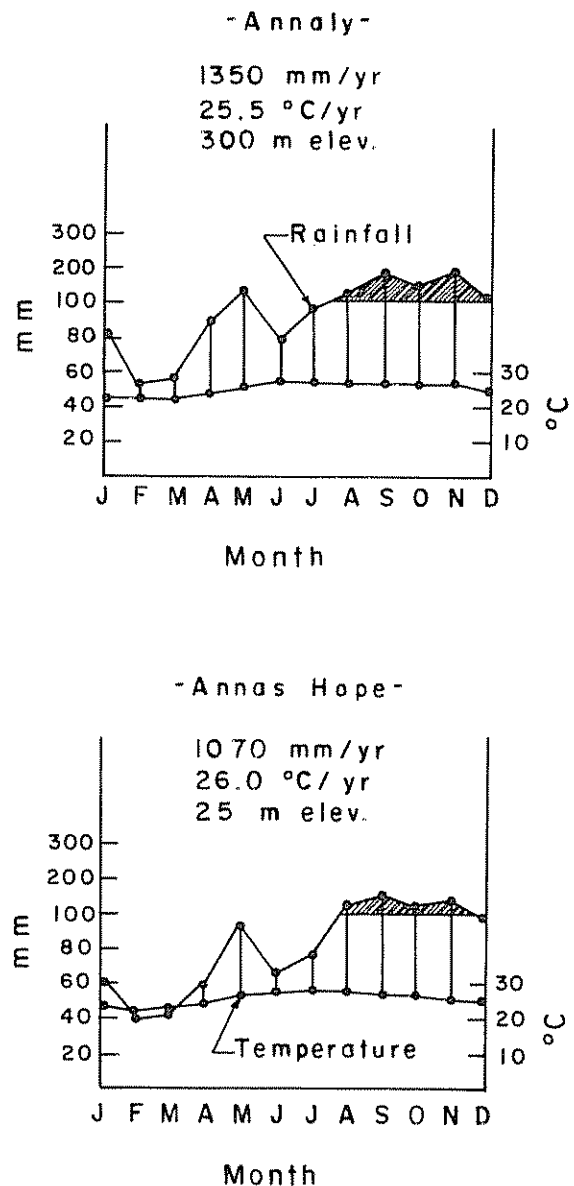


Fig. 2. Climatic diagrams for Annaly and Annas Hope, St. Croix

Table 3. Comparison of teak provenance trials at Bodkin on St. Croix.

Provenance	Survival (%)	Mean \pm SE ¹		Seed production (%)	Forking (%)
		dbh (cm)	height (m)		
3040 (Ban Pha Lai, Thailand)	94	10.7 \pm 0.7 a	7.8 \pm 0.3 a	3	19
A (Sabana, Puerto Rico)	96	11.0 \pm 0.3 a	9.3 \pm 0.2 b	17	17
3044 (Jema, Ghana)	96	11.7 \pm 0.3 a	9.2 \pm 0.2 b	52	46
3049 (Ngliron, Java, Indonesia)	96	12.2 \pm 0.4 ab	9.8 \pm 0.1 bc	21	27
3021 (Nilambur, Kerala, India)	96	12.5 \pm 0.5 ab	9.5 \pm 0.3 b	4	13
3017 (Mt. Stuart I, Tamilnadu, India)	79	13.8 \pm 0.6 b	10.5 \pm 0.2 c	0	19

1 Statistical differences at the 95% level within columns are indicated by different letters

mahogany (15). It also has more drought resistance than Honduras mahogany (22), and grows faster than either parent on some sites (2). These favorable characteristics led to its planting in the Virgin Islands (10). The hybrid may also be more resistant to shoot borer attack than Honduras mahogany, and adaptability testing throughout the tropics has been encouraged (33).

The 27-year growth of teak at Estate Thomas was also satisfactory, given the Island's environmental conditions, which are not ideal for this species. The best sites for teak are on flat or slightly sloping terrain, with deep, well-drained, homogeneous, alluvial loam soils (13, 24). Moreover, the area should have a 3- to 6-month dry season with 50 mm or less of accumulated rainfall, yet receive annual precipitation in excess of 1 500 mm. Neither the edaphic nor the climatic conditions of St. Croix meet these environmental requisites. Furthermore, the top height of teak should average 24 m at 50 years (regional site class II) to achieve the best returns (13). This would mean that at 27 years, teak would be slightly more than 20 m tall, or about 6 m in excess of the top height of trees produced in Bodkin (Table 4). The growth of teak on St. Croix places it in regional site class IV (Table 4; 13).

Two other comments can be made based on the above studies. First, the size and growth rate of the West Indies mahogany trees on Mahogany Road probably approach the maximum that could be expected on St. Croix. The trees are growing in the open in the subtropical moist forest life zone, and their roadside position provides access to runoff during rainstorms. Second, microsite is a critical factor for tree growth in dry environments. The naturally regenerated West Indies mahogany on Estate Thomas appeared to develop better on the north aspect, which is shaded, and therefore more humid, than on the south aspect.

Provenance Trials

Teak. According to an unpublished progress report, the germination was good for all provenances used in this study. It was also noted that the Indonesia and Ghana provenances were growing most rapidly and that the latter provenance produced flowers in the fourth year. After 10 years, however, the best growth rates were shown by the Tamilanda, India, provenance. The Ghana provenance continued to show the greatest percentage of trees with seed production as well as demonstrate the highest amount of forking, substantiating the observation that early flowering of teak often results in poor form (11).

The dbh and height growth rates of teak at Bodkin after 10 years were more rapid than those at Estate Thomas. Although none of the sites where teak was planted on St. Croix meet the species' requisites well, it appears that the Bodkin site is better, probably because of greater annual rainfall.

Spanish cedar. The Belize provenance performed best at Estate Thomas, and the Mexican provenance performed best at Hams Bluff. In the nursery phase of these same trials, the Guanacaste, Costa Rica, Mexico, and Belize sources were above average when considering all measures of performance (height and dbh growth, branching tendency, percent mortality, and shoot borer attack), whereas the Turrialba and Argentina sources suffered heavy mortality due to slugs (31). At three years, or the establishment phase, none of the provenances was judged satisfactory and none had proven resistant to the mahogany shoot borer (32). Although some authors feel that Spanish cedar showed enough potential to justify more testing (9), tree form and growth of mahogany and teak are far superior to Spanish cedar and those species should be favored in future plantings.

Table 4. Comparisons in Spanish cedar provenance trials on St. Croix.

Provenance ¹	Mean \pm SE			
	dbh (cm)	ht (m)	Volume ² (m ³)	Survival (%)
Block 06 (Estate Thomas)				
A (Costa Rica)	12.4 \pm 1.2	9.8 \pm 0.6	0.049 a	12
B (Jamaica)	10.7 \pm 1.8	9.0 \pm 1.1	0.020 a	9
B (Mexico)	12.6 \pm 1.1	9.7 \pm 0.5	0.161 ab	47
E (Cuba)	8.1 \pm 0.7	7.4 \pm 0.4	0.067 a	56
G (Belize)	13.6 \pm 0.6	10.7 \pm 0.3	0.240 b	66
Mean	11.5 \pm 0.4	9.3 \pm 0.2	0.064	39
Block 07 (Hams Bluff)				
A (Costa Rica)	9.1 \pm 4.9	7.1 \pm 2.2	0.083 ab	59
B (Jamaica)	4.7 \pm 1.1	4.8 \pm 1.3	0.002 a	11
D (Mexico)	14.5 \pm 7.0	9.1 \pm 2.5	0.387 c	89
E (Cuba)	11.2 \pm 5.9	8.3 \pm 2.6	0.171 ab	68
G (Belize)	12.5 \pm 6.1	8.8 \pm 2.8	0.230 bc	70
Mean	11.8 \pm 6.4	8.2 \pm 2.7	0.175	59

1 Commonwealth Forestry Institute codes for provenances: A = 67 (7286) Oxon 1, Guanacaste, Costa Rica; B = 67 (7292) Oxon, Enfield, Jamaica; D = 67 (7263) Oxon, Campeche, Mexico; E = 67 (729) Oxon, Cuba (exotic plantation); G = 67 (7282), Oxon 2, Belize. The following provenances were eliminated from the study because of poor germination or mortality: C, 67 (7286) Oxon 2, Turrialba, Costa Rica; F, 68 (8273) Oxon, Misiones, Argentina; and H, 67 (7282) Oxon, Belize (Whitmore 1971).

2 Sum of volume per four-tree plot. Statistical difference at the 95% level within columns is indicated by different letters.

Another interesting point derived from these provenance trials is that the short-term observations of performance, although generally informative with respect to growth, did not coincide with the long-term observations of best growth. Many provenance trials are designed to report on performance for just a few years. As is evident in these studies, short-term observations may not indicate the best performers in the long run.

In summary, the research and reforestation effort on St. Croix has provided information on the survival and growth of commercial tree species and has created a valuable forest resource on lands that had no higher priority use. Although growth rates on the Island are not as rapid as in areas with higher rainfall, quality timber is now available for local wood-using enterprises and may be supplied in limited quantities on a sustained yield basis.

LITERATURE CITED

1. BAKER, F.S. 1950. Principles of silviculture. New York, Mc Graw-Hill. 414 p.
2. BRISCOE, C.B.; NOBLES, R.W. 1962. Height growth of mahogany seedlings. Rio Piedras, P.R. Institute of Tropical Forestry. USDA Forest Service, Tropical Forest Note 13. 2 p.
3. BROWN, S.; LUGO, A.E. 1982. The storage and production of organic matter in tropical forests and their role in the global carbon cycle. *Biotropica* 14:161-187.
4. CALVESBERT, R.J. 1970. Climate of Puerto Rico and the U.S. Virgin Islands. U.S. Department of Commerce, Environmental Science Services Administration, Environmental Data Service, Silver Spring, Md. *Climatology of the United States* no. 60-52. p. 1-29.
5. CROW, I.R. 1980. A rainforest chronicle: a 30-year record of change in structure and composition at El Verde, Puerto Rico. *Biotropica* 12(1):42-55.

- 6 EWEL, J. J.; WHITMORE, J. L. 1973. The ecological life zones of Puerto Rico and the U.S. Virgin Islands. Rio Piedras, P.R. Institute of Tropical Forestry, USDA Forest Service Research Paper ITF-18 72 p.
- 7 FORMAN, R. I. T. 1974. An introduction to the ecosystems and plants on St. Croix, U.S. Virgin Islands. In Guidebook to the geology and ecology of some marine and terrestrial environments, St. Croix U.S. Virgin Islands. Ed. by H. Gray Multer, L. C. Gerhard. West Indies Laboratory, Christiansted, St. Croix, U.S. Virgin Islands, Farleigh Dickinson University, Special Publication no. 5 p. 201-237.
- 8 FOSBERG, F. R. 1974. Sketch of the St. Croix flora. In Guidebook to the geology and ecology of some marine and terrestrial environments, St. Croix, U.S. Virgin Islands. Ed. by H. Gray Multer, L. C. Gerhard. West Indies Laboratory, Christiansted, St. Croix, U.S. Virgin Islands, Farleigh Dickinson University, Special Publication no. 5 p. 239-244.
- 9 GEARY, I. F.; NOBLES, R. W. 1980. Selection of some exotic tree species for planting in St. Croix, Virgin Islands. In Wood production in the neotropics via plantations (1980, Rio Piedras, P.R., Institute of Tropical Forestry). Proceedings IUFRO/MAB/Forest Service Symposium; IUFRO Working Group S1-07-09. Ed. by J. L. Whitmore. Rio Piedras, P.R., Institute of Tropical Forestry. p. 303-307.
- 10 GEARY, I. F.; NOBLES, R. W.; BRISCOE, C. B. 1972. Hybrid mahogany recommended for planting in the Virgin Islands. Rio Piedras, P.R. Institute of Tropical Forestry, USDA Forest Service Research Paper ITF-15. 5 p.
- 11 GRAM, K.; LARSEN, C. S. 1960. The flowering of teak (*Tectona grandis*) in aspects of tree breeding, based on observation in Thailand. New Delhi. FAO Teak Subcommittee, No. FAO/ISC-60/3.2 4 p.
- 12 HOLDRIDGE, L. R. 1967. Life zone ecology. San José, C.R., Tropical Science Center 206 p.
- 13 KEOGH, R. M. 1979. Does teak have a future in tropical America? *Unasylva* 31(126):13-19.
- 14 KRAMER, W. P. 1930. Report of forest investigation of Virgin Islands and recommendations. San Juan, P.R., Luquillo National Forest 37 p. (unpublished report).
- 15 LAMB, F. B. 1966. Mahogany of tropical America; its ecology and management. Ann Arbor, Mich. The University of Michigan Press. 220 p.
- 16 LIEGEL, L. H. 1984. Assessment of hurricane rain/wind damage in *Pinus caribaea* and *Pinus oocarpa* provenance trials in Puerto Rico. *Commonwealth Forestry Review* 63(1):47-53.
- 17 LONGWOOD, F. R. 1962. Present and potential commercial timbers of the Caribbean with special reference to the West Indies, the Guianas and British Honduras. Washington, D.C. USDA Agriculture Handbook no. 207 167 p.
- 18 LUGO-LOPEZ, M. A.; RIVERA, L. H. 1980. Updated taxonomic classification of the soils of the U.S. Virgin Islands. *The Journal of Agriculture of the University of Puerto Rico* 64:131-137.
- 19 MCKENZIE, W. E.; SCOTT, B. F.; RIVERA, L. H. 1965. Soils and their interpretations for various uses, St. Croix, U.S. Virgin Islands. Cartographic Unit, Spartanburg, S.C. USDA Soil Conservation Service 67 p.
- 20 NEWBOULD, P. J. 1967. Methods for estimating the primary production of forest. Oxford, England, Blackwell Scientific Publications, IBP Handbook 2. 62 p.
- 21 NOBLES, R. W. 1960. Forestry in the U.S. Virgin Islands. *Journal of Forestry* 58(7):524-527.
- 22 NOBLES, R. W.; BRISCOE, C. B. 1966. Height growth of mahogany seedlings, St. Croix, Virgin Islands. USDA Forest Service, Research Note ITF 10 4 p.
- 23 RIVERA, L. H.; FREDERICK, W. D.; FARRIS, C.; JENSEN, E. H.; DAVIS, L.; PALMER, C. D.; JACKSON, L. F.; MCKENZIE, W. E. 1970. Soil survey of the Virgin Islands of the United States. Washington, D.C. U.S. Government Printing Office. USDA Soil Conservation Service 78 p. X maps.
- 24 SALAZAR, F., R.; ALBERTINI, W. 1974. Requerimientos edáficos y climáticos para *Tectona grandis* L. *Turrialba* 24(1):66-71.
- 25 SOMBERG, S. I. 1976. Virgin Islands forestry research: a problem analysis. St. Croix, Virgin Islands, College of the Virgin Islands and Seymour I, Somberg and Associates. Virgin Islands Agricultural Experiment Station Report no. 9. 14 p.
- 26 STEEL, R. G. D.; TORRIE, J. H. 1980. Principles and procedures of statistics: a biometrical approach. New York, McGraw-Hill 633 p.
- 27 WADSWORTH, F. H.; ENGLER, G. H. 1959. Effects of the 1956 hurricane on forests in Puerto Rico. *Caribbean Forester* 20:38-51.
- 28 WEAVER, P. L. 1986. Hurricane damage and recovery in the montane forests of the Luquillo Mountains of Puerto Rico. *Caribbean Journal of Science* 22(1): 53-70.
- 29 WEAVER, P. L.; BAUER, G. P. 1986. Growth survival and shoot borer damage in mahogany plantings in the Luquillo Forest of Puerto Rico. *Turrialba* 36(4):509-522.
- 30 WHETTEN, J. I. 1974. Field guide to the geology of St. Croix, U.S. Virgin Islands. In Guidebook to the geology and ecology of some marine and terrestrial environments, St. Croix, U.S. Virgin Islands. Ed. by L. C. Gerhard. West Indies Laboratory, Christiansted, St. Croix, U.S. Virgin Islands. Farleigh Dickinson University, Special Publication no. 5. p. 129-144.

31. WHITMORE, J.L. 1971. *Cedrela* provenance trial in Puerto Rico and St. Croix: nursery phase assessment. Turrialba 21(3):343-349.
32. WHITMORE, J.L. 1978. *Cedrela* provenance trial in Puerto Rico and St. Croix: establishment phase. Rio Piedras, P.R., Institute of Tropical Forestry, USDA Forest Service Research Note No. ITF 16 11 p.
33. WHITMORE, J.L.; HINOJOSA, G. 1977. Mahogany (*Swietenia*) hybrids. Rio Piedras, P.R., Institute of Tropical Forestry. Service Research Paper ITF-23 8 p.
34. ZAR, J.H. 1984. Biostatistical analysis. Englewood Cliffs, N.J. Prentice-Hall 718 p.

Reacción de Algunos Cultivares de Cacao a la Inoculación Manual con *Moniliophthora roreri*¹

J.A. Sánchez*, G. Enriquez**

ABSTRACT

In field trials established at Turrialba, Costa Rica (22.5°C - 87%), sixty-day-old pods were sprayed with 9 to 15-day-old monilia spores in a solution of 10⁵ spores/ml. After inoculation, fruits were protected with clear plastic bags, perforated at the bottom to allow drainage of excess humidity. Readings taken weekly, from weeks five through fifteen, evaluated external damage on a scale of 0 to 10. Internal reaction was rated from 0 to 5 depending on degree of decomposition of beans. Cultivars demonstrating resistance were characterized by low incidence (\bar{x} = 29%) of moniliasis and slight external (\bar{x} = 1, 2) and internal (\bar{x} = 2.0) damage. Best results were obtained with cultivars 'CC-210', 'EET-48', 'EET-59', 'CC-266'. Most susceptible were: 'UF-667', 'UF-650', 'UF-4', 'UF-654', 'Pound-7', 'SGU-69' and 'UF-29', as evidenced by high (\bar{x} = 91%) incidence and severe external (\bar{x} = 4.6) and internal (\bar{x} = 4.0) damage.

INTRODUCCION

La moniliasis del cacao (*Theobroma cacao* L.), conocida también como pudrición acuosa, mal palúdico, mal de Quevedo, pringue, ceniza, pasmo, polvillo, helada, hielo, etc. (5, 10), es una enfermedad causada por el hongo *Moniliophthora roreri*

COMPENDIO

En Turrialba, Costa Rica, (22.5°C - 37%), se determinó la reacción de algunos cultivares de cacao a la inoculación manual de *Moniliophthora roreri*. Se utilizaron frutos de 60 días de edad de 33 cultivares, los cuales se asperjaron con conidios de 9 a 15 días de edad. Se usó una concentración de 10⁵ conidios/ml; los frutos se protegieron con una bolsa plástica transparente y perforada en su base. A las cinco semanas de la inoculación, se iniciaron las lecturas de reacción externa y se continuaron una vez por semana hasta la décima quinta. Para estas lecturas se usó una escala de 0 a 10, según el tipo de síntoma que se observó. También, se calificaron internamente con base a una escala de 0 a 5, según el grado de descomposición que presentaron las almendras. De los resultados obtenidos se consideraron como resistentes o promisorios, por su baja incidencia (\bar{x} = 29%) y severidades externa (\bar{x} = 1.2) e interna (\bar{x} = 2.0), a los cultivares: 'CC-210', 'EET-48', 'EET-59' y 'CC-266'. Como muy susceptibles, dada su alta incidencia (\bar{x} = 91%) y severidades externa (\bar{x} = 4.6) e interna (\bar{x} = 4.0), a los cultivares 'UF-667', 'UF-650', 'UF-4', 'UF-654', 'UF-29', 'Pound-7' y 'SGU-69'.

(Cif. y Par. Evans), que ocasiona considerables pérdidas en cacaotales de Sur y parte de Centro América. Apareció con características epifitóticas en Ecuador en el año 1916 y de allí se extendió a Colombia y Venezuela. También se encuentra al extremo sur-este de Panamá (10) y en 1978 se registró por primera vez en Costa Rica (6) donde invadió toda el área cacaotera de la zona atlántica en menos de dos años. A fines de 1980, ya se encontraba en plantaciones del sur y también del norte, en la frontera con Nicaragua (Brenes, O. Comunicación personal, Turrialba, Costa Rica, C.A., 1981).

Hasta el presente, se sabe que el hongo sólo ataca el fruto de varias especies de los géneros *Theobroma* y

¹ Recibido para publicación el 20 de marzo de 1987.

* Programa de Mejoramiento de Cultivos Perennes, CATIE. Dirección actual: Fundación Hondureña de Investigación Agrícola, FHIA, Apdo. Postal 2067, San Pedro Sula, Honduras, C.A.

** Programa de Mejoramiento de Cultivos Perennes, CATIE, Turrialba, Costa Rica, C.A.

Herrania, entre ellos: *T. simiarum*, *T. gileri*, *T. bicolor*, *T. mamosa*, *T. angustifolia*, *H. nitida*, *H. balensis* y *H. pulaherina* (Enríquez, G.A. Comunicación personal, Turrialba, Costa Rica. C.A., 1982)

Los frutos pueden ser atacados a cualquier edad pero los primeros estados son los más susceptibles, desarrollándose la enfermedad internamente a medida que se desarrolla el fruto (1). La sintomatología varía con la edad del fruto; en los de menos de tres meses aparecen deformaciones o "jibas" ligeramente pálidas; antes de alcanzar su completo desarrollo, estos frutos se momifican y permanecen adheridos al árbol (2) y la mayoría de los casos presenta estroma y abundante esporulación. Cuando los frutos llegan a los tres meses o más sin mostrar síntomas, normalmente ya no aparecen las deformaciones o jibas sino manchas necróticas de color chocolate. La mancha se extiende y aparece pronto un estroma blanco, que se torna crema al formarse las estructuras reproductivas del hongo, que son diseminadas por el viento principalmente (1). Al cosechar, pueden aparecer frutos sin otros síntomas que una madurez desuniforme y se sienten más pesados que los normales de igual tamaño. Esos frutos tienen sus almendras parcial o completamente destruidas (2).

En cuanto a prácticas culturales, la remoción oportuna de frutos infectados, ha sido la más eficiente en el combate de esta enfermedad (7, 8). El combate químico no ha sido efectivo y aunque a veces se obtienen algunos resultados positivos, éstos no son consistentes y en la mayoría de los casos, resultan anti-económicos (4, 11).

El combate por resistencia no ha sido utilizado y se conoce muy poco al respecto. Sin embargo, ya en 1929 Rorer (12) consideraba que la variedad Nacional era menos susceptible que la variedad Venezuela. Algunos trabajos realizados en Ecuador sobre presión de inóculo natural, indicaron la posibilidad de encontrar resistencia a la enfermedad (3, 11). Sotomayor (13), al inocular frutos de 83 días con una concentración de 35 millones de conidios/ml, no encontró diferencias en el material probado y lo atribuyó a la gran presión de inóculo usada pero no repitió la prueba a menores concentraciones. Rodríguez y Suárez (11), con una concentración de 25×10^4 conidios/ml, obtuvieron altos porcentajes de infección en la mayoría de los cultivares inoculados; sin embargo, señalaron como promisorios los siguientes: 'EET-233', 'EET-381', 'EET-382', 'EET-387', 'EET-396' y 'EET-406'. En registros de infección natural Delgado, Ampuero y Doak (3) destacaron los cultivares 'EET-114', 'EET-96', 'EET-306' e 'ICS-48', algunos por su baja incidencia y otros por sus rendimientos y baja infección. El comportamiento de los distintos materiales

varía mucho de un año a otro y de una zona a otra, según las condiciones ambientales (3, 11).

Algunos materiales tienen la tendencia a producir su máxima cosecha al final de la estación seca y esto permite que escapen al ataque de distintas enfermedades (3, 14). Este aspecto puede considerarse como una forma de resistencia por escape y puede ser muy importante en zonas con épocas de lluvia bien definidas.

En los estudios sobre resistencia se ha tomado sólo el porcentaje de incidencia como variable dependiente, aunque ya algunos autores, como Rodríguez y Suárez (11), destacan el hecho de que algunos cultivares mostraban baja descomposición interna en los frutos inoculados.

Por otra parte, la edad, la concentración y la forma de aplicar el inóculo han influido mucho en los intentos por obtener infección. Con aplicación de esporas en seco y de edad no conocida sobre frutos de distinta edad ha habido poco éxito en las inoculaciones (12). En cambio, con conidios de 9 a 15 días de edad aplicados en suspensión mediante atomización sobre las paredes del fruto, se ha alcanzado altos porcentajes de infección (11, 13). Merchán y Restrepo (9) obtuvieron altos porcentajes de infección cuando aplicaron sobre uno de los surcos del fruto los conidios adheridos a la punta de un alfiler entomológico, liberando el inóculo al asperjar agua destilada con un atomizador manual De Vilbiss.

En los pocos casos en que se ha tratado de encontrar algún grado de resistencia por inoculación artificial, el fracaso se ha atribuido a las altas concentraciones utilizadas (11, 13).

El presente estudio tuvo como objetivo probar la susceptibilidad o resistencia o moniliasis del cacao (*Moniliophthora roreri*) de 33 cultivares inoculados artificialmente con este hongo.

MATERIALES Y METODOS

El presente estudio se realizó en el Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza, CATIE en Turrialba, Costa Rica, situado a una altura de 600 msnm, con una temperatura media anual de 22.5°C y una humedad relativa de 87%. Ecológicamente la zona corresponde a bosque muy húmedo tropical premontano. La precipitación en el año en que se realizó el estudio fue de 2.954 mm.

Prueba de concentración del inóculo y método de aplicación

Para determinar la concentración apropiada y la forma de inoculación se realizó una prueba preliminar en frutos de distinta edad de los cultivares 'R-1', 'R-8', 'TSH-792', 'Diamante-800', '-UF-701' y 'CATIE-1000'. La mitad de los frutos disponibles en cada cultivar se dividió en cuatro grupos, los cuales recibieron cada uno por aspersión, las siguientes concentraciones de inóculo: 0, 10^4 , 10^5 y 10^6 conidios/ml en Tween-80 al 0.01% como dispersante. La otra mitad recibió las mismas concentraciones pero utilizando un algodón sumergido en la suspensión y aplicado con ayuda de pinzas en uno de los surcos del fruto. Todos los frutos fueron protegidos al momento de ser inoculados con bolsa plástica y ésta se mantuvo hasta la cosecha. Las lecturas de incidencia se iniciaron a los 24 días y se continuaron una vez por semana hasta cuando los frutos eran cosechados en estado de esporulación avanzada, descomposición o madurez normal o prematura.

Evaluación uniforme de cultivares

Con base en los resultados de la prueba anterior, se procedió a evaluar algunos cultivares de la colección del CATIE incluyendo en lo posible aquéllos utilizados en la producción de semilla híbrida. El estudio se dividió en tres etapas con intervalos de aproximadamente 1.5 meses entre éstas y abarcando en cada etapa entre 8 y 12 cultivares. Se utilizaron entre 40 y 60 frutos de dos meses de edad provenientes de polinización manual, los cuales se dividieron en cuatro grupos para tomarlos como repeticiones que se inocularon a mañana y tarde, en dos días consecutivos, de 7:30 a 10:30 am y de 1:00 a 3:00 pm. Las inoculaciones se hicieron asperjando cada fruto con una concentración de 10^5 conidios/ml en Tween-80 al 0.01%. Los conidios tenían entre 9 y 15 días y fueron producidos en un medio de cultivo a base de agar (1.5%), dextrosa (2.0%) y hojuelas de avena (5.0%). Los frutos se protegieron con una bolsa plástica al momento de ser inoculados. La inoculación se hizo introduciendo el conducto del atomizador De Vilbiss por uno de los agujeros de los extremos de la bolsa y presionando la perilla del atomizador cinco a seis veces consecutivas, tratando de cubrir todo el fruto.

En cada etapa se inoculó también el cultivar 'Catongo' para tenerlo como testigo permanente que permitiera detectar el efecto de variaciones ambientales y/o del inóculo.

A las cinco semanas de la inoculación se iniciaron las lecturas de reacción externa y se continuaron una

vez por semana hasta la décima quinta, cuando la mayoría de los frutos habían sido cosechados por presentar esporulación, madurez prematura o avanzado estado de descomposición. Para estas lecturas se usó una escala de 0 a 10, con la cual se calificaron las distintas y sucesivas combinaciones de síntomas y grados de severidad. Al momento de cosecharse los frutos también se calificaron internamente con base en una escala de 0 a 5, según el grado de descomposición que presentaron las almendras.

Debido a la variación que presentó la enfermedad en las distintas etapas, según lo indicó el testigo permanente, fue necesario hacer un ajuste en los datos para corregir diferencias entre cultivares debido posiblemente al ambiente o a diferencias en la infectividad del inóculo. El ajuste se hizo tomando como base las dos etapas más severas que detectó el testigo (abril y agosto). Se hizo así por considerar que éstas representan mejor lo que sucede en áreas endémicas, donde la enfermedad no tiene limitaciones de tipo ambiental.

Por último, se hizo un análisis de varianza para severidad externa e interna y una prueba de Duncan para establecer las diferencias posibles entre cultivares. También se determinó la correlación entre la lectura promedio de 11 semanas (5a a 15ava), con cada una de las lecturas semanales, en cada cultivar, para tratar de encontrar una lectura individual que reflejara las diferencias entre cultivares sin necesidad de hacer todas las demás.

RESULTADOS Y DISCUSION

Concentración del inóculo y método de aplicación

Los primeros síntomas aparecieron a las cinco semanas y continuaron apareciendo en las semanas siguientes; consistían en puntos aceitosos o hidrosos y en pocos casos, deformaciones ligeras. Las concentraciones mayores (10^5 y 10^6) fueron las que ocasionaron los síntomas más tempranos y de mayor severidad eventual siendo esto notorio en la concentración de 10^6 conidios/ml aplicada con algodón, que llevó a agrupar los síntomas en una área muy pequeña. Las primeras necrosis se presentaron a la 7a semana y la formación de estroma y esporulación ocurrió entre la 9a y 10a semana. El porcentaje de incidencia aumentó al incrementarse la concentración de inóculo y a la vez fue superior cuando se inoculó por aspersión. Los porcentajes de incidencia por el método de aspersión fueron 0, 28.8, 78.6 y 96.5 mientras que por el método de algodón se registraron 0, 18.5, 50.0 y 89.3 para las concentraciones de inóculo de 0, 10^4 , 10^5 y 10^6 conidios/ml, respectivamente. De acuerdo con los resultados se consideró que 10^5 co-

nidios/ml es una concentración que permite detectar diferencias de susceptibilidad entre cultivares, por lo que se escogió tal concentración para la prueba de materiales.

Concentraciones más altas podrían enmascarar o vencer alguna resistencia moderada en caso de existir ésta; concentraciones menores podrían ser insuficientes para infectar aún los cultivares medianamente susceptibles.

Como método de inoculación, se consideró que la aspersión produjo una infección más uniforme y natural al simular mejor las condiciones de campo, pues se supone que, normalmente, al fruto no le llegan concentraciones tan altas en relación con el área de éste.

Evaluación uniforme de cultivares

Al iniciar las lecturas, a la 5a. semana después de la inoculación, todos los cultivares presentaban en mayor o menor grado los primeros síntomas que consistían en puntos aceitosos o hidrosos y ocasionalmente, deformaciones suaves. Las primeras necrosis se presentaron a la 7a. semana en la mayoría de los cultivares; sólo el "CC-211" lo hizo a la 6a., mientras que el "CC-210" y el "EET-48" no lo hicieron sino hasta la 10a.

También se presentó un agrietamiento a lo largo de uno de los surcos del fruto en algunos cultivares ("UF-650", "Pound-7", "SPA-9", "SPA-11", "UF-701"). En varios de ellos hubo formación de estroma por entre el agrietamiento, que llegó hasta la cavidad de las almendras en varios frutos. Aparentemente, se trata de una forma poco común de manifestarse la enfermedad no descrita hasta el presente en la literatura. Debido a que se presentó en cultivares que mostraron diferencias en susceptibilidad, se considera que puede deberse a las relaciones medio ambiente-susceptivo-patógeno.

Las esporulaciones en los materiales que presentaron este signo se sucedieron a la 8a y 9a semanas; sólo el "CC-211" lo hizo a la 7a. semana mientras que el "SCA-6", "SPA-9", "SPA-11" y "CC-144", lo hicieron a la 10a. semana. Se considera que las condiciones de alta humedad y temperaturas relativamente frescas influyeron para que muchos frutos de los cultivares inoculados en algunas etapas no presentaron esporulación como ocurrió en algunos de los frutos inoculados en junio y setiembre, cuando la enfermedad fue menos severa. Sin embargo, el ajuste con base solamente a las etapas de mayor severidad, corrigió en gran parte esta situación.

En el Cuadro 1 se presenta, la severidad externa e interna generales así como la incidencia y la severidad externa a la 8a. semana en los diferentes grupos de clones entre los que se encontró diferencias al 5%, según la prueba de Duncan. De acuerdo con estos resultados se considera que, teniendo en cuenta la severidad externa e interna, la incidencia y algunas observaciones de campo, se puede hacer la siguiente clasificación para los cultivares probados, que, aunque no es absoluta para todas las condiciones ambientales y de inóculo, sí refleja la posición relativa de los cultivares en una escala de menor a mayor severidad.

Resistentes o promisorios. Por su baja incidencia y severidad externa, interna o ambas, se considera que los siguientes materiales son muy importantes para continuar con los estudios en zonas con distintos ambientes y presión de inóculo. Son estos: "CC-210", "EET-48", "EET-59" y "CC-266".

Tolerantes o de reacción mixta. Por su baja severidad interna: "EET-400", "UF-613", "SPA-9" y "SPA-11"; por su incidencia mediana y su reacción interna relativamente baja: "EET-338"; por su incidencia mediana y baja severidad externa: "EET-397" y por su incidencia y severidad externa bajas, el "UF-11".

Moderadamente susceptibles. "SCA-6", "CC-144", "CC-182" y Catongo.

Susceptibles. "CC-211", "CC-224", "UF-672", "UF-701", "SCA-12" y CATIE-1000.

Muy susceptibles. Se incluye en este grupo aquellos cultivares que presentaron alta severidad externa e interna, alta incidencia y abundante esporulación en el campo. Son estos: "UF-667", "UF-677", "UF-650", "UF-4", "UF-654", "Pound-7", "SGU-69" y "UF-29", aunque este último esporuló poco en el campo.

Al comparar estos resultados con los de otros autores es aparente que las concentraciones utilizadas por Sotomayor (13) fueron la causa para que no se lograra detectar diferencias entre cultivares, ya que este investigador sólo tuvo en cuenta incidencia y no la severidad, como en el presente caso. También, la no relación entre severidad externa e interna, que se presentó en algunos clones, está acorde con lo observado por Rodríguez y Suárez (11), quienes determinaron baja descomposición interna en varios de ellos. La total descomposición interna, en la mayoría de los frutos de los cultivares clasificados como susceptibles y muy susceptible se confirma con lo encontrado por Merchán y Restrepo (9) en el clon susceptible EET-96 sometido a concentraciones de 273×10^3 conidios.

Cuadro 1. Severidad externa (0-10), severidad interna (0, 5), incidencia (%) y severidad externa a la 8a. semana en cultivares de cacao inoculados artificialmente con *M. roreri*¹.

Cultivares	Severidad externa Escala 0-10	Severidad interna ²	Incidencia (%)	Severidad 8a. semana
CC-210	0.45 a ³	1.10 a	19.2	0.33
EET-59	0.79 ab	1.13 a	23.1	0.73
EET-48	1.40 abc	1.06 a	34.2	1.05
CC-266	1.61 abc	2.65 abc	31.6	1.19
UF-11	2.00 abcd	3.77 bc	36.4	1.48
CC-182	2.06 abcd	3.40 bcd	77.4	1.57
EET-397	2.67 bcde	3.57 bcd	53.6	2.32
Catongo	2.73 bcde	2.92 abcd	76.1	2.24
CC-224	2.94 bcdef	4.04 bcd	77.8	2.84
SCA-6	2.99 cdef	4.33 bcd	51.1	2.27
EET-338	3.07 cdef	2.50 ab	57.1	2.37
CC-18	3.37 defg	3.68 bcd	86.1	2.49
CC-144	3.39 defg	2.88 abcd	79.5	2.79
UF-613	3.41 defgh	1.30 a	76.2	2.85
SPA-9	3.42 defghi	2.51 abc	95.8	3.11
SPA-11	3.43 defghi	2.43 ab	96.2	2.89
EET-400	3.49 defghi	1.26 a	78.3	2.88
UF-29	3.78 defghi	4.52 d	83.7	3.48
SGU-69	4.06 efghi	3.81 bcd	93.3	2.95
SCA-12	4.10 efghi	4.38 bcd	70.7	2.88
UF-672	4.15 efghi	3.25 bcd	95.9	3.80
UF-4	4.16 efghi	4.17 bcd	98.2	3.66
UF-650	4.29 efghi	3.65 bcd	84.8	3.42
UF-667	4.63 efghi	4.01 bcd	83.8	3.06
CC-211	4.63 fghi	4.80 d	71.7	4.09
UF-701	4.63 fghi	2.73 abc	88.4	3.78
CC-9	4.69 fghi	4.26 bc	92.6	4.34
CC-235	4.72 fghi	4.07 bcd	90.9	3.94
UF-667	4.73 fghi	3.56 bcd	94.4	3.62
UF-654	5.00 ghi	3.92 bcd	96.1	3.44
CATIE-1000	5.02 ghi	3.46 bcd	94.1	4.26
POUND-7	5.20 hi	3.74 bcd	95.4	4.88
SPA-5	5.87 i	4.18 bcd	98.1	4.21

1 Promedio de 11 lecturas semanales.

2 Incluye sólo los frutos que también fueron infectados externamente.

3 Valores con una misma letra no difieren estadísticamente entre sí (5%).

aplicados sobre un sólo surco del fruto. Estos autores (9) anotan que estas dosis produjeron una pérdida total de las almendras.

El uso de escalas, tanto para calificar severidad externa como interna, no sólo facilitó la toma de información sino que permitió cuantificar el mayor o menor grado con que se puedan presentar los sin-

tomas, aspecto muy importante cuando se desea detectar diferencias en susceptibilidad. La alta correlación entre la calificación promedio y la correspondiente a la 8a. semana ($r = 0.96$) muestra que, en futuros trabajos de esta índole y para las condiciones en que se realizó el estudio, puede tomarse sólo esta lectura, la que permitirá detectar las diferencias que existen entre cultivares con un gran ahorro de tiempo.

