

TURRIALBA

REVISTA INTERAMERICANA DE CIENCIAS AGRICOLAS

VOLUMEN 43

TRIMESTRE OCTUBRE-DICIEMBRE 1993

NUMERO 4

CODEN: TURRAB 43(4):235-295

Encalado y retención de fósforo en suelos derivados de cenizas volcánicas. J. Alvarado, L. J. Cajuste.....	235
Supervivencia y reproducción de la palomilla dorso de diamante en crucíferas. M. D. Salas, B. Mendoza, E. Salazar, V. M. Rivera.....	242
Low-cost soil fertility management practices for cassava. T. V. R. Nayar, B. Mohan Kumar, V. P. Potty.....	247
Phosphate desorption from some Argentine soil samples. I. Constant temperature E. J. Bottani, E. A. Fertita, L. E. Cascarini de Torre.....	254
Frecuencia óptima de riego y fertilización en <i>Aloe vera</i> L. L. M. Yépez, M. L. Díaz, E. Granadillo, F. Chacín.....	261
Effects of <i>Bauhinia monandra</i> (Kurz) seed extracts on yield, morphology and anatomy of cassava plants. Z. Russom.....	268
Fraciones químicas de micronutrientes en el suelo en un agroecosistema de caña de azúcar. O. Vallejo-Torres, D. López-Hernández.....	276
Base de datos sobre plaguicidas con énfasis en Centroamérica (PLAG-CA). J. E. García.....	284
Potencial use of <i>Azospirillum</i> as biofertilizer. Y. Bashan.....	286
Reseñas de libros.....	246, 275, 285, 292, 293



INSTITUTO INTERAMERICANO DE COOPERACION PARA LA AGRICULTURA

San José, Costa Rica

CR ISSN 0041 - 4360

Encalado y Retención de Fósforo en Suelos Derivados de Cenizas Volcánicas¹

J. Alvarado*, L.J. Cajuste**

ABSTRACT

The effect of phosphorus and lime application on the extractability and retention of phosphorus was studied in soils derived from volcanic ash in Tancitaro, Michoacan, Mex. Extractable P was evaluated and the b (maximum adsorption capacity) and k (constant related to bonding energy) parameters of the Langmuir isotherm were determined. There was not a significant effect of the application of lime and phosphorus on P extractability and parameter b, although a slight reduction of phosphorus adsorption was observed in some soils. Bonding energy decreased with liming and phosphorus application.

Palabras clave: Cal, fósforo disponible, andosoles, suelos ácidos, capacidad máxima de adsorción.

INTRODUCCIÓN

La alta capacidad de retención y la baja disponibilidad de P son los principales problemas que se presentan en los suelos derivados de cenizas volcánicas.

La retención de P involucra mecanismos más complejos que la simple atracción electrostática. Uno de dichos mecanismos se conoce como intercambio de "ligandos" y consiste en el intercambio de iones fosfato con iones hidroxilo en los bordes de los hidróxidos de Al y Fe (Parfitt 1978; White 1980). Las reacciones de intercambio de "ligandos" implican competencia entre los diferentes aniones en el suelo (aniones orgánicos, bicarbonato, nitrato, silicato, sulfato, fosfato e hidroxilo) por los sitios de ad-

RESUMEN

Se estudió en laboratorio el efecto de la aplicación de cal y P sobre la retención y extracción de este último en suelos derivados de cenizas volcánicas en Tancitaro, Michoacán, Méx. Se evaluó el P extractable y se estimaron los parámetros b (capacidad máxima de adsorción) y k (constante relacionada con la energía de enlace) de la isoterma de Langmuir. El efecto de la aplicación de cal y P sobre la extracción de P y el parámetro b no fue significativo, aunque se observó una ligera reducción de la adsorción de P en algunos suelos. La energía de enlace disminuyó con el encalado y la aplicación de fósforo.

sorción. Aun cuando el fosfato es adsorbido fuertemente en la mayoría de los suelos, puede verse desplazado parcialmente por los aniones AsO_4^{3-} , SeO_3^{2-} , HCO_3^- , OH^- y algunos aniones orgánicos (Bowden *et al.* 1980; White 1980).

En la región productora de aguacate de Tancitaro, Michoacán, los suelos presentan una alta capacidad de retención de P, en gran parte de origen volcánico, que se refleja en la baja disponibilidad de este nutriente. En la zona, la aplicación de cal es una práctica común; sin embargo no se cuenta con trabajos sobre el efecto del encalado. Análisis de suelos de esa zona muestran que el contenido de P es mayor en aquellos donde se aplicó cal. Ante esta situación, el objetivo del presente trabajo fue estudiar el efecto de la aplicación de cal y P en la retención y extracción del nutriente P en los suelos de Tancitaro, Michoacán.

La aplicación de cal es considerada por algunos investigadores como una alternativa para contrarrestar el problema de retención de P (López-Hernández y Burnham 1974; Okajima 1977; Smyth y Sánchez

¹ Recibido para publicar el 1 de junio de 1993

* Investigador Docente; Centro de Edafología, Colegio de Postgraduados, Montecillo, Méx

** Profesor Investigador Titular; Centro de Edafología, Colegio de Postgraduados, Montecillo, Méx

1980; Woodruff y Kamprath 1965). Sin embargo, Amarasiri y Olsen (1973), Mokwunye (1975), Murrman y Peech (1969), Robarge y Corey (1979) señalan que el encalado incrementa la retención de fósforo. Otros autores mencionan que ambos fenómenos ocurren, aunque en suelos diferentes (Holford 1983; Le Mare y León 1989) o incluso en un mismo suelo con diferentes niveles de cal (López-Hernández y Burnham 1974; Sims y Ellis 1983; White y Taylor 1977). Barrow (1987) indica que las diferencias relacionadas con el efecto del encalado en la retención de P son el resultado después de trabajar con suelos de distinta naturaleza, con diferentes niveles de cal (se pueden tener efectos opuestos al encalar de pH 4.5 a 5.5 y de pH 5.5 a 7.0) y con soluciones electro-líticas de diversa composición para medir la adsorción.

En México, el efecto del encalado en la retención del P ha sido poco estudiado. Miramontes y Ortega (1972) señalan que la aplicación de CaCO_3 y/o CaSiO_3 aumentó la capacidad de retención de P en suelos de la Chontalpa, en Tabasco, y de Chapingo, mientras que la redujo en uno de Camémbaro, Michoacán.

Alvarado (1990) estudió el efecto del encalado en la retención de P en cinco suelos medianamente fijadores de ese nutrimento en el estado de México; los resultados mostraron que el encalado incrementó la capacidad máxima de adsorción del elemento en la mayoría de los suelos estudiados.