De acuerdo con los resultados, se concluye que hay diferencias en la susceptibilidad a moniliasis del cacao entre cultivares de la especie *Theobroma cacao* y que la metodología utilizada en este estudio permite, bajo las condiciones de Turrialba, establecer diferencias entre materiales inoculados

Se recomienda continuar estos estudios en busca de nuevos materiales con características de resistencia y subsiguientemente, determinar el grado de hereditabilidad para utilizarlos en la producción de semilla híbrida que se destinaría a aquellas regiones en donde la presión de la enfermedad es alta

LITERATURA CITADA

- 1 AMPUERO, E. 1967. Monilia pod rot of cocoa. *Cocoa Growers' Bulletin* 9:15-18
- 2 BARROS N., O. 1977. Investigaciones sobre el hongo *Monilia roreri*, Cif. and Par., causante de la pudrición acuosa de la mazorca del cacao: sus daños y su control. *El Cacaotero Colombiano* 3:42-52
3. DELGADO A., J.C.; AMPUERO, E.; DOAK, K.D. 1960. Posible evidencia de resistencia a la *Monilia roreri*, Cif. y Par., en algunos clones de la Estación Experimental Tropical de Pichilingue. In *Interamerican Cocoa Conference* (8., 1960. Trinidad and Tobago) *Proceedings*. Trinidad, Government Press. p. 184-192.
- 4 DESROSIERS, R.; DIAZ M., J. 1955. Efecto de diversos fungicidas en el combate de la podredumbre de las mazorcas causada por *Monilia*. *Agricultura Tropical (Colombia)* 11(9):759-763.
- 5 ENRIQUEZ, G.A.; SALAZAR, G.; PAREDES, L.A. 1979. Monilia, una nueva enfermedad que afecta el cacao de Costa Rica en la zona de Cahuita Turrialba, C.R., CATIE. Programa de Plantas Perennes. 9 p
- 6 ENRIQUEZ, G.A.; SUAREZ, C. 1978. Monilia disease of cacao in Costa Rica. *Turrialba* 28(4):339-340
7. GREEN, M.J. 1977. Estudios sobre *Monilia roreri* adelantados en Caldas, Colombia. In Reunión del 18 al 23 de abril de 1977 en Pichilingue, Ecuador. 9 p
- 8 MERCHAN V., 1981. Avances en la investigación de la moniliasis del cacao en Colombia. *El Cacaotero Colombiano* 16:26-41.
9. MERCHAN, V.; RESIREPO, A. 1980. Calibración de un método de inoculación con *Monilophthora roreri*. Informe anual de actividades 1979B - 1980A. Bogotá, Instituto Colombiano Agrícola. 37 p.
10. ORELLANA, R.G. 1956. La moniliasis y otras enfermedades del cacao en el este de Panamá. *Boletín Fitosanitario de la FAO* 4(11):168-169.
- 11 RODRIGUEZ, M.; SUAREZ, C. 1973. Avances en la investigación sobre *Monilia roreri* del cacao en Ecuador. Guayaquil. 18 p. (Mimeografiado). Trabajo presentado a la 2da. Reg. Conf. sobre *Phytophthora palmivora*.
12. RORER, J.B. 1918. Enfermedades y plagas del cacao en el Ecuador y métodos modernos apropiados al cultivo del cacao. Trad. por A. Pachano. Guayaquil. Asociación de Agricultores. p. 17-40.
13. SOTOMAYOR, F. 1965. Estudios preliminares sobre la resistencia de algunos clones de cacao a la moniliasis provocada por la inoculación artificial. Tesis Ing. Agr. Ecuador, Universidad de Guayaquil. 56 p.
- 14 TOXOPEUS, H. 1969. The second Nigeria Cacao Breeding Programme. In *Conferencia Internacional de Pesquisas em Cacau* (2, 1967, Salvador e Itabuna). *Memorias Bahía, CEPLAC*. p. 129-131

Light Intensities and Energy Content of Plant Communities in the Andes of South Central Chile¹

M. Alberdi*, H. Wenzel*, M. Riveros*, M. Romero*

ABSTRACT

Areas of a mixed deciduous and evergreen forest and a pure deciduous *Nothofagus* forest near the timberline (1 000-1 280 m altitude) in the Andes of south central Chile were studied to determine the light intensities in the understory. Additionally, the energy contents of representative forest species and of the scrub-grassland growing at full light above the timberline were determined. With the exception of the bamboo *Chusquea tenuiflora*, that grew only at high light intensities (> 40% light at full light), the most representative forest species (*D. winteri* var. *andina*, *E. alpina*, *M. disticha*) were not selective with respect to this factor. Mosses and herbs such as *Ribes* spp. and *V. reichei* are considered as slightly sciophytic. Light intensities were poorly correlated ($r = 0.13$, $P > 0.05$) with the ash-free caloric values of leaves of all the investigated species. This correlation was highly negative ($r = 0.72$) by herbs. When the same species growing at different altitudes were compared, the higher-located ones showed greater caloric values. Energy values as a function of the genetic constitution of the plant and microclimatic and edaphic conditions are discussed.

INTRODUCTION

The distribution and dominance of plants in the understory, as well as their vital functions and therefore productivity, are influenced by the amount of available light (18, 19). Light in the understory is determined by the season and the periodicity of the foliage of the dominant species. Under the evergreen canopy, light conditions are relatively constant throughout the year, while in the case of deciduous trees light intensity decreases when sprouting begins (19). In the highland forests, where the understory remains under the snow most of the year, the

COMPENDIO

Se investigaron las intensidades lumínicas incidentes sobre el sotobosque de bosques deciduos y siempreverdes-deciduos de *Nothofagus*, ubicados a 1 000-1 280 m de altitud en el límite vegetacional arbóreo de los Andes del Centro Sur de Chile. Adicionalmente se estudiaron los contenidos energéticos foliares de especies representativas de estas formaciones, como también de la estepa andina situada a mayor altitud. Se encontró que las especies más características del sotobosque (*D. winteri* var. *andina*, *E. alpina*, *M. disticha*), no eran selectivas con respecto al factor lumínico, exceptuándose el bambú *Chusquea tenuiflora* que se desarrolla a intensidades lumínicas altas (> 40% luz en relación a la luz a campo abierto). Musgos y herbáceas como *Ribes* spp. y *V. reichei* se comportaron como esciófitas. Las correlaciones entre los valores calóricos libres de cenizas y las intensidades lumínicas a las que crecían hierbas y arbustos, fueron positivas ($r = 0.13$) pero sin significatividad estadística ($P > 0.05$). Esta correlación fue negativa y altamente significativa para las hierbas ($r = 0.72$). No hubo significancia entre el valor calórico y la altitud a la cual se ubicaban las especies. Sin embargo, esta correlación se evidenció claramente cuando se trataba de una misma especie ubicada a diferente altura sobre el nivel del mar. Se discute la influencia del factor genético y de las condiciones microclimáticas y edáficas sobre los contenidos energéticos.

light conditions in summer are decisive for growth and for the accumulation of energetic material (14).

The purpose of this paper is to study light intensities in the understory of pure and mixed *Nothofagus* forest in the Andes of South Central Chile and their possible relation with the foliar energy content in the most common species. Additionally, the energy values of plants of the Andean scrub-grassland growing at full light were determined.

Study Area

The studied forest types are located in Antillanca in the Andes mountains at latitude 40° 47'S, longitude 72° 12'W, in the Puyehue National Park, X Region of Chile. Sites studied were at 1 000-1 125 m (mixed evergreen and deciduous, *Nothofagus betuloides* - *N. pumilio* forest) and at 1 200-1 280 m monospecific *N. pumilio* forest. The scrub-grassland zone is located above timberline at approximately 1 140-1 300 m, depending on the degree of disturbance and previous volcanic eruptions (6, 21, 23).

¹ Received for publication 24 July 1988

The authors thank Dr. Luis Corcuera for helpful criticism of the manuscript, Mrs. Néida Köhler and Lucy Berkhoff for technical assistance and Corporación Nacional Forestal (CONAF), Chile, for their cooperation. This research was supported by Grant S-83-19 from the Dirección de Investigación y Desarrollo, Universidad Austral de Chile, Valdivia/Chile.

* Instituto de Botánica, Universidad Austral de Chile, Casilla 567, Valdivia, Chile.

The understory of the mixed *Nothofagus* forest is frequently dominated by the 1-2 m tall bamboo *Chusquea tenuiflora* and the shrub *Drimys winteri* var *andina*. The density and cover of *Chusquea* is often so high that tree regeneration is prevented or impaired (4). This bamboo is not present in the pure *N. pumilio* forest, which has a longer snow cover and, therefore, a shorter growth period. For optimal growth, this species needs a longer vegetative period (22). More information on the floristic composition of the understory of the *N. betuloides* - *N. pumilio* forest are given in Veblen *et al.* (22) and Alberdi *et al.* (1). The soil-forming parent materials are primarily andesitic and basaltic tuff scoria, and secondarily, ash of sand size and smaller (16). The scrub-grassland is sparsely covered by plants and is characterized by a substrate of coarse volcanic scoria and sand-size tuff. Details on its phytosociological composition and soil characteristics are available (23), especially in Freiberg (6).

According to Table 1, tree canopy density and tree density were higher in the forest stand located at higher altitude, while d.b.h. of trees and shrub size were lower in this stand. In the mixed evergreen-deciduous stands, *N. pumilio* predominates over *N. betuloides*. The pure deciduous forest and the scrub-grassland have a 25% slope.

The climate of Antillanca is cool and extremely humid. Snow falls and remains from May until early December, or for longer periods, at altitudes over 1 300 m. Gale-force winds are common. The predominant wind direction is westerly, although strong easterly winds also occur (23).

MATERIALS AND METHODS

The presence and abundance of species was determined in the studied areas, and expressed in cover percentage. Representative parcels (264 m²) were subdivided in areas of 1 m² each and light intensities were measured in the morning and early and late afternoon with a luximeter above each species, as described by Kreeb (12). Light intensities were expressed as the percentage of the light measured in the open field (L% = relative irradiance) (20). In the scrub-grassland, light intensities were 100%. Since *C. tenuiflora* does not allow growth of the other species, a zone where this plant was nearly absent was selected for the studies in the mixed forest of *Nothofagus*. Measurements were made on cloudy days during the snow-free period (vegetative period), in January 1985, when the canopy is fully developed. During the same period leaves were collected, dried at 80°C, ground to a fine powder to make tablets and processed according to Runge (17) in an adiabatic calorimeter to obtain caloric values.

RESULTS

Vegetation

The floristic composition of the studied areas are given in Table 2. The main floristic differences between the understory of *N. betuloides* - *N. pumilio* stand (mixed forest) and the *N. pumilio* stand are a greater number of species in the shrub and ground strata (with lower cover) beneath the deciduous stand, and the presence of *C. tenuiflora* and *Macrauchenium gracile* beneath the mixed evergreen-deciduous stands. The scrub-grassland is sparsely cov-

Table 1. General characteristics of the study sites in Antillanca, Chile.

	Mixed stand <i>N. betuloides</i> - <i>N. pumilio</i>	Pure stand <i>N. pumilio</i>	Scrub-grassland
Altitude (m a.s.l.)	1 000 - 1 125	1 200 - 1 280	1 140 - 1 300
Slope (%)	-	25	25
Aspect	-	SW	SW
Canopy density (%)	70	90	-
Size of tree stratum (m)	14 (N.p.) ^a ; 10 (N.b.) ^a	10	-
Size of shrub stratum (m)	1-2	0.3 - 0.7	0.25
Size of herb stratum (m)	0.25	0.25	0.15
Litter accumulation (cm)	2.0	2.0	-
No. Trees/100 m ²	17	33	-
d.b.h. range (cm)	25-40	9-30	-
No. Seedlings/m ² :			
<i>N. pumilio</i>	30	39	-
<i>N. betuloides</i>	4	-	-

a N.p. and N.b. are *N. pumilio* and *N. betuloides*, respectively; d.b.h. diameter at breast high

ered with plants, prostrate shrubs (*Empetrum rubrum*, *Pernettya poeppigii* and *P. pumila*) being most abundant. The tussock grasses *Hierochloa juncofolia* and *Cortaderia pilosa* are common. The most abundant species of the rich forb layer are *Adesmia retusa*, *Azorella incisa* and *Quinchamalium chilense*.

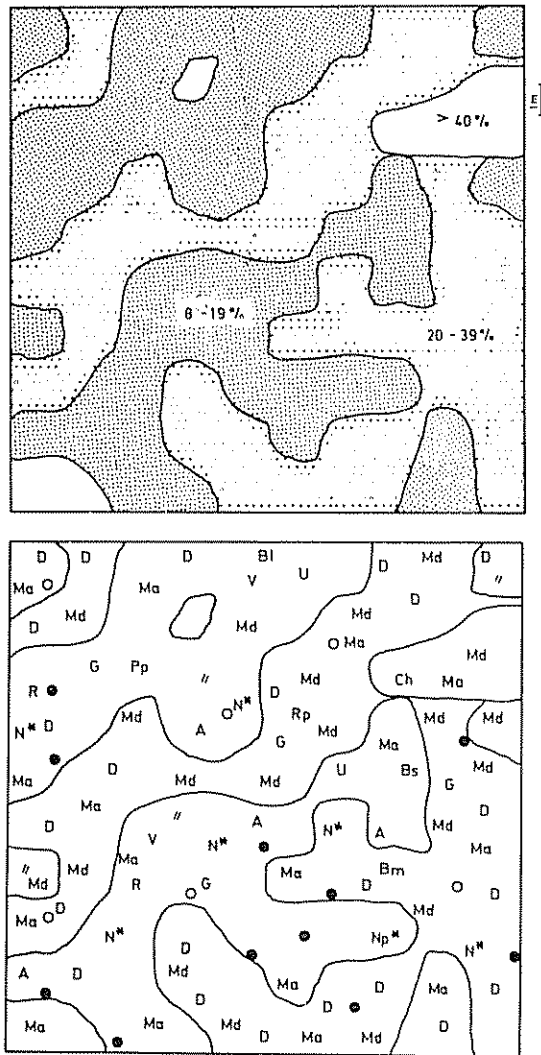


Fig. 1. Map of light intensities (above) and species distribution (below) under the canopy of the mixed evergreen and deciduous *N. betuloides* - *N. pumilio* forest in Antillanca. Numbers represent relative irradiance (L%). A, *Adenocaulon chilense*; Bl *Berberis linearifolia*, Bm, *B. montana*; Bs, *Berberis serralodentata*; Ch, *Chusquea tenuiflora*, D, *Drimys winteri* var. *andina*; G, *Gunnera magellanica*, Ma, *Macrachaenium gracile*, Md, *Maytenus disticha*. N*, *Nothofagus* spp. (seedlings); •, *N. pumilio*, ○, *N. betuloides* (adult trees); Pp, *Pernettya poeppigii*, R, *Rubus geoides*; Rp, *Ribes punctatum*; U, *Uncinia phleoides*, V, *Viola reichei*, //, Mosses. Each symbol represents 1% of relative abundance (in relation to the total of number of individuals of all species of the studied area)

Relative irradiance

The understory of the mixed stand of *N. pumilio*, *N. betuloides* (Fig. 1) receives higher light intensities than the pure *N. pumilio* forest (Fig. 2). Relative irradiance values between 7-3% are not plotted in the diagram of the mixed stand, although, occasionally, isolated lower values reached this range (not shown). According to Fig. 1, *M. gracile* is the species of the mixed forest that has the greatest light amplitude ($L\% = > 40-8$), being found in all light zones observed. *C. tenuiflora* was found only in the most illuminated areas ($L\% = > 40$), while *Rubus geoides*, *Uncinia phleoides*, *Berberis serrato-dentata*, *B. linearifolia*, *Adenocaulon chilense* and mosses are restricted to more shaded areas ($L\% = 19-8$). All other species were found in zones with $L\%$ between 39-8. Shrubs such as *D. winteri* var. *andina* and *M. disticha* grow preferentially at $L\%$ between 39-20.

In the pure stand (Fig. 2), *E. alpina*, *D. winteri* var. *andina* and *G. magellanica* are present in all the light areas established. However, when $L\%$ was higher than 20%, their numbers were lower. *O. andina*, sparsely represented in this stand, was found at $L\%$ 39-20. The remaining species, *Ribes* spp., *M. disticha*, *A. chilense* and *R. geoides*, as well as mosses, were not present in the zone of the greatest relative irradiance. The light similarity indexes between the species in each stand are low (not shown).

In both types of stands, seedlings of *Nothofagus* (up to 10 cm high) are found in a few illuminated zones (pure stand $L\% = 3-19$, mixed stand $L\% = 8-39$). Plants taller than 150 cm were observed only in the forest clearings. Similar behavior has been observed by Wardle (26) in seedlings of *N. solandri* above 1 600 m in Craigieburn Range, New Zealand. *N. solandri* is very sensitive to dryness in this stage of development. Herbs were preferentially distributed in areas of lower intensities compared to shrubs in both forest types, but only in the mixed stand were differences statistically significant ($P < 0.05$).

Energy content

The highest caloric values (Table 3) were found in the forest shrub *D. winteri* var. *andina* (5 280 cal. g^{-1} dry wt.) and the dwarf shrub from the scrub-grassland *E. rubrum* (5 196 cal. g^{-1} dry wt.). The lowest caloric value (3 010 cal. g^{-1} dry wt.) was measured for the scrub-grassland herb *S. trifurcatus* growing at 1 240 m. The calculation of the energy content of the ash-free plant material gave *E. rubrum* a high value (6 038 cal. g^{-1} dry wt.). The highest reported plant caloric value (6 060 cal. g^{-1} dry wt.) is for the algae *Scenedesmus quadricauda* (11).

Table 2. List of species and cover of a mixed evergreen and deciduous *Nothofagus betuloides* - *Nothofagus pumilio* forest, a pure *N. pumilio* forest and a scrub-grassland stand in Antillanca/Chile. + % cover 5%; r % cover 1 %.

Mixed forest	Cover %	Pure forest	Cover %	Scrub-grassland	Cover %
Trees		Trees		Shrubs	
<i>Nothofagus pumilio</i> (P. et E.) Krasser	80	<i>Nothofagus pumilio</i> P. et E.) Krasser	90	<i>Empetrum rubrum</i> Vahl ex Willd	30
<i>Nothofagus betuloides</i> (Mirb.) Blume	5			<i>Pernettya pumila</i> (L. f.) Hooker	10
				<i>Pernettya poeppigii</i> (DC.) Klotzsch	5
Shrub and tree seedlings	80	Shrubs and tree seedlings	70	Herbs	
<i>Drimys winteri</i> Forst var. <i>andina</i> Reiche	60	<i>Drimys winteri</i> Forst var. <i>andina</i> Reiche		<i>Hierochloe juncifolia</i> (Hackel) Parodi	30
<i>Maytenus disticha</i> (Hook. f.) Urban	20	<i>Maytenus disticha</i> (Hook. f.) Urban	30	<i>Adesmia retusa</i> Gris.	10
<i>Chusquea tenuiflora</i> Phil	5	<i>Ribes punctatum</i> R. et P.	5	<i>Azorella incisa</i> (Griseb.) Wedd.	10
<i>Berberis linearifolia</i> Phil.	+	<i>Berberis montana</i> Gay	r	<i>Cortaderia pilosa</i> (D'Urv.) Hack	10
<i>Berberis serrato - dentata</i> Lechler	+	<i>Nothofagus pumilio</i> (P. et E.) Krasser	+	<i>Quinchamalium chilense</i> Mol.	5
<i>Ovidia andina</i> (Poepp. et Endl.) Meissn.	+	<i>Ovidia andina</i> (Poepp. et Endl.) Meissn.	r	<i>Acaena microcephala</i> Schlecht.	+
<i>Ribes punctatum</i> R. et P.	+	<i>Pernettya pumila</i> (L. f.) Hooker	r	<i>Perezia pedicularidifolia</i> Less.	+
<i>Berberis montana</i> Gay	+	<i>Ribes cucullatum</i> H. et A.	+	<i>Sisyrinchium arenarium</i> Poepp.	+
<i>Pernettya poeppigii</i> (DC.) Klotzsch	+	<i>Baccharis</i> sp.	+	<i>Euphrasia flavicans</i> Phil.	+
<i>Nothofagus pumilio</i> (P. et E.) Krasser	+	<i>Escallonia alpina</i> var. <i>alpina</i> Sleumer	+	<i>Senecio chionophyllus</i> Phil.	+
				<i>Chloraea gaudichaudii</i> Brongn.	r
				<i>Senecio triodon</i> Phil.	+
Herbs		Herbs		<i>Silene andicola</i> Gill ex Hook. et Arn	+
<i>Gunnera magellanica</i> Lam.	80	<i>Adenocaulon chilense</i> Less.	50	<i>Acaena pinnatifida</i> R. et Pav.	+
<i>Viola reichei</i> Skottsbo.	70	<i>Viola reichei</i> Skottsbo.	+	<i>Baccharis magellanica</i> (Lam.) Pers	+
<i>Uncinia phleoides</i> (Cav.) Pers.	5	<i>Rubus geoides</i> Sm.	+		
<i>Hierochloe juncifolia</i> (Hackel) Parodi	+	<i>Gunnera magellanica</i> Lam.	+	Mosses	
<i>Adenocaulon chilense</i> Less.	+	<i>Perezia pedicularidifolia</i> Less.	+		
<i>Macrachaenium gracile</i> Hook. f.	+	<i>Acaena ovalifolia</i> R. et P.	+	<i>Racomitrium willii</i> (C. Müll.) Kindb.	50
<i>Rubus geoides</i> Sm.	+	<i>Codonorchis lessonii</i> (D'Urv.) Lindl.	r		
<i>Codonorchis lessonii</i> (D'Urv.) Lindl.	r	<i>Hierochloe juncifolia</i> (Hackel) Parodi.	r		
<i>Lagenophora hirsuta</i> Less	r	<i>Lagenophora hariatii</i> Franchet	r		
		<i>Senecio triodon</i> Phil.	r		
		<i>Chloraea gaudichaudii</i> Brongn.	r		
Ferns		Ferns			
<i>Licopodium magellanicum</i> (Beauv.) Swartz	+	<i>Blechnum</i> sp.	r		
		<i>Hymenophyllum</i> spp	+		
		<i>Licopodium magellanicum</i> (Beauv.) Swartz	+		
Mosses		Mosses			
<i>Musci</i> spp.	40	<i>Dicranoloma billardierii</i> (Schw.) Par.	5		
		<i>Musci</i> spp.	+		

Table 3. Energy and ash content of leaves of species of the *Nothofagus* forest and the scrub-grassland in Antillanca, Chile in relation their average of relative irradiance. Species are presented in order of decreasing ash free caloric values. Material was collected on January, 1984. Plant nomenclature according to Muñoz (1980).

	Collecting locality (m.a.s.l)	Energy content (cal.g ⁻¹) ash-free	Energy content (cal.g ⁻¹) with ash	Ash content (%)	Relative irradiance (L%)
FOREST					
a) Trees					
<i>Nothofagus dombeyi</i> (Fagaceae)	1 000	5 309	5 167	2.7	—
<i>Nothofagus betuloides</i> (Fagaceae)	1 040	5 216	5 102	2.2	—
<i>Nothofagus pumilio</i> (Fagaceae)	1 040	5 071	4 839	4.6	—
b) Shrubs					
<i>Drymys winteri</i> var. <i>andina</i> (Winteraceae)	1 280	5 451	5 280	3.1	13.3
<i>Pernettya poeppigii</i> (Ericaceae)	1 080	5 450	5 210	4.4	34.8
<i>Pernettya poeppigii</i> (Ericaceae)	1 000	5 378	5 088	5.4	14.6
<i>Drymys winteri</i> var. <i>andina</i> (Winteraceae)	1 000	5 374	5 199	3.2	26.1
<i>Berberis linearifolia</i> (Berberidaceae)	1 000	5 345	5 129	4.0	15.8
<i>Maytenus disticha</i> (Celastraceae)	1 080	5 192	4 925	5.1	38.4
<i>Maytenus disticha</i> (Celastraceae)	1 000	5 157	4 891	5.1	35.6
<i>Ribes punctatum</i> (Saxifragaceae)	1 000	5 116	4 665	8.8	26.4
<i>Escallonia alpina</i> (Escalloniaceae)	1 280	5 144	4 877	4.6	14.5
<i>Berberis montana</i> (Berberidaceae)	1 280	5 066	4 918	2.4	27.6
<i>Embothrium coccineum</i> (Proteaceae)	1 040	5 040	4 891	2.9	35.0
<i>Ovidia andina</i> (Thymelaceae)	1 000	4 991	4 710	5.6	36.6
<i>Ribes punctatum</i> (Saxifragaceae)	1 280	4 920	4 537	7.8	18.4
<i>Chusquea tenuiflora</i> (Poaceae)	1 000	4 883	4 246	13.1	48.0
<i>Berberis serrato-dentata</i>	1 000	4 684	4 526	3.4	15.8
c) Herbs					
<i>Rubus geoides</i> (Rosaceae)	1 080	5 121	4 061	20.7	12.2
<i>Rubus geoides</i> (Rosaceae)	1 280	5 103	4 898	4.0	13.0
<i>Adenocaulon chilense</i> (Asteraceae)	1 280	5 090	4 511	11.4	12.2
<i>Adenocaulon chilense</i> (Asteraceae)	1 000	4 997	4 258	9.4	10.3
<i>Macrachaenium gracile</i> (Asteraceae)	1 000	4 980	4 311	13.4	19.3
<i>Uncinia phleoides</i> (Cyperaceae)	1 280	4 907	4 502	8.3	17.5
<i>Viola reichei</i> (Violaceae)	1 125	4 793	4 003	16.5	13.5
<i>Macrachaenium gracile</i> (Asteraceae)	1 125	4 730	4 162	12.0	19.3
<i>Gunnera magellanica</i>	1 125	4 693	4 426	5.7	32.3

Continuation Table 3.

SCRUB GRASSLAND					
a) Dwarf shrubs					
<i>Empetrum rubrum</i> (Empetraceae)	1 140	6 038	5 196	14.0	100.0
<i>Baccharis magellanica</i> (Asteraceae)	1 350	5 668	5 337	5.8	100.0
<i>Baccharis magellanica</i> (Asteraceae)	1 140	5 624	5 118	3.8	100.0
<i>Pernettya poeppigii</i> (Ericaceae)	1 140	5 508	5 122	7.0	100.0
<i>Pernettya pumila</i> (Ericaceae)	1 140	5 460	5 079	7.0	100.0
<i>Pernettya pumila</i> (Ericaceae)	1 080	5 314	5 071	4.0	100.0
b) Herbs					
<i>Perezia pedicularidifolia</i> (Asteraceae)	1 350	5 355	4 721	11.9	100.0
<i>Senecio Chinophilum</i> (Asteraceae)	1 350	5 242	4 341	17.2	100.0
<i>Chloraea gaudichaudii</i> (Orchidaceae)	1 300	5 131	4 775	6.6	100.0
<i>Lucilia frigida</i> (Asteraceae)	1 380	5 102	3 879	24.0	100.0
<i>Silene andicola</i> (Caryophyllaceae)	1 300	5 084	4 125	18.9	100.0
<i>Adesmia retusa</i> (Fabaceae)	1 190	5 054	4 037	20.9	100.0
<i>Acaena pinnatifida</i> (Rosaceae)	1 240	4 915	3 758	23.6	100.0
<i>Quinchamalium chilense</i> (Santalaceae)	1 350	4 813	4 428	8.0	100.0
<i>Azorella incisa</i> (Apiaceae)	1 240	4 656	3 820	17.7	100.0
<i>Senecio trifurcatus</i> (Asteraceae)	1 240	4 623	3 010	10.0	100.0
<i>Senecio trifurcatus</i> (Asteraceae)	1 140	4 459	3 876	13.9	100.0

The fully sun-exposed herbs of the scrub-grassland produced the highest ash content (Table 3). That agrees well with behavior of sun-exposed leaves (17).

The average caloric values for the analyzed species and growth forms (Table 4) registered high energy contents for the woody species and lower energy contents for herbs. This same relationship was found in the Alpine tundra (2), Mediterranean region (9) and Valdivian rain forest (18). For all the forest species (trees, herbs and shrubs) tested here, the average was $4\,716\text{ cal g}^{-1}$ dry wt and for the scrub-grassland species (dwarf shrubs and herbs) $4\,335\text{ cal g}^{-1}$ dry wt. Considering the caloric values of the ash-free dry material, the grassland species demonstrated a slightly higher energy ($5\,179\text{ cal g}^{-1}$ dry wt.) than the forest species ($5\,082\text{ cal g}^{-1}$ dry wt). This last

value was higher than that corresponding to a Valdivian rain forest ($4\,668\text{ cal g}^{-1}$ dry wt.) in South Central Chile (18). The correlations between the caloric values without ash and the average light intensities (Table 3) at which the herbs and shrubs grew were positive ($r = 0.13$), but not statistically significant ($P = > 0.05$). However, when similar life forms were compared, the correlation was negative ($r = 0.72$ and $r = 0.28$ for herbs and shrubs respectively). The correlations between caloric values and altitude ($r = 0.16$ for herbs and shrubs, $r = 0.28$ for shrubs and $r = 0.36$ for herbs) were statistically not significant ($P = > 0.05$). The relation between these two parameters is more evident for the same species growing at different altitudes (*D. winteri* var *andina*, *P. poeppigii*, *P. pumila*, *M. disticha*, *B. magellanica* and *S. trifurcatus* (see (Table 3)).

DISCUSSION

Ellenberg (5) studied the ecological behavior of Central European vascular plants and established nine categories according to the relative irradiance at which they grew best. According to this scheme, the scrub-grassland species were authentic heliophytes. Of the forest species, *C. tenuiflora* was the most light-dependent. *D. winteri* var. *andina*, *E. alpina*, *M. gracile* and *G. magellanica* were not especially selective with respect to light. They are present in areas between 39 to 5% relative irradiance, but grew preferentially in areas above 10% and were also found in the margins of the forest and in the Andean scrub, in

areas much exposed to light (not represented in light diagrams). The other species (*Ribes* spp., *V. reichei* and mosses) could be considered as slightly sciophytic.

Steubing *et al.* (18), studying the understory of a Valdivian rain forest of South Central Chile, characterized *Chusquea quila* as an heliophyte. The same behavior is observed in other species of this genus. They grow rapidly in forest gaps attaining heights over 7 m. Their vigorous growth suppresses the other understory components and plays an increasing role in forest regeneration (22), being an important element of the secondary scrub (10).

The positive influence of light over the energy contents of plants was described by Long (14). This is not shown in the present study. Contrarily, this correlation was highly negative in herbs. When the caloric values of the same species growing under different light intensities are compared, the relation is found to be direct. Thus, with *P. poeppigii*, decreasing energy differences were not very evident. Only in the case of shrubs did the higher caloric values of the scrub-grassland represent an adaptative response to the environmental stress of this habitat (6).

Table 5 shows the energy contents in an altitudinal gradient of various communities from the Valdivian region, varying from vascular hydrophytes at sea level to plants of the Andean heights. Consistent with the

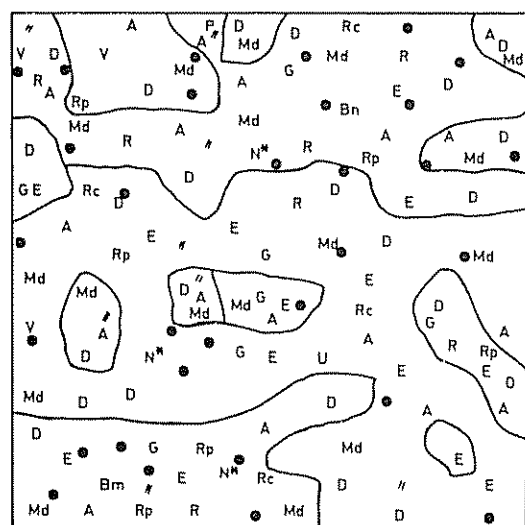
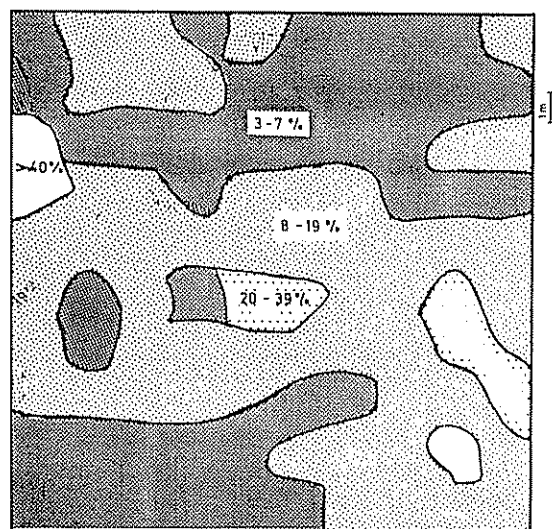


Fig. 2. Map of light (above) and species distribution under the canopy of the monospecific deciduous *N. Pumilio* forest in Antillanca. Numbers represent relative irradiance (L%). E, *Escallonia alpina*; N*, *N. pumilio* (seedlings); P, *Perezia pedicularifolia*; Rc, *Ribes cucullatum*. Others symbols as in Fig. 1.

Table 4. Average caloric values and ash content of leaves of various growth forms present in the forest stands and scrub-grassland in Antillanca, Chile.

	Caloric values (cal. g ⁻¹ D.W.)		
	ash-free	with ash	ash content %
Forest			
Trees	5 199	5 036	3.2
Shrubs	5 146	4 873	5.3
Herbs	4 935	4 348	11.3
Average all species	5 082	4 716	7.0
Scrub-grassland			
Dwarf shrubs	5 602	5 154	6.9
Herbs	4 949	4 070	15.7
Average all species	5 179	4 335	12.6

Differences between caloric values of herbs and shrubs significant at level $p < 0.01$.

Table 5. Average energy values (ash free) of leaves of dominant vegetation in different communities of the Region de Los Lagos (Chile).

Community	Altitude (m)a.s.l.	n	Caloric value (cal.g ⁻¹)	Ref.
Vascular hydrophytes	9	18	4 093	Steubing <i>et al.</i> (1980)
Swamp forest of Myrtaceae	120	13	4 175	a
Valdivian rainforest	200	30	4 668	Steubing <i>et al.</i> (18)
Andean <i>Nothofagus</i> forest (evergreen-deciduous and deciduous)	1 000-1 280	27	5 082	b
Scrub grassland	1 140-1 350	17	5 179	b

a Our unpublished values

b Data from present study

values were obtained when grown in the shade (under forest canopy) with respect to growth in scrub-grassland (full light). On the other hand, *C. tenuiflora*, a heliophyte, has a lower caloric value than *D. winteri* var. *andina* that grew in relatively darker areas. These observations are also supported by the data of Steubing *et al.* (18) for other species. Thus, caloric values are also a function of the genetic constitution of the plant (8).

Differences in caloric values exist between vegetation growing in different ecological communities, as a function not only of genetic factors, but also of environmental condition (7, 8). We had expected that the average of the energy values of all the plants of the scrub-grassland (with more unfavourable microclimatic conditions) would be greater than those of the forest, with more favourable conditions, but the less favourable thermal and nutritional conditions of the Andes mountains (1), the energy contents found

here were higher than those found in the lowlands. Similar results have been found in other continents by Brzoska (3) and Tschager *et al.* (20). However, Verduin (25) has not found evidence that the higher energy content observed in highly stressed environments has any adaptive or survival value.

Lipid accumulation increases the energy content in alpine plants (13, 20). It seems that plants under environmental stress are likely to divert photosynthates to more highly reduced products, such as fats, oils and resins (25). Low temperatures in alpine environments and low nitrogen availability on low humus soils may further enhance lipid biosynthesis (20). Since it is not known which chemical compounds are involved in determining the energy contents of Andean plants, it would be of interest to determine lipid, protein and carbohydrate composition, as well as presence of stress metabolites.

LITERATURE CITED

- ALBERDI, M.; ROMERO, M.; RIOS, D.; WENZEL, H. 1985. Altitudinal gradients of seasonal frost resistance in *Nothofagus* communities of southern Chile. *Oecologia Plantarum* (Francia) 6(20):21-30.
- BLISS, L.C. 1962. Caloric and lipid content in alpine tundra plants. *Ecology* 43:753-757.
- BRZOSKA, W. 1976. Produktivität und energiegehalte von gefässpflanzen im adventdalen (Spitzbergen). *Oecologia* (Berlin) 22:387-398.
- ELLENBERG, H. 1974. Zeigerwerte der gefässpflanzen mitteleuropas. *Skripta geobotanica IX*. Ed. by K.G., Erich Goltze Göttingen, Alemania 97 p.
- BURSHIEL, N.P.; GALLEGOS, G.; MARTINEZ, M.O.; MOLL, V. 1976. Composición y dinámica regenerativa de un bosque mixto de raulí y coigüe. *Bosque* (Chile) 1:55-74.

6. FREIBERG, M. 1985. Vegetationskundliche Untersuchungen an südchilenische Vulkanen. Bonner Geographische Abhandlungen (Alemania) no. 70. 170 p.
7. GOLLEY, F.B. 1961. Energy values of ecological materials. Ecology (EE.UU.) 42:581-584.
8. GOLLEY, F.B. 1969. Caloric value of wet tropical forest vegetation. Ecology (EE.UU.) 50:517-519.
9. HEIM, G. 1974. L'utilité du concept de valeur énergétique en ecologie: une étude basée sur des mesures effectuées sur des plantes méditerranéennes. Oecologia Plantarum (Francia) 9(3):281-286.
10. HILDEBRANDT-VOGEL, R. 1984. Acerca de la vegetación de los matorrales de tierras bajas en la región del bosque laurifolio valdiviano en el Sur de Chile. Phytocoenologia (Alemania) 12(2-3):251-259.
11. KOMAREK, J.; PRIBIL, S. 1968. Heat combustion in the algae *Scenedesmus quadricauda* during its ontogenic cycle. Nature 219:635-636.
12. KREBB, K. 1977. Methoden der Pflanzenökologie. Alemania. Gustav Fischer-Jena. 235 p.
13. LARCHER, W.; SCHMIDT, L.; ISCHAGER, A. 1973. Starke Fettspeicherung und hoher Kaloriengehalt bei *Loiseleuria procumbens* (L.) Desv. Oecologia Plantarum (Francia) 8:377-383.
14. LONG, F.L. 1934. Application of calorimetric methods to ecological research. Plant Physiology (EE.UU.) 9:323-337.
15. MUÑOZ, M. 1980. Flora del Parque Nacional Puyehue. Santiago, Chile. Editorial Universitaria, 557 p.
16. PERALTA, P.M. 1975. Tipificación de algunos suelos en algunas formaciones botánicas de la Cordillera de los Andes. Universidad de Chile. Facultad de Ciencias Forestales. Boletín Técnico no. 31 p. 44-50.
17. RUNGE, M. 1973. Energieumsätze in den Biozöosen terrestrischer Oekosysteme. Scripta Geobotanica IV. Göttingen, Alemania. 77 p.
18. STEUBING, L.; RAMIREZ, C.; ALBERDI, M. 1979. Artenzusammensetzung, Lichtgenuss und Energiegehalt der Krautschicht des valdivianischen Regenwaldes bei St. Martin. Vegetatio 39(1): 25-33.
19. TRANQUILLINI, W. 1960. Das Lichtklima wichtiger Pflanzengesellschaften. Handbuch der Pflanzen-Physiologie 2:304-338.
20. ISCHAGER, A.; HILSCHER, H.; FRANZ, S.; KULL, V.; LARCHER, W. 1982. Jahreszeitliche Dynamik der Fettspeicherung von *Loiseleuria procumbens* und anderer Ericaceen der alpinen Zwergstrauchheide. Oecologia Plantarum (Francia) 3(17)2: 119-134.
21. VELEN, I.T.; ASHTON, D.H.; SCHLEGEL, F.M.; VELEN, A.T. 1977a. Plant succession in a timberline depressed by vulcanism in South-Central Chile. Journal of Biogeography 4:275-294.

Regeneración de Plantas de Tomate (*Lycopersicon esculentum*) por Cultivo *In Vitro* de Folíolos¹

R. Zorzoli*, E. L. Cointry*, E. A. Prado*, L. A. Mroginski**, L. A. Picardi*

ABSTRACT

The capacity to form shoots was evaluated in five cultivars of *Lycopersicon esculentum* using folioles in different environmental conditions. The regeneration was studied in two phases of the vegetative cycle and in spring and fall seedings. The basal medium was M.S with the addition of two concentrations of growth regulators: BA 10 $\mu\text{M}/1$ + AIA 1 $\mu\text{M}/1$ and with BA 5 $\mu\text{M}/1$. The responses of the genotypes were classified according to their organogenic capacity into high, average, or low. The propagation *in vitro* of these cultivars depends upon particular conditions such as the state in which the explant is removed, the time of seeding and the concentration of the growth regulators.

COMPENDIO

Se evaluó la capacidad para formar vástagos en cultivares de *Lycopersicon esculentum*, utilizando folíolos en diferentes condiciones ambientales. La regeneración se estudió en dos etapas del ciclo vegetativo y en épocas de siembra de primavera y otoño. El medio basal fue M.S con la adición de dos concentraciones de reguladores de crecimiento: una con BA 10 $\mu\text{M}/1$ + AIA 1 $\mu\text{M}/1$ y la otra BA 5 $\mu\text{M}/1$. Las respuestas de los genotipos permitió clasificarlos en alta, mediana y baja capacidad organogénica. La propagación *in vitro* de estos cultivares depende de condiciones particulares, tales como el estado en el cual el explante se extrae, la época de la siembra y la concentración de los reguladores de crecimiento.

INTRODUCCION

Para la propagación *in vitro* de especies de importancia agronómica no sólo es necesario determinar el tipo de explante sino también las mejores condiciones para que cada genotipo regenere. Con respecto a los explantes, en *Lycopersicon* se han utilizado cotiledones, tallos (9), hipocótilos (8) y entrenudos (2). También, se ha logrado regenerar plantas a partir de callos provenientes de folíolos (1, 4, 6) Frankenberger, *et al*, (3) comprobaron que, en folíolos de tomate, las condiciones como la localización de los folíolos en la planta, porciones proximales, centrales y distales de los mismos y épocas de siembra modificaban la expresión fenotípica y la capacidad de regeneración

En el presente trabajo se indujo la regeneración de plantas en cinco cultivares de *Lycopersicon esculentum* de uso comercial en el área hortícola de Rosario, República Argentina. Se consideró el efecto de dos épocas de cultivo, dos momentos del ciclo vegetativo y diferentes combinaciones de reguladores de crecimiento. El objetivo fue determinar el ambiente en el cual puede expresarse la máxima capacidad organogénica de cada uno de estos cultivares para lograr una mayor eficiencia en la producción de plantines.

MATERIALES Y METODOS

La experiencia se llevó a cabo con plantas cultivadas en el Campo Experimental de la Facultad de Ciencias Agrarias en la localidad de Zavalla, Departamento San Lorenzo, provincia de Santa Fe, República Argentina, situado a 33° de latitud Sur. La temperatura media de los meses primaverales fue 17.9°C y la de los otoñales, 14.3°C, siendo la precipitación de 61 mm y 56.5 mm, respectivamente.

Se utilizaron los cultivares de tomate (*Lycopersicon esculentum*): Platense INTA (P₁), Planeuco INTA (P₂) y Platauco INTA (P₃), de hábito de crecimiento indeterminado; Marmande (M) semideterminado y Rossol Selección La Consulta (R), determina-

1 Recibido para publicación el 20 de abril de 1987. Laboratorio Facultad de Ciencias Agrarias (U.N.R.) por su apoyo técnico y al Señor Marcelo José Fusi, por su ayuda técnica en la ejecución de las fotografías. Nuestro agradecimiento al laboratorio Facultad de Ciencias Agrarias (U.N.R.) por su apoyo técnico y al Señor Marcelo José Fusi, por su ayuda técnica en la ejecución de las fotografías.

* Cátedra de Genética. Facultad de Ciencias Agrarias (U.N.R.) Santa Fe 2051. 2000 Rosario - Argentina.

** Instituto de Botánica del Nordeste (U.N.N.E.) C.C. 209. 3400 Corrientes - Argentina.

do Planeuco INTA y Platauco INTA se obtuvieron por retrocruzas con Platense INTA, por lo cual tienen un acervo genético común

Las plantas donadoras se cultivaron a campo en la época primaveral (Sp), que es el periodo normal para esta planta, en el área (setiembre-diciembre de 1984) y en la época otoñal (So) (abril-junio de 1985). Estas siembras se efectuaron en macetas de 10 cm de diámetro. Cuando las plantas alcanzaron 15 cm de altura se transplantaron. Se utilizaron como explantes folíolos de igual edad fisiológica obtenidos de la quinta hoja, contando desde el ápice. Fueron extraídos en distintos momentos del ciclo: Estado I (EI): plantas con sólo cinco folíolos y Estado II (EII): sesenta días después

Previo a la siembra *in vitro*, se eliminaron de los folíolos la zona cercana a la inserción peciolar. La desinfección se efectuó sumergiendo los folíolos en alcohol 96° (cinco segundos), seguidos de NaOCl al 4% de cloro activo con 0.1 ml de Tween -20 durante diez minutos y posteriormente lavados en agua bidestilada estéril.

Se empleó el medio básico de Murashige y Skoog (M.S) (7), con distintas concentraciones de reguladores de crecimiento (4). El Medio A se suplementó con ácido indol acético (AIA) 1 μ M/l y bencil adenina (BA) 10 μ M/l y el Medio B con BA 5 μ M/l. Se agregó 1% de agar después de ajustar el pH a 5.8. Los medios se esterilizaron en autoclave a 120°C durante veinte minutos y luego se distribuyeron 10 ml de medio, en cajas de Petri estériles, de 10 cm de diámetro.

Los folíolos (1 por caja de Petri), fueron cultivados con el envés en contacto con el medio. El número de repeticiones se presenta en el Cuadro 1. La incubación se realizó en un cuarto de cultivo con un foteopé-



Fig. 1. Masas callosas aparecidas a los 10 días de la siembra (2.8 x).

río de 16 horas (aproximadamente, 50 micro Einstein/m². seg.) y 28°C \pm 2°C. La capacidad de regeneración de vástagos se analizó con base en: (1) porcentaje de folíolos con formación de callos y/o regeneración de plantas (%F) y (2) número promedio de vástagos (N.V) medido como VT/F (VT = número de vástagos totales con folíolos expandidos). Las variables fueron analizadas por medio de una prueba no paramétrica (X² Cuadrada).

RESULTADOS Y DISCUSION

Durante los 10 primeros días de cultivo, todos los explantes, independientemente del cultivar, sufrieron hiperplasia. Posteriormente, se formaron callosidades en puntos aislados de las hojas que presentaron coloraciones verdosas (Fig. 1). Para el porcentaje de callos no hubo diferencias significativas entre los genotipos, estando los valores entre un 30% a un 35%. Entre los 30 y 35 días, fue evidente el desarrollo de primordios caulinares, a partir de los callos así como del tejido epidérmico del folíolo. Una semana después, el 75% de los vástagos presentó el primer folíolo expandido

Cuadro 1. Número de repeticiones y plantas regeneradas por genotipos y tratamientos.

Variedades		Medio A										Medio B													
Epocas	Momentos del ciclo	P ₁		P ₂		P ₃		M		R		Total		P ₁		P ₂		P ₃		M		R		Total	
		n	p	n	p	n	p	n	p	n	p	n	p	n	p	n	p	n	p	n	p	n	p	n	p
Sp	EI	15	6	15	10	15	3	15	3	15	3	75	25	15	18	15	4	15	6	15	6	15	-	75	34
	EII	12	-	12	4	12	26	13	9	12	1	61	40	8	6	8	2	8	-	8	1	8	-	40	9
So	EI	4	7	8	35	6	18	3	-	4	-	25	60	4	3	7	10	7	-	3	2	3	-	24	15
	EII	10	3	10	4	10	5	10	1	10	4	50	17	10	7	10	5	10	11	10	4	10	-	50	26

Referencias:

n: número de repeticiones (explantes sembrados); p: número de plantas regeneradas.
Epocas: siembra primaveral Sp; siembra otoñal So
Momentos del ciclo: EI plantas con sólo 5 folíolos; EII sesenta días después

(Fig. 2). El número de plantas regeneradas para cada cultivar se muestra en el Cuadro 1. Después de 50 días de cultivo se observó, en los explantes cultivados en ambos medios, la diferenciación de raíces, lo cual permitió su traslado a tierra (Fig. 3). Sobre un total de 198 plantas regeneradas y transplantadas, debido a la acción de distintos factores no identificados, sólo el 10% sobrevivió.

Los valores de % F y de N.V. se resumen en los Cuadros 2 y 3 respectivamente. Hubo diferencias significativas para % F en Platense INTA, Planeuco INTA y Platauco INTA ($X^2_{P_1} = 5.64$; $p < 0.01$; $X^2_{P_2} = 5.9$; $p < 0.01$; $X^2_{P_3} = 24.9$; $p < 0.01$). Para Marmande y Rossol, no hubo diferencias entre los valores superiores. En cuanto a N.V., sólo Planeuco INTA, Platauco INTA y Rossol dieron diferencias significativas ($X^2_{P_2} = 40.96$; $p < 0.01$; $X^2_{P_3} = 5.9$; $p < 0.01$; $X^2_R = 8$; $p < 0.01$).

Puesto que la mayor eficiencia para la micropropagación de un determinado genotipo se logra cuando se cultivan pocos explantes *in vitro* y de ellos se obtiene un elevado número de plantas; se definió para cada genotipo la situación de regeneración más apropiada basándose en estas dos variables analizadas, como así también en el número total de plantas regeneradas (Cuadro 4). Planeuco INTA dio un mayor rendimiento en la condición So - EI - A. En Platauco INTA, a pesar del incremento en N.V. en Sp - EII - A, no se compensa la disminución del % F respecto a So - EI - A, lo cual llevó a seleccionar como óptima esta condición. Para Platense INTA, no se encontraron diferencias en N.V. entre So - EI - A y Sp - EI - B, pero, se eligió la primera por su mayor % F. El caso inverso se presentó con Rossol. Para Marmande se optó,



Fig. 2. Vástagos con primer foliolo expandido (2.8 x).

de las tres condiciones superiores para % F por la de mayor valor de N.V. Para todos los cultivares, la regeneración fue superior en el medio A.

Comparando las respuestas de los genotipos en los Cuadros 2 y 3, se les clasificó según su N.V. y % F (Cuadro 5). Planeuco y Platauco fueron genotipos de alta producción, Platense y Rossol intermedios y Marmande baja. Kurtz *et al.* (5) con otros cultivares de *Lycopersicon esculentum*, lograron una clasificación similar.

Frankenberger *et al.* (3) encontraron, en otros genotipos de tomate, una disminución en la capacidad de regeneración para la época primaveral, independientemente del hábito de crecimiento de estas plantas. En esta experiencia se logró, en el período otoñal, una mayor producción de tallos en cultivares con há-

Cuadro 2. Porcentajes de foliolos desarrollados (%F) según genotipo, medio y momentos del ciclo en dos épocas de siembra.

Medios		A						B							
Variedades		P ₁	P ₂	P ₃	M	R	n	P ₁	P ₂	P ₃	M	R	n		
Epocas	Momentos del ciclo														
		Sp	EI	26.7	20.0	20.0	13.3	6.7	75	33.3	6.7	20.0	0.0	75	
			EII	0.0	25.0	50.0	31.0	8.0	61	25.0	12.5	0	12.5	40	
So			EI	50.0	87.5	83.3	0.0	0.0	25	25.0	42.9	0	0.0	33.3	24
			EII	33.3	40.0	50.0	10.0	40.0	50	33.3	20.0	50	20.0	0.0	50

Referencias:

n: número de repeticiones.

Variedades: P₁ - Platense INTA; P₂ - Planeuco INTA; P₃ - Platauco INTA; R; Rossol Selección la Consulta M; Marmande

Momentos del ciclo: EI; con sólo 5 foliolos EII; sesenta días después

Epocas de siembra: Sp; siembra primaveral So; siembra otoñal

Cuadro 3. Número promedio de vástagos (N.V) en las distintas condiciones, según el número de repeticiones especificadas en el Cuadro 1.

Medios		A					B						
Variedades		P ₁	P ₂	P ₃	M	R	P ₁	P ₂	P ₃	M	R		
Epocas	Momentos del ciclo												
		Sp	EI	1.5	3.3	1.0	3.0	1.5	3.6	4.0	2.0	2	0
			EII	0.0	1.3	4.3	2.2	1.0	3.0	2.0	0.0	1	0
So			EI	3.5	5.0	3.6	0.0	0.0	3.0	3.3	0.0	0	2
			EII	1.3	4.5	4.0	3.0	3.0	2.3	2.5	2.2	2	0

Cuadro 4. Situación de regeneración más apropiada para cada genotipo según época de siembra, momento del ciclo y medio.

Genotipos	Epocas de siembra		SP				SO				
	Momento del ciclo		EI		EII		EI		EII		
	Medios		A	B	A	B	A	B	A	B	
Platense INTA										X	
Planeuco INTA										X	
Platauco INTA										X	
Rossol											X
Marmande				X							

bito indeterminado como son Platense INTA, Planeuco INTA, Platauco INTA y en uno de hábito determinado, como es Rossol; no así en Marmande que es semideterminado.

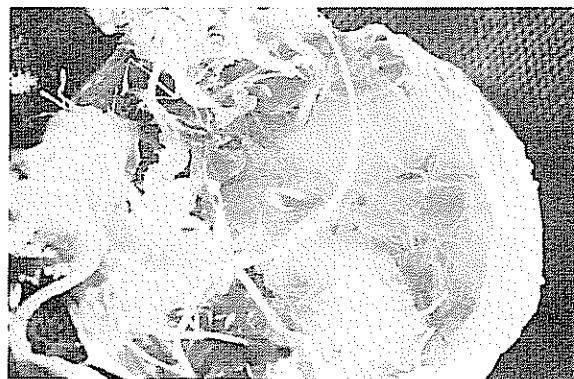


Fig. 3. Vástagos con raíces en condiciones de ser llevados a tierra (2 x).

Por otro lado, Platense, Planeuco y Platauco manifiestan una mayor producción en el Estado I. Esta coincidencia podría deberse a que los tres cultivares tienen un acervo genético común.

Si se toma el conjunto de condiciones analizadas, la situación más apropiada es la misma para los tres cultivares de hábito indeterminado (como se observa en el Cuadro 4); no así para Rossol y Marmande. Esto sugiere que podría existir una relación entre el hábito de crecimiento y las condiciones requeridas para la producción de tallos, aún cuando no se analizó toda la gama de genotipos posibles en *Lycopersicon esculentum*.

Vnuchkova (9) observó que los tipos y concentraciones de reguladores de crecimiento, para la diferenciación de tallos, depende de la estación del año en que se extrae el explante. En estos cultivares comerciales, las condiciones ambientales a las que fueron sometidos y la edad de la planta donante traerían como consecuencia diferentes estados hormonales. Por otro lado, se ha demostrado que habría variabilidad genética para la capacidad organogénica, dado las respuestas diferenciales de estos cultivares.

Cuadro 5. Orden de los cultivares en la condición óptima de % F y N.V.

Cultivares	N.V	% F
Planeuco INTA	5 (a)	87.5 (a)
Platauco INTA	3.6 (b)	83.3 (a)
Platense INTA	3.5 (b)	50.0 (b)
Rossol	3.0 (b)	40.0 (b)
Marmande	2.2 (c)	31.0 (c)

Entre a y b hay diferencias al 1%, al igual que entre b y c

En esta forma, se han podido definir, para cada uno de estos genotipos de uso comercial en la zona hortícola de Rosario, República Argentina, combinaciones apropiadas de factores para una eficiente producción de plantines.

CONCLUSIONES

La regeneración de vástagos fue superior en el medio con BA 10 $\mu\text{M}/\text{l}$ y AIA 1 $\mu\text{M}/\text{l}$.

Explantos obtenidos de plantas en período otoñal producen la mayor cantidad de vástagos para los genotipos Platense INTA, Platauco INTA y Planeuco INTA.

LITERATURA CITADA

1. BEHKI, R.M.; LESLEY, S.M. 1980. Shoot regeneration from leaf callus of *Lycopersicon esculentum* Zeitschrift Pflanzphysiol 98:83-87.
2. CAPPADOCIA, M.; SRES RAMULU, L. 1980. Plant regeneration from *in vitro* culture of anthers and stem internodes an interespecific hybrid, *Lycopersicon esculentum* L. x *L. peruvianum* Mill and cytogenetic analysis of the regenerated plants. Plant Science Letters 20:157-166.
3. FRANKENBERGER, E.A.; HASEGAWA, P.M.; TIGCHELAAR, E.C. 1981. Influence of environment and developmental state on the shoot - forming capacity of tomato genotypes Zeitschrift Pflanzphysiol 102: 221-232.
4. KARIHA, K.K.; GAMBORG, O.L.; SHYLUK, J.P.; CONSTABEL, F. 1976. Morphogenetic investigations on *in vitro* leaf culture of Tomato (*Lycopersicon esculentum*, Mill Cv. Starfire) and high frequency plant regeneration. Zeitschrift Pflanzphysiol 77:293-301.
5. KURTZ, S.M.; LINEBERGER, R.D. 1983. Genotypic differences in morphogenic capacity of cultured leaf explants of tomato. Journal of the American Society for Horticultural Science 108:710-714.
6. KUI, S.A.; EVANS, D.A. 1982. Plant regeneration from culture leaf explants of eight wild tomato species and two related *Solanum* species. *In vitro* 18:593-598.
7. MURASHIGE, I.; SKOOG, F. 1962. A revised medium for rapid growth and bioassays with tissue cultures. Physiologia Plantarum 15:473-497.
8. OHKI, S.; BIGOT, C.; MOUSSEAU, J. 1978. Analysis of shoot forming capacity *in vitro* in two lines of tomato and their hybrids. Plant and Cell Physiology 19:27-42.
9. VNUCHKOVA, V.A. 1977. Development of a method for obtaining regenerate tomato plants under tissue culture conditions. Fiziol. Rast 24:1094-1100.

Désinfection des Semences D'igname par Thermo ou Chimiothérapie: Efficacité Nématicide et Conséquences Agronomiques¹

P. Castagnone-Sereno*

ABSTRACT

During the storage period preceding planting, yam tubers are often found infected with two endoparasitic nematodes (*Pratylenchus coffeae* and *Scutellonema bradys*) that settle in the external cortical tissues where they can easily reach high population densities. To prevent bad sanitary conditions at planting, tuber disinfection is recommended, according to two complementary technical ways: hot water dips, with best results by immersing the tubers for 40 minutes in water at 50°C, and use of nematicides, among which oxamyl appears to be the most efficient active ingredient. The agronomical consequences of these treatments are discussed, with emphasis on the increase of quality and quantity of the harvest and the possible secondary effects that may occur.

RESUME

Au cours de la période de stockage précédant la plantation, les tubercules d'igname destinés à être utilisés comme semences sont souvent le siège d'infestations par deux nématodes endoparasites (*Pratylenchus coffeae* et *Scutellonema bradys*) qui en colonisent les tissus corticaux externes et s'y multiplient de manière intense. Pour assurer la mise en place des cultures dans des conditions sanitaires satisfaisantes, la désinfection de ces tubercules est préconisée, selon deux procédés complémentaires: la thermothérapie, dont le meilleur compromis est atteint par un trempage de 40 minutes dans de l'eau à 50°C, et l'utilisation de nématicides chimiques, parmi lesquels l'oxamyl se révèle être la matière active la plus fiable. Les conséquences agronomiques de ces traitements sont discutées, en envisageant non seulement leur influence sur la récolte, mais aussi les effets secondaires néfastes qu'ils peuvent engendrer.

INTRODUCTION

Les tubercules d'igname en conservation laissent souvent apparaître des symptômes de pourriture sèche ("dry rot"), et l'analyse nématologique révèle, dans la majorité des cas, la présence de deux endoparasites principaux, seuls ou en association: *Pratylenchus coffeae* et *Scutellonema bradys*. Plus néfaste pendant la culture que lors de la phase de stockage, le genre *Meloidogyne* ne sera pas pris en compte ici. En plus de l'altération des tissus externes, de la perte de poids et de la baisse de pouvoir germinatif liées à ces infestations, la survie et surtout la multiplication des nématodes dans les tubercules entraînent une forte augmentation de l'inoculum apporté au sol par les semenceaux. Ce phénomène est d'autant plus grave que bon nombre d'agriculteurs utilisent préférentiellement la partie apicale (la "tête") des tubercules pour la plantation, alors que cette partie s'avère être la plus infestée par les nématodes (1).

Des résultats intéressants et prometteurs ont été obtenus par l'utilisation de diverses matières actives

(7, 14), mais il paraît difficile d'envisager une généralisation à court terme des traitements nématicides du sol en culture d'igname, et ce pour diverses raisons: efficacité des produits parfois controversée, niveau d'investissement difficilement compatible avec les systèmes de production pratiqués (à vocation vivrière le plus souvent), manque de technicité et d'encadrement général des agriculteurs. Dans ce contexte, l'obtention et l'utilisation de semences saines sont des conditions indispensables à la mise en place et au développement de cultures rentables. D'autre part, en dépit de la mise en évidence de quelques différences de sensibilité inter ou intra-spécifiques (10; DEGRAS, comm. pers.), les sélectionneurs ne sont pas encore en mesure de proposer des variétés tolérantes, voire résistantes, à ces nématodes.

Dans l'état actuel des connaissances et des techniques, les traitements visant une désinfection des tubercules destinés à la replantation constituent donc la voie la plus sûre qui permette la mise en place de cultures d'igname dans des conditions satisfaisantes. Deux procédés se dégagent aujourd'hui: le trempage des semenceaux dans de l'eau chaude (thermothérapie) ou dans des solutions nématicides diverses (chimiothérapie). Les principaux résultats en sont présentés dans cette note.

¹ Reçu pour publication le 21 août 1987.

* INRA. Centre des Antilles et de la Guyane. Station de Zoologie et de Guadeloupe. Lutte Biologique. BP 1232 97184, Pointe-à-Pitre Cédex.

1. Efficacité nématicide des traitements.

1.1. Thermothérapie.

Les traitements des tubercules par thermothérapie sont caractérisés par deux paramètres physiques complémentaires: la température de l'eau et la durée du trempage. La gamme des différentes combinaisons expérimentées est relativement large: de 30 à 65°C, pendant des temps échelonnés de 15 à 60 minutes.

Le tableau 1 présente une synthèse des résultats les plus satisfaisants signalés dans la littérature:

Même si la majorité des travaux est presque toujours réalisée pour un couple hôte-parasite bien déterminé, leur diversité permet néanmoins d'avoir une vision globale assez détaillée en ce qui concerne les espèces les plus importantes au plan économique (*D. alata*, *D. cayenensis*, *D. rotundata*) et ce, face aux deux parasites *P. coffeae* et *S. bradys*. L'analyse du tableau 1 souligne l'homogénéité des réponses: la solution intermédiaire d'un trempage de 40 minutes dans de l'eau à 50°C semble assurer un contrôle très satisfaisant des nématodes. De plus, ceux-ci sont complètement éliminés dans deux des cas présentés (3, 4) et *D. alata* est impliqué dans chacune de ces expérimentations. Des investigations supplémentaires sont néanmoins nécessaires pour confirmer l'éventuelle influence de l'espèce considérée sur le résultat obtenu.

Des températures supérieures à celles précédemment citées (de l'ordre de 55 à 65°C) permettent aussi une désinfection totale des tubercules. Mais elles induisent presque toujours une succession de problèmes secondaires néfastes au plan agronomique (cf le chapitre 2), ce qui nous amène à considérer la température de 50°C comme la limite supérieure à ne pas dépasser dans la pratique agricole.

1.2. Chimiothérapie.

Des trempages dans des solutions aqueuses de nombreuses matières actives ont été expérimentés pour débarrasser les tubercules des nématodes endoparasites. Quelques-unes se sont montrées peu ou pas efficaces, telles le phénamiphos ou le diazinon (8, 9), d'autres présentent une action nématicide non négligeable, par exemple le DD, le carbofuran (6), le DBCP, le fensulfothion, la thiozanine (2), mais l'ensemble des travaux des dix dernières années s'accordent à reconnaître les très bons résultats obtenus avec l'oxamyl, à la fois contre *P. coffeae* et *S. bradys*.

Les paramètres des principaux traitements préconisés avec cette matière active sont reportés dans le tableau 2:

Le trempage des semenceaux dans un bain d'oxamyl peut éventuellement être associé avec un traitement foliaire ultérieur des jeunes plants avec la même matière active (14) ou encore avec un traitement du sol à la plantation: Roman *et al* (13) ont utilisé à cet effet du carbofuran.

Il convient de signaler enfin les travaux de Badra et Caveness (6) soulignant l'action bénéfique de fertilisants azotés (nitrate de calcium, sulfate d'ammonium: les effets nématostatiques de l'ion ammonium sont connus) ou de désinfectants classiques (hypochlorite de calcium, formaline) contre *S. bradys*.

1.3. Combinaison des deux procédés thérapeutiques.

Le traitement simultané ou successif des tubercules par thermo et chimiothérapie a été envisagé par quelques auteurs, selon des modalités proches de celles décrites aux tableaux 1 et 2: eau chaude à 51°C pendant 30 minutes puis oxamyl, phénamiphos ou

Tableau 1. Quelques thermothérapies efficaces contre *Pratylenchus coffeae* et *Scutellonema bradys*.

Hôte	Nématode	Durée (min.)	Température (°C)	Auteurs
<i>D. rotundata</i>	<i>P. coffeae</i>	15-60	48-54	Acosta et Ayala, (2)
<i>D. alata</i>	<i>S. bradys</i>	40	50-55	Adeniji, (3)
<i>D. alata</i>	<i>S. bradys</i>	40	50	Adesiyan et Adeniji, (4)
<i>D. cayenensis</i>	<i>S. bradys</i>	40	50	Adesiyan et Adeniji (4)
<i>D. rotundata</i>	<i>S. bradys</i>	40	45-55	Anonyme, (5)
<i>D. rotundata</i>	<i>P. coffeae</i>	40	50	Hutton et Brathwaite, (11)
<i>D. cayenensis</i>	<i>P. coffeae</i>	45	45	Hutton <i>et al</i> , (12)
<i>D. rotundata</i>	<i>P. coffeae</i>	35	51	Kermarrec et Anais, comm. pers.

Tableau 2. Paramètres des principaux traitements à l'oxamyl utilisables sur semences d'igname contre *P. coffeae* et *S. bradys*

Hôte	Concentration (ppm)	Durée (min.)	Auteurs
<i>D. alata</i>	1 000	30	Badra et Caveness, (6)
<i>D. rotundata</i>	1 200-2 400	30	Coates-Beckford et Brathwaite, (7)
<i>D. rotundata</i>	1 200-2 400	30	Coates-Beckford <i>et al.</i> , (9)
<i>D. alata</i>	1 200-2 400	30	Coates-Beckford <i>et al.</i> , (9)
<i>D. rotundata</i>	2 500	30	Hutton et Brathwaite, (11)
<i>D. cayenensis</i>	2 000	30	Hutton <i>et al.</i> , (12)
<i>D. rotundata</i>	1 200	10	Roman <i>et al.</i> , (13)
<i>D. rotundata</i>	2 400	15	Roman <i>et al.</i> , (14)

diazinon de 1 200 à 2 400 ppm (8), eau chaude à 51°C pendant 45 minutes et oxamyl à 600 ppm (9). Plus contraignante sur le plan technique, cette solution n'a pas été retenue par les expérimentateurs: dans tous les cas, les résultats obtenus ne mettent pas en évidence une amélioration de la désinfection par rapport au seul traitement chimique. Une aggravation de l'état sanitaire des semenceaux dans le temps (avant la plantation) est même parfois observée (cf le chapitre 2).

2. Conséquences agronomiques.

2.1. Influence sur le rendement.

L'accroissement des rendements de première récolte est confirmé par la quasi-totalité des auteurs, dès lors que les conditions du traitement (thermo ou chimiothérapique) ne sont pas extrêmes. Selon Badra et Caveness (6), l'utilisation de nématicides, de fertilisants azotés ou de désinfectants conduit toujours à un poids de récolte supérieur à celui du témoin non traité (après 6 mois de croissance); ces auteurs obtiennent d'ailleurs des augmentations de rendement considérables, de 60 (avec l'oxamyl) à 300 p cent (avec la formaline) en poids de tubercule supplémentaire. Il convient cependant de moduler ces résultats en précisant que les conditions expérimentales mises en oeuvre sont assez éloignées de la pratique agricole traditionnelle (utilisation de semenceaux de 20 grammes notamment), mais assez proches des techniques récentes de production de mini-semences.

Plus généralement, en conditions de culture traditionnelles, les gains de rendement s'échelonnent en moyenne de 20 à 35 p. cent, que ce soit avec la thermo ou la chimiothérapie (11, 12). De plus, à ce gain pondéral s'ajoute souvent une amélioration de la qualité des tubercules (14) qui accroît encore la valeur commerciale de la récolte.

Signalons enfin un optimum de rendement (sur deux années de culture consécutives) observé par Roman *et al.* (14) lorsque le traitement chimique des semences est combiné avec un traitement foliaire à l'oxamyl.

2.2. Effets néfastes des traitements.

Malgré leur efficacité nématicide incontestable, les traitements des semences d'igname doivent cependant être appliqués avec précautions: en effet, nombreux sont les travaux qui signalent les atteintes physiologiques que subissent les tubercules du fait des divers trempages. Des lésions des tissus externes sont souvent observées lorsque la thérapie est employée à des températures supérieures ou égales à 50°C. Les températures critiques sont variables selon les auteurs: 50°C pour Thompson *et al.* (15), 55°C pour Adesiyani et Adeniji (4), 65°C pour Acosta et Ayala (2), mais dans tous les cas, la levée et la reprise de végétation au champ sont affectées. La chimiothérapie (au sens large) présente aussi ce type d'inconvénient: Badra et Caveness (6) notent une diminution du pouvoir germinatif de semenceaux traités avec du carbofuran, du sulfate d'ammonium ou de la formaline.

A ces dégâts directs vient souvent s'ajouter un accroissement de la sensibilité des tubercules lésés aux microorganismes favorisant le développement de pourritures sèches et/ou molles (8) et accentuant d'autant la baisse du pouvoir germinatif.

CONCLUSION

L'amélioration quantitative et qualitative des récoltes qui résulte de la mise en oeuvre de traitements de désinfection des semences par thermo ou chimiothérapie est indiscutable et mérite à cet égard d'être progressivement mieux intégrée dans la pratique agricole des régions tropicales. Très efficaces sur des tubercules infestés peu ou pas nécrosés en surface, ces

techniques perdent beaucoup de leur intérêt lorsqu'elles sont appliquées à du matériel végétal très abîmé: la couche liégeuse externe qui entoure alors les semenceaux diminue la pénétration de la chaleur et/ou des nématocides, et par voie de conséquence l'impact du traitement.

Du fait de l'important accroissement du coût de production qu'ils vont entraîner, ces traitements ne peuvent se concevoir que dans l'optique d'une modification des systèmes de production actuels. Il s'agit d'envisager la production de semences d'igname comme une spéculation spécifique, différente de la production de tubercules alimentaires. Cette mutation est susceptible d'améliorer, grâce à la plus-value importante résultant de la commercialisation de semenceaux certifiés sains, les revenus des agriculteurs qui auront accepté des investissements initiaux plus lourds.

Plus facile à mettre en oeuvre, présentant moins de risques pour les semences, la voie chimique semble être à l'heure actuelle la méthode de traitement la plus rationnelle. Il reste cependant aux firmes à proposer aux producteurs des spécialités conformes aux législations en vigueur. Le cas de l'oxamyl est, à cet égard, très significatif: l'efficacité de ce composé est certaine, mais il n'est pas homologué dans tous les pays producteurs d'igname (aux Antilles Françaises en particulier) et ce, malgré des essais récents (14) qui montrent que la teneur en résidus des tubercules est très faible (inférieure ou égale à 0,02 ppm) et largement inférieure aux normes de tolérance admises pour ce type de plante. Dans le contexte actuel, faute de produits commerciaux à leur disposition, les agriculteurs ne peuvent pas mettre en pratique les résultats pourtant convaincants de ces recherches.

REFERENCES

1. ACOSIA, N. 1974. Depth of penetration of phytoparasitic nematodes in yam tubers. *Nematropica* 4(1):7-11.
2. ACOSTA, N.; AYALA, A. 1976. Hot water and chemical dips for nematode control in tubers of *D. rotundata* Poir. *Journal of Agriculture of the University of Puerto Rico* 60(3):395-402.
3. ADENIJI, M.O. 1977. Studies on some aspects of control of the yam nematode, *Scutellonema bradys*. *Acta Horticulturae* 53:249-256.
4. ADESIYAN, S.O.; ADENIJI, M.O. 1976. Studies on some aspects of yam nematode, (*Scutellonema bradys*). *Ghana Journal of Agricultural Science* 9(2):131-136.
5. ANONYME. 1981. Nigeria, International Institute of Tropical Agriculture Annual Report: 61-62, 70-72, 76-78.
6. BADRA, I.; CAVENESS, F.E. 1979. Chemotherapy of *Dioscorea alata* for disinfection of *Scutellonema bradys*. *Nematropica* 9(2):135-137.
7. BRIDGE, J. 1978. Yam nematodes. In C.R. du Séminaire International sur l'Igname, Buea, Cameroun. p. 305-324.
8. COATES-BECKFORD, P.L.; BRATHWAITE, C.W.D. 1977. Comparison of various treatments for the control of *Pratylenchus coffeae* in yams. *Nematropica* 7(2):20-26.
9. COATES-BECKFORD, P.L.; HUTTON, D.G.; JONES, A.G. 1978. Effect of various treatments for the control of nematodes in the initial growth of yam. *Nematropica* 2:6-7.
10. HICKLING, G.E. 1974. Nematode pests on yams in Jamaica. In Proc. 12th An. Meet. Carib. Food. Crop Soc., Jamaica: 63-67.
11. HUTTON, D.G.; BRATHWAITE, C.W.D. 1981. Growth and yield response to disinfecting negro yam (*Dioscorea rotundata*) planting material, the benefits of disinfecting the heads of *Pratylenchus coffeae* and of after-planting nematicide treatments. In Proc. 1st Meet. Soc. Plant Protection in the Caribbean, Kingston, Jamaica: 22-27.
12. HUTTON, D.G.; WAHAB, A.H.; MURRAY, H. 1982. Yield response of yellow yam (*Dioscorea cayenensis*) after disinfecting planting material of *Pratylenchus coffeae*. *Turrialba* 32(4):493-496.
13. ROMAN, J.; ORAMAS, D.; GREEN, J. 1980. Investigation on the control of yam (*Dioscorea rotundata*) nematodes. In Proceedings 12th Annual Meeting OTAN, Pointe-à-Pitre, Guadeloupe 31 p.
14. ROMAN, J.; ORAMAS, D.; GREEN, J. 1984. Nematicide evaluation for the control of the yam (*Dioscorea rotundata* Poir). *Journal Agriculture University of Puerto Rico* 68(2):157-162.
15. THOMPSON, A.K.; BEEN, B.O.; PERKINS, C. 1973. Nematodes in stored yams. *Experimental Agriculture* 9(3):281-286.

Eficiencia de Algunos Estiércoles y de Abono verde de *Azolla filiculoides* como Fuentes de Nitrógeno para las Plantas¹

G Vázquez*, J J Peña**, J Barquín**

ABSTRACT

A greenhouse study was conducted in Guanajuato, Mexico, to evaluate the relative efficiency of several organic sources of nitrogen for plants. The materials studied were: chicken, cow, goat and rabbit manures. *Azolla filiculoides* was included as green manure. ¹⁵N techniques were used, following the methodology proposed by the International Atomic Energy Agency, using rye grass (*Lolium multiflorum*) as the indicator crop. Six replicates were established per treatment. The results showed significant differences in the mineralization rates of the materials tested. Chicken manure and *Azolla* were rapidly mineralized; at the first plant cutting date (30 days after planting), they reached N-ammonium sulphate equivalence factors of 1.49 and 1.90, respectively. Cow manure, on the other hand, showed the slowest mineralization rate, whereas goat and rabbit manures were intermediate.

INTRODUCCION

El Estado de Guanajuato es uno de los mayores productores agrícolas de México, tanto por el número de especies que se cultivan como por la superficie e importancia que ocupan algunas de ellas, ya que con sólo el 4.73% de la superficie cultivada nacional contribuye con el 6.16% del ingreso agrícola del país (5); además, es una de las principales entidades productoras de granos y hortalizas, así como exportador de estas últimas.

La capacidad de los suelos agrícolas del Estado para suministrar nutrimentos a las plantas ha sido mantenida, en especial, durante los últimos años me-

¹ Recibido para publicación el 20 de marzo de 1986

Los autores agradecen al Dr. Felipe Zapata, Investigador de la Sección de Fertilidad de Suelos de la División Conjunta FAO/OIEA, las aportaciones y sugerencias realizadas durante el desarrollo del presente trabajo.

* Profesor Investigador de la Escuela de Agronomía y Zootecnia de la Universidad de Guanajuato, Mexico.

** Profesor Investigador de la Unidad Irapuato del Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del I.P.N.

** Analista de la Unidad de Investigación Agrícola del Instituto Nacional de Investigaciones Nucleares

COMPENDIO

Se estableció un experimento de invernadero en Guanajuato, México, para evaluar la eficiencia relativa de diferentes fuentes orgánicas de N para las plantas. Los materiales estudiados fueron: estiércoles de ganado vacuno, caprino, conejo y gallinaza, así como abono verde de *Azolla filiculoides*. Se emplearon técnicas isotópicas (¹⁵N) de acuerdo a la metodología propuesta por el Organismo Internacional de Energía Atómica, usando pasto ballico (*Lolium multiflorum*) como planta indicadora y empleando seis repeticiones por tratamiento. Los resultados mostraron diferencias significativas en las tasas de mineralización de los materiales estudiados. La gallinaza y *Azolla* fueron rápidamente mineralizados, alcanzando, a la primera fecha de corte de follaje (30 días después de la siembra) equivalencias con el sulfato de amonio de 1.49 y 1.90, respectivamente. El estiércol de ganado vacuno, por otra parte, mostró la tasa de mineralización más lenta, mientras que los estiércoles de caprino y de conejo se comportaron de manera intermedia.

dante la adición de dosis cada mayores de fertilizantes químicos, razón por la cual la utilización de abonos verdes, leguminosas en rotación y de residuos agrícolas y pecuarios ha pasado a segundo plano en el mantenimiento de la fertilidad de los terrenos dedicados a la agricultura.

Las consideraciones anteriores, aunadas al hecho de que el consumo anual de fertilizantes nitrogenados en la región es superior a las 300 mil toneladas (5), motivaron el desarrollo de trabajos experimentales tendientes a determinar la potencialidad medida en términos de la capacidad relativa para suministrar N a las plantas, de algunas fuentes orgánicas de nitrógeno para la agricultura. El presente trabajo fue el primero que se desarrolló con ese propósito y tuvo como objetivo el de determinar la eficiencia nutrimental de algunos estiércoles disponibles en el denominado Bajío Guanajuatense (vacuno, caprino, conejo y gallina) y del abono verde *Azolla filiculoides* como fuentes de nitrógeno para las plantas.

MATERIALES Y METODOS

Se instaló un experimento de invernadero en el cual se evaluó el potencial agronómico de cinco fuen-

tes orgánicas de nitrógeno (estiércol de ganado vacuno, caprino, conejo y gallinaza así como el abono verde *Azolla filiculoides*). Los materiales ensayados mostraron contener una proporción de N total, materia orgánica (M.O) y razón C/N, la cual varió en rangos relativamente amplios y que se muestran en el Cuadro 1.

Los estiércoles fueron obtenidos de explotaciones comerciales representativas de la zona; se secaron a aire y se molieron en un molino Wiley con tamiz de 1 mm. En el caso de *Azolla filiculoides*, esta planta fue obtenida de la colección viva del Departamento de Microbiología de Suelos, del Colegio de Postgraduados de Chapingo, México, la cual fue reproducida masivamente en la Escuela de Agronomía y Zootecnia de la Universidad de Guanajuato, en condiciones relativamente rústicas (estanques a la intemperie, suelo no estéril, agua de la llave y fertilizantes fosfatados comerciales).

En el experimento de invernadero se utilizó un diseño experimental completamente aleatorio con siete tratamientos (cuatro estiércoles, *Azolla*, fertilizante químico y testigo absoluto) y seis repeticiones. Las unidades experimentales estuvieron constituidas por macetas de plástico conteniendo la mezcla de los materiales bajo estudio y 3 kg de suelo representativo de la zona (vertisol pélico), el cual es arcilloso, no salino, ligeramente alcalino, pobre en N y materia orgánica, extremadamente rico en potasio, calcio y magnesio; las características del suelo empleado aparecen en el Cuadro 2. La determinación del N proveniente de cada una de las fuentes disponibles se hizo mediante la utilización de un estándar marcado isotópicamente con ^{15}N [$(^{15}\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$] y 1% de exceso atómico. Los abonos se aplicaron a razón de 200 ppm de N (600 mg N/maceta); el estándar marcado se adicionó a nivel de 80 ppm N (240 mg N/maceta); todos los tratamientos recibieron 25 ppm de P como superfosfato de calcio simple (20% P_2O_5).

La planta indicadora utilizada fue el pasto ballico (*Lolium multiflorum*), variedad comercial Barspectra; el suelo de cada unidad experimental se mantuvo a capacidad de campo durante el transcurso del experimento, regándose con agua destilada (libre de NH_4^+ y de NO_3^-) para evitar contaminaciones. Se realizaron tres cortes de material vegetal con separación de 30 días entre cada uno, con el fin de conocer el comportamiento de cada fuente con relación al tiempo.