Cajuste *et al.* (1987) mencionan que la aplicación de cal en suelos oxisoles produjo una disminución en la capacidad de retención de P, evaluada a través de la isoterma de Langmuir.

El Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT) realizó un estudio sobre el efecto del encalado (Laird 1984), junto con la aplicación de gallinaza y P en el rendimiento de maíz en suelos de la Sierra Tarasca (altamente fijadores de P). Sus resultados mostraron que el encalado incrementó el rendimiento del maíz en todos los sitios de prueba. Sin embargo, la interacción entre P y cal fue negativa, lo cual pudo deberse a un incremento en la retención del P aplicado, causado por el encalado.

MATERIALES Y MÉTODOS

El presente trabajo se efectuó con siete suelos (andosoles) de Tancitaro, con alta capacidad de reten-

ción de fósforo. Los suelos 1, 2, 3 y 4 proceden de un muestreo en la localidad de Zirimbo, ubicada en las coordenadas 19°18' latitud norte y 102°19' longitud oeste, con una altitud de 1950 msnm, y los suelos 5, 6 y 7 son de la localidad El Cuate, situada en las coordenadas 19°14' latitud norte y 102°18' longitud oeste, con una altitud de 1700 msnm; ambas localidades pertenecientes al municipio de Tancitaro. Los suelos de Zirimbo se clasifican como andosoles húmicos y los de El Cuate como andosoles ócricos, según la Coordinación General de los Servicios Nacionales de Estadística, Geografía e Informática (1983a; 1983b). El muestreo de suelos se realizó a una profundidad de 0 cm a 30 centímetros. Las muestras se secaron a la sombra y a temperatura ambiente; después fueron pasadas por un tamiz malla 10 (aberturas de 2 mm). Los suelos se caracterizaron de acuerdo con el pH en agua, relación suelo-agua 1:2 (Jackson 1976); materia orgánica (Jackson 1976); contenido de arcilla (Kalra y Maynard 1991); densidad aparente (Kalra y Maynard 1991); P extractable Bray 1 (Jackson 1976); capacidad de retención de P (Alvarez 1982) y Ca, Mg, K y Na intercambiables (Jackson 1976).

Se estableció un experimento factorial con dos factores y tres niveles cada uno; cal (0 mg, 150 mg y 300 mg de CaCO_3 por 100 g de suelo) y, por duplicado, P (0 mg, 200 mg y 400 mg por kilogramo) (Cuadro 1).

Cuadro 1. Conjunto factorial de los tratamientos aplicados.

Tratamiento	(mg CaCO_3 . 100 g ⁻¹ de suelo)	P (mg . kg ⁻¹)
1	0	0
2	0	200
3	0	400
4	150	0
5	150	200
6	150	400
7	300	0
8	300	200
9	300	400

La cal y el fósforo se aplicaron en diferentes tiempos. Los suelos fueron encalados y posteriormente incubados a capacidad de campo y temperatura ambiente, durante 45 días. Al término de la incubación, fueron secados. Entonces se aplicó el P en solución, en la cantidad de agua necesaria para mantenerlos a

capacidad de campo y se incubaron durante 15 días. Posteriormente se secaron a temperatura ambiente. En los suelos incubados se determinó el pH en agua, relación 1:2 (Jackson 1976), P extractable-Olsen (Jackson 1976) y los parámetros b (capacidad máxima de adsorción de P) y k (constante relacionada con la energía de retención) de la isoterma de adsorción de Langmuir (Fox y Kamprath 1970).

Se aplicó un análisis de variancia de P extractable a las variables b y k, con el fin de evaluar el efecto de la aplicación de cal y P sobre ellas.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En el Cuadro 2 se muestran algunas de las características de los suelos estudiados. Los suelos son moderadamente ácidos de acuerdo con su pH (5.7 a 6.4). Los de origen volcánico presentan bajo conte-

nido de materia orgánica (3.3% a 6.0%); densidad aparente menor de 1 mg m⁻³; alta capacidad de fijación relativa de P (86% a 95%); bajo contenido de P extractable (menos de 1 mg. kg⁻¹); contenidos bajos de Ca, medios de Mg y altos de K (Etchevers 1989).

pH del suelo

En el Cuadro 3 se muestran los valores de pH de los suelos incubados, durante 45 d, con cal y fósforo. En general, el pH promedio se elevó de 6.0 a 6.3 y 5.6, con la aplicación de 150 mg y 300 mg de CaCO₃ por cada 100 g de suelo.

Fósforo extractable

El Cuadro 4 muestra los valores de P extraído (P-Olsen) de los suelos después del encalado y la aplicación de fósforo. La extracción de P no presen-

Cuadro 2. Algunas características de los suelos estudiados.

Suelo	pH H ₂ O 1:2	DA mg.m ⁻³	MO	Fijación de P %	Arc.	P Bray 1 mg.kg ⁻¹	Ca	mg cmol(+)	K	Na kg ⁻¹	CIC efect.
1	6.1	0.90	4.8	90	26	<1	3.8	1.7	0.9	0.1	6.5
2	6.4	0.90	5.8	86	31	<1	4.7	1.8	1.7	0.3	8.4
3	6.4	0.91	6.0	88	28	<1	4.0	1.7	1.8	0.4	7.9
4	6.1	0.88	5.0	92	30	<1	3.7	0.9	0.9	0.1	5.5
5	5.7	0.86	4.6	95	31	<1	4.9	1.1	0.6	0.1	6.6
6	5.7	0.90	3.3	91	26	<1	5.2	1.7	1.0	0.1	8.0
7	6.1	0.85	3.8	91	25	<1	5.5	1.6	0.9	0.2	7.3

DA = densidad aparente; MO = materia orgánica.

Cuadro 3. Valores de pH en agua (relación 1:2) de los suelos incubados con CaCO₃ y P (promedio de dos determinaciones).

Suelo	0 CaCO ₃			150 mg CaCO ₃ , 100 g			300 mg CaCO ₃ , 100 g		
				P aplicado por mg.kg ⁻¹					
	0	100	200	0	100	200	0	100	200
1	6.0	6.0	6.0	6.3	6.4	6.3	6.6	6.6	6.6
2	6.3	6.3	6.3	6.6	6.6	6.6	6.7	6.7	6.7
3	6.3	6.3	6.2	6.4	6.4	6.3	6.7	6.8	6.7
4	6.0	6.0	6.0	6.4	6.4	6.3	6.7	6.7	6.6
5	5.7	5.7	5.6	6.1	6.1	6.1	6.5	6.5	6.4
6	5.7	5.7	5.7	6.0	6.1	6.0	6.6	6.5	6.5
7	6.0	6.0	6.0	6.5	6.5	6.4	6.7	6.7	6.7

tó un efecto significativo con la cal, pues el P extraído, en cada nivel donde se aplicó, fue más o menos el mismo que en los diferentes niveles de cal. El análisis de variancia de dicha variable (datos no presentados) permitió confirmar lo indicado anteriormente. Estos resultados coinciden con lo señalado por Miramontes y Ortega (1972), en el sentido de que la aplicación de cal no mostró un marcado efecto sobre el P extraído en un suelo derivado de cenizas volcánicas. Sin embargo, de acuerdo con Bowden *et al.* (1980), se esperaba que el P extraído aumentara con el incremento del pH, debido a un crecimiento de la superficie de carga negativa y, por ende, a una mayor repulsión aniónica. Tal vez, el incremento en el pH no fue suficiente como para provocar este efecto. La aplicación de P, a diferencia del encalado, sí mostró un claro efecto en el P extraído, pese a la alta capacidad de retención de P que presentan los suelos.