La metodología seguida para el desarrollo del experimento en el invernadero y para la determinación y análisis de las variables cuantificadas fue sugerida por la Sección de Fertilidad de Suelos del Organismo

Cuadro 1. Composición de los estiércoles y *Azolla*.

Clase de abono	%N total	% Mat. Orgánica	C/N
Vacuno ¹	1.09	53.28	23.35
Caprino ¹	1.92	67.01	20.24
Conejo ¹	2.30	63.69	16.05
Gallinaza ¹	5.14	70.18	7.91
<i>Azolla</i> ²	0.18	3.76	12.10

1 Con base en peso seco

2 Con base en peso fresco.

Internacional de Energía Atómica, empleando un espectrofotómetro de masa modelo Micromass 622 de la compañía Vacuum Generator Ltda. para la cuantificación de ^{15}N en las muestras (2, 3).

RESULTADOS Y DISCUSION

Una vez realizados los trabajos de invernadero y de laboratorio, se procedió al análisis isotópico y estadístico de los datos obtenidos en cada corte; a continuación se discuten los resultados.

Se observaron diferencias altamente significativas en: rendimiento de materia seca, rendimiento de nitrógeno y en el % de N presente en el tejido vegetal proveniente de cada una de las fuentes disponibles (fertilizante, fuentes orgánicas y suelo) en cada uno de los cortes, mientras que para el % de N total en planta sólo hubo diferencias significativas entre tratamientos en el primer corte.

En cuanto a la eficiencia relativa de los abonos orgánicos se puede decir que en el primer corte se observó que los materiales con razón C/N más estrecha mostraron una alta eficiencia, ya que los tratamientos con gallinaza y *Azolla* (razón C/N de 7.9 y 12.1, respectivamente) arrojaron equivalencias de 1.49 y 1.90 con respecto al sulfato de amonio. Esto indica que 1.49 y 1.90 unidades de N suministradas como gallinaza y como *Azolla*, respectivamente, proporcionaron el equivalente a una unidad de N como sulfato de amonio. Por otra parte, el estiércol de ganado vacuno (C/N de 23.35) mostró una equivalencia, en el primer corte de 8.52, significativamente mucho menos eficiente que el resto de los abonos estudiados. En el segundo y tercer corte se siguió observando que las equivalencias más cercanas a la unidad fueron para gallinaza y *Azolla* (fuentes más eficientes), mientras que en el tratamiento con estiércol de ganado vacuno, la equivalencia con el sulfato de amonio mejoró hasta 1.36, superando incluso a la presentada por los estiércoles de conejo y de cabra. Los resultados finales se muestran en el Cuadro 3 y se pueden

Cuadro 2. Análisis físico-químico del suelo experimental.

% Arena	17.00	Bouyucos
% Limo	26.00	Bouyucos
% Arcilla	57.00	Bouyucos
pH	7.50	2:1
% materia orgánica	1.30	Walkley-Black
% N total	0.10	Kjeldahl
Conduct. eléctrica (ds/m)	0.90	Conductímetro
P (ppm)	12.50	Bray-2
Ca (ppm)	2 290.00	Peech
Mg (ppm)	520.00	Peech
K (ppm)	270.00	Peech

resumir diciendo que se observaron tres grupos diferentes en cuanto a eficiencia como fuentes nutrimentales; aquellas de rápida mineralización (gallinaza y *Azolla*), de lenta mineralización (estiércol de ganado vacuno) y de mineralización intermedia (conejo y caprino), determinado esto de acuerdo a la pendiente de cada función de respuesta de los abonos estudiados con respecto al tiempo (Fig. 1). En términos generales, se pudo observar que la razón C/N de las fuentes orgánicas determinó la tasa de mineralización de las mismas; mientras más estrecha, la disponibilidad de N para las plantas fue alta en etapas iniciales, mientras que aquellas con una relación C/N mayor, proporcionaron N en forma aprovechable hasta unos 90 días después de su incorporación al suelo.

Un último aspecto que se debe destacar es el referente a la proporción de N en las plantas derivado del suelo (% NpdS). Los resultados obtenidos al tercer

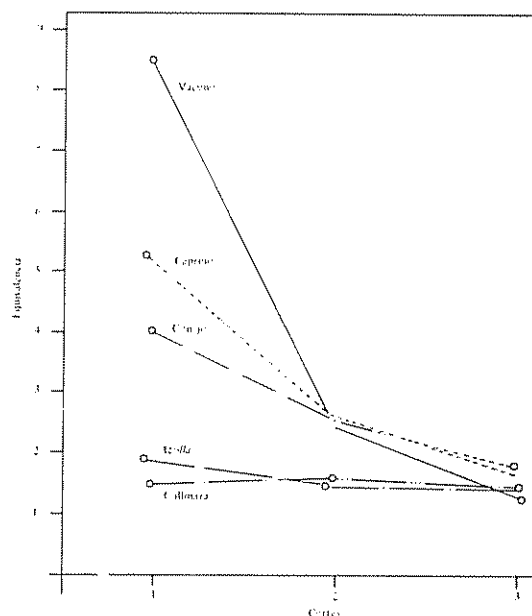


Fig. 1. Eficiencia relativa de los abonos orgánicos estudiados con respecto a la presentada por el sulfato de amonio.

corte de follaje (Cuadro 3) muestran que en los tratamientos que se aplicaron fuentes orgánicas de nitrógeno, éstos (los valores de %NpdS) fueron significativamente menores que en aquéllos en los que no se aplicaron. Esto último es más patente en el tratamiento con gallinaza, ya que la proporción de N en la planta proveniente del suelo fue de sólo 34.70%, mientras que en el tratamiento con fertilizante químico este

Cuadro 3. Análisis isotópico de los resultados del tercer corte del experimento con fuentes orgánicas de nitrógeno.

Variable	Testigo	Sulfato	Vacuno	Caprino	Conejo	Gallina	<i>Azolla</i>
R. M. S. ¹ (g/maceta)	9.18	12.62	11.58	15.02	16.40	16.59	18.03
N total (%)	1.56	2.04	1.45	1.46	1.50	2.11	1.90
R. N. total ² (mg/maceta)	153.00	257.00	168.00	219.00	247.00	351.00	343.00
¹⁵ N a. e. ³ (%)	0.00	0.311	0.182	0.198	0.199	0.175	0.186
% NpdF ⁴	0.00	38.29	22.44	24.33	24.43	21.53	22.85
% NpdS ⁵	100.00	61.71	36.17	39.21	39.37	34.70	36.83
% NpdFO ⁶	0.00	0.00	41.39	36.46	36.20	43.77	40.32
Valor "A" (mg N)	0.00	386.80	442.72	359.64	355.60	487.92	423.53
Equivalencia (NH ₄) ₂ SO ₄	0.00	1.00	1.36	1.67	1.69	1.23	1.42

- 1 Rendimiento de Materia Seca.
- 2 Rendimiento de N total en planta
- 3 % de ¹⁵N átomos en exceso.
- 4 % de N en planta derivado del fertilizante
- 5 % de N en planta derivado del suelo.
- 6 % de N en planta derivado de las fuentes orgánicas.

parámetro alcanzó un valor de 61.71%. Esta observación pone de manifiesto que el deterioro que sufren los suelos en su fertilidad potencial, cuando no se usan abonos orgánicos, es mayor que cuando éstos se incorporan como práctica habitual en el manejo de los suelos. Este hecho es de particular importancia en el Bajío de Guanajuato, ya que, debido a la falta de incorporación de abonos orgánicos en los suelos de esta zona, la cantidad de N que se debe aplicar en forma de fertilizante químico casi se ha duplicado para la mayoría de los cultivos, en los últimos 10 años (5).

Los resultados obtenidos en el presente trabajo pueden ser utilizados en la formulación de programas de fertilización con estiércoles como fuentes de N, o bien, como complemento a la aplicación de fertilizantes químicos en la región ya que se cuenta con la equivalencia nutrimental de cada fuente ensayada, en relación a la mostrada por el sulfato de amonio.

LITERATURA CITADA

1. FRIED, M. "E", "L" and "A" values. Proceedings 8th International Congress of Soil Science 4:29-37.
2. FRIED, M. 1970. Direct quantitative assessment in the field of fertilizer management practices. Vienna International Center.
3. FRIED, M.; SOPPER, R.J.; BROESHARI, H. 1975. ¹⁵N-labelled experiments of fertility. *Agronomy Journal* 67:393-396.
4. IAEA/FAO Joint Division. 1976. Tracer manual on crops and soils. Technical report series no. 181. International Atomic Energy Agency. Vienna.
5. MEXICO-SARH -DGEA. 1982. Anuario estadístico de la producción agrícola nacional. México.
6. ZAPATA, F.; DANSO, S.K.A. 1981. Proceedings of the workshop on the use of ¹⁵N and radioisotopes in studies of plant nutrition. International Atomic Energy Agency. Vienna.

Efectos de una Sucesión de Cultivos en la Fertilidad de Suelos Volcánicos Respecto a la Sucesión Natural¹

M. Mazzarino*, J. Ewel**, C. Berish***, B. Brown****

ABSTRACT

The effects of two treatments—natural succession and successional monoculture—on volcanic soil fertility following forest fell and burn were studied over five years in Costa Rica. For the successional monoculture corn (*Zea mays* L.); cassava (*Manihot esculenta* Crantz) and laurel (*Cordia alliodora* (Ruiz & Pav.) Oken) were chosen. Owing to microvariability problems, each treatment was divided into two groups of different fertility. The parameters above-ground biomass and soil organic matter, total N, available P, percent acid saturation, extractable Ca, Mg, K and Al + H were analyzed statistically. Percent acid saturation was considered a suitable index to evaluate tropical volcanic soil fertility. The results obtained were as follows: successional monoculture had no effects on soil fertility compared to natural succession when original conditions of acid saturation were low (< 2% in depth 0-5 cm, < 20% in depth 5-25 cm), but it was significantly affected under original condition of high acid saturation (> 7% in depth 0-5 cm, > 50% in depth 5-25 cm). A non-statistical comparison with a bare plot is also included.

INTRODUCCION

La quema de bosques para el establecimiento de monocultivos es una práctica habitual en los trópicos. Después de varios años, el descenso marcado de los rendimientos obliga a abandonar las parcelas y a quemar otras nuevas. Esto constituye la base de la "agricultura migratoria". Son varias las causas a las que se atribuye el descenso de la producción siendo una de ellas el agotamiento de la fertilidad de los suelos. De acuerdo con Sánchez (13) el grado de deterioro de la misma depende de su nivel original.

¹ Recibido para publicación el 12 de julio de 1987.

Agradecemos especialmente a M. Rivera por su ayuda en el campo experimental; a M. Artavia y D. Hazlett por su ayuda en el campo y en el laboratorio, y al personal del Laboratorio de Suelos del CATIE, su valioso apoyo.

* Proyecto CATIE-Univ. de Florida. Actualmente becaria del CONICET, Argentina; dirección: Conesa 1434 (1426) Buenos Aires

** University of Florida

*** University of Georgia

**** University of Wisconsin, U.S.A

COMPENDIO

Se estudiaron durante 5 años los efectos de dos tratamientos: sucesión natural y sucesión de monocultivos en la fertilidad de un suelo volcánico, después de la tala y quema de un bosque secundario en Costa Rica. Para la sucesión de cultivos se utilizó maíz (*Zea mays* L.), yuca (*Manihot esculenta* Crantz) y laurel (*Cordia alliodora* (Ruiz y Pav.) Oken). Problemas de microvariabilidad en los suelos obligaron a subdividir cada tratamiento en dos grupos de diferente fertilidad. Se analizó estadísticamente la biomasa aérea y en el suelo, los parámetros materia orgánica, N total, % de saturación ácida, P, Ca, Mg K y Al + H extraíbles. Se consideró como índice adecuado para evaluar la fertilidad de suelos volcánicos tropicales el % de saturación ácida. Los resultados obtenidos fueron los siguientes: la sucesión de monocultivos no afecta la fertilidad del suelo en comparación con la sucesión natural si las condiciones originales son de baja saturación ácida (< 2% y < 20% en las profundidades 0-5 cm y 5-25 cm, respectivamente), pero la empeora significativamente cuando las condiciones originales son de alta saturación ácida (> 7% y > 50% en las profundidades de 0-5 cm y 5-25 cm). Se incluye una comparación (no estadística) con una parcela mantenida sin vegetación.

Así, suelos relativamente ricos en bases, como Alfisoles o Andosoles, no manifiestan cambios significativos en su fertilidad que expliquen los descensos de rendimientos observados. En cambio, los explicarían en el caso de suelos con niveles bajos de bases como Ultisoles y Oxisoles.

Existen diversas publicaciones sobre la disponibilidad de nutrimentos después de la tala y quema, bajo monocultivo o sucesión, en suelos tropicales (1, 12, 14, 16). Sin embargo, no existen estudios sobre los efectos de monocultivos respecto a la sucesión natural en una evolución simultánea sobre suelos homogéneos.

El presente trabajo ofrece una comparación a este nivel en un suelo de origen volcánico. Las mediciones se realizaron durante 5 años y para el monocultivo se seleccionaron cultivos típicos de la zona, los que se establecieron siguiendo las formas de vida de la sucesión natural: durante el primer año dos cultivos de maíz (*Zea mays* L.); a continuación un arbusto, yuca (*Manihot esculenta* Crantz) y por último, laurel (*Cordia alliodora* Ruiz y Pav., Oken), un árbol de creci-

miento rápido. Debido a diferencias en la fertilidad de los suelos, las seis repeticiones originales de cada tratamiento se subdividieron en dos grupos, alta y baja fertilidad, lo que permite presentar un análisis adicional de los efectos del monocultivo bajo diferentes condiciones de fertilidad. A nivel cualitativo, se ofrece además una comparación con una parcela mantenida sin vegetación durante los 5 años de duración del experimento.

MATERIALES Y METODOS

El trabajo se llevó a cabo en un bosque experimental del Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE), Turrialba, Costa Rica. El sitio está ubicado a 9°53'N, 83°40'O; a 650 msnm y corresponde a la zona de vida del bosque húmedo tropical premontano según la clasificación de Holdridge (15). La precipitación media anual es de aproximadamente 2 700 mm con una época seca entre enero y marzo. Los suelos han sido descritos como *Typic Dystrandept* por Martini (10).

A principios de 1979 se taló y quemó la vegetación original consistente en un bosque secundario de 8-9 años (5). Se establecieron los tratamientos según un diseño de bloques al azar, con seis repeticiones de 16 x 16 m cada una. Una parcela de 14 x 14 m, sin repeticiones, fue mantenida sin vegetación. La duración del experimento se extendió hasta abril de 1984. Para el monocultivo se utilizaron densidades de siembra típicas de la zona: 1 x 0.5 m para maíz; 1 x 1 m para yuca y 2 x 2 m para laurel; no se utilizaron fertilizantes ni plaguicidas y fue desmalezado a mano. Se cosecharon los granos de maíz y las raíces de yuca, pero el resto del material vegetal permaneció en la parcela. Debido a la mayor intensidad de los cambios durante los primeros años, los muestreos de biomasa se realizaron todos los meses en 1979 y cada dos meses hasta octubre de 1980. Los suelos fueron muestreados cada tres meses hasta octubre 1980. Desde 1981 a 1984 ambos muestreos se llevaron a cabo dos veces por año.

Los muestreos de biomasa aérea se realizaron seleccionando al azar subparcelas de la sucesión 0 o 1 a 4 plantas en el caso del monocultivo (3). Todo el material fue cortado a nivel del suelo; los datos incluidos en el presente trabajo resultan de la suma de hojas, ramas y troncos y partes reproductivas. El peso fresco total se determinó a campo; para las conversiones a peso seco se secaron submuestras de 500 g a 70°C. Los resultados del último muestreo de biomasa de la sucesión no se incluyen pues presentaron gran variabilidad, como consecuencia de la reducción de la superficie a muestrear al final del ensayo.

De los suelos se extrajeron muestras compuestas por ocho submuestras tomadas al azar a 0-5, 5-25 y 25-45 cm. A partir de 1981 se incluyó la profundidad 45-85 cm. Las muestras se secaron a 55°C y se tamizaron por malla de 2 mm. La materia orgánica se determinó por el método de digestión húmeda de Walkley y Black; N-total por la técnica de semimicro Kjeldahl y pH en una relación suelo: agua de 1:2.5. Potasio, calcio, magnesio y fósforo, se extrajeron por el método del doble ácido (0.05N HCl + 0.025N H₂SO₄). Los cationes se determinaron por absorción atómica y P por colorimetría con SnCl₂ SnCl₂ como reductor. La acidez de cambio (Al + H) se extrajo con KCl 1N y se determinó por titulación (4). La capacidad de intercambio catiónico efectiva (CICE) se calculó como la suma de (Al + H) + Ca + Mg + K y el % de saturación ácida como $(Al + H)/CICE \times 100$. Dada la alta capacidad de fijación de P de los suelos derivados de cenizas volcánicas se construyeron isothermas de sorción, según el método de Fox y Kamprath (6).

El análisis estadístico aplicado consistió en análisis de varianza con dos variables independientes; tratamiento y tiempo. Donde no hubo interacciones se utilizó para los tratamientos el análisis Duncan de significancia para $p < 0.05$.

RESULTADOS Y DISCUSION

Si bien los suelos del sitio son homogéneos desde el punto de vista de su génesis y clasificación (2), se observaron diferencias significativas de fertilidad en lo que respecta a cationes extraíbles, acidez de cambio y % de saturación ácida, lo cual obligó a subdividir cada tratamiento en dos grupos de tres repeticiones cada uno: G1 de alta y G2 de baja fertilidad. En el Cuadro 1 se presentan las características generales de los suelos para dos fechas: 5 y 61 meses después de la quema. Es posible que las diferencias de fertilidad entre ambos grupos de suelos se deban al tipo de uso de la tierra previo al establecimiento del bosque secundario desmontado para el presente experimento.

Resulta complejo caracterizar la fertilidad de suelos volcánicos tropicales pues parámetros tales como P disponible, materia orgánica y nitrógeno total no resultan adecuados; el P, por sus bajos niveles, y la materia orgánica y el nitrógeno por su alta estabilidad (7, 11). En el presente trabajo, se escogió como índice de fertilidad al % de saturación ácida pues permite evaluar disponibilidad de cationes y toxicidad de aluminio (13). El análisis de este parámetro, hasta 85 cm de profundidad y todas las fechas de muestreo, arrojó diferencias significativas entre monocultivo y sucesión

Cuadro 1. Concentración de nutrimentos cinco meses (a) y 61 meses (b) después de la quema.

		Sucesión				Monocultivo				Sin vegetación			
		Profundidad (cm)				Profundidad (cm)				Profundidad (cm)			
		0-5	5-25	25-45	45-85	0-5	5-25	25-45	45-85	0-5	5-15	25-45	45-85
pH	a	5.5	4.8	4.8	—	5.3	4.7	4.7	—	5.2	4.4	4.5	—
	b	5.1	4.7	4.8	4.9	4.9	4.6	4.6	4.6	4.5	4.4	4.6	4.5
m.o.	a	16.3	9.3	8.3	—	16.8	9.0	8.1	—	16.5	11.8	11.4	—
	b	13.6	7.0	6.1	5.1	11.9	6.8	5.8	4.5	9.0	7.5	6.7	4.5
N	a	0.73	0.39	0.30	—	0.78	0.41	0.33	—	0.75	0.54	0.39	—
	b	0.73	0.43	0.31	0.25	0.62	0.41	0.30	0.26	0.54	0.38	0.31	0.24
P	a	7.4	1.3	1.2	—	7.7	1.3	1.1	—	2.8	1.3	1.3	—
	b	3.1	1.7	1.9	1.6	2.9	1.6	1.9	2.0	4.4	1.8	1.7	2.4
Grupo 1													
Ca	a	2 074	651	490	—	2 159	609	539	—				
	b	1 888	487	419	412	1 253	374	323	274				
Mg	a	295	138	95	—	309	135	118	—				
	b	225	102	75	73	169	44	47	42				
K	a	121	102	56	—	230	146	132	—				
	b	199	75	66	36	103	51	32	30				
CICE	a	13.3	5.7	4.8	—	14.1	5.4	5.0	—				
	b	12.1	4.9	5.0	3.7	8.7	4.4	4.4	3.2				
Al + H	a	0.3	1.1	1.4	—	0.1	0.9	1.0	—				
	b	0.4	1.4	2.1	1.0	1.0	2.0	2.3	1.4				
sat.	a	2	19	30	—	1	16	20	—				
ac.	b	3	29	42	27	11	45	53	43				
Grupo 2													
Ca	a	1 221	247	196	—	965	240	188	—	1 266	346	310	—
	b	788	173	177	131	310	101	82	100	125	63	57	51
Mg	a	312	80	60	—	229	65	45	—	240	84	69	—
	b	168	31	36	32	66	20	19	22	18	8	8	5
K	a	157	77	47	—	197	112	46	—	196	102	86	—
	b	130	51	57	20	69	57	31	28	54	51	30	26
CICE	a	9.7	4.9	4.3	—	8.3	5.4	4.5	—	9.1	5.1	4.7	—
	b	6.8	4.1	3.8	2.9	4.7	4.4	3.9	3.6	4.5	4.1	3.6	3.0
Al + H	a	0.7	2.8	2.7	—	1.2	3.4	3.1	—	0.3	2.4	2.4	—
	b	1.2	2.9	2.5	1.8	2.4	3.6	3.2	2.8	3.6	3.6	3.2	2.6
sat.	a	7	57	62	—	15	63	68	—	3	47	51	—
ac.	b	17	70	65	62	51	81	83	78	80	87	88	88

Los datos únicos son \bar{x} de $n = 6$, los dobles son \bar{x} de $n = 3$ y corresponden a los suelos de alta (grupo 1) y baja fertilidad (grupo 2). Materia orgánica (m.o.), N total y saturación ácida (sat. ac.) en %, CICE en cmol/kg-l ; Ca, Mg y K extraíbles y P disponible en mg/kg-l

natural en los suelos de menor fertilidad (G2): bajo monocultivo se presentaron los valores más altos de saturación ácida como consecuencia de diferencias significativas en las concentraciones de Ca, Mg y K (valores más bajos) y Al + H (valores más altos). Tales diferencias se acentuaron en el tiempo como puede observarse en la Fig. 1, donde se presentan las tendencias hasta 25 cm de profundidad. En el caso de los

suelos de alta fertilidad (G1), en cambio, no se observaron diferencias significativas entre ambos tratamientos, lo que indicaría que el monocultivo afecta la fertilidad del suelo dependiendo de sus condiciones originales (13). En la parcela sin vegetación, sometida a una mayor exposición a lluvias y a altas temperaturas, el aumento del % de saturación ácida resultó espectacular; de 3% a 80% en los primeros 5 cm y de 47% entre 5-25 cm.

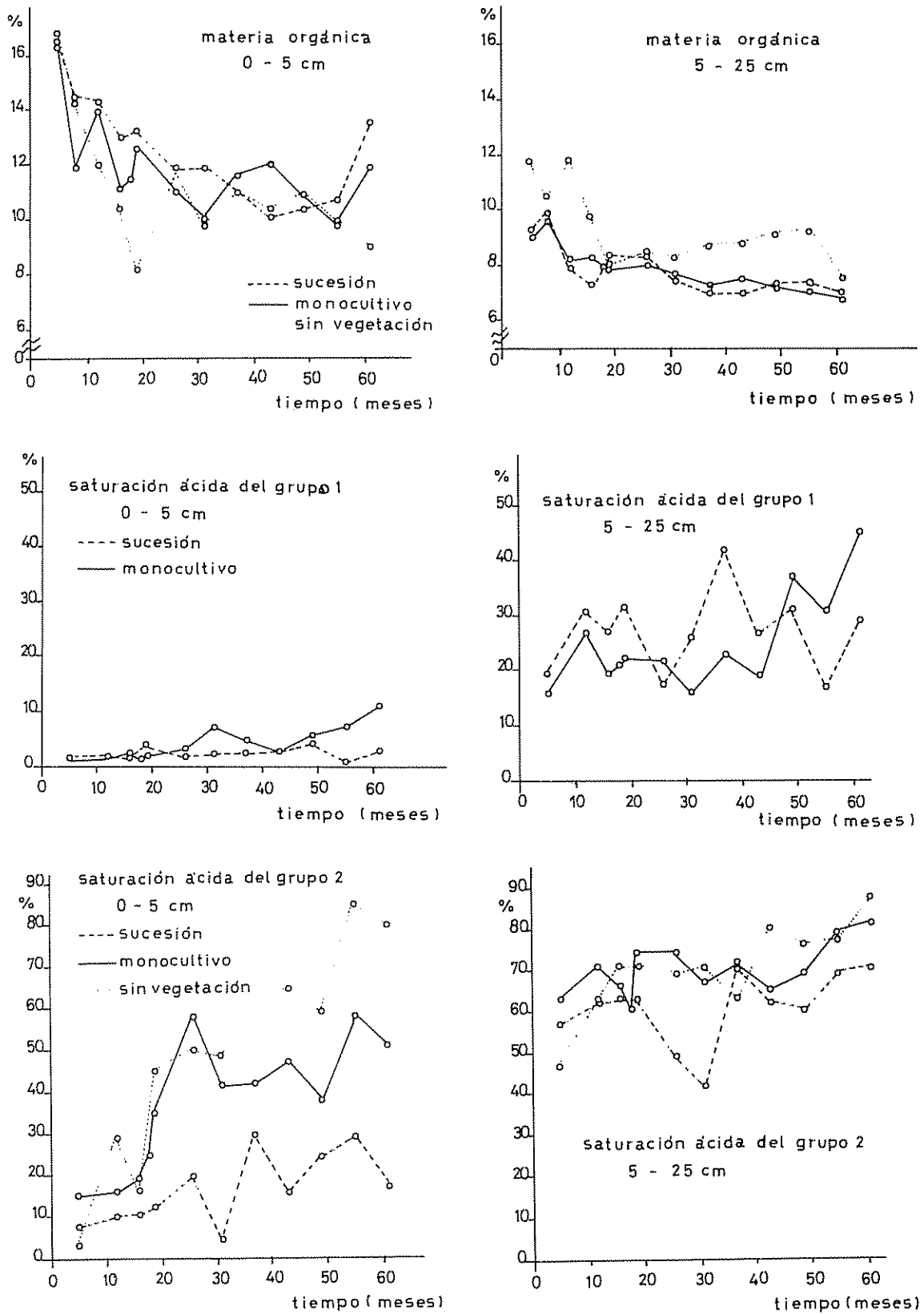


Fig 1 Distribución de la materia orgánica y del %de saturación ácida en el tiempo y dos profundidades -0-5 cm y 5-25 cm- de los tres tratamientos: sucesión natural, monocultivo y sin vegetación. Los datos de materia orgánica son medias de n = 6 y los del % de sat. ácida son medias de n = 3 para los dos grupos de suelos: G1 alta y G2 baja fertilidad.

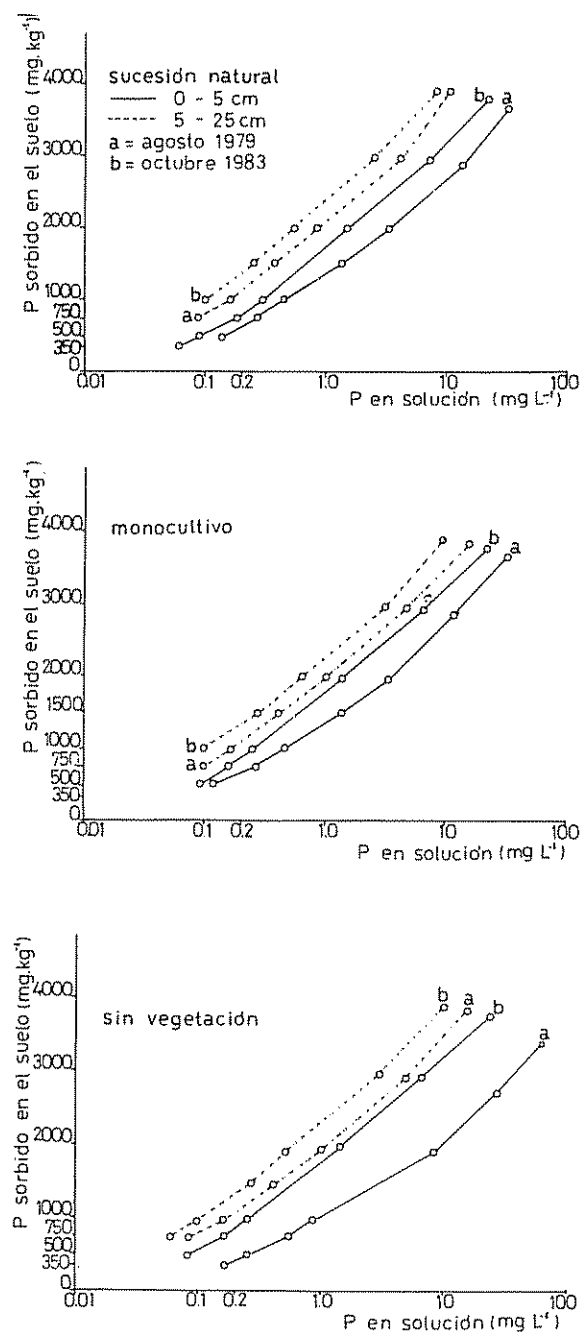


Fig 2. Isothermas de retención de fósforo de los tres tratamientos para dos fechas de muestreo —comienzo y final del ensayo— y dos profundidades: 0-5 y 5-25 cm. Los datos de sucesión natural y monocultivo corresponden al grupo de suelos de baja fertilidad (G2).

Los suelos tropicales derivados de cenizas volcánicas presentan una alta capacidad de retención de P debido a la presencia de alófanos y de Al intercambiable; los Dystrandeps ocupan entre ellos una posición

intermedia (7) Se construyeron isoterms de P para dos suelos representativos de ambos grupos, dos profundidades y dos fechas: cinco y 55 meses después de la quema. Los valores fluctuaron entre 400-1 000 mg P/kg-1 de suelo para una concentración estándar en solución de 0.2 mg L-1 (Fig. 2 y Cuadro 2). En general, la capacidad de retención de P aumentó en el tiempo para los tres tratamientos en el siguiente orden: sucesión < monocultivo < sin vegetación y fue mayor en G2 que en G1. Estas diferencias de retención no se manifestaron, sin embargo, en el nivel de P disponible que fue, en general, muy bajo, sin diferencias significativas entre grupos o tratamientos

No se observaron diferencias significativas en los niveles de materia orgánica entre sucesión y monocultivo (Fig. 1) En el caso de la parcela sin vegetación se observó un descenso muy marcado durante los primeros 18 meses (50% de pérdida) para luego subir y estabilizarse a valores muy altos: 9-12%. A mayor profundidad (5-25 cm), los valores en esta parcela fueron más altos que en el monocultivo y la sucesión, probablemente por acumulación del material descompuesto en superficie y por muerte y descomposición de raíces. La alta estabilidad de la materia orgánica que resulta de estos datos puede deberse a: (1) la formación de complejos con alófanos y óxidos hidratados altamente resistentes a la descomposición y (2) a una disminución de la actividad microbiana por deficiencia de fósforo (7) y/o aumento de las condiciones de acidez (menos cationes, más Al e H).

En la Fig. 3 se presentan las tendencias de biomasa aérea en el tiempo. En el caso de la sucesión natural no se observaron diferencias significativas de biomasa entre los dos grupos de fertilidad de suelos; sin embargo, existen diferencias significativas de concentración de nutrientes: N, P, K, Ca y S en hojas y tallos, con los valores más bajos en el suelo de menor fertilidad (Cuadro 3). En el caso del monocultivo de maíz y yuca no se encontraron diferencias significativas de biomasa entre G1 y G2; en cambio, fueron muy significativas ($p < 0.001$) en el caso de *Cordia alliodora* con los menores valores en G2. Por otro lado, el análisis estadístico de biomasa aérea de *Cordia* respecto a la sucesión natural para las cuatro últimas fechas de muestreo (nov. 82 a nov. 83) arrojó diferencias significativas en el suelo G2 pero no en G1. Esto indicaría que en condiciones de alta fertilidad, un monocultivo puede ser igualmente productivo, y probablemente aún más que la vegetación natural; en cambio, ésta presenta ventajas adaptativas que le permiten aprovechar mejor los recursos en condiciones de estrés de fertilidad (8) propone una serie de mecanismos que explicarían esta capacidad entre ellos: velocidad de consumo de nutrientes, relación raíz/tallo; exudados de la rizósfera, tolerancia a suelos ácidos, diversi-

Cuadro 2. Fósforo sorbido en el suelo (mg/kg-1) para una concentración estándar en solución de 0.2 mg/L-1. Valores correspondientes a dos fechas de muestreo y aumento en la sorción de P entre ambas fechas.

	Profundidad (cm)					
	0-5			5-25		
	Mes 5	Mes 55	Aumento	Mes 5	Mes 55	Aumento
Grupo 1						
Sucesión	400	575	175	665	775	110
Monocultivo	400	675	275	875	1 025	150
Grupo 2						
Sucesión	625	765	140	1 120	1 320	200
Monocultivo	665	875	210	1 100	1 300	200
Sin vegetación	415	850	435	1 100	1 325	225

dad de especies, etc. Las diferencias de fertilidad y producción observadas en el presente trabajo indicarían que la alta fertilidad de los suelos volcánicos (9, 13) no es una aseveración generalizable.

CONCLUSIONES

Dentro de un periodo de análisis de cinco años y tomando al % de saturación ácida como indicador característico de la fertilidad del suelo puede concluirse que: la sucesión de monocultivos no afecta la fertilidad del suelo en comparación con la sucesión natural si las condiciones originales son de baja saturación ácida. En cambio, la empeora significativamente cuando las condiciones originales son de saturación ácida alta, produciendo un aumento continuo de la misma. En este último caso se trata de una retroalimentación negativa pues la menor fertilidad determina baja producción de biomasa lo que, a su vez, facilita los pro-

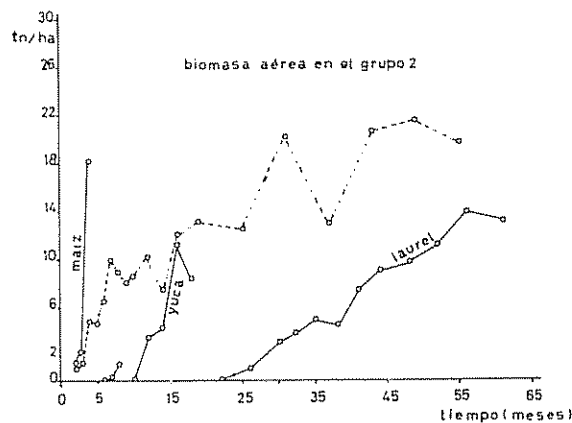
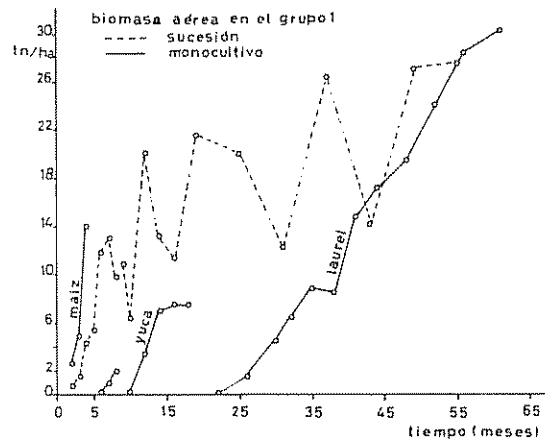


Fig. 3. Distribución de la biomasa aérea en el tiempo de la sucesión natural y los monocultivos en los dos suelos de diferente fertilidad. Biomasa aérea obtenida de la suma de hojas, ramas, troncos y partes reproductivas; los datos son medias de $n = 3$.

Cuadro 3. Medias (\bar{x}) de concentración de nutrientes en hojas y tallos y análisis Duncan de significancia ($p < 0.05$) para los dos grupos de suelos (G1 y G2).

	Nutrientes					
	N	P	S	Ca	Mg	K
Hojas						
G1 \bar{x}	3.15	0.20	0.24	1.70	0.68	2.57
G2 \bar{x}	2.75	0.17	0.19	1.26	0.63	2.23
$p <$	0.01	0.03	0.001	0.001	-	0.04
Tallos						
G1 \bar{x}	1.08	0.83	1.20	0.73	0.46	1.80
G2 \bar{x}	0.92	0.71	0.94	0.62	0.42	1.52
$p <$	0.04	-	-	0.02	-	0.03

Se incluyen todas las fechas de muestreo, $n = 36$; las concentraciones de nutrientes expresadas en %; - indica diferencias no significativas.

cesos de lavado de nutrimentos. Los ecosistemas de mayor diversidad aseguran una determinada producción de biomasa, de manera que no hay diferencias entre suelos de mayor y menor fertilidad; las diferencias en este caso aparecen a nivel de concentración de nutrimentos en la biomasa.

El mantenimiento del suelo sin cubierta vegetal conduce a un aumento continuo de la saturación ácida, con todo lo que ello implica: aumento de acidez

intercambiable, pérdida de bases, disminución de la actividad microbiana y un aumento notable de la retención de fósforo. De todas maneras, las pérdidas de materia orgánica no son tan severas como podría esperarse.

Si bien los suelos volcánicos aparecen en la bibliografía como ricos en nutrimentos respecto a Oxisoles y Ultisoles, no son homogéneos. El ejemplo ofrecido en el presente trabajo muestra claramente la gran variabilidad en la fertilidad existente y sus consecuencias.

LITERATURA CITADA

1. AHN, P.M. 1974. Some observations on basic and applied research in shifting cultivation. *FAO Soil Bull.* 24:123-154.
2. ALVARADO, A.; BERISH, C.; PERALTA, F. 1981. Leaf-cutter ant influence on the morphology of Andepts in Costa Rica. *Soil Science Society of America Journal* 45:790-794.
3. BROWN, B. 1982. Productivity and herbivory in high and low diversity tropical successional ecosystems in Costa Rica. Dissertation, University of Florida, Gainesville.
4. COLEMAN, N.I.; WEED, S.B.; McCRACKEN, R.J. 1959. Cation-exchange capacity and exchangeable cations in piedmont soils of North Carolina. *Soil Science Society of America Proceedings* 23:146-149.
5. EWEL, J.J.; BERISH, C.; BROWN, B.; PRICE, N.; RAICH, J. 1981. Slash and burn impacts on a Costa Rican wet forest site. *Ecology* 62(3):816-829.
6. FOX, R.L.; KAMPRATH, E.J. 1970. Phosphate sorption isotherms for evaluating the phosphate requirements of soils. *Soil Science Society of America Proceedings* 34:902-907.
7. FOX, R.L. 1980. Soils with variable charge: agronomic and fertility aspects. In *Soils with variable charge*. Ed by B.K.G. Theng. New Zealand Soc of Soil Sci. Chap 11:195-224.
8. JORDAN, C.F. 1985. Nutrient cycling in tropical forest ecosystems. John Wiley. 190 p.
9. JORDAN, C.F.; HERRERA, R. 1981. Tropical rain forests: are nutrients really critical?. *The American Naturalist* 117(2):167-180.
10. MARTINI, J.A. 1969. Geographic distribution and characteristics of volcanic ash soil in Central America. In Panel on volcanic ash soils in Latin America. Turrialba, C.R., IICA.
11. MAZZARINO, M.J.; EWEL, J.J.; BERISH, C. Soil nutrient availability under different experimental ecosystems on tropical Andepts. En preparación.
12. NYE, P.H.; GREENLAND, D.J. 1960. The soil under shifting cultivation. *Common. Bureau of Soils. Harpenden Tech. Comm. No. 51*.
13. SANCHEZ, P.A. 1976. Properties and management of soils in the tropics. John Wiley. 660 p.
14. SANCHEZ, P.A.; VILLACHICA, J.H.; BANDY, D.E. 1983. Soil fertility dynamics after clearing a tropical rainforest in Peru. *Soil Science Society of America Journal* 47:1171-1178.
15. TOSI, J.A. 1969. República de Costa Rica, mapa ecológico. San José, C.R. Tropical Science Center.
16. UHL, C.; JORDAN, C.F. 1984. Vegetation and nutrient dynamics during the first five years of succession following forest cutting and burning in the Río Negro region of Amazonia. *Ecology* 65:1476-1490.

Effect of Nitrogen Level and Water Deficit on Nitrate Reductase Activity (NRA) from Leaves of Two Sugarcane Cultivars – Co 957 1001¹

Y.A. Abayomi*, E.O. Etejere**, O. Fadayomi*

ABSTRACT

Two commercial sugarcane cultivars grown in Nigeria (Co 957 and Co 1001) were given three levels of nitrogen fertilizer equivalent to 0, 100 and 200 kg N/ha and subjected to water stress lasting seven days at two ages during growth in a pot experiment. The objective was to investigate the effects of nitrogen levels and water deficit on nitrate reductase activity (NRA) and water status in sugarcane leaf. The recovery rates of the plants were also investigated by measuring NRA and water status after re-watering the plants. Nitrate reductase activity (NRA) augmented with increasing nitrogen levels when moisture was adequate. However, during the stress period, NR activity disappeared faster at higher nitrogen levels with advancement of the stress period. The relative water content of leaf was also found to increase with N levels and decrease with stress period advancement. Similarly, NR activity was found to decrease with age of the plant. Furthermore, the variations in NR activity caused by water deficit increased with age. At all nitrogen levels, Cv. Co 957 had higher NR activity than Cv. Co 1001. However, the differences were only significant at eight weeks after planting.

COMPENDIO

Se realizó un estudio para investigar los efectos de niveles de nitrógeno y déficit hídrico sobre el estado de hidratación de la hoja así como la actividad de reductasa del nitrato (ARN) en caña de azúcar (*Saccharum officinarum*). Se estableció un experimento en potes con dos variedades de caña, Co 957 y Co 1001, a las cuales se les aplicó tres niveles de fertilizante nitrogenado equivalente a 0, 100, y 200 kg N/ha, además de estrés hídrico por un periodo de siete días a dos diferentes edades del cultivo. También se determinó las tasas de recuperación de las plantas midiendo la actividad de NR y el estado hídrico de las plantas después de rehidratar las mismas. La actividad de la NR aumentó con los niveles de N si la humedad era adecuada. Sin embargo durante el período de estrés la actividad de la RN desapareció a una tasa más rápida en los niveles altos de N conforme el estrés avanzaba. De igual manera la actividad de la RN bajó con la edad de la planta, más aun las variaciones en la actividad de la NR causadas por el déficit hídrico aumentaron con la edad. En todos los niveles de N el cultivar Co 957 mostró mayor actividad enzimática que el cv. 1001 sólo después de ocho semanas de sembradas.

INTRODUCTION

The productivity of agricultural plants is limited largely by nutrient deficiency and drought. Nutrient deficiency of field crops is usually diagnosed by appraisal of visual symptoms and leaf or soil analysis. However, these methods may be inaccurate, labourious, or symptoms may appear too late for the cause to be remedied without significant loss of productivity (10, 19). Moreover, leaf analysis usually fails to distinguish between the biochemically active ions of an element and the relatively inactive or the total ion amount. Bar-Akiva and Sternbaum (3) were of the opinion that the examination of element activity in the plant cell may increase the effectiveness of plant analysis as a tool for appraisal of nutrient status of field and horticultural crops. Thus, there has been increased interest in the use of enzymes as biochemical markers of nutrient deficiencies (2, 3, 5, 10).

The suitability of nitrate reductase assay as an indicator for the determination of nitrogen status in plants, following the demonstration of the activity of the enzyme systems in the leaves, has been reported (3). The level of nitrate reductase activity could also be used as a physiological nitrogen status of the plant (3), while the magnitude of its inducibility could be used as a measure of the capacity of the plant to utilize nitrate from the soil (11). The non-constitutive nature of NR and the dependence of the enzyme on the presence of nitrate have been widely noted in higher plants (13, 15, 25, 27, 28, 29).

However, other reports have indicated that water deficit may cause loss of activity of the NR enzyme in leaves of higher plants. Mattas and Pauli (21) have reported a reduction of about 84 percent in NR in corn after wilting. Similarly, a decrease of about 50 percent was obtained in barley (*Hordeum vulgare*) after three days of drought (16). Bardzik *et al.* (4) observed that NR decreased markedly with a water deficit of 10-20 percent, while Viqueira *et al.* (32) reported a significant negative correlation between water deficit and NR in sugarcane leaf.

¹ Received for publication 20 March 1987

* Sugar Research Institute, University of Ilorin, Nigeria

** Biological Sciences Department, University of Ilorin, Nigeria

The sugarcane plant has been found to respond in a linear fashion to nitrogen fertilization. However, NRA has been implicated in the assimilation of nitrate. The objective of the present study was to determine the effect of variations in external nitrogen supply and water deficit on nitrate reductase activity in sugarcane leaf

MATERIALS AND METHODS

Two cultivars of sugarcane – Co 957 and Co 1001 (both of which constitute about 80% of commercial sugarcane cultivars in Nigeria) were grown (using one-budded sets) in pots filled with loamy sand soil (Table 1). Three levels of nitrogen fertilizer in the form of calcium ammonium nitrate (CAN) at rates equivalent to 0, 100 and 200 kg N/ha were applied to the cane plants in a factorial experiment replicated four times. The plants were watered twice weekly from planting until eight weeks after planting, when the first moisture stress was initiated by withholding water for seven days, after which water was re-introduced in a recovery trial. These processes were repeated at 16 weeks after planting. During the stress/recovery periods, plant leaves were sampled for water status and nitrate reductase activity determination at zero, three and seven days after irrigation was suspended; and at one, three and seven days after water was re-introduced. The study was carried out between November 1985 and February 1986 (Atmospheric conditions showed a relative humidity of 49.7-64.7% and a temperature of 34°C).

Leaf Water Status Measurement. Leaf status was estimated by the method of Weatherly and Slayter (30), as described by Naidu *et al.* (23). Duplicate 10 cm sections were taken from the mid-point of the No. 2 leaf of a plant. The original weight was determined immediately after harvest, and the tissue was floated in distilled water for 24 hours in a closed chamber. At this time, the saturated weight was taken, and the tissue was dried at 95°C for 24 hours for dry weight determination. From the data obtained, the percent relative water content (RWC) and water saturation deficit (WSD) were estimated as follows:

$$\% \text{ RWC} = \frac{\text{Fresh weight} - \text{Dry weight}}{\text{Turgid weight} - \text{Dry weight}} \times \frac{100}{1}$$

$$\text{WSD} = 100 - \% \text{ RWC}$$

Nitrate reductase assay. The *in vivo* assay technique of Mulder *et al.* (22), as described by William and Daniel (31), was used. A 10 cm section of No. 2 blade [the spindle leaf half or more open was designated No. 1, the next most mature leaf was No. 2

Table 1. Some physical and chemical properties of soil used in the study.

Sand (%)		62.4
Silt (%)		28.0
Clay (%)		9.6
Textural class		Sandy loam
pH (in 0.1M CaCl ₂)		4.40
Na	(ppm)	42.92
K	(ppm)	76.67
Total N	(%)	0.16
Organic matter	(%)	2.20
C.E.C. meg/100 g soil		16.17
Available P	(ppm)	302.42

(20)] was rinsed with distilled water to remove all traces of soil. Then the leaf was chopped into 1-2 mm segments, out of which 200 mg was immediately put into a test tube containing the incubation medium. The medium is a mixture of 5 ml 0.1M KH₂PO₄ (pH 7.5), 3 ml of 1% (v/v) 1-propanol and 2 ml of 0.1M KNO₃. The contents were infiltrated three times for about two minutes each time. The tubes were subsequently incubated for one hr in the dark at 37°C. The nitrate formed was assayed by adding 1 ml of 1% (w/v) sulphanilic acid in 3N HCl, and 1 ml 0.02% (w/v) of 1-naphthylamine, 7-sulphuric acid to the incubated medium. Colour was allowed to develop for 30 minutes and its absorbance was measured in a Bausch & Lomb Spectronic 20 at 540 nm. A standard curve was prepared with sodium nitrite, and the amount of NO₂⁻¹ in the sample was estimated from the curve. The enzyme activity was expressed as μ moles NO₂⁻¹ produced per hour incubation period per gramme fresh leaf weight.

RESULT AND DISCUSSIONS

Cv. Co 957 recorded consistently higher nitrate reductase activity (NRA) at all nitrogen levels than Cv. Co 1001 during the two periods of sampling when soil moisture is non-limiting. However, the differences were only significant at the early age (8 WAP) (Fig. Similar differences in NR activity among cultivars of sugarcane have been reported (32). The level of NR activity could be used as a physiological nitrogen status of a plant (3), while the level of its inducibility had been used as a measure of the capacity of the plant to utilize nitrogen from the soil (11). Cv. Co 957 could then be said to have higher physiological nitrogen status than Cv. Co 1001, and thus possess the capacity to take up and utilize more nitrogen from the soil, as high NR activity in the plant suggests a higher rate of nitrate reduction and utilization of

reduction product (24). The importance of nitrogen in cane yield had been widely noted (7, 8, 26). The ability of Cv. Co 957 to utilize nitrogen from the soil better could then explain its usual significantly better yield as compared to Cv. Co 1001. Similarly, heavy nitrogen fertilizer application had been observed as an important factor in flowering control in sugarcane (6, 12). This presumably was to make the plant take up excess nitrogen, thereby prolonging its vegetative growth. Thus, Cv. Co 957, with its ability to take up higher concentrations of nitrogen from the soil, has not been observed to flower under Nigerian conditions, while Cv. Co 1001 is known to flower profusely. Both cultivars had higher relative water content and hence low water saturation deficits (Fig. 1).

NR activity showed a positive linear relationship with increasing nitrogen level when soil moisture is non-limiting (Fig. 1). This linearity was significant (at $P = 0.05$) for the differences between the two nitrogen levels and the control only at eight weeks after planting. Like enzyme activity, the relative water content (RWC) showed signs of a positive linear rela-

tionship with nitrogen levels. However, water saturation deficit (WSD), negatively correlated with RWC, decreased with increasing nitrogen levels.

The increased enzyme activity with increasing nitrogen levels observed in this study supports the view that nitrate reductase is a non-constitutive, inducible enzyme (1, 14). The dependence of the enzyme on the presence of nitrate has been widely noted in other higher plants (25, 28, 29). A constantly low level of the enzyme activity in roots of maize in the absence of nitrate has been reported (27). Thus, in the present study very low activity of NR was recorded from plants given zero N (at 8 WAP) and in all plants at 16 WAP. The low level of enzyme activity exhibited by all plants (including those given higher N levels at planting) at 16 weeks after planting was an indication that the fast-growing plants had exhausted the applied nitrogen.

The increase in leaf RWC with increased nitrogen levels was in line with the observation of Clements and Kubota (9), who reported a close relationship between nitrogen concentration and leaf moisture content in the sugarcane plant. The report of these authors implied that plants growing under conditions of inadequate nitrogen supply are likely to have low moisture content no matter what the moisture conditions in the soil are. A significant positive correlation similar to the one observed in this study ($r = 0.63$) has been reported between NR activity and RWC content of sugarcane leaf (32). This explains the dependence of the response of cane plants to additional nitrogen applications in the soil moisture regime.

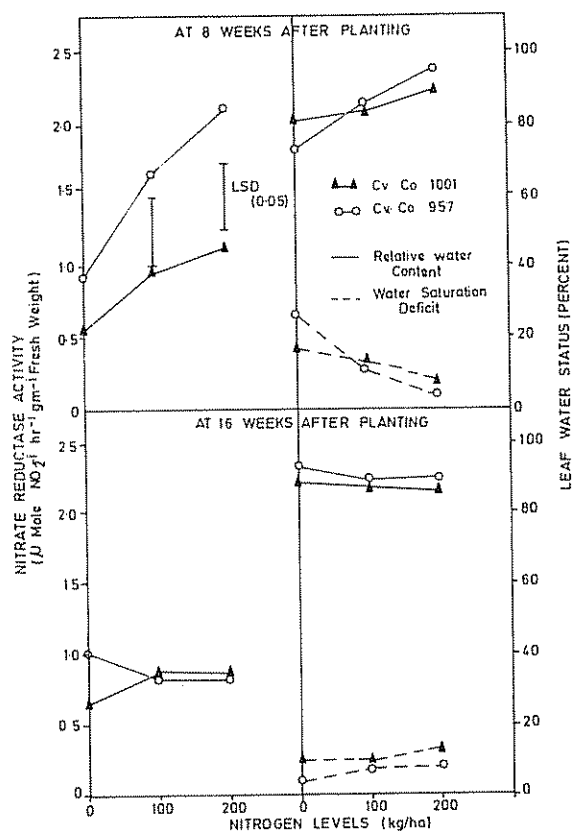


Fig. 1 Effect of nitrogen levels and plant age on nitrate reductase activity (NRA) and water status in leaves of two sugar cane cultivars

Tables 2 and 3 show the effect of water stress on NR activity and WSD of the leaves of the two sugarcane cultivars at eight and 16 weeks after planting respectively. NR activity reduced with increased water stress period, while WSD increased simultaneously during the same period. The results further showed that a zero N level showed less variation in enzyme activity during the stress period, while the higher nitrogen levels showed greater variations at 8 WAP. Similarly, Cv. Co 957 showed a higher variation in NR activity than Cv. Co 1001 at both ages during the drought periods (Table 4). Seven days after irrigation was suspended, decreases in enzyme activity up to 64.38 (Cv. Co 957), 47.42 (Cv. Co 1001), 92.41 (Cv. Co 957), and 91.12 (Cv. Co 1001) percent were observed at eight and 16 weeks after planting, respectively. In both cultivars, enzyme activity decreased with age, while variations in NR activity occasioned by water stress increased with age.

Table 2. Effect of moisture stress on nitrate reductase activity (μ moles $\text{NO}_2^- \text{ hr}^{-1} \text{ g}^{-1}$ fresh weight) and water saturation deficit (%) in leaves of two sugarcane cultivars given different levels of nitrogen fertilizer at 8 WAP.

Nitrogen level (kg/ha)	Cv. Co 957						Cv. Co 1001					
	NR activity			Water saturation deficit (%)			NR activity			Water saturation deficit (%)		
Stress period (days)	0	3	7	0	3	7	0	3	7	0	3	7
0	0.912	0.781	0.775	5.69	17.28	26.90	0.562	0.385	0.312	6.31	15.39	17.47
100	1.687	0.369	0.206	4.23	14.63	34.30	0.919	0.656	0.500	8.35	12.29	21.26
200	2.125	0.337	0.206	3.64	11.15	24.59	1.112	0.587	0.531	13.47	15.00	23.56
LSD (0.05)	0.487	0.380	0.229	10.73	4.19	4.79	0.487	0.380	0.229	10.73	4.19	4.79

These results supported the earlier report of Viqueira *et al.* (32), who observed decreases in NR activity of two sugarcane cultivars with increasing plant age and drought advancement. Similar decreases in nitrate reductase activity at different times after irrigation was suspended have been earlier observed for other crops (4, 16). At higher N levels, NR activity disappeared faster with increased drought period as plants with higher nitrogen levels lost water more rapidly than the control. This could be due to higher leaf surface areas and hence higher transpiration rate. Moreover, higher physiological activity as epitomised by higher NR activity will result in a higher rate of water loss in plants. This observation supports the view of Humbert (17), who reported that higher nitrogen encouraged larger leaf area, perhaps a disadvantage during drought.

The rate of disappearance of enzyme activity and leaf water status are indications of drought tolerance/susceptibility (23, 32). NR activity was observed to decrease, and WSD to increase faster and more in Cv. Co 957 than in Cv. Co 1001 with moisture stress se-

verity (Tables 2 and 3). This tends to suggest that the latter is more tolerant to drought than the former. However, field observations showed Cv. Co 957 to tolerate drought conditions better than Cv. Co 1001. Moreover, Cv. Co 957 had more dense and deeper rooting habits, as well as thinner stalks, than Co 1001. Lal and Mehrotra (18) reported that a drought-tolerant variety generally possesses higher green leaf numbers, larger shoot numbers per plant and thinner stalks. This supports the observation that Cv. Co 957 (usually with more green leaves and shoots per plant, as well as thinner stalks) can tolerate drought better. However, the rationale for the rapid loss of enzyme activity could then be as suggested by Viqueira *et al.* (32): a greater decrease of enzyme activity in a drought-tolerant variety could be considered as an adaptation mechanism for reducing energy requirements during moisture stress.

Tables 5 and 6 show that NR activity and leaf water status recovered rapidly when plants were re-watered during the two periods. By the third day after the plants had been re-watered, NR activity in

Table 3. Effect of moisture stress on nitrate reductase activity (μ moles $\text{NO}_2^- \text{ hr}^{-1} \text{ g}^{-1}$ fresh weight) and water saturation deficit (%) in leaves of two sugarcane cultivars given different levels of nitrogen fertilizer at 16 WAP.

Nitrogen level (kg/ha)	Cv. Co 957						Cv. Co 1001					
	NR activity			Water saturation deficit (%)			NR activity			Water saturation deficit (%)		
Stress period (days)	0	3	7	0	3	7	0	3	7	0	3	7
0	1.00	0.400	0.055	5.43	10.02	14.43	0.662	0.500	0.062	9.63	11.85	14.88
100	0.825	0.337	0.062	8.45	9.80	13.61	0.862	0.450	0.082	10.94	13.16	13.46
200	0.825	0.212	0.080	7.96	19.44	21.10	0.850	0.525	0.065	12.10	13.38	13.85
LSD 0.05	0.299	0.175	0.021	2.21	5.08	1.94	0.299	0.175	0.021	2.21	5.08	1.94

Table 4. Variations in nitrate reductase activity (NRA) in sugarcane leaf seven days after irrigation was suspended at eight and 16 weeks after planting.

Level of nitrogen (kg/ha)	Enzyme activity variations (%)			
	Eight weeks after planting		16 weeks after planting	
	Cv. Co 957	Cv. Co 1001	Cv. Co 957	Cv. Co 1001
0	15.02	43.95	94.50	90.63
100	87.79	45.59	92.48	90.49
200	90.30	52.25	90.30	92.35
Mean	64.37	47.26	92.43	91.16

Table 5. Effect of plant recovery (after re-watering) on NRA and WSD in leaves of two sugarcane cultivars given different level of nitrogen fertilizer. Data taken at 8 WAP.

Nitrogen level (kg/ha)	Cv. Co 957						Cv. Co 1001					
	NR activity			Water saturation deficit (%)			NR activity			Water saturation deficit (%)		
Recovery Period (days)	1	3	7	1	3	7	1	3	7	1	3	7
0	0.887	1.062	0.919	0.96	5.35	4.48	0.412	0.706	0.487	5.45	11.80	10.55
100	1.206	2.306	2.425	7.34	8.80	9.61	0.912	1.075	1.400	10.26	14.40	9.12
200	1.916	3.15	2.537	12.36	15.57	7.06	1.381	1.687	1.400	7.37	14.86	9.63
LSD (0.05)	0.440	0.704	0.638	2.91	2.89	4.11	0.440	0.704	0.638	2.91	2.89	4.11

Table 6. Effect of plant recovery (after re-watering) on NRA and WSD in leaves of two sugarcane cultivars given different levels of nitrogen fertilizer. Data taken 16 WAP.

Nitrogen level (kg/ha)	Cv. Co 957						Cv. Co 1001					
	NR activity			Water saturation deficit (%)			NR activity			Water saturation deficit (%)		
Recovery Period (days)	1	3	7	1	3	7	1	3	7	1	3	7
0	0.135	1.125	0.837	9.22	11.45	12.37	0.175	0.812	0.475	12.11	11.33	14.52
100	0.200	0.937	0.650	7.25	13.65	11.31	0.175	0.975	0.675	9.21	12.86	11.33
200	0.150	0.925	0.520	12.59	15.46	10.42	0.150	0.737	0.537	9.91	11.70	11.99
LSD (0.05)	0.058	0.429	0.237	4.23	4.79	3.24	0.058	0.429	0.237	4.23	4.79	3.24

leaves of the two cultivars of sugarcane had increased appreciably, with values greater than the pre-stress values being obtained. However, by the seventh day after re-watering, the NR activity had stabilized to near the pre-stress levels. The increase in NR activity by the third day of recovery could be due to influx of N through rapid water intake by plants. However, as the physiological activities of plants increased, the concentration of nitrogen dropped, hence the drop in NR activity. The high rate of recovery is an indica-

tion of the fact that there was no permanent loss of activity during the stress period.

From the foregoing, it could be suggested that the higher yield of sugarcane usually associated with increased nitrogen application is due to increased nitrate reduction (as indicated by increased NR activity with increased nitrogen levels) and the utilization of products of reduction in protein synthesis. Moreover, nitrate reductase is an inducible enzyme which functions well in adequate moisture.

LITERATURE CITED

1. AFRIDI, M.M.R.K.; HEWITT, E.J. 1964. The inducible formation and stability of nitrate reductase in higher plants. *J. Exptl. Bot.* 15(44):251-271.
2. BAR-AKIVA, A. 1971. Functional aspects of mineral nutrients in use for the evaluation of plant nutrient requirement. In *Recent advances in plant nutrition*. Ed. by R.M. Sanish. New York, Gordon and Breach Sc. Pub. v.1, p. 115-142.
3. BAR-AKIVA, A.; STERNBAUM, J. 1975. Possible use of the nitrate reductase activity of leaves as a measure of the nitrogen requirements of a citrus tree. *Plant and Cell Physiology* 6:575-577.
4. BARDZIK, J.W.; MARSH JUNIOR, H.V.; HAVIS, J.R. 1971. Effects of water stress on the activities of three enzymes in maize seedlings. *Plant Physiology* 47:828-831.
5. BARRETT-LENNARD, E.G.; ROBSON, A.D.; GREENWAY, H. 1982. Effect of phosphorous deficiency and water deficit in phosphate activities from wheat leaves. *J. Exptl. Bot.* 33:682-693.
6. BURR, G.O.; HARTT, C.E.; BRODIE, H.W.; TANIMOTO, T.; KORTSCHAK, H.P.; TAKAHASHI, D.; ASTON, F.M.; COLEMAN, R.E. 1957. The sugarcane plant. *Annual Review of Plant Physiology* 8:275-308.
7. CASTELLANOS, A.; GERRET, J.L.; LOPEZ, E. 1978. Study of different N.P.K. levels in sugarcane (*Saccharum officinarum*) Var. CP 5243. *Agrotecnia de Cuba* 10:35-49.
8. CHAUDHRY, B.A. 1983. Low sugarcane productivity in Negros - why? *Sugar Land* 20(6):4-7.
9. CLEMENTS, H.F.; KUBOTA, T. 1942. Internal moisture relations of sugarcane. The selection of a moisture index. *Hawaiian Planters' Record* 46:17.
10. COX, W.J.; ROBSON, A.D. 1980. Optimization of plant nutrition in improving the efficiency of fertilizer use. In *Proceedings of the Australian Agronomy Conference* p. 157-176.
11. CROY, L.I.; HAGEMAN, R.H. 1970. Relationship of nitrate reductase activity (NRA) to grain protein production in wheat. *Crop Science* 10(3):280-285.
12. EL-MANHALY, M.A.; FADAYOMI, O.; ABAYOMI Y.A.; OLOFINBOBA, M.O. 1984. Control of flowering in two commercial sugarcane varieties. *Journal of Agricultural Science* 103:333-338.
13. HAGMAN, R.H.; FLESHER, D. 1960. Nitrate reductase activity in corn seedlings as affected by light and nitrate content of nutrient media. *Plant Physiology* 35:700-708.
14. HEWITT, E.J.; AFRIDI, M.M.R.K. 1959. Adaptive synthesis of nitrate reductase in higher plants. *Nature* 183:57-58.
15. HEWITT, E.J.; FISHER, E.G.; CANDELLA, M.C. 1955. Factors affecting the activity of nitrate reductase in cauliflower plants. *Ann. Rep. Long Ashton Rep. Station* p. 202-210.
16. HUFFAKER, R.C.; RADIN, I.; KLEINKOFF, G.E.; COX, E.L. 1970. Effects of mild water stress on enzymes of nitrate assimilation and carbosylative phase of photosynthesis in barley. *Crop Science* 10:471-473.
17. HUMBERT, R.P. 1968. *The growing of sugarcane*. Amsterdam, Elsevier Publishing Company. p. 780.
18. LAL, K.N.; MEHROTRA, O.N. 1951. Physiological basis of drought resistance in sugarcane. *Bienn. Conf. Sugarcane Res. Wkrs. Combatoure 1 Proceedings*. Pt. 202, p. 33-40.
19. LEECE, D.R. 1976. Diagnosis of nutritional disorders of fruit trees by leaf and soil analyses and biochemical indices. *J. Aust. Hort. Agric. Sci.* 42:3-19.
20. MARETZKI, A.; DE LA CRUZ, A. 1967. Nitrate reductase in sugarcane tissues. *Plant and Cell Physiology* 8:605-611.

21. MAITIAS, R.E.; PAULI, A.W. 1965. Trends in nitrate reductase and nitrogen fractions in young corn (*Zea mays* L.) plant during heat and moisture stress. *Crop Science* 5:181-184.
22. MULDER, E.; BOXMA, R.; VAN VEEN, W.L. 1959. Nitrate reduction in plant tissues. *Plant and Soil* 10:335-355.
23. NAIDU, K.M.; VENKATARAMANA, S.; GURURAJA RAO, P.N. 1983. Varietal variation in stomata inductance and diffusion resistance during moisture stress and recovery in sugarcane. *ISSCT. Proceedings* 18:567-584.
24. REED, A.J.; HAGEMAN, R.H. 1980. Relationship between nitrate uptake, flux, and reduction and the accumulation of reduced nitrogen in maize (*Zea mays* L.) II: Effect of nutrient nitrate concentration. *Plant Physiology* 66:1184-1189.
25. SANDERSON, G.W.; COCKING, E.C. 1964. The enzymic assimilation of nitrate in the tomato plant 1: Nitrate reductase. *Plant Physiology* 39:416-422.
26. SINGH, P.P. 1974. Ratooning potential of sugarcane varieties under different levels of nitrogen. *Proc. of the annual Conven. of the Sugarcane Tech. Assoc. of India* 40:A1-A5.
27. STEVENS, D.L.; OAKS, A. 1973. The influence of nitrate on the induction of nitrate reductase in Soybean leaves. *Plant Physiology* 49:448-450.
28. TANG, P.; WU, H.Y. 1957. Adaptive formation of Nitrate reductase in rice seedlings. *Nature* 179:1355-1356.
29. WALLACE, W.; PATE, J.S. 1965. Nitrate reductase in the field pea (*Pisum arvense* L.) *Annals of Botany* 29:655-667.
30. WEATHERLEY, P.E.; SLAYTER, R.O. 1957. Relationship between relative turgidity and diffusion pressure deficit in leaves: *Nature* 179:1985-1086.
31. WILLIAM, L.B.; DANIEL, T.W. 1978. Effects of nitrate, ammonium and pH on the growth of conifer seedlings and their production of nitrate of reductase. *Plant and Soil* 50:371-385.
32. VIQUEIRA, L.; GONIEZ, L.; RODRIGUEZ, C. 1983. Effect of water deficiency on two sugarcane varieties. *18th Congr. ISSCT. Proceedings*:539-565.

Influência do Diuron sobre a Transpiração do Amendoim-Bravo

I. Planta Jovem¹ (*Euphorbia heterophylla* L.)

D.M. Mathias-Dos-Santos*, G.M. Corso*

ABSTRACT

The effects of different concentrations of the herbicide diuron on transpiration was studied in 15 day-old plants of the common weed *Euphorbia heterophylla* L. The herbicide used in the experiments has a widespread action on large-leaf weeds and is included in the group of substituted ureas. The treatments included the control (G₁) and concentrations of 6.702 x 10⁻⁴ M (G₂) and 3.35 x 10⁻³ M (G₃). The results were obtained by weighing intact plants in pots. The data on the daily course of the microclimatic conditions (temperature, relative humidity, light intensity and evaporation) were obtained simultaneously with the experiments on transpiration. The results of this experiments showed that both concentrations of diuron reduced transpiration of young plants of *E. heterophylla*.

COMPENDIO

Los efectos de diferentes concentraciones del herbicida "diuron" sobre la transpiración fueron estudiadas en plantas con 15 días de edad de la planta invasora *Euphorbia heterophylla* L. El herbicida utilizado en los experimentos tiene amplia acción sobre invasoras de hojas anchas y está incluido en el grupo de las ureas substituidas. Los tratamientos incluyeron el control (G₁) y concentraciones de 6.702 x 10⁻⁴ M (G₂) y 3.35 x 10⁻³ M (G₃). Los resultados fueron obtenidos por el peso de las plantas enteras envasadas. Los datos sobre la marcha diaria de las condiciones microclimáticas (temperatura, humedad, y evaporación) fueron obtenidos simultáneamente con los experimentos de la transpiración. Los resultados de estos experimentos mostraron que ambas concentraciones de diuron redujeron la transpiración de plantas jóvenes de *E. heterophylla*.

INTRODUÇÃO

E *uphorbia heterophylla* L. conhecida vulgarmente no Brasil como amendoim-bravo ou leiteira é uma das espécies mais difíceis de se controlar quimicamente e, em função de sua elevada competitividade e agressividade, é séria infestante de culturas em regiões tropicais e subtropicais (2, 4, 11, 12).

O diuron (3-(3,4-(diclorofenil)-1,1-dimetil-uréia) pertence ao grupo das uréias substituídas (3, 5, 8). Introduzido pelas Indústrias Químicas Du Pont em 1952, o herbicida é comercializado sob o nome de "Karmex 80%". O diuron é translocado via apoplasto e caracteriza-se principalmente por ser um efetivo inibidor da reação de Hill (9, 16) As características gerais deste herbicida podem ser encontradas em

Almeida e Rodrigues (3), Camargo (5), Fryer e Ma-kepeace (8) e Von Hertwig (23), entre outros.

Van Oorschot (22) salienta que os herbicidas de translocação apoplástica retardam o movimento da água, determinando assim alterações na transpiração. Experimentos realizados em brotos e folhas destacadas de feijão (14, 15) e em plantas intactas de tomate (20) e de cevada (22) demonstraram que a aplicação do diuron, em diferentes concentrações, retarda o fluxo de água.

Sedgley e Boersma (19) verificaram que o valor da transpiração em plântulas de trigo diminui imediatamente após a aplicação do diuron. A redução da transpiração foi também observada quando diferentes doses de diuron foram aplicadas em folhas de milho (1) e de aveia (18)

Devido a ausência de investigações a respeito das restrições hídricas em *E. heterophylla* tratada com herbicidas, o objetivo do presente trabalho foi verificar a influência do diuron sobre a transpiração de plantas jovens desta espécie

MATERIAL E MÉTODOS

Para obtenção das plantas jovens, foram utilizados 45 copos plásticos (vasos) com 16 cm² de área e 50 g de solo argiloso (Quadro 1).

¹ Recebido para publicação 17 de abril 1988.

Parte de Dissertação de Mestrado apresentada ao Instituto de Biociências, UNESP, Rio Claro e defendida em 11/07/86. Auxílio financeiro: CNPq e CAPES.

Agradecimento a la Sra. Carmem Silvia C. Raghianti do Departamento de Botânica do Instituto de Biociências, UNESP, Campus de Rio Claro, pelos serviços datilográficos prestados e ao Prof. Omar Pesantes do Departamento de Zoologia, Instituto de Biociências, UNESP, Campus de Rio Claro, pela atenção e auxílio na elaboração do resumo deste trabalho.

* Depto de Botânica, Instituto de Biociências, UNESP. C.P. 178, 13500 Rio Claro, SP, Brasil.

Quadro 1. Análise química do solo Meq/100 g de T.F.S.A.

pH	M.O.	H ⁺	Al ³⁺	K ⁺	PO ₄ ⁻	Ca ²⁺	Mg ²⁺
5.40	3.825	5.92	0.32	0.580	0.096	3.437	1.417

O herbicida apresenta-se sob a forma de pó molhável, contendo 800 g de ingrediente ativo por quilo e as diluições foram feitas a partir de uma solução-mãe calculada em 0.7812 g/l e convertidas à molaridade. Foram usadas, além da testemunha sem herbicida (G₁), duas concentrações: 125 ppm i.a (G₂) e 625 ppm i.a (G₃), correspondentes, respectivamente, a 6.702 x 10⁻⁴M e a 3.35 x 10⁻³M. As aplicações do herbicida foram feitas logo após o preparo das concentrações.

A cada dia foram utilizadas cinco repetições por tratamento, totalizando respectivamente 15 repetições para G₁, G₂ e G₃, ao longo de três dias consecutivos. Os tratamentos G₁, G₂ e G₃ foram aplicados sobre as plantas jovens, quando estas alcançaram 15 dias de idade, e se apresentaram sem folhas cotiledonares e com quatro nomofilos. Para cada tratamento foi utilizado um pulverizador manual marca Flora, com capacidade de 1 litro. Os lotes de 15 vasos referentes aos tratamentos G₁, G₂ e G₃ foram mantidos em três bandejas de plástico com água depositada no fundo, dispensando a rega direta nas plantas. Após 24 horas da pulverização dos tratamentos G₁, G₂ e G₃, foi medida a transpiração pelo método da pesagem de plantas inteiras envasadas, utilizando três balanças analíticas Mettler com limite de capacidade de 2 000 g e sensibilidade de 1 mg. Cada balança permanecia sempre nas proximidades das plantas estudadas.

Para que não houvesse perda de água através dos vasos, estes foram envolvidos, meia hora antes do início dos experimentos, em sacos plásticos transparentes amarrados nas hastes das plantas, deixando-se livres as folhas. Para cada dia de experimento, cinco

Quadro 2. Análisis de variância.

Coefficiente de variação (cv)	Grau de liberdade (gl)
Blocos (dias)	2
Tratamentos (A) (G ₁ , G ₂ e G ₃)	2
Momento (B) (intervalo de tempo)	5
Interação (A x B)	10
Resíduo	34
Total	53

Quadro 3. Percentagem de inibição da transpiração dos tratamentos G₂ e G₃, considerando o valor de G₁ como 100% (27/03/84).

Tratamentos	Inibição da transpiração (%)					
	Horas					
	8	10	12	14	16	18
G ₂	55.5	59.0	44.1	46.3	56.5	65.4
G ₃	41.6	50.6	40.4	48.2	63.8	72.0

vasos de G₁, G₂ e G₃ foram inicialmente pesados a partir das 6:00 horas, de duas em duas horas até às 18:00 horas. As pesagens dos 15 vasos foram efetuadas simultaneamente. Ao final da última pesagem, foram retirados os moldes de todas as folhas dos vasos para posterior cálculo das áreas foliares, segundo Corso (7). A perda de água por transpiração foi calculada em mg/dm²/min.

As condições microclimáticas (temperatura, umidade relativa do ar e intensidade luminosa) foram medidas de hora em hora durante os experimentos da transpiração. Para obtenção dos dados de temperatura e umidade relativa do ar, foi utilizado um termo-higrômetro René Graf e, para as medidas de intensidade luminosa, um luxímetro portátil Metrawatt Metrux 3 acoplado a um filtro solar, quando necessário.

Os dados de evaporação foram obtidos utilizando um evaporímetro gravimétrico M (6, 7) pesado numa balança Mettler com a mesma capacidade e sensibilidade daquelas usadas na medida da transpiração. Essa balança era provida na sua parte basal de um gancho que sustentava um disco de papel mata-borrão verde (área evaporante). Para efeito de comparação os valores de evaporação foram reduzidos à mesma unidade dos valores de transpiração (mg/min/dm²).

Os valores de transpiração relativa foram calculados pela fórmula $\frac{Tt}{E} \times 100$, onde Tt representa a transpiração total (cuticular e estomática) e E representa a evaporação (7).

Foram calculados a média, desvio padrão e o coeficiente de variação para cada tratamento (G₁, G₂ e G₃) em intervalo de tempo de duas horas. O termo "momento" foi usado para identificar esses intervalos. Deste modo, ao longo do dia foram estabelecidos seis momentos de pesagens (M₁ - M₆).

A partir das médias foi construído para cada tratamento o gráfico do andamento diário da transpiração, ao longo dos seis momentos analisados.

A avaliação dos efeitos de interação (tratamento x momento) e do efeito de tratamento e de momento, foi efetuada aplicando-se a análise de variância em blocos casualizados, onde o bloco representa o dia de medida, considerando-se um experimento fatorial com dois fatores, tratamento e momento (Quadro 2).

A significância dos valores de transpiração foi estimada pelo teste de Tukey (21) para o nível $\alpha = 0.05$.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados estão nas Figs. 1 a 4 e nos Quadros 3 a 9.

As curvas de transpiração dos três tratamentos evidenciam que as perdas de água, nas plantas tratadas com herbicida (G_2 e G_3), são menores do que nas testemunhas (G_1). Os dados de transpiração apresentados nos Quadros 3 a 5 indicam valores percentuais elevados de inibição da transpiração. Verifica-se que a inibição máxima provocada pelos tratamentos com herbicida foi de 65.4% para G_2 e 72.0% para G_3 (Quadro 3) e, a inibição mínima indica valores de 21.4% para G_2 e 14.6% para G_3 (Quadro 5). Estes

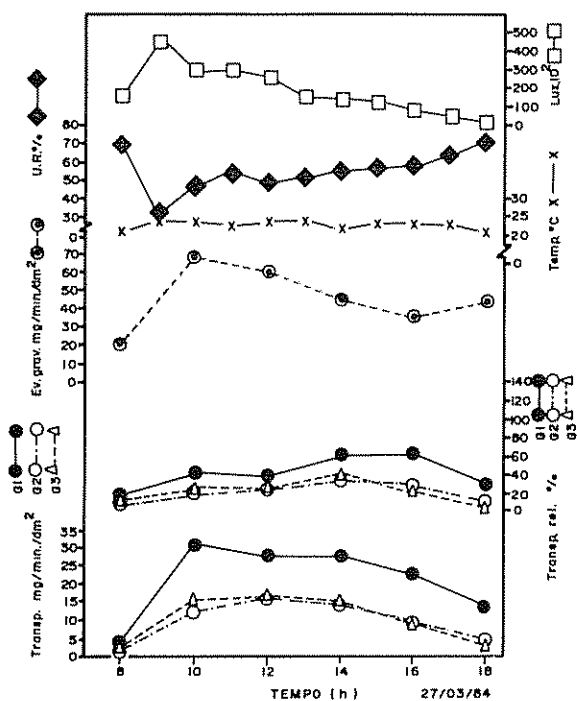


Fig. 1. Andamento diário da transpiração de plantas jovens de *Euphorbia heterophylla* L., submetidas aos tratamentos G_1 , G_2 e G_3 , e das condições microclimáticas

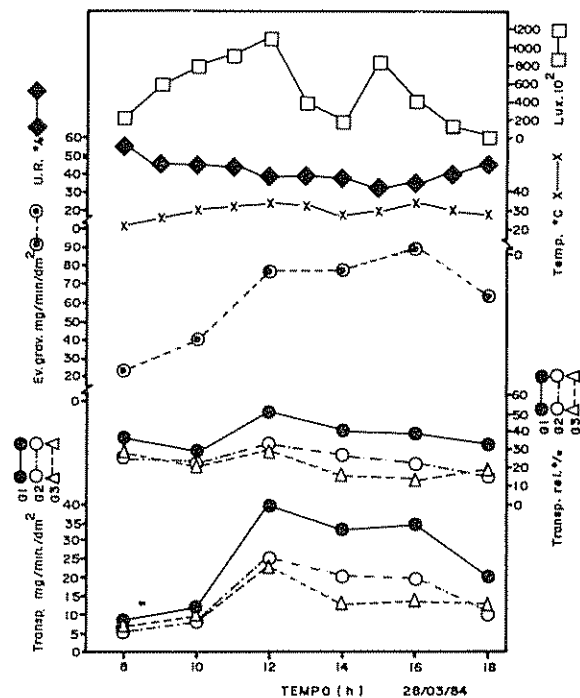


Fig. 2. Andamento diário da transpiração de plantas jovens de *Euphorbia heterophylla* L., submetidas aos tratamentos G_1 , G_2 e G_3 , e das condições microclimáticas

resultados concordam com os de Minshall (15) e de Smith e Buchholtz (20) que descrevem o diurom como um inibidor da transpiração. Van Oorchot (22) salienta que a influência de herbicidas de translocação apoplástica na transpiração das espécies é muito complexa, pois, tais compostos químicos podem interferir no movimento de água pelas raízes, inibindo o fluxo de subida até as folhas e por conseguinte reduzir a transpiração. Considera também que a fitotoxicidade dos herbicidas pode conduzir à redução da transpiração, especialmente devido a relação entre conteúdo de clorofila e abertura dos estômatos.