Capacidad máxima de adsorción (b)

El Cuadro 5 muestra los valores de capacidad máxima de retención de P obtenidos después de la aplicación de cal y fósforo.

Con base en el análisis de variancia de esta variable (datos no presentados) el efecto del encalado no fue significativo. No obstante, en el Cuadro 5 se aprecia que la capacidad máxima de adsorción tendió a subir en algunos suelos mientras que en otros, presentó una ligera disminución.

La Fig. 1 muestra el comportamiento de la adsorción de P con relación al encalado. Las curvas del

suelo 3 muestran que el encalado tendió a incrementar la adsorción en los dos niveles de cal empleados; lo cual se atribuye a la formación de hidróxidos de aluminio y/o fosfatos de calcio (Amarasiri y Olsen 1973; Haynes 1983). En el suelo 5 (Fig. 1b) la adsorción de P disminuyó en todas las concentraciones, con el encalado. La mayor reducción se presentó al aplicar 300 mg CaCO_3 100 g^{-1} .

Similares resultados obtuvieron Le Mare y León (1989) en cinco suelos de Colombia, que coinciden con Haynes (1982) en el sentido de que el efecto del encalado sobre la adsorción de P puede ser variable. Tal vez, el incremento del pH (de 6.0 a 6.3 y 6.6 en promedio) con los niveles de cal aplicados no fue suficiente para provocar una reducción significativa de la adsorción de P, tal como era de esperarse de acuerdo con el modelo de adsorción para suelos con carga variable de Bowden *et al.* (1980).

La aplicación de P tampoco presentó un efecto significativo, conforme al análisis de variancia (datos no presentados), sobre la capacidad máxima de adsorción de fósforo. No obstante, en la Fig. 1 se aprecia que la adsorción de P tendió a ser menor, tanto en el suelo 3 como en el 5, con la aplicación del elemento. Este comportamiento, presente en todos los suelos de este estudio, coincide con los resultados de Barrow (1974), quien menciona que la aplicación de P produjo una reducción de su adsorción en el suelo, pues el P retenido en los sitios de adsorción los bloquea de futuras reacciones con fosfato. Smyth y Sánchez (1980) mostraron que el P provoca una reducción mayor de su adsorción que la producida por el encalado con CaCO_3 o CaSiO_3 . La aplicación de cal y P produjo un efecto combinado en todos los

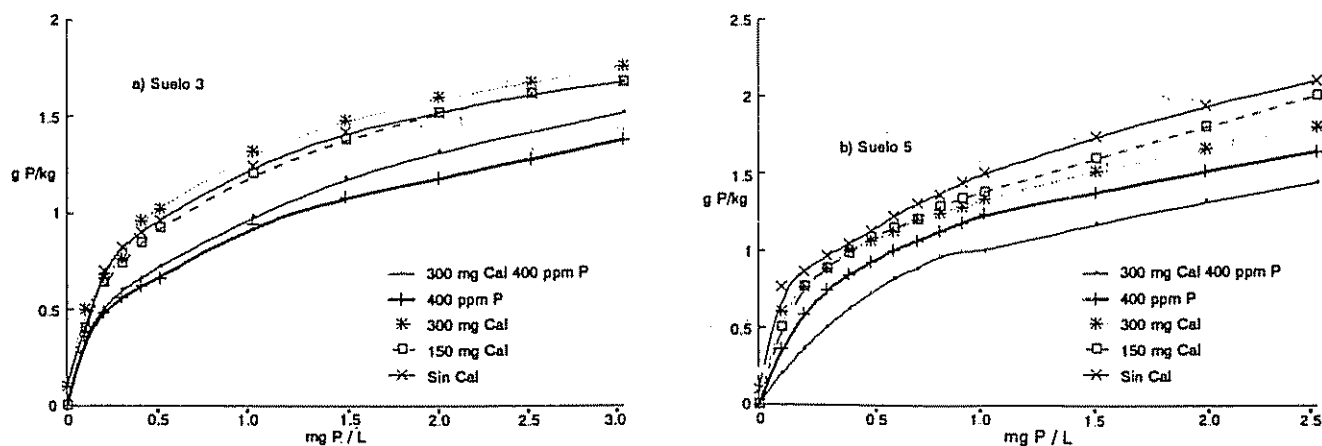


Fig. 1. Relación del P adsorbido con el P en solución a diferentes niveles de cal y fósforo.

Cuadro 4. Fósforo extraído mediante el método de Olsen en suelos incubados con CaCO_3 y P (promedio de dos determinaciones).

Suelo	0 CaCO_3			150 mg CaCO_3 100 g ⁻¹ p aplicado mg.kg ⁻¹			300 mg CaCO_3 100 g ⁻¹		
	0	200	400	0	200	400	0	200	400
					P mg.kg ⁻¹				
1	t	31	73	t	31	64	t	31	66
2	4	40	67	4	35	77	3	47	73
3	t	33	63	t	25	63	t	38	62
4	t	33	45	t	38	58	t	29	59
5	t	24	55	t	25	58	t	29	59
6	t	22	59	t	22	65	t	30	57
7	t	28	62	t	31	60	t	31	64

t = menos de 1 mg.kg⁻¹Cuadro 5. Valores de capacidad máxima de adsorción derivados de la isoterma de Langmuir, de suelos incubados con CaCO_3 y P (promedio de dos determinaciones).

Suelo	0 CaCO_3			150 mg CaCO_3 100 g ⁻¹ P aplicado por mg.kg ⁻¹			300 mg CaCO_3 100 g		
	0	200	400	0	200	400	0	200	400
					b mg P.kg ⁻¹ suelo				
1	2020	2033	2062	2010	1957	2062	2036	2012	2062
2	2064	2012	2114	2047	1996	1957	2056	2058	2160
3	2080	2020	2053	2060	1938	2114	2053	2160	2110
4	2080	2075	1192	2060	2037	2257	2019	2012	2151
5	2009	2024	2141	2162	2123	2037	2051	2053	2123
6	2025	1976	2045	2042	2062	2066	2061	1192	2096
7	1192	2100	2008	2089	2062	2037	1198	2110	2070

suelos, excepto en el 5; la adsorción de P se redujo menos que con la aplicación de sólo P (Fig. 1). Lo anterior pudo ser por la formación de fosfatos de calcio al aplicar P y cal (Harrison y Adams 1987; Haynes 1982).