De acordo com Health (10) a interferência de produtos químicos na transpiração é esperada, porque muitas substâncias que alteram o metabolismo ou os aspectos do micro-ambiente provocam o fechamento estomático. A inibição da abertura estomática por vários produtos químicos enfatiza a estreita relação entre o fechamento estomático e inibição da fotossíntese (22). A interrelação existente entre valor da transpiração, movimento estomático e conteúdo de água na folha determina que o movimento dos estômatos exerce influência no controle da transpiração (13).

Van Oorschot (22) salienta que, apesar dos efeitos do herbicida, a transpiração pode aumentar devido a

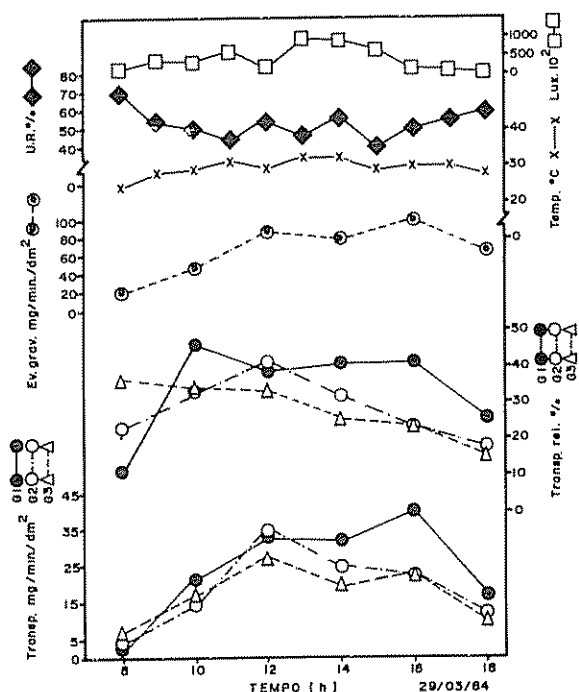


Fig. 3. Andamento diário da transpiração de plantas jovens de *Euphorbia heterophylla* L., submetidas aos tratamentos G₁, G₂ e G₃, e das condições microclimáticas

Quadro 4. Percentagem de inibição da transpiração dos tratamentos G₂ e G₃, considerando o valor de G₁ como 100% (28/03/84).

Tratamentos	Inibição da transpiração (%)					
	Horas					
	8	10	12	14	16	18
G ₂	31.4	26.0	36.6	37.2	43.5	51.4
G ₃	25.6	28.6	42.9	62.4	62.2	46.2

influência de altas temperaturas sobre a abertura estomática. Muzik (17) afirma que altas temperaturas podem causar injúria indireta nas plantas pela alteração entre a água absorvida pelas raízes e a perda através da transpiração. Quando a temperatura aumenta, o valor da transpiração eleva-se em decorrência da diminuição da pressão de vapor do ar quente e da temperatura foliar. O autor afirma que altas temperaturas causam pronunciadas mudanças físicas e metabólicas nas plantas, muitas das quais devem ser críticas nas suas respostas ao herbicida. Temperaturas elevadas aumentam a duração do efetivo controle com o diuron, devido ao efeito do herbicida sobre as

forças de Van der Waals (forças de atração molecular) e conseqüente diminuição da absorção de água no solo. Muzik (17) esclarece que a ação de muitos herbicidas é afetada pela intensidade luminosa, cuja alta intensidade favorece a entrada e translocação da maioria destes produtos. Nas Figs. 1 a 3 verifica-se que houve aumento da transpiração no mesmo período em que se registraram os maiores valores de intensidade luminosa e de temperatura e os menores de umidade relativa do ar. A diminuição dos valores

Quadro 5. Percentagem de inibição da transpiração dos tratamentos G₂ e G₃, considerando o valor de G₁ como 100% (29/03/84).

Tratamentos	Inibição da transpiração (%)					
	Horas					
	8	10	12	14	16	18
G ₂	-105.2	28.3	-5.5	21.4	43.2	29.1
G ₃	-231.5	25.8	14.6	37.5	42.8	38.7

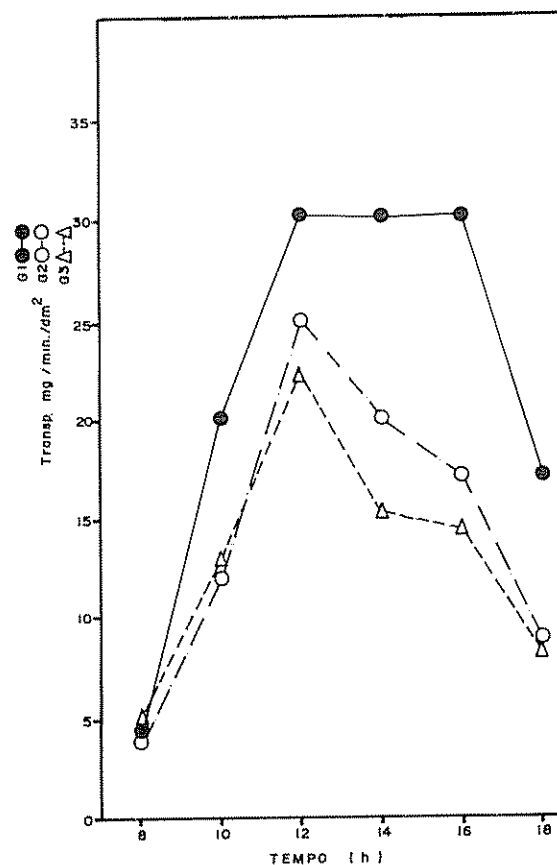


Fig. 4. Médias da transpiração de plantas jovens de *Euphorbia heterophylla* L., submetidas aos tratamentos G₁, G₂ e G₃, em cada um dos seis momentos estudados.

Quadro 6. Média (\bar{x}), desvio padrão (s) e coeficiente de variação (cv) da transpiração de plantas jovens de *Euphorbia heterophylla* L., médias em três grupos (G₁, G₂, G₃), em seis momentos (intervalo de tempo: M₁ - M₆) e em três dias diferentes (blocos).

	G ₁						G ₂						G ₃					
	M ₁	M ₂	M ₃	M ₄	M ₅	M ₆	M ₁	M ₂	M ₃	M ₄	M ₅	M ₆	M ₁	M ₂	M ₃	M ₄	M ₅	M ₆
\bar{x}	4.7	21.1	33.4	30.6	31.7	17.3	3.8	12.1	25.1	20.1	17.2	9.0	5.0	13.0	22.4	15.4	14.5	8.5
s	3.5	9.6	6.1	2.6	9.5	4.0	2.2	3.0	9.5	5.0	6.7	3.8	2.4	4.0	5.7	4.0	7.3	4.1
cv	74.1	45.3	18.0	8.6	30.0	22.7	56.6	25.0	38.0	25.2	39.1	42.2	49.8	30.0	25.5	25.4	50.6	48.5

Quadro 7. Análise de variância fatorial inteiramente casualizada para a transpiração de plantas jovens de *Euphorbia heterophylla* L.

Causa da variação	GL	SQ	QM	F [*] calculado	F [*] crítico/0.05	F [*] crítico/0.01
Blocos	2	359 4 765	179 - 7 382			
Herbicida (A)	2	1 069 7 500	534 - 8 750	23.14**	3.28	5.29
Momento (B)	5	2 977 5 742	595 - 5 146	25.77**	2.49	3.61
Interação (AxB)	10	323 3 164	32 - 3 316	1.40	2.12	
Resíduo	34	785 6 250	23 - 1 066			
Total	53	5 514 7 422				

de transpiração também coincidiu com os menores valores de luminosidade e de temperatura e os maiores de umidade relativa do ar, confirmando as proposições dos autores.

No Quadro 6 verifica-se que, em cada momento, a média, o desvio padrão e o coeficiente de variação, nas plantas submetidas ao tratamento G₁, foram superiores aos dos tratamentos G₂ e G₃. Os tratamentos com herbicida não diferiram entre si. Na Fig. 4 observa-se que as plantas jovens atingiram o mínimo de transpiração em M₁ (8:00 horas) e o máximo em M₃ (12:00 horas). Nos demais momentos, os valores foram intermediários. As plantas jovens dos tratamentos G₂ e G₃ reduziram acentuadamente sua transpiração, em relação às plantas testemunhas G₁, das 12:00 às 16:00 horas. Portanto, têm-se, para a va-

riável tratamento a equação: G₁ > (G₂ = G₃) e, para a variável momento, a equação: M₁ < (M₂ = M₅) < M₃. Os Quadros 7 a 9 a revelam que existe efeito do herbicida para o conjunto dos seis momentos e efeito de momento para o conjunto dos três tratamentos (G₁, G₂ e G₃).

CONCLUSÕES

Através dos resultados obtidos pode-se concluir que houve inibição da transpiração nos tratamentos com herbicida (G₂ e G₃). Salienta-se, contudo, que as condições microclimáticas influenciaram, também, a redução da perda de água.

Quadro 8. Contrastes entre médias de grupos, pelo método de Tukey, para a variável tratamento (G₁, G₂ e G₃). Diferença mínima significativa $\alpha = 0.05$: $\Delta^* = 3.92$. Plantas jovens de *Euphorbia heterophylla* L.

Contraste	G ₂	G ₃
G ₁	8.66*	10.06*
G ₂	-	1.40

Quadro 9. Contrastes entre médias de grupos, pelo método de Tukey, para a variável momento (intervalo de tempo: M₁ - M₆). Diferença mínima significativa para $\alpha = 0.05$: $\Delta^* = 6.84$. Plantas jovens de *Euphorbia heterophylla* L.

Contraste	M ₂	M ₃	M ₄	M ₅	M ₆
M ₁	10.93*	22.47*	17.53*	16.73*	7.13*
M ₂	-	11.54*	6.62*	5.86	3.80
M ₃	-	-	4.92	5.68	15.34*
M ₄	-	-	-	0.76	10.42*
M ₅	-	-	-	-	9.66*

A análise estatística dos dados evidenciou alta significância (1%) para os tratamentos G₂ e G₃, indi-

cando que o diuron, nas condições e concentrações estudadas, reduz a perda de água em plantas jovens de *E. heterophylla*.

LITERATURA CITADA

1. AHMED, S.; FLETCHER, R.A. 1981. Reduced transpiration and increased water efficiency by diuron in corn (*Zea mays*). *Weed Abstracts* 30(1):39.
2. ALLEM, A.C. 1975. Estudo taxonômico do gênero *Euphorbia* L. (Euphorbiaceae) no Rio Grande do Sul - Brasil. Tese Mest. Porto Alegre, Instituto de Biociências, UFRGS. 123 p.
3. ALMEIDA, F.S. DE.; RODRIGUEZ, B.N. 1985. Guia de Herbicidas. Londrina, IAPAR. 482 p.
4. BACCHI, O.; LEITAO FILHO, H. de F.; ARANHA, C. 1984. Plantas invasoras de culturas. Campinas, Editora da UNICAMP. v.3, p. 729-732.
5. CAMARGO, P.N. 1972. Herbicidologia. In CAMARGO, P.N. (Coord.). Texto básico de controle químico de plantas daninhas. Piracicaba, ESALQ. p. 124-130.
6. CORSO, G.M. 1968. Estudo comparativo de evaporímetros. *Ciência e Cultura (S.P.)* 20(2):315-316.
7. CORSO, G.M. 1972. Efeito de fungicida à base de cobre sobre o balanço hídrico do tamateiro. Tese. Rio Claro, Faculdade de Filosofia, Ciências e Letras, 128 p.
8. FRYER, J.D.; MAKEPEACE, R.J. 1977. *Weed Control Handbook*. Blackwell Scientific Publications. 510 p.
9. GOOD, N.E. 1961. Inhibitors of the Hill Reaction. *Plant Physiology*. Lancaster 36(6):788-803.
10. HEATH, O.V.S. 1959. The water relations of stomatal cells and the mechanisms of stomatal movements. In *Plant Physiology: Plants in Relation to Water and Solutes* Ed. by Steward, F.C. New York, London, Academic Press, v.2, p. 193-247.
11. LORENZI, H. 1976. Principais ervas daninhas do Estado do Paraná. *Boletim Técnico, IAPAR, Paraná*, 2. p. 100.
12. LORENZI, H. 1982. *Plantas Daninhas do Brasil*. Nova Odessa. Edição do autor. 425 p.
13. MILIHORPE, F.L.; SPENCER, E.J. 1957. Experimental studies of the factors controlling transpiration. III. The interrelations between transpiration rate, stomatal movement and leaf-water content. *Journal of Experimental Botany* 8(24):413-437.
14. MINSHALL, W.H. 1957. Influence of light on the effect of 3-p-(chlorophenyl)-1, 1-dimethylurea on plants. *Weeds* 5(1):29-33.
15. MINSHALL, W.H. 1960. Effect of 3-(4-chlorophenyl)-1, 1-dimethylurea (monuron) on dry matter production, transpiration, and root extension. *Canadian Journal Bot.*, Ottawa, 58:201-215.
16. MORELAND, D.E.; HILTON, J.L. 1976. Actions on photosynthetic systems. 2 ed. In *Herbicides: physiology, biochemistry, ecology* Ed. by Audus, L.J. London, New York, San Francisco Academic Press. v.1, Cap. 16, p. 493-523.
17. MUZIK, T.J. 1976. Influence of environmental factors on toxicity to plants. 2 ed. In *Herbicides: physiology, biochemistry, ecology*. Ed. By Audus, L.J. London, New York, San Francisco, Academic Press, v.2, Cap. 7, p. 203-247.
18. RAO, C.N.; VERMA, O.P.S.; SASIRY, J.A.; DUTTA, T.R. 1977. Use of diuron and atrazine as anti-transpirants in fodder oats. *Herbage Abstracts* 47(7):217.
19. SEDGLEY, R.H.; BOERSMA, L. 1969. Effect of soil water stress and soil temperature on translocation of diuron. *Weed Science* 17(3):304-306.
20. SMITH, D.; BUCHHOLIZ, K.P. 1964. Modification of plant transpiration rate with chemicals. *Plant Physiology Lancaster* 39:572-578.
21. SNEDECOR, G.W.; COCHRAN, W.G. 1967. *Statistical Methods*. The Iowa State University Press. Ames, Iowa, 593 p.
22. VAN OORSCHOI, J.L.P. 1976. Effects in relation to water and carbon dioxide exchange of plants. 2 ed. In *Herbicides: physiology biochemistry, ecology*. Ed. by Audus, L.J. London, New York, San Francisco, Academic Press, v.1, Cap. 10. p. 305-333.
23. VON HERIOWIG, K. 1977. *Manual de Herbicidas desfolhantes, dessecantes e fitorreguladores*. São Paulo, Edição Ceres. 480 p.

Propiedades Físicas Edáficas en dos Sistemas de Labranza¹

A.E. Andriulo; R.A. Rosell*

ABSTRACT

The objective of this work was to compare the effect of tillage systems on some physical properties after 11 years of cultivation with wheat-soybean annual double cropping. The physical characteristics studied were: bulk density, total porosity, air filled porosity, moisture retention curve, gas diffusion coefficient, permeability and soil strength. Bulk density and soil strength under conventional tillage (LC) were lower than in direct drilling (SD) in 0-10 cm soil increments. At the same depth, air-filled porosity was higher under LC than in SD; the reserve water capacity was lower in LC. The excessive compaction of soil that was produced when soybean was cultivated in continued SD is controlled by the wheat tillage in plots where SD of soybean was applied.

INTRODUCCION

Los sistemas de producción agrícolas están incorporando métodos de labranza que tratan de minimizar el laboreo del suelo. La siembra directa, conocida también como labranza cero, barbecho químico o no labranza consiste, básicamente, en implantar un cultivo sobre el rastrojo del anterior, removiendo una estrecha banda de suelo donde se depositan las semillas, dejando el espacio entre líneas sin alterar. Normalmente, implica el uso de herbicidas para el control de malezas y equipos especialmente adaptados para operar en suelos sin preparación previa. Este sistema reduce la erosión del suelo y el uso de combustible, conserva el agua edáfica y permite que la producción de cultivos de escarpa sea practicada en terrenos con pendiente pronunciada.

Los efectos de la labranza convencional (L.C.) y de la siembra directa (S.D.) sobre las propiedades físicas del suelo, en lapsos prolongados, no han sido adecuadamente estudiado en la República Argentina.

¹ Recibido para publicación el 20 de mayo de 1988.

Los autores desean agradecer a los ingenieros H. Marelli y A. Lattanzi, de la E.E.R.A., INTA, Marcos Juárez, por haber permitido trabajar en los ensayos generales que ellos establecieron.

* Laboratorio de Humus y Biodinámica del Suelo, Departamento de Agronomía (UNS) y CERZOS (UNS-CONICET), 8 000 — Bahía Blanca, Argentina.

COMPENDIO

El objetivo del presente trabajo fue comparar el efecto de dos sistemas de labranza en el doble cultivo trigo-soja sobre algunas propiedades físicas edáficas, luego de un período experimental de 11 años. Las características físicas estudiadas fueron: densidad aparente, porosidad total, porosidad de aireación, curva característica de humedad, coeficiente de difusión de gas, permeabilidad y resistencia del suelo a la penetración. En labranza convencional (LC), hasta 10 cm de profundidad, la densidad aparente y la resistencia del suelo fueron menores que en siembra directa (SD). A la misma profundidad, la porosidad de aireación resultó mayor en LC que en SD mientras que la capacidad de reserva de agua fue menor en LC. El laboreo de trigo en las parcelas donde se aplicó la SD de soja controló la excesiva compactación del suelo que se produce cuando la soja es cultivada en SD continua.

En S.D., los suelos son aflojados sólo local y superficialmente. Además, soportan la carga normal de tráfico. Por lo tanto, la consolidación natural y la compactación mecánica causan un empaquetamiento más denso de partículas en la superficie. En general, la densidad aparente es mayor que en suelo con L.C. (3, 15, 17, 24, 25, 29, 32). Las diferencias en porosidad total son mayores en la capa aflojada por el arado. Debajo de la profundidad normal de labranza no se observan diferencias en densidad aparente entre los dos sistemas de labranza.

Pareciera que el suelo bajo S.D. incrementa la densidad aparente en pocos años, luego de los cuales llega a un equilibrio que no se afecta por subsecuentes aplicaciones de S.D. (30, 32).

También, se ha observado una disminución en la frecuencia de poros de tamaño relativamente mayor en los agregados de los suelos no labrados (3, 15, 16, 29). Esto es muy importante, dado que el agua se mueve libremente sólo a través de poros mayores de 30-60 micrones de diámetro, siendo retenida por las fuerzas de capilaridad en los poros de diámetro menor. Además, la aireación del suelo depende fundamentalmente de los poros de mayor diámetro.

A pesar de su mayor densidad aparente, los suelos bajo S.D. continuada presentan macroporos que dre-

nan fácilmente. Esta situación es atribuida a los canales de las lombrices, que son más abundantes que en suelos labrados, a los planos de debilidad que se desarrollan cuando el suelo se seca y a los canales formados por las raíces del cultivo previo que no son destruidos por las labranzas y que pueden conducir a una orientación preferentemente vertical y continua de los poros más grandes, compensando su número reducido (3, 11, 14, 15, 29)

Numerosos autores han evaluado la compactación a través de la resistencia del suelo. Usualmente, los suelos con S.D. muestran valores mayores que los suelos con L.C. dentro de la profundidad normal de labranza (3, 12, 13, 14, 25, 31, 32, 33)

Debajo de la profundidad normal de labranza, a pesar de no haberse observado diferencias en densidad aparente y humedad, la resistencia del suelo mostró incrementos significativos en S.D., particularmente en condiciones húmedas (32).

La aireación del suelo depende de la porosidad y del contenido de agua. Cuando el suelo se halla a capacidad de campo, el espacio poroso está ocupado por aire (capacidad de aireación) y agua. Para un intercambio adecuado de gases entre el aire del suelo y la atmósfera externa, se necesita una capacidad de aireación mínima del 10%. Algunos autores han observado capacidades de aireación inferiores al 10% en suelos de textura pesada (29, 30). Estos suelos pesados de regiones húmedas no serían propicios para la aplicación de la S.D.

Los incrementos observados en las proporciones relativas de poros pequeños y medianos en S.D. tienen consecuencias en la capacidad de retención de agua. Numerosos autores, en Europa (Baeumer y Bakermans, (3); Ellis *et al.*, (13); Pidgeon y Soane, (30); Ellis *et al.*, (14); Cannell *et al.*, (10); Pidgeon, (29), América Jones, *et al.*, (23); Blevins *et al.*, (7); Hill y Blevins, (19); Igue, (21); Hansen y Zeljkovich, (17); Lattanzi y Marelli, (25) y en Africa (Hayward *et al.*, (18) han encontrado mayores contenidos de humedad con S.D. que con L.C.

En general, los suelos con S.D. presentan mayor velocidad de infiltración que los suelos con L.C. Este comportamiento ha sido atribuido a la mayor continuidad de los poros que no son destruidos por las labranzas (3, 29) y a la disminución del 'enconstramiento superficial' por el efecto protector de la cobertura de rastrojos en suelos franco-limosos (17, 25).

El objetivo del presente trabajo fue comparar el efecto de dos sistemas de labranza en el doble cultivo trigo-soja sobre algunas propiedades físicas edáficas luego de un período experimental de 11 años.

MATERIALES Y METODOS

Los dos sistemas de labranza están incluidos en una experiencia más amplia, implementada por técnicos de la Sección Conservación y Manejo de Suelos de la Estación Experimental Regional Agropecuaria (EERA) Marcos Juárez, del Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA), que estudia el efecto de estos dos y otros tratamientos sobre el rendimiento del doble cultivo trigo-soja, a partir de 1974.

El suelo es un *Argiudol* típico, profundo y bien drenado (textura franco limosa, con 3% de materia orgánica, 0.18% de nitrógeno total y pH: 6.4 en el horizonte Ap (22).

Las precipitaciones y temperaturas medias anuales son, respectivamente, de 894 mm (1921-1950) y 16.9°C (1951-1960). Las precipitaciones son más abundantes en otoño y primavera-verano. El balance hídrico muestra, en general, un déficit de humedad del suelo durante el año. La evapotranspiración (ET), utilizando el método de Thornwaite, es de 850 mm, existiendo déficit hídrico sólo en los meses de verano (22).

Los sistemas de labranza empleados incluyeron labores comunes para el cultivo de trigo: luego de la cosecha de soja, rastreado con rastra de discos de doble acción, arada con reja y vertedera y control de malezas con las rastras de discos y de dientes. Las labores específicas para el cultivo de soja fueron: a) labranza convencional (L.C.): quema del rastrojo de trigo, arada con reja y vertedera, rastreado con rastra de discos de doble acción y de dientes, siembra y compactación del suelo con rolo, aplicación de Trifluralina para el control inicial de malezas y posterior escardillado y b) siembra directa (S.D.): corte de rastrojo de trigo a 10-15 cm de altura y siembra de soja con cincel como instrumento para abrir el surco, aplicación de herbicidas de contacto y de efecto residual: Paraquat, Linurón y Alaclor.

El diseño experimental se basó en bloques completos con tres repeticiones. Las dimensiones de las parcelas fueron de 14 m por 50 m.

Las medias de ambos tratamientos se compararon con la estadística "t" de Student para cada profundidad, dado que el efecto de bloques no fue marcado en ningún muestreo.

Las propiedades evaluadas se obtuvieron de muestras extraídas un mes después de la siembra de soja de las siguientes profundidades: 0-5, 5-10, 10-15 y 15-20 cm.

Las propiedades físicas edáficas investigadas fueron:

- densidad aparente, método del doble cilindro (8, 34).
- densidad de la fase sólida, método del picnómetro (6). Se utilizó acetona pura en lugar de agua. El valor promedio obtenido fue de 2.55 kg/m^{-3} .
- porosidad total (34).
- Porosidad de aireación (porcentaje de poros de diámetro mayor a 60 micrones), mesa de tensión (6).
- curva característica de humedad (CCH), método de la membrana y olla de presión (6).

Se calcularon, además, a partir de la CCH, las siguientes propiedades físicas:

- contenido medio de aire y coeficiente de difusión de gas a -5 KPa (0.05 atm) y -33 KPa (0.33 atm). Este último, por medio de la fórmula de Marshall (27):

$$D_S : D_O = S^{3/2} \quad \text{donde,}$$

D_S : coeficiente de difusión de gas, en $\text{cm}^2 \text{ s}^{-1}$

D_O : coeficiente de difusión en el aire, cuyo valor se estimó en $0.060 \text{ cm}^2 \text{ s}^{-1}$

S: porosidad de aireación a los potenciales hídricos mencionados, en $\text{cm}^3 \text{ cm}^{-3}$

K: permeabilidad, por medio de la fórmula de Marshall (26):

$$K = 2.8 \times 10^{-3} E^2 n^{-2} (h_1^{-2} + 3h_2^{-2} + 5h_3^{-2} + \dots + 2(n-1) h_n^{-2})$$

donde,

K: permeabilidad, en cm^2

E: porosidad total, en $\text{cm}^3 \text{ cm}^{-3}$

h: succión, en cm

h_1, h_2, \dots, h_n representan las succiones correspondientes al radio de los poros (en orden de tamaño decreciente) de cada una de las n fracciones iguales del espacio poroso total.

- Resistencia del suelo a la penetración, método de Parker y Jenny (28) durante los años 1978 y 1979 y método del penetrómetro (tipo Proctor) en 1984.
- Humedad edáfica, método gravimétrico. Se determinó simultáneamente la resistencia a la penetración.

Para densidad aparente, densidad de la fase sólida, y porosidad de aireación, se efectuaron cinco determinaciones por parcela y por cada profundidad. Para la CCH se utilizaron seis muestras por tratamiento y para cada profundidad. Para la resistencia del suelo y la humedad edáfica se obtuvieron 20 observaciones por parcela y por cada profundidad de suelo.

RESULTADOS Y DISCUSION

En los Cuadros 1 y 2 se presentan los valores de densidad aparente del suelo cultivado bajo dos sistemas de labranza obtenidos en 1977-79 (1) y 1984

Cuadro 1. Densidad aparente del suelo bajo dos sistemas de labranza (g cm^{-3}).

Año	1977		1978		1979	
	L.C.	Tratam. ¹	L.C.	Tratam. ¹	L.C.	Tratam. ¹
Profundidad cm		S.D.		S.D.		S.D.
0-5	1.15	1.18 *	1.18	1.24 **	1.17	1.20 *
0-10	1.22	1.24 n.s.	1.25	1.27 n.s.	1.23	1.27 *
10-15	1.23	1.25 n.s.	1.24	1.28 **	1.24	1.27 *
15-20	1.28	1.27 n.s.	1.28	1.27 n.s.	1.27	1.27 n.s.

1 L.C.: Labranza convencional
S.D.: Siembra directa

2 Nivel de significancia estadística: * $P \leq 0.10$
** $P \leq 0.05$
n.s. no significativo

De la observación de los cuadros puede decirse que:

- el aumento de densidad aparente, desde el espesor 10-15 cm a 15-20 cm, es mayor en L.C. que en S.D. Este efecto sería la consecuencia de la acción del talón del arado de reja y vertedera a una profundidad mayor de 15 cm.

En 1984, en el espesor 0-10 cm, los valores fueron estadísticamente superiores en el suelo bajo S.D. que bajo L.C. En el espesor 10-20 cm no hubo diferencias entre labranzas

La Fig. 1 muestra la evolución de la densidad aparente en S.D. a cuatro profundidades, durante 1977-1984.

Aparentemente, luego de cumplirse el cuarto año del doble cultivo trigo-soja (1978), la densidad aparente a 5-10 cm y 10-15 cm habría alcanzado un equilibrio.

En el Cuadro 3, se presentan los valores de porosidad total obtenidos a partir de las densidades aparen-

te y de la fase sólida. Los promedios muestran una diferencia significativa del orden del 2.7% a 0-5 cm y 1.9% a 5-10 cm, no existiendo diferencias entre 10 y 20 cm. Los promedios para el período 1977-1984 muestran una diferencia del orden de 2.17% en el espesor 0-5 cm y de 1.37% en la profundidad 5-10 cm, encontrándose, en todos los casos, los valores más elevados en S.D.

En el Cuadro 4 se presentan los valores medios de la porosidad de aireación en 1984. En el espesor 0-10 cm, los valores medios fueron más elevados en el suelo bajo L.C. que bajo S.D. Ello indica que el suelo bajo S.D. posee menor capacidad de aireación y mayor capacidad de almacenamiento de agua.

Gowman *et al.*, (16), determinaron que un porcentaje de poros de diámetro mayor a 60 micrones, del orden del 3%, restringiría la aplicabilidad de la S.D. En este caso, ese porcentaje tomó valores entre 8 y 9%. Por lo tanto, no se vería afectado el movimiento interno del agua y no disminuiría la penetración de raíces sino que las mismas podrían hacer un mejor uso del agua que en L.C.

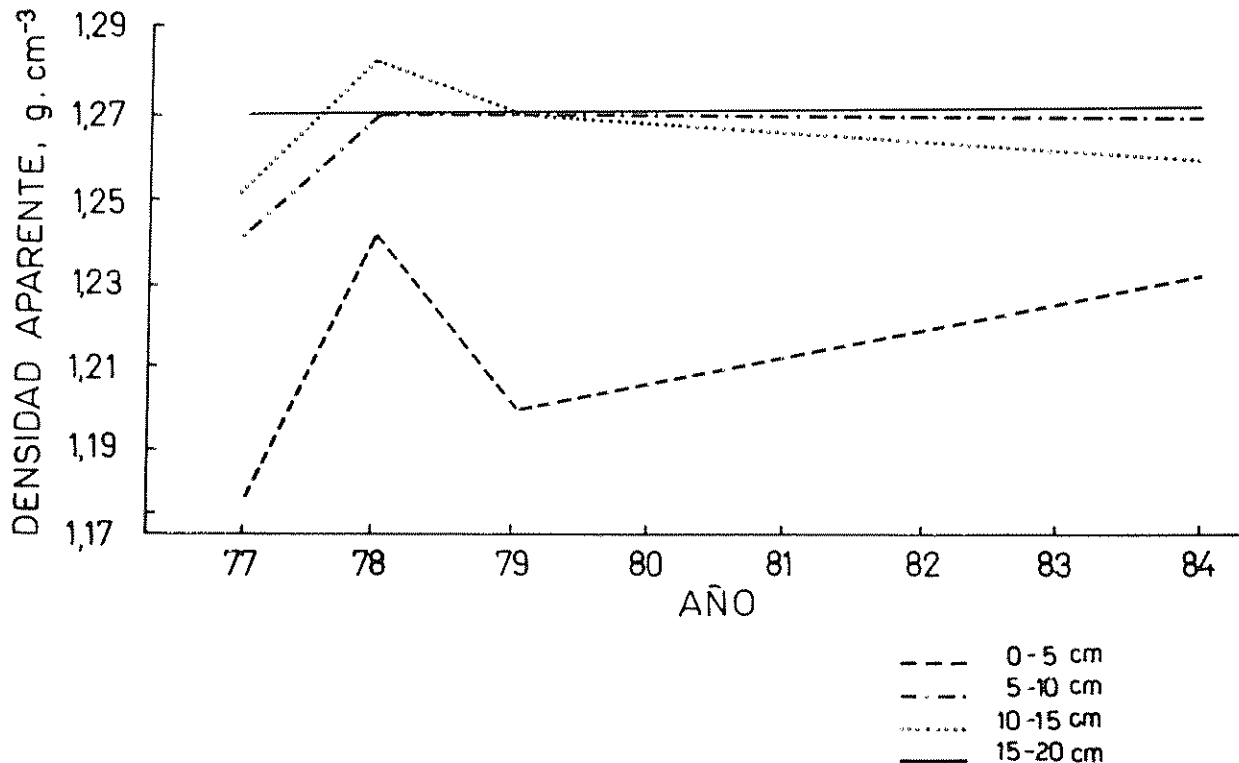


Fig. 1. Densidad aparente en siembra directa a cuatro profundidades durante el período 1977-84.

Cuadro 2. Efecto de dos sistemas de labranza sobre la densidad aparente del suelo (g cm^{-3}). Año 1984.

Profundidad cm	Tratamiento 1)		Coeficiente de variación %	Nivel de significancia ²
	L.C.	S.D.		
0-5	1.16	1.23	6.16	**
5-10	1.22	1.27	5.32	**
10-15	1.24	1.26	6.27	n.s.
15-20	1.29	1.27	8.18	n.s.

1 L.C.: Labranza convencional
S.D.: Siembra directa

2 Nivel de significancia estadística: ** $P \leq 0.05$
n.s. no significativo

La Fig. 2 muestra la CCH bajo dos sistemas de labranza para los espesores 0-5 y 15-20 cm. En el espesor 0-5 cm la curva revela que el agua retenida a un potencial mátrico de -33 K Pa fue 6% menor en L.C. que en S.D. Por lo tanto, es válido suponer mejores condiciones de estructura en S.D. que en L.C. a esa profundidad. Para un potencial mátrico de -1500 K Pa , L.C. retuvo 9% menos de agua que S.D. La menor capacidad de retención de agua en L.C. en el espesor 0-5 cm estuvo asociada al menor contenido de materia orgánica (2). Estas diferencias disminuyeron en el espesor 5-10 cm, no encontrándose a 10-15 y 15-20 cm.

El Cuadro 5 presenta los coeficientes de difusión de gas y los contenidos medios de aire a los potenciales agua de -5 K Pa y -33 K Pa bajo dos sistemas de labranza. Los coeficientes de difusión de gas a potenciales agua de -5 K Pa y -33 K Pa fueron 42.7 y 46.7% superiores en L.C. que en S.D., respectivamente, en la profundidad 0-5 cm. Estas diferencias disminuyeron con la profundidad, no encontrándose a 10-15 y 15-20 cm.

Cuadro 3. Efecto de dos sistemas de labranza sobre la porosidad total del suelo (%). Año 1984.

Profundidad cm	Tratamiento 1)		Coeficiente de variación %	Nivel de significancia ²	Promedio 1977-1984	
	L.C.	S.D.			L.C.	S.D.
0-5	54.51	51.76	6.16	**	54.19	52.02
5-10	52.16	50.20	5.32	**	51.52	50.15
10-15	51.37	50.59	6.27	n.s.	51.22	50.26
15-20	49.41	50.20	8.18	n.s.	49.35	49.83

1 L.C.: Labranza convencional
S.D.: Siembra directa

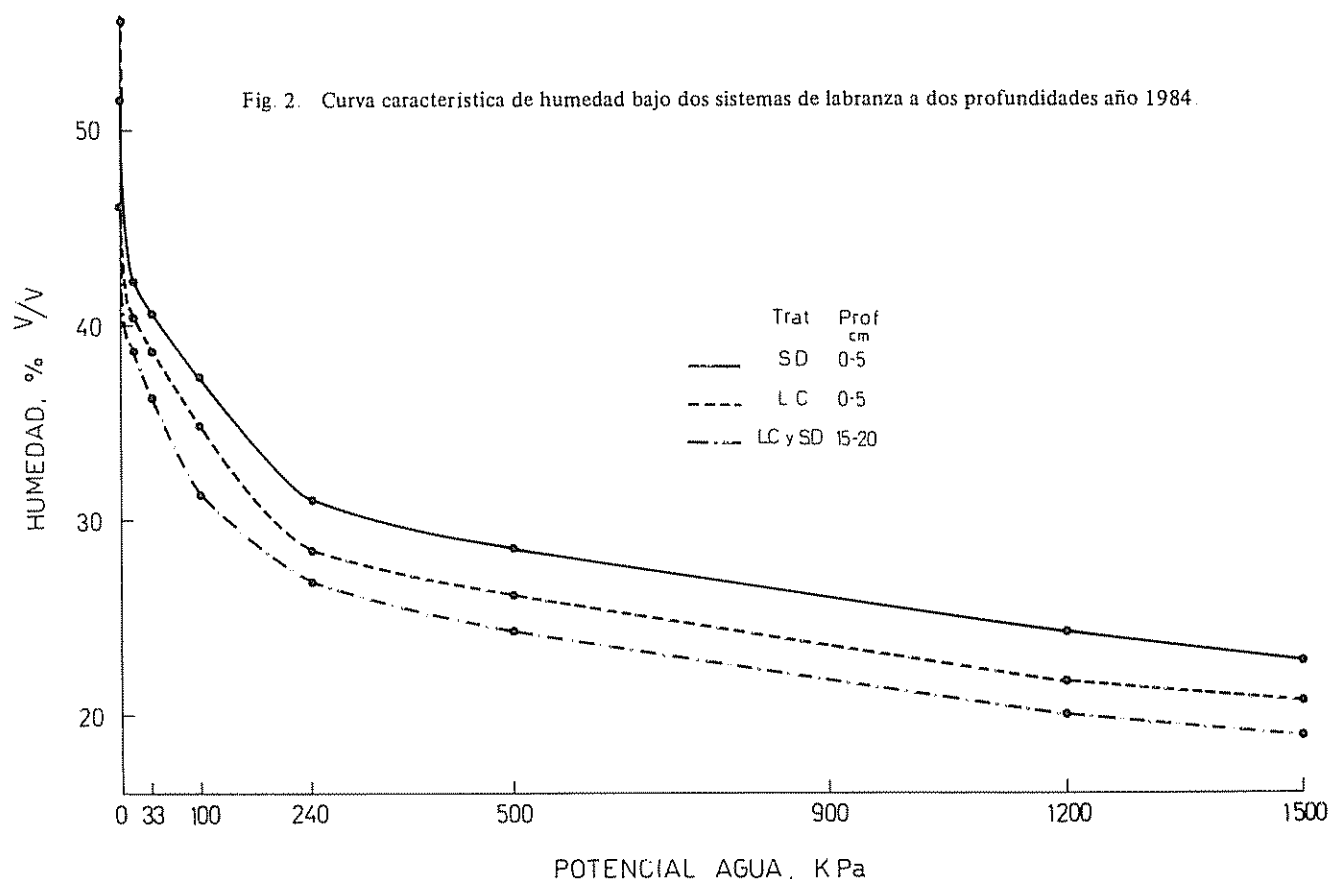
2 Nivel de significancia estadística: ** $P \leq 0.05$
n.s. no significativo

La Fig. 3 ilustra la relación entre los coeficientes de difusión de gas y los contenidos medios de aire a dos profundidades bajo dos sistemas de labranza. Cuando los contenidos medios de aire son inferiores al 10% (V/V), D_S se presenta más bajo en L.C. que en S.D. Esto indica que la continuidad de los poros más grandes es mayor en S.D. que en L.C.

Aplicando la ley de Fick, (20) puede estimarse el valor de D_S , partiendo de un consumo de oxígeno muy alto ($10^3 \text{ mg m}^{-2} \text{ h}^{-1}$) y una concentración de oxígeno no inferior al 10% (V/V). Este sería igual a $20 \times 10^{-4} \text{ cm}^2 \text{ s}^{-1}$. Este coeficiente puede considerarse como límite crítico superior. Cuando en la misma capa de suelo el consumo de oxígeno es 10 veces menor ($10^2 \text{ mg m}^{-2} \text{ h}^{-1}$) y la concentración de oxígeno decrece al 1% (V/V), se permitiría un límite crítico 20 veces inferior, $1 \times 10^{-4} \text{ cm}^2 \text{ s}^{-1}$. Sin embargo, en muchas condiciones, este valor de D_S resulta en una aireación completamente insuficiente (9).

Usando este criterio para D_S , puede concluirse que el suelo, bajo los dos sistemas de labranza, tiene adecuada aireación aún a -5 K Pa . A -5 K Pa los valores de D_S están por encima del nivel mínimo mencionado y a -33 K Pa los valores están por encima, en general, del límite crítico superior. O sea que, en condiciones de suelo mojado, combiadas con alto consumo de oxígeno, no aparecerían problemas con el macrotransporte de gas. En este caso, no se encontrarán bajas concentraciones de oxígeno en toda la capa arable.

El Cuadro 6 contiene los valores de permeabilidad K , bajo dos sistemas de labranza. Los valores calculados indicaron, a pesar de las limitaciones del método, que la misma resultó alta en ambos sistemas de labranza, aunque en el suelo bajo L.C. fue mayor que bajo S.D., siendo las diferencias más marcadas a 0-5 cm. La disminución en porosidad total y en los poros mayores en S.D. con respecto a L.C. no es lo



suficientemente grande como para producir un aumento de la compactación del suelo y consecuentemente, una diferencia importante en los valores de K.

En el Cuadro 7 se presentan los valores medios de la resistencia del suelo y de la humedad edáfica bajo dos sistemas de labranza. Los mismos fueron estadísticamente más elevados en S.D. que bajo L.C. en la profundidad 0-10 cm.

Los niveles de humedad edáfica, determinados a los 25 días posteriores a la siembra de soja, conjuntamente con la resistencia a la penetración, fueron superiores en S.D. en el espesor 0-15 cm. Se considera que el valor más elevado de humedad edáfica en S.D. se debió a la reducción de la evaporación por acción del efecto del "mulch" o mantillo de los rastrojos de trigo no enterrados y a la reducción de la superficie de rugosidad.

En el Cuadro 8 se presentan los valores de la resistencia del suelo y de humedad edáfica pertenecientes al mismo doble cultivo, determinados durante 1978 y 1979 por Andriulo y Arce (1). Si bien en 1978, 1979 y 1984 la resistencia del suelo fue superior en S.D. en el espesor 0-10 cm, las diferencias no fueron tan mar-

cadadas en 1984 como en 1978 y 1979. Ello, aparentemente, se debió a que las diferencias de humedad en el momento de muestreo en 1978 y 1979 no fueron tan marcadas a 0-5 cm (no existiendo a 5-10 cm) entre labranzas, como en 1984. Otra explicación, aunque menos probable, sería el cambio de metodología empleada para la determinación de la resistencia del

Cuadro 4. Efecto de dos sistemas de labranza sobre el porcentaje de poros de diámetro superior a 60 micrones (%). Año 1984.

Profundidad cm	Tratamiento ¹⁾		Coeficiente de variación %	Nivel de significancia ²⁾
	L.C.	S.D.		
0-5	11.55	9.38	13.69	**
5-10	10.16	8.50	16.08	*
10-15	9.73	9.05	12.38	n.s.
15-20	8.73	8.96	21.40	n.s.

1) L.C.: Labranza convencional
S.D.: Siembra directa

2) Nivel de significancia estadística: * $P \leq 0.10$
** $P \leq 0.05$
n.s. no significativo

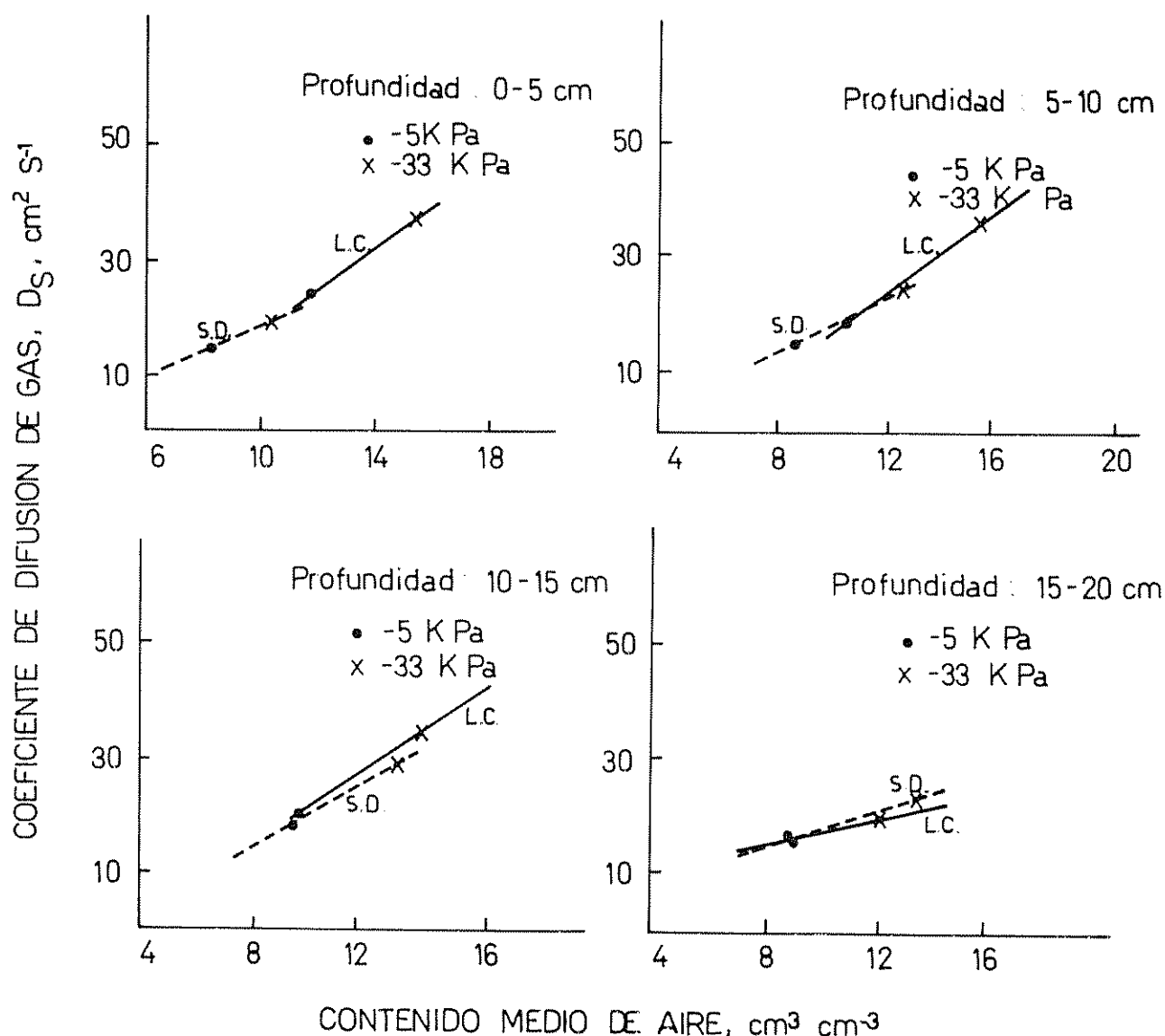


Fig. 3 Relación entre el coeficiente de difusión de gas (D_g : $\times 10^{-4} \text{ cm}^2 \text{ S}^{-1}$) y contenido medio de aire ($\times 10^{-2} \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$) a cuatro profundidades bajo dos sistemas de labranza. Año 1984

suelo: en 1978 y 1979 se obtuvo el valor en kilogramo-metro por centímetro de profundidad de suelo, transformando en unidades de energía potencial el número de golpes necesarios para obtener cada núcleo de suelo en la determinación de densidad aparente, mientras que en 1984 se obtuvo en unidades de presión utilizando un penetrómetro tipo Proctor. Consecuentemente, la información de 1984 es más confiable que la obtenida en 1978/79, en virtud del procedimiento de medición.

De la observación de los Cuadros 7 y 8 puede decirse que la S.D. de soja, en doble cultivo con trigo,

no produjo incrementos en compactación por debajo del espesor 0-10 cm del suelo durante el periodo 1978-1984.

La Fig 4 muestra la relación entre la resistencia a la penetración y el espacio poroso total a distintos niveles de humedad, durante el periodo 1978-79, bajo dos sistemas de labranzas a la profundidad 0-20 cm. La resistencia a la penetración dependió del espacio poroso pero también el contenido de humedad tuvo un efecto marcado, especialmente, a espacios porosos más pequeños. La relación entre el espacio poroso y la resistencia a la penetración fue similar en ambos

sistemas de labranza (período 1978-79) La resistencia promedio fue un 26% más bajo en L.C. que en S.D. Con humedad cercana a capacidad de campo, la

Cuadro 5. Efecto de dos sistemas de labranza sobre el coeficiente de difusión de gas ($D_S: \times 10^{-4} \text{ cm}^2 \text{ s}^{-1}$) y sobre el contenido medio de aire (%V/V) a -5 K Pa y -33 K Pa . Año 1984.

Profundidad cm	Tratamiento	D_S		Contenido medio aire	
		-5 K Pa	-33 K Pa	-5 K Pa	-33 K Pa
0-5	L.C.	23.7	11.6	35.9	15.3
	S.D.	13.6	8.0	19.3	10.1
5-10	L.C.	19.6	10.2	35.2	15.1
	S.D.	14.8	8.5	25.5	12.2
10-15	L.C.	18.1	9.7	31.8	14.1
	S.D.	17.1	9.4	27.8	12.9
15-20	L.C.	15.4	8.7	20.1	12.2
	S.D.	16.2	9.0	20.7	13.2

Cuadro 6. Efecto de dos sistemas de labranza sobre la permeabilidad ($K: \times 10^{-8} \text{ cm}^2$). Año 1984.

Profundidad cm	Tratamiento	
	L.C.	S.D.
0-5	60.0	32.3
5-10	84.1	60.5
10-15	70.1	55.3
15-20	81.8	76.9

Cuadro 7. Efecto de dos sistemas de labranza sobre la resistencia del suelo (kg cm^{-2}) y la humedad edáfica (%V/V). Año 1984.

Profundidad cm	Resistencia del suelo				Humedad edáfica			
	Tratamiento ¹		Coeficiente de variación %	Nivel de significancia ²	Tratamiento ¹		Coeficiente de variación %	Nivel de significancia ²
	L.C.	S.D.			L.C.	S.D.		
0-5	4.2	6.1	11.73	**	13.2	20.10	20.60	***
5-10	6.3	8.4	19.93	*	16.4	20.10	18.95	*
10-15	6.7	8.4	18.29	n.s.	14.9	20.30	19.61	***
15-20	10.7	10.5	11.86	n.s.	17.0	19.30	14.13	n.s.

1 L.C.: Labranza convencional
S.D.: Siembra directa

2 Nivel de significancia estadística: * $P \leq 0.10$
** $P \leq 0.05$
*** $P \leq 0.01$
n.s. no significativo

resistencia no resultó menor en L.C. que en S.D. Si bien los valores se incrementaron rápidamente con la disminución en contenido de humedad y el número de poros fue relativamente más pequeño en S.D., los valores de resistencia obtenidos indican que las raíces no encontrarían dificultades en una estación seca.

Lattanzi y Marelli (25), observaron en un suelo de la misma serie que la soja en S.D. continua, después de algunos años, produjo una densificación excesiva de la capa arable y una estructura laminar que afectó el desarrollo radicular. Pareciera que la L.C. aplicada al trigo que sigue a soja actúa controlando la excesiva compactación del suelo que se produce cuando se aplica S.D. a monocultivo de soja.

CONCLUSIONES

Las propiedades físicas de un suelo Argiudol típico sufrieron cambios importantes como consecuencia de haber sido sometido a labranzas diferentes en la siembra continuada del doble cultivo trigo-soja durante 11 años.

El menor número de labores mecánicas en S.D. produjo un empaquetamiento más denso de las partículas del suelo en la superficie del mismo. En todos los años estudiados, la densidad aparente fue mayor en S.D. que en L.C. a 0-5 cm con significación estadística variable, a 5-10 y 10-15 cm. En consecuencia, el espacio poroso total se redujo en S.D. La disminución en porosidad total, para el período 1977-1984, fue del orden del 2% a 0-5 cm, atenuándose esa diferencia con la profundidad.

Aparentemente, el suelo bajo S.D. alcanzó un equilibrio en densidad aparente en los espesores 5-10 y

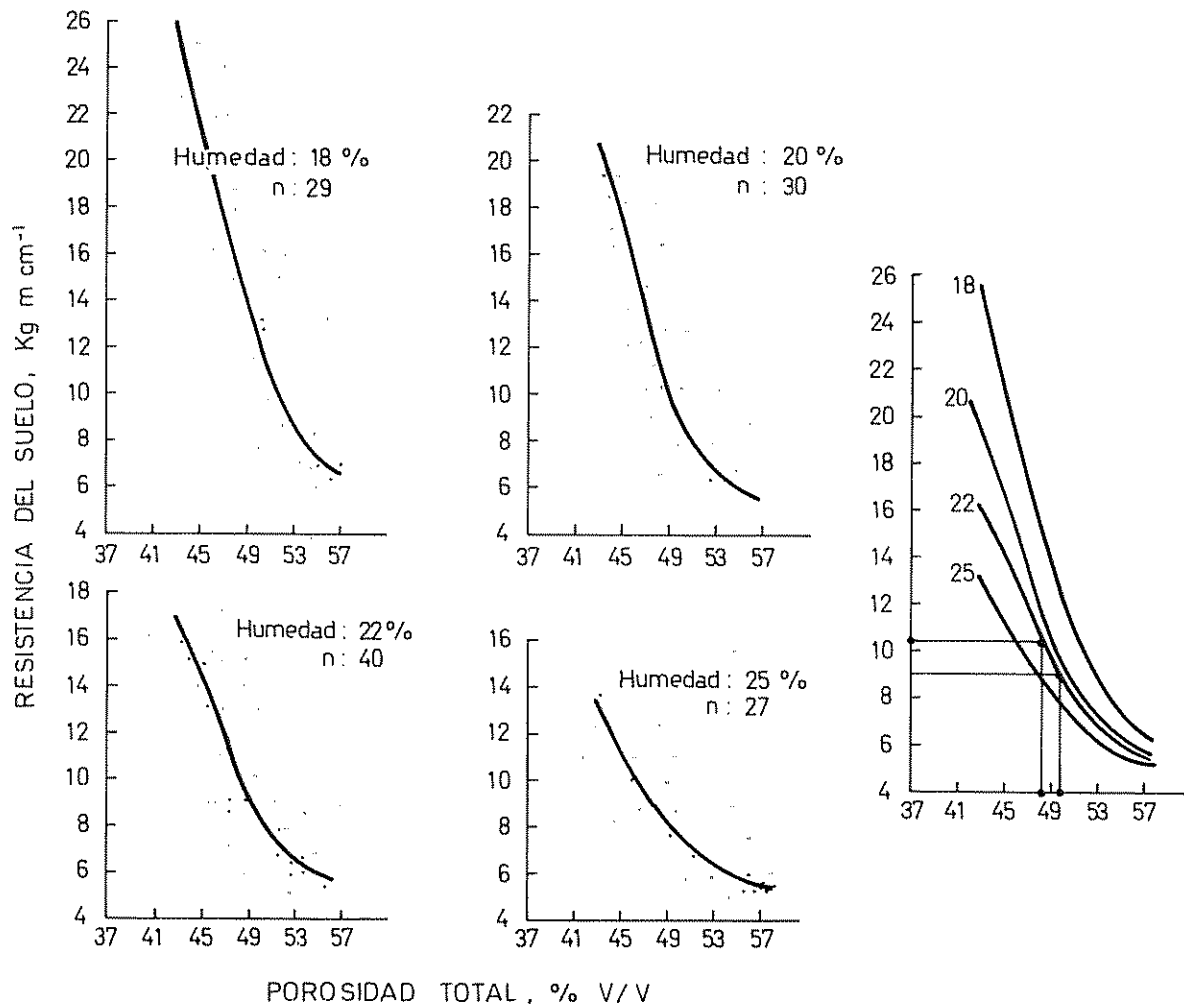


Fig 4. Relación entre la resistencia a la penetración (kg m cm^{-1}) y la porosidad total con distintos niveles de humedad (% P/P) durante el período 1978-1979 bajo dos sistemas de labranza a la profundidad 0-20 cm.

10-15 cm, a partir del cuarto año desde el inicio de la experiencia.

En el espesor 0-10 cm, la porosidad de aireación fue mayor en L.C. que en S.D. mientras que la capacidad de reserva de agua fue menor en L.C. que en S.D. Bajo condiciones de suelo mojado, combinadas con alto consumo de oxígeno, no se desarrollarían bajas concentraciones de oxígeno en ninguno de los sistemas de labranza, en toda la capa arable.

La permeabilidad estimada del suelo fue alta en ambos sistemas de labranza.

Los valores de la resistencia del suelo estuvieron en concordancia con los de densidad aparente. La S.D. mostró valores superiores en el espesor 0-10 cm, en todos los años estudiados, indicando que la compactación no se incrementó en profundidad luego de cumplirse el cuarto año desde el comienzo del experimento. La resistencia promedio fue un 26% menor en L.C. que en S.D. Los valores obtenidos indicaron que las raíces no encontrarían dificultades en una estación seca.

El laboreo de trigo en las parcelas donde se aplicó la S.D. de soja controló la excesiva compactación del suelo, como lo demostraron Lattanzi y Marelli (25) para la siembra continua (monocultivo) de soja.

Cuadro 8. Efecto de dos sistemas de labranza sobre la resistencia del suelo y la humedad edáfica (% V/V) en 1978 y 1979.

Año	Profundidad cm	Resistencia del suelo		Humedad edáfica	
		L.C.	Tratamiento ¹ S.D.	L.C.	Tratamiento ¹ S.D.
1978	0-5	6.32	8.76 *** ²	20.5	23.0 **
	5-10	8.31	10.52 **	25.9	26.6 n.s.
	10-15	9.95	11.36 n.s.	27.0	27.6 n.s.
	15-20	12.72	11.76 n.s.	26.9	25.8 n.s.
1979	0-5	5.54	7.01 ***	22.0	24.6 **
	5-10	6.67	9.27 ***	27.1	27.1 n.s.
	10-15	9.33	9.44 n.s.	28.6	28.2 n.s.
	15-20	12.38	10.80 n.s.	30.3	28.1 n.s.

1 L.C.: Labranza convencional
S.D.: Siembra directa

2 Nivel de significancia estadística: ** P ≤ 0.05
*** P ≤ 0.01
n.s. P no significativo

LITERATURA CITADA

- ANDRIULO, A.E.; ARCE, J.M. 1986. Efecto de dos sistemas de labranza sobre algunas propiedades edáficas en el doble cultivo trigo-soja. IDIA, 437-440: 1-10.
- ANDRIULO, A.E.; ROSELL, R.A.; CRESPO, M.B. 1986. Effect of tillage on organic matter properties of a central Argentine soil. Cong. de la Humic Substances Soc. (3, 1986, Oslo, Noruega) Oslo, Noruega.
- BAEUMER, K.; BAKERMANS, W.A.P. 1973. Zero tillage. *Advances in Agronomy* 25:77-123.
- BALL, B.C.; O'SULLIVAN, M.F. 1982. Soil strength and crop emergence in direct drilled and ploughed cereal seedbeds in seven fields experiments. *Journal of Soil Science* 33:609-622.
- BARNES, B.I.; ELLIS, F.B. 1979. Effects of different methods of cultivation and direct drilling and disposal of straw residues, on populations of earthworms. *Journal of Soil Science* 30:669-679.
- BLACK, C.A. (ed.). 1965. *Methods of soil analysis*. Am. Soc. Agr. No. 9 in *Agronomy Series*. Pt. 1. 770 p.
- BLEVINS, R.L.; COOK, D.; PHILLIPS, S.H.; PHILLIPS, R.E. 1971. Influence of no-tillage on soil moisture. *Agronomy Journal* 63:593-596.
- BODMAN, S.D. 1949. Methods of measuring soil consistency. *Soil Science* 68:37-56.
- BOONE, F.E. (ed.). 1984. Experiences with three tillage systems on a marine loam soil, II 1976-1979. Pudoc, Wageningen. *Agr. Res. Reports*. 263 p.
- CANNELL, R.Q.; ELLIS, F.B.; CHRISTIAN, D.G.; GRAHAM, J.P.; DOUGLAS, J.T. 1980. The growth and yield of winter cereals after direct drilling, shallow cultivation and ploughing on non-calcareous clay soils, 1974-1978. *Journal of Agricultural Science* 94:345-360.
- DOWDELL, R.J.; CREES, R.; BUDFORD, J.R.; CANNELL, R.Q. 1979. Oxygen concentrations in a clay soil after ploughing or direct drilling. *Journal of Soil Science* 30:239-245.
- ELLIOTT, J.G.; ELLIS, F.B.; POLLARD, F. 1977. Comparison of direct drilling, reduced cultivation and ploughing on the growth of cereals. 1. Spring barley on a sandy loam soil: introduction, aerial growth and agronomic aspects. *Journal of Agricultural Science* 89:621-630.
- ELLIOTT, J.G.; ELLIS, F.B.; BARNES, B.I.; HOWSE, K.R. 1977. Comparison of direct drilling, reduced cultivation and ploughing on the growth of cereals. 2. Spring barley on a sandy loam soil: soil physical conditions and root growth. *Journal of Agricultural Science* 89:631-642.
- ELLIOTT, J.G.; ELLIS, F.B.; POLLARD, F.; CANNELL, R.Q.; BARNES, B.I. 1979. Comparison of direct drilling, reduced cultivation and ploughing

- on the growth of cereals 3 Winter wheat and spring barley on a calcareous clay. *Journal of Agricultural Science* 93:391-402.
15. FINNEY, J.R.; KNIGHT, B.A.G. 1973. The effect of soil physical conditions produced by various cultivation systems on the root development of winter wheat. *Journal of Agricultural Science* 80:435-442.
 16. GOWMAN, M.A.; COUTTS, J.G.; RILEY, D. 1978. Changes in soil structure and physical properties associated with continuous direct drilling of cereals in U.K. *Cong. of Int. Soc. Sci.* (11, 1978, Edmonton, Alberta, Canadá, 1) *Proceedings Edmonton, Alberta, Canadá* 1. 290 p
 17. HANSEN, O.; ZELJKOVICH, V.J. 1982. Investigación en labranza reducida en el área de Pergamino. In *Seminario Labranza Reducida en el Cono Sur - IICA, CIAAB. La Estanzuela, Uruguay.*
 18. HAYWARD, D.M.; WILES, T.L.; WATSON, G.A. 1980. Progress in the development of no-tillage systems for maize and soybeans in the tropics. *Outlook on Agriculture* 10:255-261.
 19. HILL, J.D.; BLEVINS, R.L. 1973. Quantitative soil moisture use in corn grown under conventional and no-tillage methods. *Agronomy Journal* 65: 317-320.
 20. HILLEL, D. 1980. *Fundamentals of soil physics* New York, Pergamon Press.
 21. IGUE, K. 1980. Avances en la investigación sobre labranza y manejo conservacionista en Paraná-Brasil. 2. Reunión Técnica Nacional de Labranza Conservacionista (2., 1980, Rosario). Rosario. Anexo 1-17.
 22. INTA. 1978. Carta de suelos de la República Argentina. Hoja 3363-17 Marcos Juárez.
 23. JONES, J.N.; MODDY, J.E.; LILLARD, J.H. 1969. Effects of tillage no-tillage and mulch on soil water and plant growth. *Agronomy Journal* 61:719-721.
 24. LAI, R.; AKINREMI, O.O. 1983. Physical properties of earthworms casts and surface soil as influenced by managements. *Soil Science* 44:765-771.
 25. LATTANZI, A.; MARELLI, H. 1982. Avances en investigación sobre el comportamiento de los sistemas de labranza conservacionista en la EERA Marcos Juárez. In *Seminario Labranza Reducida en el Cono-Sur-IICA-CIAAB. La Estanzuela, Uruguay.*
 26. MARSHALL, I.J. 1958. A relation between permeability and size distribution of pores. *Journal of Soil Science* no. 9.
 27. MARSHALL, I.J. 1959. The diffusion of gas through porous media, *Journal of Soil Science* 10:79-82.
 28. PARKER, E.R.; JENNY, H. 1945. Water infiltration and related soil properties as affected by cultivation and organic fertilization. *Soil Science* 60:353-376.
 29. PIDGEON, J.D. 1980. A comparison of the suitability of two soils for direct drilling of spring barley. *Journal of Soil Science* 31:581-594.
 30. PIDGEON, J.D.; SOANE, B.D. 1977. Effects of tillage and direct drilling on soil properties during the growing season in a long-term barley mono-culture systems. *Journal of Agricultural Science* 88:431-442.
 31. RUSSELL, R.S.; CANNELL, R.Q.; GOSS, M.J. 1975. Effects of direct drilling on soil conditions and root growth. *Outlook on Agriculture* 8:227-232.
 32. SOANE, B.D.; BUTSON, M.J.; PIDGEON, J.D. 1975. Soil machine interactions in zero tillage for cereals and raspberries in Scotland. *Outlook on Agriculture* 8:216-220.
 33. VIVAS, H.S. 1984. Las labranzas y su efecto sobre las propiedades físicas de la serie Wymore. *Ciencia del Suelo* 2:179-186.
 34. VOMOCIL, J.A. 1957. In situ measurement of soil density. *Agronomy Engineering* 35:651-654.

Efectos de los Medios de Cultivo, Regímenes Luminosos y Temperaturas sobre el Crecimiento y Esporulación de *Septoria lycopersici* Speg.¹

S.M. Wolcan*

ABSTRACT

The aim of this paper was to determine the effects produced by external conditions on *S. lycopersici* growth and sporulation. The assays carried out were the following: 1) to test the interaction of three light regimens (short day, long day and continuous darkness), two temperatures (21 and 27°C) and four artificial media (potato dextrose agar, V8 juice agar, Czapek's agar and tomato agar); 2) to compare the behaviour of 13 artificial media exposed to near ultraviolet light in a controlled environment room (20 ± 2°C, 12 h light, 12 h darkness). The observations were taken after 16 and 14 days of incubation, respectively. The results were: 1) growth by *S. lycopersici* was significantly increased only by light at 21°C. Media and light regimens had different behaviours for each temperature. Sporulation was increased at 21°C only in the two illuminated treatments and in tomato agar. At 27°C sporulation was observed only in tomato agar in short and long days; 2) sporulation was significantly increased in malt extract agar with peptone and yeast and in V8 juice agar. In the latter, as with tomato agar, the spore production was abundant from the sixth day on. Colonies, fructifications and spore characteristics in the different treatments are described.

INTRODUCCION

Los factores externos que afectan las funciones fisiológicas de los hongos son muchos: temperatura, nutrición, humedad, iluminación, pH, etc. Estos factores, sumados a las individualidades genéticas de cada organismo, pueden determinar distintas combinaciones de condiciones favorables para su crecimiento y esporulación (3, 4, 5, 10).

¹ Recibido para publicación el 21 de julio 1987.
Trabajo realizado en la Cátedra de Fitopatología, Facultad de Agronomía, UNLP.
La autora agradece al Ing. R. Boggio por su asistencia en el análisis estadístico, al Ing. H. Alippi por la lectura crítica del manuscrito y al Ing. Montaldi por permitirle el uso de las cámaras climatizadas, pertenecientes al Instituto de Fisiología Vegetal.

* Becaria del Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas, bajo la dirección de los Ings. Agrs. H. Alippi y L. Ronco. Cátedra de Fitopatología, Facultad de Agronomía, 60 y 119, C.P.: 1900 La Plata, Buenos Aires, Argentina

COMPENDIO

El objeto de este trabajo fue determinar los efectos producidos por condiciones externas sobre el crecimiento y esporulación de *Septoria lycopersici* Speg. En un ensayo se probó la interacción de tres regímenes luminosos (día largo, día corto y oscuridad continua), dos temperaturas (21 y 27°C y cuatro medios de cultivo (agar de papa glucosado, agar V8, agar Czapek y agar tomate). En otro ensayo, se probaron 13 medios de cultivo a 20 ± 2°C con alternancia de luz y oscuridad, incluyendo irradiación cercana a la ultravioleta. Las observaciones se hicieron a los 16 y 14 días. En el primer ensayo se observó que, sobre el crecimiento, sólo la luz tuvo efecto altamente significativo, estimulándolo a 21°C. Los distintos medios y regímenes luminosos tuvieron distinta respuesta dentro de cada temperatura. Sobre la esporulación la temperatura más favorable fue la de 21°C, destacándose significativamente en los dos regímenes iluminados y en los medios agar tomate y agar V8. A 27°C sólo se observó sobre agar tomate con presencia de luz. En el segundo ensayo, la esporulación se estimuló significativamente sobre agar malta con peptona y levadura y sobre agar V8. En este último medio, al igual que sobre agar tomate, la producción de esporas comenzó a ser abundante a los seis días de la siembra. Se incluyen características de las colonias, de las fructificaciones y de las esporas en los distintos tratamientos.

Con el hongo *Septoria lycopersici* Speg. se probaron los efectos de distintos medios nutritivos (9, 12, 13, 17), bajo distintas temperaturas (12, 15, 16, 17) y con la combinación de iluminación y medios de cultivo (8)

Para probar la existencia de interacciones entre algunos factores externos, en este trabajo se ensayaron las combinaciones de cuatro medios de cultivo, tres regímenes luminosos y dos temperaturas afectando el crecimiento y la esporulación de *S. lycopersici*. Por otro lado, se seleccionaron los medios de cultivo que estimularon la mayor producción de picnidiosporas en el menor tiempo de incubación, con el objeto de acelerar la obtención de inóculo.

MATERIALES Y METODOS

Se investigó con una cepa de *S. lycopersici*, aislada de hojas de tomate, mediante la siembra de los exudados de esporas (cirros) en APG. Estos cirros se forma-

ron a partir de picnidios que maduraron después de mantener el material enfermo, durante 24 a 48 h, en cámara húmeda. Este método fue más efectivo que el aislamiento tradicional por desinfección externa de trocitos de hojas afectadas con alcohol y bicloruro de mercurio, el cual no dio resultado positivo.

Para realizar los ensayos, se partió de una colonia de origen monospórico desarrollada sobre APG. Luego de 14 días de incubación a $20 \pm 2^\circ\text{C}$, con régimen de alternancia de 12 h de luz y 12 h de oscuridad, se transfirieron las picnidiosporas mediante el extendido de las mismas por medio de un asa, a tubos inclinados y cajas de Petri con agar glucosa = AG (glucosa 10 g, agar 17 g y agua destilada 1 000 ml). En este medio pobre se obtuvo, luego de 10 días, una capa translúcida de conidios secundarios (libres), tal como lo probaron Kurozawa y Balmer (10). Este tipo de esporas se empleó como inóculo en los siguientes ensayos:

Ensayo 1:

Efectos de la luz, temperatura y medios de cultivo sobre el crecimiento y la esporulación

Se emplearon los medios agar de papa glucosado = APG (1); agar Czapek = AC (1); agar V8 = AV8 (14) y agar tomate = (filtrado de 300 g de hojas de tomate licuadas, agar 17 g y agua destilada c.s.p. 1 000 ml). Las colonias se incubaron en dos cámaras climatizadas a temperaturas de $21 \pm 2^\circ\text{C}$ y $27 \pm 2^\circ\text{C}$. Estos valores se aproximan a los citados por otros autores, como rango óptimo para la esporulación de esta especie; generalmente coinciden con el rango que estimula el crecimiento (12, 15, 16, 17). Cada cámara se dividió en dos compartimientos con dos regímenes de iluminación (las cámaras fueron cedidas por el Instituto de Fisiología Vegetal de la Facultad de Agronomía, UNLP y estaban graduadas con ciclos luminosos coincidentes con la duración aproximada de los períodos fotosintéticos de verano e invierno, en las latitudes medias): día largo = DL (16 h de luz compuestas por 8 h con todos los tubos fluorescentes encendidos, los cuales brindaron una intensidad de $180 \mu\text{em}^{-2} \text{seg}^{-1}$ y 8 h con dos tubos ($28 \mu\text{em}^{-2} \text{seg}^{-1}$) y 8 h de oscuridad y día corto = DC (8h de luz con dos tubos encendidos y 16 h de oscuridad). El tratamiento con oscuridad continua = OC se obtuvo envolviendo las cajas y tubos con papel de aluminio. El material se mantuvo en las cámaras sobre bandejas colocadas a 40 cm de la fuente lumínica.

Crecimiento

Las cajas con los cuatro medios de cultivo se sembraron en el centro con conidios secundarios. Estos

provinieron del desarrollo sobre placas delgadas de AG solidificado en cajas, de las cuales se cortaron trocitos uniformes con un sacabocado de 3.5 mm de diámetro.

Se establecieron cuatro repeticiones para cada tratamiento (24 cajas con cada medio) y se incubaron en las condiciones de temperatura e iluminación detalladas en el Ensayo 1.

Las observaciones se efectuaron a los 16 días después de la siembra. Se consideraron las características de las colonias y el diámetro de las mismas, para lo cual se tuvo en cuenta el promedio de dos diámetros opuestos. Estos últimos valores se analizaron estadísticamente, mediante el método de varianza factorial de 4 (medios de cultivo) x 3 (regímenes de iluminación) x 2 (temperaturas). Los factores altamente significativos se analizaron con la prueba de Tukey.

Esporulación

Los cuatro medios de cultivo, solidificados en tubos inclinados, se sembraron mediante el extendido de conidios secundarios. Estos se obtuvieron a partir de tubos inclinados con AG, de los cuales se tomaron cantidades homogéneas de esporas con ayuda de un asa.

Se establecieron cuatro repeticiones para cada tratamiento (24 tubos con cada medio) y se incubaron durante 16 días en las condiciones detalladas en el Ensayo 1.

Las suspensiones de esporas se prepararon mediante el agregado de 3 ml de agua destilada a cada tubo y el raspado suave de los picnidios con un asa. El recuento de esporas se hizo con ayuda de la cámara de Neubauer.

La esporulación se analizó estadísticamente aplicando el método de varianza con los mismos factores considerados en 1.a. El diseño fue enteramente al azar con igual número de unidades (tubos con suspensiones de esporas) y de subunidades (observaciones dentro de cada tubo). Los factores principales se analizaron con la prueba de Tukey.

Se consideraron las dimensiones de las esporas producidas en cada tratamiento.

Ensayo 2:

Efecto de 13 medios de cultivo sobre la esporulación

Se probó el efecto de los medios agar de papa glucosado = APG (1); agar V8 = AV8 (14); agar harina

de avena = AHA (1); agar ciruela = (1); agar extracto de malta = AEM (1); agar tomate = AT (ver Ensayo 1); agar Czapek = AC (1); agar Fries levadura = AFL (3); agar Martin = AM (2); agar Leonian = AL (11); agar extracto de malta con peptona y levadura = AMPL (extracto de malta 30 g, peptona bacteriológica 5 g, extracto de levadura 2 g, agar 17 g y agua destilada c.s.p. 1 000 ml); agar Czapek Dox V8 = ACDV (6) y agar glucosa = AG (10).

Los medios se distribuyeron en tubos inclinados. Se sembraron con ayuda de un asa mediante el extendido de conidios secundarios desarrollados sobre AG. Se trabajó con cuatro repeticiones de cada medio. Se incubaron durante 14 días en cámara climatizada ajustada a $20 \pm 2^\circ\text{C}$, con alternancia de 12 h de luz y 12 h de oscuridad, incluyendo un período luminoso de 12 h de irradiación ultravioleta.

La preparación de las suspensiones y el recuento de esporas se hicieron según se indicó en el ensayo 1.b.

Los resultados se analizaron estadísticamente aplicando el método de varianza y la prueba de Tukey.

RESULTADOS

Ensayo 1:

Características culturales

Las colonias desarrolladas en cajas de Petri, sobre APG y AV8, mostraron características semejantes. A 21°C y en los regímenes iluminados presentaron estructura estromática, con abundantes picnidios negros, maduros. En oscuridad, se cubrieron con abundante micelio gris. A 27°C , además de reducir notablemente su desarrollo, produjeron muy pocos picnidios inmaduros y se cubrieron con abundantes hifas erectas y cortas que le dieron aspecto aterciopelado.

Sobre AC desarrollaron en ambas temperaturas colonias sumergidas en el medio, con hifas ramificadas, de crecimiento radial, que les dieron aspecto rizoidal, con picnidios separados entre sí, dispuestos sobre las hifas. A 21°C y en oscuridad continua, adoptaron características estromáticas, compactas. En todos los casos, los picnidios no alcanzaron a madurar.

Sobre AT, a 21°C y en los regímenes iluminados, las colonias consistieron en hifas gruesas dispuestas en forma radial, que sostenían picnidios color pardo claro, separados entre sí, con grandes cirros rosados. En oscuridad, desarrolló mayor cantidad de micelio sumergido. A 27°C , adoptaron características estro-

máticas con formación de numerosos picnidios gregarios, la mayoría inmaduros, con mayor cobertura micelial.

En general, la temperatura de 21°C estimuló el crecimiento y la formación de picnidios maduros, también estimulada por los regímenes iluminados. En oposición, en oscuridad continua, hubo mayor desarrollo de micelio en detrimento del desarrollo de fructificaciones.

Crecimiento

En el Cuadro 1 se incluyeron los valores que expresan el diámetro promedio de las cuatro colonias dentro de cada tratamiento.

De acuerdo con el análisis estadístico, sólo la temperatura tuvo efecto altamente significativo ($P = 0.01$) sobre el crecimiento de las colonias. La interacción triple temperatura (T) x medios (M) x luz (L), alcanzó significancia a nivel 0.05, si bien este tipo de interacciones tiene valor relativo.

Dentro de cada temperatura, los efectos de la luz y de los medios fueron diferentes. Se observó mayor crecimiento a 21°C (Fig. 1.a) y dentro de esta temperatura, se destacó APG en día corto y día largo. Por el contrario, a 27°C (Fig. 1.b) y en día largo, APG fue el medio que estimuló menor crecimiento. A esta temperatura, el mayor crecimiento se produjo sobre AT, en todos los regímenes lumínicos.

Esporulación

En el Cuadro 2 se observa que a 27°C sólo hubo esporulación en el medio AT, en los regímenes iluminados. Esto determinó que el análisis estadístico se hiciera con los resultados de los tratamientos a 21°C .

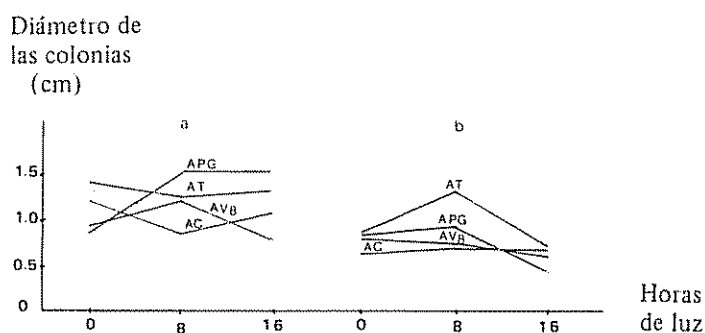
Se destacaron significativamente ($P = 0.01$) los efectos de la luz y de los medios. Al comparar los promedios de estos dos factores por el método de Tukey, se determinó lo siguiente: a) la esporulación fue significativamente mayor ($DMS 1\% = 0.714$), en los regímenes iluminados, con respecto al de oscuridad, y b) los medios AT y AV8 produjeron esporulación significativamente mayor ($DMS 1\% = 0.767$) que APG y AC. En este último, fue nula.

Características de las esporas

En el Cuadro 3 se observa que, a 21°C , la longitud y el número de tabiques de las esporas fueron superiores en los medios AT y AV8, con respecto a APG. A 27°C , las esporas producidas sobre AT fueron visible-

Cuadro 1. Diámetro de las colonias de *S. lycopersici* en los 24 tratamientos expresado en cm. Observación hecha a los 16 días.