Constante relacionada con la energía de retención (k)

El encalado, la aplicación de P y la combinación de ambos produjeron una disminución en la constante relacionada con la energía de retención de P (Cuadro 6). Esto indica que la fuerza de enlace de las superficies del suelo con el P, es menor cuando se aplica cal, P o ambos y, por lo tanto, este nutrimento

puede estar más disponible para las plantas (Mehadi y Taylor 1988). El análisis de variancia de esta variable (datos no presentados) confirmó la importancia del efecto de los factores estudiados.

CONCLUSIONES

Aunque los efectos del encalado y la aplicación de P sobre la capacidad máxima de adsorción no fueron estadísticamente significativos, las curvas de adsorción muestran que el encalado tendió a incrementar la adsorción de P en unos suelos y a reducirla en otros. La aplicación de P siempre tendió a disminuir la retención, lo que favoreció una mayor concentración de este nutrimento en solución. Sin embargo, la

Cuadro 6. Valores de la constante (k) relacionada con la energía de retención de P derivado de la isoterma de Langmuir de suelos incubados con CaCO_3 y P (promedio de dos determinaciones).

Suelo	0 CaCO_3			150 mg CaCO_3 100 g ⁻¹ P aplicado por mg.kg ⁻¹			300 mg CaCO_3 100 g ⁻¹		
	0	200	400	0	200	400	0	200	400
	k L.g ⁻¹ P								
1	2770	1426	922	2569	2129	882	2285	1336	1321
2	1821	1085	625	1824	1222	959	1828	1036	794
3	1823	1547	1002	1874	2253	790	2294	998	1063
4	2695	1826	1679	2392	1642	888	3432	1875	1227
5	4982	2923	1583	2465	1812	1664	3046	2435	948
6	2639	2100	1486	2150	1410	796	2138	1825	1787
7	3124	2147	977	1907	1366	1947	2780	1328	1417

aplicación de cal y P fue menos efectiva en la mayoría de suelos estudiados, que la aplicación de solo fósforo. Los valores de la constante k permiten suponer que la aplicación de cal y/o fósforo facilita una mayor **disponibilidad** de P al disminuir la fuerza con que es retenido.

LITERATURA CITADA

- ALVARADO, L.J. 1990. Efecto de la cal en la disponibilidad de P y los componentes responsables de su fijación. Tesis de Maestría en Ciencias. Méx., Montecillo. Centro de Edafología, Colegio de Postgraduados. 146 p.
- ALVAREZ, V. H. 1982. Efecto de los factores cantidad, intensidad y capacidad amortiguadora de fosfato en la evaluación del fósforo disponible, de suelos derivados de cenizas volcánicas de la Meseta Tarasca, Edo. de Michoacán. Tesis de Doctorado en Ciencias. Méx., Chapingo, Centro de Edafología, Colegio de Postgraduados. 300 p.
- AMARASIRI, S.L.; OLSEN, S.R. 1973. Liming as related to solubility of P and plant growth in an acid tropical soil. *Soil Science Society of America Proceedings* 37:716-721.
- BARROW, N.J. 1974. Effect of previous additions of phosphate on phosphate adsorption by soils. *Soil Science* 118:82-89.
- BARROW, N.J. 1987. Reactions with variable-charge soils. *Fertilizer Research* 14:1-100.
- BOWDEN, J.W.; NAGARAJAH, S.; BARROW, N.J.; POSNER, A.M.; QUIRK, J.P. 1980. Describing the adsorption of phosphate, citrate and selenite on a variable-charge mineral surface. *Australian Journal of Soil Research* 18:49-60.
- CAJUSTE, L.J.; ALVARADO, L.J.; OLMEDO, B.M.C. 1987. Effect of liming and phosphate fertilizers on the phosphorus retention of some Oxisols. *Agronomy Abstracts (EE UU)* 32:167.
- COORDINACIÓN GENERAL DE LOS SERVICIOS NACIONALES DE ESTADÍSTICA, GEOGRAFÍA E INFORMÁTICA. 1983a. Carta edafológica E13B49. Nueva Italia, escala 1:50 000. Méx., Secretaría de Programación y Presupuesto.
- COORDINACIÓN GENERAL DE LOS SERVICIOS NACIONALES DE ESTADÍSTICA, GEOGRAFÍA E INFORMÁTICA. 1983b. Carta edafológica E13B39. Uruapan, escala 1:50 000. Méx., Secretaría de Programación y Presupuesto.
- ETCHEVERS, B.J.D. 1989. Interpretación de los análisis químicos de suelo. Chapingo, Méx., Centro de Edafología, Colegio de Postgraduados 16 p. (mimeo).
- FOX, R.L.; KAMPATH, E.J. 1970. Phosphate sorption isotherms for evaluating the phosphate requirements of soils. *Soil Science Society of America Proceedings* 34:902-907.
- FRIESEN, D.K.; JUO, A.S.R.; MILLER, M.J. 1980. Lime and lime phosphorus-zinc interactions in two Nigerian Ultisols. I. Interactions in the soil. *Soil Science Society of America Journal* 44:1221-1226.
- HARRISON, R.B.; ADAMS, F. 1987. Solubility characteristics of residual phosphate in a fertilized and limed Ultisol. *Soil Science Society of America Journal* 51:963-969.
- HAYNES, R.J. 1982. Effects of liming on phosphate availability in acid soils. *Plant Soil* 68:289-308.
- HAYNES, R.J. 1983. Effect of lime and phosphate applications on the adsorption of phosphate, sulfate, and molybdate by a Spodosol. *Soil Science* 135:221-227.