Temperatura		21°C			27°C		
Horas de luz		0	8	16	0	8	16
Medios de cultivo	APG	0.93	1.53	1.53	0.81	0.93	0.45
	AC	1.25	0.87	1.02	0.63	0.67	0.58
	AV8	0.97	1.22	0.81	0.77	0.74	0.56
	AT	1.45	1.25	1.33	0.82	1.29	0.70

Fig. 1. Desdoblamiento del efecto de la interacción triple T x M x L sobre el crecimiento de *S. lycopersici*. a: Interacción M x L a 21°C. b: Interacción M x L a 27°C.

mente más cortas que las producidas en el mismo medio a 21°C. En todos los tratamientos, el ancho fue similar

Ensayo 2:

Características de las colonias

El tipo de colonias se dividió en dos grupos, de acuerdo con la formación o no de estroma.

a. Colonias no estromáticas

Los picnidios se encontraron predominantemente dispuestos sobre el medio en forma aislada, manteniendo la individualidad. De acuerdo con su morfología se agruparon en dos categorías:

a.1. Picnidios globosos

Fructificaciones globosas o subglobosas, con ostiolo visible. Desarrollaron sobre AV8 y AT donde tomaron color pardo claro y se cubrieron por grandes cirros, agrupándose en la porción más espesa del medio. En ACi se formaron además algunos picnidios alargados y otros ramificados. Sobre AHA y AG desarrolló poca cantidad de fructificaciones globosas de tamaño reducido.

a.2. Picnidios atípicos ramificados y alargados

Una fructificación inicial que, bajo el microscopio, se ve más oscura, con paredes más gruesas, por brotación se ramifica en otras secundarias, oblongas. Estas, a su vez originan brotes terciarios elongados sobre los cuales se distinguen protuberancias que probablemente darán origen a futuras ramas. Desde los extremos de algunas de ellas se liberan las esporas maduras a través de ostiolos poco visibles. Desarrollaron sobre los medios AL y AEM, en los cuales se observaron también picnidios de forma alargada. Sobre el último medio se encontraron, además, picnidios globosos.

b. Colonias estromáticas

Los picnidios adoptaron forma más o menos globosa y se situaron sobre un grueso estroma negro, compacto, de aspecto rugoso. En AMPL se distinguieron abundantes cirros lechosos, los cuales sobre AFL tomaron coloración parda; en ACDV los picnidios adoptaron forma alargada y en APG y AM se destacaron hifas gruesas, pardo oscuro, con numerosas clamidosporas.

Cuadro 2. Esporulaci3n de *S. lycopersici* en los 24 tratamientos expresada en cantidad de esporas ($\times 10^6$) por ml de suspensi3n. Observaci3n hecha a los 16 d3as.

Temperatura		21°C			27°C		
Horas de luz		0	8	16	0	8	16
Medios de cultivo	APG	0 326	1 112	0 531	0 000	0 000	0 000
	AC	0 000	0 000	0 000	0 000	0 000	0 000
	AV8	9 887	11 525	12 000	0 000	0 000	0 000
	AT	6 681	9 769	10 650	0 001	1 262	0 225

Esporulaci3n

De acuerdo con el resultado de la prueba de Tukey (DMS 1% = 32.58) la esporulaci3n en los medios AMPL y AV8 fue significativamente superior a la de los restantes medios (Fig. 2)

Sobre AV8 y AT se comenzaron a distinguir cirros a partir del cuarto o quinto d3a de la siembra y fueron abundantes a los siete d3as. Sobre AMPL la esporulaci3n se inici3 a la semana y fue profusa a los 10-12 d3as.

DISCUSION

La fisiolog3a y la morfolog3a del desarrollo de los pat3genos, as3 se encuentren sobre sustratos naturales como artificiales, est3n directamente afectadas por factores intr3secos y extr3secos.

Sobre *S. lycopersici* el efecto de la luz, en los tratamientos ensayados, no tuvo significancia en el crecimiento pero s3 en la esporulaci3n, la cual fue altamente estimulada en su presencia. Kurozawa y Balmer (8) obtuvieron resultados semejantes al cultivar este hongo en distintas condiciones luminosas.

Cuadro 3. Dimensiones (en μm) y n3mero de tabiques de las picnidiosporas de *S. lycopersici* producidas en los distintos tratamientos (se excluye el medio AC, sobre el cual la esporulaci3n fue nula). (1) n3mero de tabiques m3s frecuente (m3s del 20% del total) en orden decreciente.

Temperatura		21°C			27°C		
Medios de cultivo	Horas de luz	Dimensiones		N3mero de tabiques	Largo (μm)	Ancho (μm)	N3mero de tabiques
		Largo (μm)	Ancho (μm)				
APG	0	49 0 a 74 0 $\bar{X} = 61.86$	2 4 a 3 7 $\bar{X} = 2.97$	3 a 6 (4 - 5)	—	—	—
	8	38 0 a 78 0 $\bar{X} = 56.18$	2 2 a 3 6 $\bar{X} = 2.81$	3 a 6 (3 - 4)	—	—	—
	16	39 0 a 68 0 $\bar{X} = 53.48$	2 2 a 3 7 $\bar{X} = 2.83$	2 a 5 (3 - 4)	—	—	—
AV8	0	62 0 a 120 0 $\bar{X} = 89.68$	2 3 a 3 7 $\bar{X} = 2.94$	4 a 12 (7-6-8)	—	—	—
	8	64 0 a 120 0 $\bar{X} = 85.42$	2 3 a 3 9 $\bar{X} = 3.06$	4 a 12 (7 - 8)	—	—	—
	16	52 0 a 109 0 $\bar{X} = 84.18$	2 3 a 4 0 $\bar{X} = 2.94$	4 a 11 (7 - 6)	—	—	—
AT	0	71 0 a 109 0 $\bar{X} = 86.88$	2 3 a 3 4 $\bar{X} = 2.74$	5 a 9 (5 - 6)	37 0 a 125 0 $\bar{X} = 66.98$	2 4 a 3 5 $\bar{X} = 2.72$	1 a 9 (5 - 4)
	8	49 0 a 127 0 $\bar{X} = 89.40$	2 2 a 4 0 $\bar{X} = 2.85$	3 a 9 (6-5-7)	37 5 a 97 0 $\bar{X} = 62.61$	2 0 a 3 6 $\bar{X} = 2.78$	2 a 11 (5 - 4)
	16	67 5 a 116 0 $\bar{X} = 91.48$	2 4 a 3 0 $\bar{X} = 2.62$	4 a 8 (6 - 5)	26 0 a 67 5 $\bar{X} = 42.03$	2 5 a 3 0 $\bar{X} = 2.75$	1 a 4 (3 - 2)

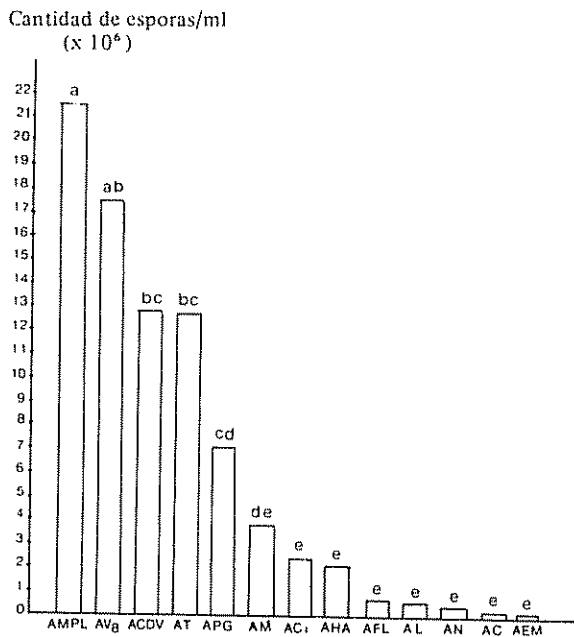


Fig 2. Producción de picnidiosporas de *S. lycopersici* en 13 medios de cultivo. Observación a los 14 días. Las mismas letras sobre las barras indican tratamientos entre los cuales no hubo diferencia significativa (DMS 1% = 32.58).

La temperatura afectó significativamente el crecimiento de las colonias, el cual se estimuló a 21°C. Con respecto a la esporulación, tuvo efecto limitante ya que a 27°C sólo se observó en AT en los regímenes luminosos. Los datos que dan otros autores difieren algo entre sí y con los presentes resultados, sobre todo, en relación con la esporulación: Marcinkovska (12) da un óptimo de 22 a 25°C (máximo 30°C) para el crecimiento y de 17 a 28°C para la maduración de picnidios; Sohi y Soki (17) citan un rango de 5 a 25°C para el crecimiento, 10 a 25°C para el desarrollo de picnidios y 20 a 25°C para el desarrollo de

esporas; Rizinsky (16) observó que el hongo crece entre 3 y 32°C (óptimo 20 a 27°C) y que esporula entre los 14 a 29°C (óptimo 22 a 27°C); Endrinal *et al*, citados por Walker (7), consideran que hay crecimiento entre los 5 y 34°C (óptimo 25°C) y Pritchard y Porte (15) hablan de un rango de 1.5 a 34.4°C (óptimo 25°C) para el crecimiento y 16 a 27°C (óptimo 25°C) para la esporulación. Las diferencias observadas se deberían a la interacción con otros factores, tales como cepas, medios de cultivo, iluminación, etc

Los medios de cultivo no afectaron significativamente el crecimiento, si bien éste, en general, fue mayor sobre AT y AV8. Su efecto varió según las distintas temperaturas y las horas de luz. La esporulación sí fue afectada de manera altamente significativa por los medios. Sobre AC fue nula y sobre AV8 y AT significativamente superior ($P = 0.05$). AT fue el único sobre el cual se produjeron esporas a 27°C (en presencia de luz). Si bien otros autores trabajaron con varios medios de cultivo (9, 13, 17), éstos no fueron los mismos que los probados en este ensayo, por lo cual no se pueden comparar resultados. Excepto en el caso de AV8, que, según Miller (14), estimuló la esporulación en mayor medida que APG.

En los dos ensayos se observó que sobre AT y Av8, la maduración de los picnidios fue profusa a los siete días de incubación, plazo muy inferior con respecto a los restantes medios. Ambos están elaborados exclusivamente con jugos de tejidos vegetales e incluyen a los de tomate, los cuales contendrían alguna sustancia estimulante de la esporulación de este hongo y que no se destruye por acción de la esterilización en autoclave.

LITERATURA CITADA

1. AINSWORTH, G.C. 1971. Dictionary of the fungi. Kew, Surrey, 6 ed Commonwealth Mycological Institute. 663 p.
2. ALIPPI, H.E.; CARRANZA, J.M. 1975. Métodos y técnicas generales fitopatológicas. In Fitopatología. Curso Moderno. Ed. by A.A. Sarasola, M.A. Roca de Sarasola, Buenos Aires, Hemisferio Sur. v.4, p 189-214.
3. BOUSQUET, J.F.; SKAJENNIKOFF, M. 1974. Isolemente et mode d'action d'une phytotoxine produite en culture par *Septoria nodorum* Berk. Phytopathologische Zeitschrift 80:355-360.
4. CALPOUZOS, L.; STALLKNECHT, G.F. 1965. Sporulation of *Cercospora beticola* affected by an interaction between light and temperature. Phytopathology 55(12):1370-1371.
5. CHO, C.T. 1975. Effect of light and temperature on the sporulation and mycelial growth of *Mycosphaerella fragariae*. Korean Journal of Plant Protection 14(4):205-208.
6. COOKE, B.M.; JONES, G.D. 1970. A field inoculation method for *Septoria tritici* and *Septoria nodorum*. Plant Pathology 19:72-74.

7. ENDRINAL, D M ; CELINO, M S. 1940. *Septoria* leaf spot of tomato. Philippine Agriculturist 29:593. Citado en Walker, J.C. 1959. Enfermedades de las hortalizas
8. KUROSAWA, C.; BALMER, E. 1975. Efeito do regime de iluminação na esporulação de *Septoria lycopersici* Speg. em tres meios de cultura. Arquivos do Instituto Biologico 42:151-156.
9. KUROSAWA, C.; BALMER, E. 1977. Influencia de fatores nutricionais na produção de picnídios, cirros e picnídios férteis de *Septoria lycopersici* Speg. Summa Phytopathologica 3(1):52-58
10. KUROSAWA, C.; BALMER, E. 1977. Efeito de fatores nutricionais, iluminação e de cepas na formação de "conídios secundários" de *Septoria lycopersici* Speg. Summa Phytopathologica 3(1):59-65
11. LEONIAN, L H. 1924. A study of factors promoting picnidium formation in some Sphaeropsidales. American Journal of Botany 11:19-50
12. MARCINKOWSKA, J. 1977. *Septoria* leaf spot of tomato. II. Morphologic and development of *Septoria lycopersici* Speg. Acta Agrobotanica 30(2): 359-372.
13. MAC NEILL, B.H. 1950. Studies in *Septoria lycopersici* Speg. Canadian Journal Research 28:645-672
14. MILLER, P.M. 1955. V8 juice as a general purpose medium for fungi and bacteria. Phytopathology 45:461.
15. PRITCHARD, F.J ; PORTE, W.S. 1924. The relation of temperature and humidity to tomato leaf spot (*Septoria lycopersici* Speg.). Phytopathology 14: 155-165
16. RIZINSKI, S. 1966. A contribution to the study of the biology and control of tomato leaf spot (*Septoria lycopersici*) in the Vardar region. Arhivza poljoprivredne Nauke Teh 19(65):101-131.
17. SOHI, H.S ; SOKHI, S.S. 1974. Morphological, physiological and pathological studies in *Septoria lycopersici*. Indian Phytopathology 26:666-673,

Reseña de Libros

SPARKS, D.L. (ed.). 1986. *Soil physical chemistry*. Boca Ratón, Fla., CRC Press. 308 p.

Aunque los aspectos de fisicoquímica figuran hace más de treinta años en los libros de química de suelos, éste es el primer volumen dedicado exclusivamente a este tópico, cuya importancia ha crecido permanentemente con el adelanto de los conocimientos en este campo.

El Dr. Sparks, un experto de reconocimiento internacional, obtuvo el apoyo de otros siete estudiosos en este campo y el grupo preparó este volumen que será, por un buen tiempo, una referencia casi obligatoria en las seis áreas a las cuales se dedican los capítulos.

El volumen tiene una amplia bibliografía la cual incluye muchas referencias de publicaciones en ciencias básicas. A juicio de este revisor, se podría haber utilizado con más amplitud la bibliografía de Europa, especialmente de Holanda, Alemania y Rusia, países que tienen distinguidos investigadores en estos campos.

Este volumen requiere tener buenos conocimientos de química, especialmente de los fundamentos de la fisicoquímica, para su mejor aprovechamiento.

El primer capítulo se dedica a la electroquímica de la capa doble; se analizan aquí las aplicaciones de esta teoría a sistemas suelo-agua. Se dedica especial atención a suelos con una mineralogía de cargas permanentes y variables, muy importantes en condiciones de los trópicos. En este capítulo se pone mucho interés en mostrar cómo los principios básicos presentados pueden ser usados para guiar la agricultura práctica.

El segundo capítulo se refiere a los coloides de los suelos y a las propiedades de sus cargas eléctricas. Se examinan aquí las fuentes y los tipos de las cargas, la capacidad de intercambio y la selectividad de los iones resultantes. Se examinan también los principales cuatro modelos de la adsorción iónica por suelos. Se concluye el capítulo con un examen de la teoría del punto de carga cero. Este es posiblemente el capítulo de lectura más fácil del volumen; está basado más en explicaciones de datos experimentales que en derivaciones matemáticas.

El tercer capítulo, que ocupa aproximadamente un quinto del volumen, se dedica a la cinética de las reacciones en sistemas, puras y mixtas.

El capítulo se inicia con una introducción bastante amplia a estos sistemas. Evidentemente, esta información básica se presenta en relación con suelos y arcillas.

El cuarto capítulo, el segundo más corto del volumen, se dedica a la termodinámica de la solución del suelo. Redactado por el conocido fisicoquímico de suelos Profesor Sposito, autor de un libro con el mismo título, el capítulo se dedica a los equilibrios en la solución del suelo y a los de intercambio de cationes. También se discuten los modelos de asociación de iones.

El quinto capítulo, el más corto, se refiere al comportamiento redox de los suelos. Este capítulo, escrito en forma muy amena, es posiblemente una de las mejores introducciones a este campo, poco estudiado, de la fisicoquímica de suelos.

El capítulo más largo, el sexto, estudia la hidroestática del agua en medios porosos. Se incluye este capítulo debido a que los procesos en suelos ocurren en este tipo de medio, es decir, en uno acuoso, en un sistema poroso. Se analizan aquí las propiedades especiales de las sustancias involucradas, debido a lo particular del medio.

Este es un volumen avanzado, esencial para bibliotecas de la ciencia del suelo y para los investigadores y profesores de química de suelos, especialmente en los programas de posgrado. El volumen ha sido muy útil al revisor para mejorar el contenido de su curso en esta materia.

ELEMER BORNEMISZA
UNIVERSIDAD DE COSTA RICA

PIETERSE, M.T.H.A.; SILVIS, H.J. *The world coffee market and the international coffee agreement*. Wageningen, Agricultural University. 9 p.

Nuevamente, la Universidad de Wageningen produce un interesantísimo estudio sobre la comercialización del café en el mundo. (Previamente, publicó *The economics of coffee*, de J. de Graaff en 1986).

Este libro de apenas 105 páginas es el resultado de una investigación hecha por los autores, en la Organización Internacional del Café en Londres, con el afán de hacer una descripción del importante mercado mundial del café, poniendo un énfasis particular en el

precio y en la forma en la que éste es afectado por la producción, el consumo y las reglamentaciones del Convenio Internacional del Café

El estudio consta de cuatro capítulos bien diferenciados, además de una introducción y de otros anexos

En el primer capítulo se aborda la producción, tratando de analizar los factores que, como los sistemas de producción, la productividad y otros, afectan en forma directa los costos de producción. Desde luego, esto se hace a nivel de ciertos países individuales y también, a nivel mundial. En este último contexto, se destaca la influencia de la producción de Brasil en la producción mundial. En este capítulo los autores aventuran algunas cifras muy interesantes, como son costos de producción, precios pagados a los caficultores en ciertos países y su relación con los precios mundiales y finalmente, cálculos de la elasticidad de los precios al nivel de la disponibilidad de café

El segundo capítulo estudia las características del consumo. Así, discute los volúmenes importados, el cálculo de consumo *per cápita*, la estructura del procesamiento del café oro y nuevamente, la modalidad de la estructura de los precios y su elasticidad, desde el ángulo del consumo

Un tercer capítulo cubre la estructura del mercado mundial del café, los canales de comercialización a nivel internacional, los distintos participantes en el mercado internacional y las características generales del mercado. El enfoque es siempre tendiente a precisar la forma en la que estos factores afectan el precio del producto.

Finalmente, se presenta el análisis del Convenio Internacional del Café. Al inicio de la obra, se hace mención de todas las iniciativas que se han sugerido para tratar de poner un poco de estabilidad en los precios de un producto que, según se explica en los capítulos anteriores, sufre precisamente de una gran inestabilidad y que tiene una significación importantísima en la economía de muchos países productores. Parece que el primer acuerdo se logró en La Habana, en 1948, pero no fue sino hasta 1962 cuando se llegó al primer acuerdo formal.

Básicamente, el Convenio Internacional del Café usa, como instrumentos de estabilización, el establecimiento de cuotas de exportación las cuales se regulan mediante indicadores de precios dentro de una estructura organizada, en la cual participan productores y consumidores del grano. Sigue un relato histórico de la forma en la cual ha venido funcionando el esquema, con mención de algunos factores exógenos

que lo han afectado. Los problemas principales han sido muy importantes y en ocasiones han puesto en peligro el éxito del Convenio. La distribución de cuotas y el cumplimiento de las mismas han sido quizás los obstáculos mayores; sin embargo, puede decirse que el Convenio ha cumplido su propósito, o sea, el de estabilizar los precios que ha quedado tan desequilibrados al quedar en juego libre la oferta y la demanda.

Este estudio es muy importante y proporciona, en una forma sencilla, una visión de conjunto de la complicada estructura de los precios y del mercado del producto de exportación más importante del mundo tropical.

CARLOS ENRIQUE FERNANDEZ
IICA, Coronado

H. MARSCHNER. 1986. *Mineral nutrition of higher plants*. London, Academic Press. 674 p.

Debido a que existen varios tratados bien conocidos en este campo, no es fácil escribir un volumen sobre este tópico. Sin embargo, el Profesor Marschner, de la Universidad Agraria de Hohenheim, Alemania, ha logrado encontrar un enfoque bastante novedoso de esta ciencia. La obra consiste de dos partes, la primera, más amplia, dedicada a la fisiología de la nutrición mineral y la segunda, a las relaciones suelo-planta.

La primera comienza con cuatro capítulos que incluyen la introducción y discusiones sobre la absorción de los elementos por las raíces y las hojas y su transporte dentro de las plantas.

En los dos capítulos siguientes se analizan las relaciones de estos procesos con los rendimientos de plantas. En ellos se discute: el papel del proceso fotosintético y de las hormonas vegetales, la regulación del traslado y la acumulación de los nutrimentos en las plantas, en una forma que ilustra muy bien el funcionamiento de la planta entera, como marco general en el cual ocurren estos fenómenos biológicos.

El séptimo capítulo se dedica a la fijación del nitrógeno, presentando un resumen claro sobre este importante proceso.

Los siguientes dos capítulos, los más extensos del volumen, discuten las funciones, tanto de los nutrimentos mayores como de los oligoelementos en las plantas.

Otro capítulo discute los elementos útiles para algunas plantas, pero no esenciales para todas, como son: Al, Si, Co, Ni, Se, y otros. Esta información no es fácil de obtener.

En el onceavo capítulo se discuten las relaciones entre salud vegetal y la nutrición mineral de las plantas.

La identificación correcta de las deficiencias y de los excesos de nutrimentos minerales es el tópico del doceavo capítulo. También se presentan aquí los diferentes métodos principales de identificar a estos problemas, tanto por síntomas visibles como por métodos analíticos.

La segunda parte del volumen consiste solamente de cuatro capítulos. El primero de ellos examina la disponibilidad de los nutrimentos en los suelos, con énfasis en su traslado y su relación con la distribución de las raíces. En este capítulo se discuten también algunas limitaciones del análisis de suelos.

Los dos capítulos siguientes se dedican a las raíces, su crecimiento y los factores que lo controlan y a la relación de la superficie de contacto suelo-raíz con la nutrición mineral.

En el último capítulo, uno de los más amplios, se examina la adaptación de las plantas a condiciones adversas de suelos como acidez o salinidad alta.

El volumen concluye con una bibliografía muy amplia de más de cien páginas, que incluye tanto la bibliografía procedente de Europa como de EE.UU.

Un índice final completa el libro, el cual se recomienda a todas las personas que se interesan en la nutrición mineral de las plantas, tanto desde el punto de vista académico como aplicado.

ELEMER BORNEMISZA
UNIVERSIDAD DE COSTA RICA

LAMBERTI, F.; TAYLOR, C.E. (ed.). 1986. *Cystnematodes*. New York, Plenum Press. 467 p. (NATO ASI Series A: Life Sciences v. 121).

Este libro es un compendio de conferencias dictadas por reconocidas autoridades en nematodos fitoparásitos formadores de quistes (Nemata: Heteroderidae), durante una sesión de estudios avanzados de la NATO, realizada en Italia, durante la parte final de setiembre e inicios de octubre de 1985. Incluye, ade-

más, unos pocos artículos escritos por personas que no pudieron asistir a tal reunión. En total, son 38 trabajos, de variables extensión y calidad. Destacan, por su contenido y estilo de escritura, los que versan sobre taxonomía y filogenia (A.R. Stone); morfología e identificación (A.M. Golden), aunque, en este caso, se pone demasiado énfasis en una enorme clave dicotómica para identificar las 59 especies de los seis géneros citados, ultraestructura y función (B.Y. Endo); un interesantísimo artículo sobre la fisiología de la eclosión (R.N. Perry); histología y modificaciones ultraestructurales inducidas por estos nematodos (B.Y. Endo); gnotobiología y su potencial en investigaciones básicas (U. Wyss y U. Zunke); reacciones bioquímicas y sus interacciones (G. Zacheo); una brillante exposición acerca de la prueba de hipótesis sobre sus relaciones filogenéticas (J. G. Baldwin); conceptos de resistencia, tolerancia y susceptibilidad (D.L. Trudgill); el desarrollo de individuos y poblaciones, los efectos del ataque sobre el crecimiento y rendimiento de las plantas, los aspectos agronómicos de la infestación de los nematodos formadores de quistes de la papa y la medición de poblaciones de campo (J.W. Seinhorst); el combate químico e integrado (A.G. Whitehead) y la evaluación del papel de los parásitos y predadores en la regulación de sus poblaciones (B. Kerry).

Un segundo grupo de trabajos presenta información sobre algunos aspectos de la biología, distribución geográfica y manejo de ciertas especies, v.g., *Heterodera glycines* (G.R. Noel; S.C. Anand), *H. trifolii* (R.A. Sikora y P.W. Th. Maas), *H. goettingiana* (M. Di Vito y N. Greco), *H. carotae* (N. Greco; V. Aubert; M. Bossis), *H. schachtii* (J. Muller; C. Stender; T. Bleve Zacheo y G. Zacheo), *H. avenae* (A. Valdeolivas y M.D. Romero; L. M. Hansen; K. Andersen y S. Andersen) y *Globodera pallida* (C.M. Balantras).

Un tercer grupo de artículos presenta información sobre las especies de nematodos formadores de quistes en regiones cálidas tropicales y ecuatoriales (M. Luc), América del Norte (L.I. Miller), aunque, en realidad, este informe se concentra en los EE.UU. y menciona algunos pocos hallazgos hechos en Canadá, Portugal (L.G.L. Reis), Libia (E.A. Endongali), Iraq (Z.A. Stephan), India (I. Ahmad) y México, América Central y América del Sur (C. Sossa).

Algunos de los artículos tienen, después de las referencias, una sección denominada Discusión, en la que se hace un resumen de las preguntas, respuestas e ideas intercambiadas inmediatamente después de su presentación oral.

En general, la información presentada es muy valiosa, especialmente la del primer grupo de trabajos; otros simplemente decepcionan. Los estilos usados en la escritura son diferentes y algunos trabajos tienen errores gramaticales, lo que probablemente se deba a que el idioma inglés no es la lengua materna de varios autores. Hubiera sido más conveniente haber incluido aspectos tales como la citogenética y los métodos de reproducción de estos nematodos, así como aquellos tocantes a la influencia de varios factores ambientales sobre su desarrollo, un análisis detallado de su ciclo de vida y de sus cambios morfológicos en función del desarrollo, las técnicas de extracción de quistes y de las formas juveniles del suelo y las interacciones con otros agentes etiológicos-causantes de enfermedades en las plantas. Todos estos aspectos brillan por su ausencia, lo que, de cierta manera, reduce la utilidad del esfuerzo realizado. Otros pequeños inconvenientes son: 1) el que haya que incluir una página de texto omitida entre las páginas 6 y 7; 2) que el texto de la página 107 corresponda al de la página 106 y viceversa; 3) que el levantado del texto haya sido hecho con una máquina de escribir; el grosor y tamaño de las letras es tal que, después de cierto tiempo, se dificulta su lectura.

A pesar de estos inconvenientes se debe resaltar el esfuerzo y la dedicación de los editores, quienes logran llenar, al menos parcialmente, las necesidades de información sobre este importante grupo de nematodos fitoparásitos.

ROGER LOPEZ CH
ESCUELA DE FITOTECNIA
UNIVERSIDAD DE COSTA RICA

ASTEWART, B. (ed). 1986. *Advances in soil science*. New York, Springer Verlag. v 5, 242 p.

Este volumen representa una nueva adición a esta serie de reseñas muy útiles sobre la ciencia del suelo. Los cinco temas tratados en el volumen son todos de considerable interés y aplicabilidad en este campo en América Latina. Por tal razón, se recomienda enfáticamente el estudio de esta obra que sintetiza mucho material que es poco accesible a nivel nacional.

La presentación del volumen es atractiva; por desgracia, la impresión tiene muchos errores de imprenta, antes muy poco frecuentes en obras publicadas en empresas editoriales de tanto prestigio como Springer.

La primera reseña, preparada por R. Lal, incluye casi un tercio del volumen y presenta una bibliografía

muy amplia de 226 trabajos, aunque algunos de ellos están mal citados. Este revisor también ha usado bastante material latinoamericano en su material didáctico.

Una discusión de las tierras, vegetación y condiciones climáticas de las regiones tropicales, da inicio a la reseña dedicada al manejo de la superficie del suelo en los trópicos, con miras a un uso intensivo de la tierra para lograr una producción sostenida y alta.

Con base en el marco previamente descrito se estudian los sistemas tradicionales de agricultura de la región y la productividad de diversos suelos incluidos en este marco. Se presenta información sobre la fragilidad de este sistema y su interacción con los suelos de la región. También se recomiendan enfoques para mejorar los sistemas tradicionales de agricultura y los componentes tecnológicos que éstos requieren. Se concluye el excelente trabajo inicial proponiendo un enfoque agroecológico para mejorar la agricultura tropical tradicional.

El segundo trabajo sobre "El efecto de los residuos de cosecha en la superficie sobre el almacenamiento del agua en los suelos" complementa la información del primero, basándose principalmente en datos de la región central de los Estados Unidos.

Se examinan los efectos de estos residuos, tanto en lo que se refiere al aumento de la infiltración de agua al suelo como en lo concerniente a la reducción de la evaporación del agua del suelo. Se presentan datos sobre el efecto de estos factores sobre las cosechas, e incluso, sobre su habilidad en reducir la erosión.

Se resalta en el trabajo la necesidad de estudiar más información en este campo y se concluye con la presentación de una bibliografía con unos 50 trabajos relacionados con las zonas templadas.

El tercer trabajo se refiere a un sistema muy especial de manejo de suelos, el del arroz inundado; presenta información sobre sus propiedades físicas y los procesos que ocurren en este sistema de cultivo. Estos suelos son la base de una agricultura muy productiva que alimenta una parte considerable de la humanidad. Debido a que el sistema presenta muchas propiedades únicas, es oportuno su examen por expertos como los autores de la reseña, quienes son investigadores del IRRI, con trayectorias muy distinguidas.

Se analizan aquí los fundamentos teóricos del "fanguero", los índices para su evaluación y sus efectos sobre los suelos a corto y a largo plazo.

Se presenta información sobre los problemas de regeneración de la estructura de los suelos después de fanguero, lo cual es necesario hacer cuando se les quiere dedicar posteriormente a otros cultivos. El trabajo se concluye con una serie de recomendaciones para las investigaciones que se hagan en este campo y con una amplia bibliografía de casi 200 trabajos sobre el tema.

El cuarto trabajo, el más especializado de todos representa en cierto modo, una continuación del tercero; se refiere al origen, desarrollo y clasificación de los suelos dedicados al cultivo de arroz inundado en China.

Se analiza el desarrollo de las características de estos suelos y de sus horizontes especiales y se hacen recomendaciones sobre la manera más apropiada de clasificarlos. Una breve bibliografía de 23 trabajos concluye el capítulo.

ELEMER BORNEMISZA
FACULTAD DE AGRONOMIA
UNIVERSIDAD DE COSTA RICA

REUTER, D.J.; ROBINSON, J.B. (eds.) 1986. *Plant analysis. An interpretation manual*. Melbourne, Sydney, Australia, Inkata Press. 218 p.

Una de las interrogantes más frecuentes de todo agricultor es la de saber si sus plantas necesitan algún nutrimento que él puede agregar en forma de fertilizante. Esta pregunta se torna mucho más importante ahora que los fertilizantes han subido de precio, obligando a que su empleo sea muy bien meditado, debido a la repercusión económica que esa decisión implica.

Cuando el agricultor le traslada su preocupación al técnico o al extensionista, éste se encuentra con que el instrumento de diagnóstico más importante (el análisis foliar de la planta), está rodeado igualmente de muchos condicionantes, tales como la edad del tejido analizado, el tamaño de la muestra, el efecto del ambiente, la producción del momento, etc. Pero, lo más importante es que, al conocer la concentración de un cierto elemento en el tejido de la planta, se debe saber interpretar el resultado adecuadamente para luego de-

cidir si se está ante una deficiencia o un rango adecuado, o quizás, una toxicidad.

Este manual ha sido preparado para resolver toda esa problemática. Fue escrito por varios especialistas de Australia y Nueva Zelanda, quienes hicieron extensas revisiones de literatura sobre el tema.

El libro se inicia con una sección de conceptos y principios que rigen la interpretación del análisis de plantas. A continuación, se presenta un capítulo que describe los síntomas de la deficiencia y toxicidad de nutrimentos en las plantas. Sigue otra sección con recomendaciones sobre cómo hacer un buen muestreo de una planta o una plantación, cómo manejar la muestra y cómo analizarla.

Después de una breve descripción de los términos y abreviaturas usadas en el libro, se inicia una serie de cinco capítulos en los que se tratan los cultivos, clasificados en cultivos de climas templados y subtropicales, pastos, frutales, hortalizas y ornamentales.

En cada uno de estos capítulos se hace una pequeña introducción y a continuación se presenta un cuadro en el que, para cada cultivo, se da el nutrimento, el estado de crecimiento de la planta, la parte de la planta, el medio en el que está la planta y los valores experimentales encontrados en niveles de deficiencia, marginalidad, crítico, adecuado, alto y tóxico. Las últimas columnas del cuadro se refieren al país en donde se obtuvo el dato, la referencia respectiva y algún comentario adicional.

Con ese cuadro, es posible comparar, por ejemplo, si el resultado de un análisis de hojas de caña de azúcar que arroja un 0.20 por ciento de fósforo, compara adecuadamente con análisis similares hechos en Australia, Estados Unidos o Brasil, en tejido de igual o similar edad, y así determinar el nivel en que se encuentra este elemento en su muestra.

La literatura revisada es muy extensa y los cultivos incluidos son cerca de 150. No es un libro de texto; es un manual y como tal, fue diseñado para un uso práctico y sencillo. El propósito de los autores fue muy bien logrado.

CARLOS ENRIQUE FERNANDEZ
IICA, CORONADO

RAINTREE, J.B. 1987. Land, trees and tenure. Nairobi, Kenia, ICRAF and the Land Tenure Center. 412 p.

El libro está basado en la conferencia con el mismo nombre realizada en Nairobi, Kenia, entre el 27 y 31 de mayo de 1985. La obra está dividida en cinco partes:

- Aspectos generales.
- Ejemplos de casos en Asia
- Ejemplos de casos en Africa
- Ejemplos de casos en América Latina, y
- Discusiones de los grupos de trabajo

Entre los artículos del primer capítulo se pueden citar:

- Tenencia de la tierra y Sistemas Agroforestales (SAF)
- Aspectos de tenencia de la tierra y Análisis Estructural de SAF.
- Relaciones entre SAF y los sistemas de uso de la tierra
- Implicaciones entre mujeres, árboles y tenencia en la investigación, y el desarrollo de SAF.
- Aspectos legales del uso de la tierra en proyectos forestales y SAF

De esta lista se desprende que, en la conferencia, se han tratado con énfasis aspectos jurídicos y legales de los SAF. Las implicaciones de los temas son múltiples, desde la presentación de las definiciones y clasificación de los SAF (silvoagrícolas, silvopastoriles, etc.) dentro del marco de los sistemas de uso de la tierra, sus potenciales, limitaciones etc. El desarrollo de las poblaciones conlleva a una degradación de los suelos y como parte de la solución, se proponen los SAF. Los problemas involucrados de la tenencia de la tierra (propiedad, invasión, expansión, posesión, etc.) son de carácter jurídico muy difícil. Los aspectos de la seguridad social y económica, dentro del marco de la legislación de las comunidades, es múltiple. La mujer, como fuente de mano de obra y miembro de la comunidad, se trata con mucho detalle.

Dentro de los ejemplos de caso, se describen detalles de SAF en Ghana, Nigeria, Zaire, Kenia, Niger, Mali, Burkina Faso y Sudán en Africa. Los ejemplos de caso, correspondientes a Asia, se refiere a SAF en India, Nepal, Tailandia, Indonesia y Filipinas. Como ejemplos de América Latina, se describen ejemplos de caso en México, Honduras, República Dominicana y Haití. Muchos problemas y detalles jurídicos de los SAF y sus ejemplos regionales y nacionales, se describen con detalle.

Los temas tratados se discutieron a fondo en grupos de trabajo y se presentan los detalles en forma regional (Africa, Asia, América Latina) y en forma integrada. La comparación regional indica que, entre los continentes, existen divergencias muy notables. Las reglamentaciones nacionales son muy amplias, la organización forestal es muy diversa entre los diferentes ministerios. Se discuten con detalle los proyectos de desarrollo de SAF a desarrollarse, las necesidades de investigación, las fuentes y recursos, especialmente de los donantes nacionales e internacionales.

El libro es, sin duda, una contribución interesante. Aquellos científicos y colaboradores de instituciones trabajando en SAF encontrarán muchas nuevas ideas sobre los aspectos legales de este marco de trabajo.

H.W. FASSBENDER
FACULTAD TÉCNICA FORESTAL
GOTINGA, REP. FED. ALEMANIA

BLAKEMORE, L.C.; SEARLE, P.L.; DALY, B.K. 1987. Methods for chemical analysis of soils. New Zealand Soil Bureau Scientific Report no. 80. 103 p.

Este volumen representa, en la forma presente, la tercera versión de un manual para análisis de suelos. El grupo de suelos de Nueva Zelanda, con muy buena reputación, especialmente en lo que se refiere a suelos volcánicos, presenta en esta obra el resumen de su experiencia en este campo.

El volumen, en trece capítulos, presenta un excelente resumen de las técnicas de análisis químico, tanto para fines de pedología como desde el punto de vista de fertilidad de suelos. Los métodos incluyen, tanto el procedimiento manual para las determinaciones de los diferentes elementos, como una forma automatizada diseñada para análisis de rutina para grandes cantidades de muestras.

En todo el libro se evidencia la experiencia y la competencia de los tres autores, lo que lo hace una referencia muy útil, particularmente para quienes estudian los suelos de origen volcánico. El resumen representa muchos años de experiencia de este grupo que se ha distinguido por sus investigaciones de Andisoles y suelos similares.

Los capítulos contienen breves introducciones teóricas, los métodos para preparar los reactivos requeridos para los métodos descritos, descripciones precisas de los procedimientos para las determinaciones y breves bibliografías.

Los trece capítulos del volumen se inician con uno sobre el factor de humedad, dedicado a establecer en forma precisa y en base seca, los resultados obtenidos.

El segundo capítulo, uno de los más breves, estudia la determinación del pH del suelo.

La determinación del carbono orgánico es el tópico del tercer capítulo, el cual incluye un método para C extractable con pirofosfato, determinación necesaria para clasificar los suelos con base en la Taxonomía de Suelos.

El Capítulo Cuarto se dedica a la determinación de las diferentes formas de nitrógeno.

El Capítulo Quinto, el segundo más largo del volumen, se dedica a la determinación del fósforo; presenta, tanto métodos para determinación total de este elemento como a su forma orgánica y a tres formas extraíbles.

El capítulo más largo del volumen, el sexto, se dedica a propiedades de capacidad de cambio de suelo.

En el Capítulo Séptimo se examinaron las formas de reserva de los cationes potasio y magnesio. Esta información, de considerable importancia práctica, no se encuentra en libros más voluminosos sobre análisis de suelo.

La determinación de diferentes formas extraíbles de hierro, aluminio y calcio, es el contenido del octavo capítulo. Estas determinaciones son muy importantes en la pedología y clasificación de los suelos.

El Capítulo noveno se refiere a la determinación de las sales solubles y la conductividad de suelos. También, se sugieren en este capítulo métodos para cationes solubles en agua y sulfato en la misma forma.

La determinación del carbonato de calcio, por diversos métodos, es el tema del décimo capítulo.

En el Capítulo Undécimo, se informa sobre la determinación del azufre y del sulfato en sus formas solubles. Aquí, a diferencia de los otros capítulos, no se incluye la determinación total de este elemento que podría haber sido una adición interesante a este capítulo.

El análisis del mantillo y de los suelos orgánicos es el tópico de un doceavo capítulo (muy breve).

El Capítulo Treceavo da recomendaciones basadas en resultados y su interpretación, bajo condiciones de Nueva Zelanda.

En general, ésta es una publicación muy útil. Es una lástima que no tenga información sobre la determinación de oligoelementos, a pesar de que existe bastante información sobre este tópico en Nueva Zelanda. El autor de la presente reseña estima que este volumen es una adición muy valiosa a la bibliografía sobre análisis de suelos y lo recomienda a todos los investigadores que trabajan en este campo.

ELEMER BORNEMISZA
UNIVERSIDAD DE COSTA RICA