- HOLFORD, I C R. 1983. Effects of lime on phosphate sorption characteristics, and exchangeable and soluble phosphate in fifteen acid soils. *Australian Journal of Soil Research* 21:333-342.
- JACKSON, M L. 1976. *Análisis químico de suelos*. 3a ed. Trad. al español por J.M. Beltrán. Barcelona. Omega 662 p.
- KALRA, Y P ; MAYNARD, D G. 1991. *Methods manual for forest soil and plant analysis*. For Can., Northwest Reg.; North For. Cent., Edmonton, Alberta. Inf. Report NOR-X-319. 116 p.
- LAIRD, J R. 1984. 25 años de investigación agrícola en la Sierra Tarasca, estado de Michoacán. In *Los suelos de ando y sus implicaciones en el desarrollo agrícola de la Sierra Tarasca*. 2a edición. A.T. Santos, O. Miranda J. (Eds.). Chapingo, Méx. Centro de Edafología, Colegio de Postgraduados. p. 155-177.
- LE MARE, P H ; LEON, L A. 1989. The effects of lime adsorption and desorption of phosphate in five Colombian soils. *Journal of Soil Science* 40:59-69.
- LOPEZ-HERNANDEZ, D ; BURNHAM, C P. 1974. The effect of pH on phosphate adsorption in soils. *Journal of Soil Science* 25:207-216.
- MEHADL, A A ; TAYLOR, R W. 1988. Phosphate adsorption by two highly-weathered soils. *Soil Science Society of America Journal* 52:627-632.
- MIRAMONTES, B ; ORTEGA, T E. 1972. Efectos del carbonato y silicato de calcio sobre el rendimiento de sorgo y algunas propiedades químicas en tres suelos de México. *Agrociencia Serie C (Méx.)*. p. 81-94.
- MOKWUNYE, V. 1975. The influence of pH on the adsorption of phosphate by soils from Guinea and Sudan savannah zones of Nigeria. *Soil Science Society of America Proceedings* 39:1000-1002.
- MURRMANN, R P ; PEECH, M. 1969. Effect of pH on labile and soluble phosphate in soils. *Soil Science Society of America Proceedings* 33:205-210.
- OKAJIMA, H. 1977. Reclamation and improvement of soils derived from volcanic ash. In *Soil derived from volcanic ash in Japan*. Y. Ishizuka, C.A. Black (Eds.). Méx. CIMMYT. p. 64-84.
- PARFITT, R L. 1978. Anion adsorption by soils and soil materials. *Advances in Agronomy* 30:1-50.
- ROBARGE, W P ; COREY, R B. 1979. Adsorption of phosphate by hydroxy-aluminum species on a cation exchange resin. *Soil Science Society of America Journal (EE UU.)* 43:481-487.
- SIMS, J T ; ELLIS, B G. 1983. Adsorption and availability of phosphorus following the application of limestone to an acid, aluminous soil. *Soil Science Society of America Journal* 47:888-893.
- SMYTH, T J ; SANCHEZ, P A. 1980. Effects of lime, silicate, and phosphorus applications to an Oxisol on phosphorus sorption and ion retention. *Soil Science Society of America Journal* 44:500-505.
- WHITE, R E ; TAYLOR, A W. 1977. Effect of pH on phosphate adsorption and isotopic exchange in acid soils at low and high additions of soluble phosphate. *Journal of Soil Science* 28:48-61.
- WHITE, R E. 1980. Retention and release of phosphate by soil and soil constituents. In *Soil and agriculture*. P.B. Tinker (Ed.). Oxford, London. Blackwell Scientific Publications. p. 71-114.
- WOODRUFF, J R ; KAMPRATH, E J. 1965. Phosphorus adsorption maximum as measured by the Langmuir isotherm and its relationship to phosphorus availability. *Soil Science Society of America Proceedings* 29:148-150.

Supervivencia y Reproducción de la Palomilla Dorso de Diamante en Crucíferas¹

M.D. Salas*, B. Mendoza*,
E. Salazar*, V.M. Rivera*

ABSTRACT

Survival curves and parameters population of *Plutella xylostella* were determined in cauliflower, broccoli, sprouts, purple cabbage, Brussels sprouts, mustard, radish and Mallorca radish. The highest percentage of survival of larva was on cauliflower and the lowest on Brussels sprouts. The highest r_m was on cauliflower (0.162) and the lowest was on Brussels sprouts (0.066); whereas the highest R_0 was on cauliflower (36.35) and the lowest on Mallorca radish (6.10). The shortest generation time (G) was on purple cabbage (22.41) and the longest generation time was on Brussels sprouts (28.55).

Key words: *Plutella xylostella*, survival and reproduction, crucifers.

RESUMEN

Se determinaron las curvas de supervivencia y parámetros poblacionales de *Plutella xylostella* en coliflor, brócoli, col, col morada, col de Bruselas, mostaza, rábano y rábano cuello de Mallorca. La supervivencia más alta se presentó en coliflor y la menor en col de Bruselas. La más alta r_m se presentó en coliflor (0.162) y la menor en col de Bruselas (0.066); en tanto que la R_0 más alta se obtuvo en coliflor (36.35) y la menor, en rábano cuello de Mallorca (6.10). Respecto al tiempo generacional (G), el más corto fue en col morada (22.41) y el más prolongado en col de Bruselas (28.55).

Palabras clave: *Plutella xylostella*, supervivencia y reproducción, crucíferas.

INTRODUCCIÓN

En el altiplano central de México los cultivos de brócoli y coliflor ocupan una superficie anual de 17 000 ha y 3 000 ha respectivamente, generando gran número de mano de obra.

Uno de los principales problemas en la producción agrícola es el ataque de insectos fitófagos, entre los que se destaca la palomilla dorso de diamante, *P. xylostella*; este lepidóptero, aunque no llega a disminuir los rendimientos, contamina el producto con el consecuente rechazo de la cosecha en los sitios de recepción.

El rango de hospederos de este insecto comprende las plantas que contienen aceite de mostaza y sus glucósidos, los cuales son esenciales para estimular la ingestión (Gupta y Thorsteinson 1960). Se ha observado que la supervivencia de las larvas de los insectos fitófagos depende en gran medida de la habilidad de la hembra para encontrar un hospedero adecuado (Feeny *et al.* 1983). En el caso de los lepidópteros, la hembra posee un comportamiento y un mecanismo fisiológicos refinados con los que localiza un hospedero conveniente para la oviposición (Ramasmamy 1988); por su parte, la planta hospedera es el principal factor para la producción de huevecillos (Solomon 1988). Se debe tomar en cuenta, además, que la longevidad y la capacidad reproductiva de cualquier insecto sufren, en mayor parte, los efectos del tipo de alimento (Hassanein *et al.* 1972).

Es importante conocer la supervivencia y la fertilidad de este lepidóptero en diversas plantas hospederas, particularmente en las crucíferas, para contribuir a la generación de información con el fin de estructurar un programa de control integrado de esta plaga. Con ese propósito, el objetivo de este trabajo fue de-

¹ Recibido para publicar el 1 de setiembre de 1992.
El presente trabajo se realizó gracias al apoyo de la Compañía Gigante Verde, S.A.

* Universidad de Guanajuato, Escuela de Agronomía y Zootecnia; Apartado Postal 311, Irapuato 36500; Guanajuato, Méx.

terminar la tasa de supervivencia y reproducción de *P. xylostella* empleando como sustrato alimenticio diferentes especies y variedades de crucíferas.

MATERIALES Y MÉTODOS

El presente trabajo se llevó a cabo en el Laboratorio de Entomología de la Escuela de Agronomía y Zootecnia de la Universidad de Guanajuato (EAZ-UG) en Irapuato, Guanajuato, Méx., entre febrero y mayo de 1989.

Las condiciones ambientales de desarrollo fueron controladas, con una humedad relativa de $45 \pm 3\%$, temperatura de $24 \pm 2^\circ\text{C}$ y un fotoperíodo de 12:12 (L:O).

Como sustrato alimenticio se utilizaron las siguientes crucíferas: coliflor (*Brassica oleracea* var. *botrytis*), brócoli (*B. oleracea* var. *italica*), col (*B. oleracea* var. *capitata*), col morada (*B. oleracea* var. *capitata*), col de Bruselas (*B. oleracea* var. *gemnifera*), mostaza (*B. campestris*), rábano (*Raphanus sativus*), rábano cuello de Mallorca (*Raphanus* sp.).

En cada una de las crucíferas se elaboraron las tablas de vida y de fertilidad a partir de una cohorte de 100 huevos, obtenidos el mismo día de oviposición de una cría de *P. xylostella* mantenida sobre *R. sativus* en laboratorio.

Los 100 huevecillos se colocaron en grupos de 10 sobre hojas tomadas de las plantas con 30 días de desarrollo de la crucífera evaluada.

La hoja con 10 huevecillos se mantuvo en cajas Petri de 90 mm x 15 mm, de manera que el insecto dispusiera de alimento durante su etapa larvaria; en caso necesario, se cambió la hoja.

Para evitar la deshidratación de la hoja, se cubrió el pecíolo con un algodón humedecido en agua estéril.

La tabla de vida se elaboró por medio de una revisión diaria de la cohorte; así se registró la mortalidad del huevo, de la larva, de la pupa y de los adultos conforme avanzaba su ciclo de vida, hasta que murió el último individuo adulto.

Las tablas de fertilidad se obtuvieron al colocar los adultos en un recipiente cilíndrico de vidrio con

500 ml de capacidad y boca ancha, cubierta con una organza fina; dentro del frasco se incluyó un algodón con miel y agua (proporción 1:1) para la alimentación de las palomillas.

En estas condiciones, las hembras ovipositan sobre la organza, lo cual facilitó el conteo y desecho diario de los huevecillos.

La determinación de las tasas de supervivencia y reproducción se hizo con base en la metodología general señalada por Krebs (1985). Las curvas de supervivencia se obtuvieron con el número de sobrevivientes (n_i) y el tiempo (d). Estas curvas se compararon entre sí para detectar diferencias estadísticas mediante una prueba no paramétrica conocida como prueba de Longrank (Méndez *et al.* 1984).

El contenido de proteína de cada especie vegetal se determinó mediante el método Kjeldhal.

RESULTADOS

Supervivencia

Se describen las curvas de supervivencia de las cohortes de *P. xylostella* en las diferentes crucíferas (Fig. 1). Se aprecia que la mortalidad ocurrió gradualmente a lo largo de las etapas de huevo, larva, pupa y adulto en rábano, brócoli y col morada; en tanto que en mostaza y col de Bruselas la mortalidad más alta se presentó en la etapa larvaria, mientras que en las de pupa y de adulto, ocurrió en forma gradual. Para coliflor, col y rábano cuello de Mallorca las etapas de huevecillo, larva y pupa mostraron una baja mortalidad, que se incrementó marcadamente en la fase de adultos.

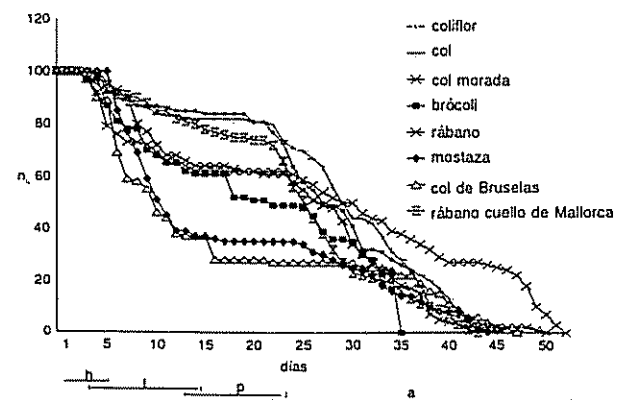


Fig. 1. Supervivencia de *P. xylostella* en crucíferas, en Irapuato, Gto., Méx. (1989).

Cuadro 1. Comparación de las curvas de supervivencia de *P. xylostella* en diferentes sustratos alimenticios.

Sustrato alimenticio	1	2	3	4	5	6	7	8
Coliflor	-	-	-	-	*	*	-	-
Col	-	-	-	-	*	*	*	-
Col morada	-	-	-	*	-	-	-	-
Rábano	-	-	-	-	*	*	*	*
Brócoli	-	-	-	-	-	-	-	-
Mostaza	-	-	-	-	-	-	-	*
Rábano cuello de Mallorca	-	-	-	-	-	-	-	-
Col de Bruselas	-	-	-	-	-	-	-	-

1= Coliflor; 2= Col; 3= Col morada; 4= Rábano; 5= Brócoli;
 6= Mostaza; 7= Rábano cuello de Mallorca; 8= Col de Bruselas
 -: no diferente; *: diferente (*Long - rank* = 0.05)

Las curvas obtenidas de cada una de las crucíferas se compararon entre sí; así se detectaron diferencias significativas (*Logrank*, $\alpha = 0.05$) entre la curva de coliflor y la de brócoli y mostaza; la de col con la de brócoli, mostaza y rábano cuello de Mallorca; col morada y rábano; rábano y brócoli, mostaza, rábano cuello de Mallorca y col de Bruselas y, finalmente, entre las curvas de mostaza y col de Bruselas (Cuadro 1).

Fertilidad

Se observan los parámetros poblacionales de *P. xylostella* obtenidos en diferentes sustratos alimenticios (Cuadro 2); la tasa intrínseca de crecimiento (r_m) más alta, en la cual se desarrolló la población, se al-

canzó cuando las larvas de la palomilla dorso de diamante se alimentaron de coliflor, ya que se tuvo un valor de 0.162; ésta fue seguida por la de col morada con 0.132, hasta llegar a la tasa más baja, obtenida en col de Bruselas con 0.066.

Se indica que la mayor tasa neta de reproducción (R_0) se presentó en coliflor con 36.35, es decir, que cada hembra podría producir 36.35 hembras en la siguiente generación, en cambio la más baja se observó en rábano cuello de Mallorca con 6.1 (Cuadro 2).

El tiempo generacional (G) transcurrido de huevecillo a huevecillo es más breve en col morada con 22.41 d, mientras que el más prolongado se obtuvo cuando las larvas se alimentaron de col de Bruselas (28.55 d).

Cuadro 2. Parámetros poblacionales de *P. xylostella* obtenidos con diferentes sustratos alimenticios y contenido de proteínas de estos.

Sustrato alimenticio	r_m (ind./día)	R_0 (hembras/hembra)	G (d)	Contenido de proteína cruda (%)
Coliflor	0.162	36.35	22.77	24.95
Col morada	0.132	18.43	22.41	13.65
Brócoli	0.124	16.88	23.45	31.74
Col	0.114	19.30	25.74	21.17
Rábano	0.094	13.79	27.76	27.66
Mostaza	0.085	10.91	28.42	29.58
Rábano cuello de Mallorca	0.073	6.10	24.45	27.66
Col de Bruselas	0.066	6.43	28.55	25.52

DISCUSIÓN

Se ha observado que tanto la alta densidad de tricomas de la hoja como los exudados causan alta mortalidad en los estados inmaduros de homópteros, coleópteros y lepidópteros (Gibson 1971, 1976; Gilbert 1971; Tingey y Gibson 1978; Thurston *et al.* 1966) e influyen en la resistencia de las crucíferas al ataque de insectos (Radcliff y Chapman 1966).

En las crucíferas probadas como sustrato alimenticio en este trabajo, se pudo apreciar que la mayor densidad de tricomas se presenta en la col de Bruselas y la mostaza, lo que probablemente influyó en la mayor mortalidad de las larvas (Fig. 1), pues el número de sobrevivientes disminuyó casi en un 50% en la etapa larvaria en el día 13 de su ciclo de vida.

La tasa intrínseca de incremento (r_m) es útil como herramienta estadística para comparar los diferentes sustratos alimenticios, debido a que contempla diversos factores que contribuyen al crecimiento poblacional, tales como la tasa neta de reproducción (R_n), el desarrollo de los estados inmaduros y el tiempo generacional (T).

Como ya se señaló (Solomon 1966) la planta hospedera es el factor principal que influye en la producción de huevecillos, en lepidópteros; en este trabajo, las tasas de desarrollo calculadas para coliflor fueron más altas (Cuadro 2), aun cuando no hubo correlación entre ellas y el contenido de proteínas. Diversos trabajos señalan que una alta concentración de N en la dieta de los insectos fitófagos favorece su desarrollo y reproducción (Al-Zu Baidi y Campinera 1984; Mattson 1980; Strong *et al.* 1984). Probablemente el contenido de algún aminoácido, en particular (Chapman 1982) de la coliflor, tenga influencia en ese sentido.

En otra investigación (Salas *et al.* 1990), realizada para observar la respuesta de la palomilla dorso de diamante a diversas crucíferas, las hembras apareadas de este lepidóptero respondieron con mayor intensidad al estímulo olfatorio de plantas de coliflor; en trabajos de campo, las mayores poblaciones de larvas de *P. xylostella* se encuentran en esa crucífera (Salas 1989), lo cual confirma lo señalado por Feeny *et al.* (1983), respecto al desarrollo de la habilidad de la hembra para encontrar la planta hospedera adecuada; además de influir en la hembra para elevar la

producción de huevecillos (Solomon 1966), lo anterior concuerda con los resultados de este trabajo, ya que cuando se alimentaron de coliflor las hembras dieron origen a mayor número de crías (Cuadro 2).

CONCLUSIONES

De los resultados de esta investigación, se puede concluir que *P. xylostella* sobrevive por un período de tiempo más prolongado cuando sus larvas se alimentan de coliflor. Asimismo, la tasa intrínseca de crecimiento y la tasa neta de reproducción fueron más altas en ese cultivo.

El período de supervivencia más breve y la menor tasa intrínseca se obtuvieron con col de Bruselas; la tasa neta de reproducción menor se logró en rábano cuello de Mallorca.

Respecto al tiempo generacional, se determinó que fue más corto en col morada y coliflor, y más prolongado en mostaza y col de Bruselas.

LITERATURA CITADA

- AL-ZU BAIDI, F.S.; CAMPINERA, J.L. 1984 Utilization of food and nitrogen by the beet armyworm *Spodoptera exigua* (Hubner) (Lepidoptera: Noctuidae) in relation to food type and dietary nitrogen levels. *Environmental Entomology* 13:1604-1608.
- CHAPMAN, F.R. 1983 The insects: Structure and functions. 3 ed. London, Hodder and Stoughton. 919 p.
- FEENY, P.; ROSENBERRY, L.; CARTER, M. 1983. Chemical aspects of oviposition behavior in butterflies. In *Herbivorous insects: Host-seeking behavior and mechanisms*. S. Ahnæ (Ed.) New York, Academic Press. p. 27-76.
- GIBSON, R.W. 1971. Glandular hairs proving resistance to aphid in certain wild potato species. *Annals of Applied Biology* 65:113-119.
- GIBSON, R.W. 1971. Glandular hairs on *Solanum polyadenium* lessen damage by the Colorado potato beetle. *Annals of Applied Biology* 82:147-150.
- GILBERT, L.E. 1971. Butterfly-plant coevolution: Has *Passiflora adenopoda* won the selectional race with Heliconiine butterflies? *Science* 172:585-586.
- GUPTA, P.D.; THORSTEINSON, A.J. 1960. Food plant relationships of the diamond-back moth: Gustation and olfaction in relation to botanical specificity of larva. *Experimental and Applied Entomology* 3:241-250.

- HASSANEIN, A.; EL SAYED, A. N.; GALAL, M. M. 1972. Factors affecting longevity and reproductive potentiality of the black cutworm *Agrotis ipsilon* (Hufn.) moth. Bulletin of the Society of Entomology (Egypt) 56(195):195-200.
- KREBS, C. J. 1985. Ecología. Estudio de la distribución y la abundancia. Méx., Marla. 753 p.
- MAITSON, W. J. 1980. Herbivory in relation to plant nitrogen content. Annual Review of Ecological Systems 11:119-161.
- MENDEZ RAMIREZ, I.; NAMIHIRA G. D.; MORENO A. L.; SOSA DE MARTINEZ, C. 1984. El protocolo de la investigación: Lineamientos para su elaboración y análisis. Méx., Trillas. 210 p.
- RADCLIFF E. B.; CHAPMAN, R. K. 1966. Varietal resistance to insect attack in various cruciferous crops. Journal of Economic Entomology 59(1):120-125.
- RAMASWAMY, S. B. 1988. Host finding by moths: Sensory modalities and behaviour. Journal Insect Physiology 34(3):235-249.
- SALAS ARAIZA, M. D. 1989. Demografía y comportamiento de lepidópteros herbívoros de crucíferas en El Bajío, Méx. Tesis de Maestría en Ciencias. Chapingo, Méx., Colegio de Postgraduados, Centro de Entomología y Acarología. 75 p.
- SALAS ARAIZA, M. D.; BRAVO M. H.; TRUJILLO A. J.; ALATORRE R. R. 1990. Preferencia de *Plutella xylostella* L. (Lepidoptera:Plutellidae) en crucíferas. Agrociencia 1(2):33-42.
- SOLOMON, J. D. 1988. Influence of host on larval survival, feeding habits, and adult fecundity of the carpenter-worm (Lepidoptera:Cossidae). Journal Economic of Entomology 8(3):834-839.
- STRONG, D. R.; LAWTON, J. H.; SOOTHWOOD, R. 1984. Insects on plants: Community patterns and mechanisms. Cambridge, Harvard University Press. 313 p.
- TINGEY, W. M.; GIBSON, R. W. 1978. Feeding and mobility of the potato leafhopper impaired by glandular trichomes of *Solanum berthaultii* and *S. polyadenium*. Journal of Economy Entomology 71:856-858.
- THURSTON, R.; PARR, J. C.; SMITH, W. T. 1966. The phylogeny of *Nicotiana* and resistance to insects. In International Tobacco Science Congress (4., Greece). Proceedings. Atenas, National Tobacco Board of Greece. p. 424-430.

RESEÑA DE LIBROS

APPLEBY, M. C.; HUGHES, B. O.; ELSON, A. 1992. Poultry Production Systems: Behaviour, Management and Welfare. CAB International. 256 p.

Successful poultry production must be based on biological processes. As such a sound understanding of poultry behaviour and other related aspects of biology is an important prerequisite for designing and maintaining husbandry systems, and for preventing or overcoming management problems. In reviewing the poultry production industry, this volume presents an up-to-date coverage of the systems which are available or are now being developed. It considers the ways in which the biology and behaviour of the birds concerned, influence the performance of different systems and are in turn influenced by the environment. Reflecting current concern about factory farming and the interest in free-range

poultry, the authors also assess the implications of different production systems for poultry welfare.

Balanced and scientific throughout, the authors synthesize the results from an extremely active area of scientific research. Aspects of economics and legislation are covered from an international perspective. The book is a major addition to the literature in this field and is aimed at all students, research workers and professionals concerned with poultry production, as well as those with an interest in animal welfare.

ISBN 0 85198 797 4, Price: £ 40.00 (US\$76.00 Americas only).

CAB INTERNATIONAL
WALLINGFORD, OXON OX10 8DE, UK

Low-Cost Soil Fertility Management Practices for Cassava¹

T.V.R. Nayar*, B. Mohan Kumar*,
V.P. Potty*

ABSTRACT

India is the third largest producer of cassava in Asia, mostly for human consumption. Some 35%-40% cassava production cost is for of manures and fertilizers. Many small-scale farmers are not in a position to adopt fertilizer recommendations for cassava for want of adequate capital. Hence, field experiments on low-cost soil fertility management practices were conducted at CTCRI. Results showed that green manuring *in situ* with cowpeas can substitute farm yard manure (FYM) application to cassava. P application to the green manure cowpea-cassava sequential cropping system can be reduced to 50 kg P₂O₅ as indigenous rock phosphate, and N dosage to cassava is reduced by 50%. The effects of green manuring *in situ* on organic carbon content and available N, P and K status in the soil are also presented.

Key words: Cassava, soil fertility, green manuring, low cost.

RESUMEN

India es el tercer mayor productor de yuca en Asia, la mayor parte para consumo humano. Aproximadamente entre el 35% y el 40% de su costo de producción es por fertilizantes y abono orgánico. Gran número de pequeños agricultores no adoptan recomendaciones sobre fertilización en yuca porque no disponen de capital. Por lo tanto, el CTCRI llevó a cabo experimentos de campo sobre prácticas de bajo costo para el manejo de la fertilidad del suelo. La aplicación de P al estiércol verde al cultivo alternativo caupí-yuca puede ser reducida a 50 kg de P₂O₅ que supone un ahorro del 50% en la dosis de fosfato rocoso autóctono y de nitrógeno. También se observan los efectos del uso de estiércol verde *in situ* sobre el contenido de carbono orgánico y sobre la cantidad de N, P y K disponibles en el suelo.

INTRODUCTION

India is the third largest producer of cassava in Asia, with an area of 0.27 million ha and an annual production of 5.21 million tons of fresh tubers. More than 50% of the produce is used as human food and the rest for animal feed and starch-based industries. In general, the cassava soils in India are low in organic matter and poor in native fertility. Hence, application of large amounts of organic manures and chemical fertilizers have become essential for satisfactory cassava yields. Based on field experiments conducted at the Central

Tuber Crops Research Institute (CTCRI), application of farm yard manure (FYM) at 12.5 t and fertilizers to supply N, P₂O₅ and K₂O, 100 kg each per hectare, is recommended (CTCRI 1983). Many small-scale farmers are not in a position to adopt the above fertilizer dosages for want of adequate resources (Anantharaman *et al.* 1986). Non-availability of FYM and the difficulties involved in transportation and application of the such large bulks also discourage farmers from resorting to this practice. Further, studies on cassava production costs showed that 35% to 40% of input costs are for manures and fertilizers. The cost of chemical fertilizers is likely to go up, as their production is largely dependent on imported, non-renewable raw materials.

Green manuring *in situ*, cover cropping and crop rotations involving legumes are some of the practices that use internal resources generated on the farm for improving the soil fertility, rather than purchased resources. The recognized advantages of the above practices, especially green manuring are: increase in

¹ Received for publication on August 17, 1992
The authors express their sincere gratitude to the Director of the Central Tuber Crops Research Institute (CTCRI) for providing facilities and constant encouragement.

* Senior Scientists in Agronomy; Soil Science and Soil Microbiology, respectively; CTCRI, Thiruvananthapuram, India 695 017

soil organic matter and available N, reduction of N losses by leaching, concentration of nutrients near the soil surface in available form and reduced soil erosion (Mahler and Auld 1989). Leguminous plants having high root CEC and bonding energy for Ca are more capable of obtaining calcium from relatively insoluble forms such as rock phosphate (Drake 1968). In this process, phosphate become available to succeeding crops. Among the green manure plants, cowpea (*Vigna unguiculata*) was reported to be adapted to the same ecological conditions as that of cassava and was found to perform well even on acid, infertile soils (CIAT 1975). The availability of short-duration bushy-type vegetable purpose cowpea and the development of the short-duration cassava variety 'Sree Prakash' suggested the possibility of cowpea-cassava sequential cropping systems, capable of better resource utilization. The objectives of this study were to explore the feasibility of green manuring in situ with cowpea to replace FYM for cassava, to assess the efficacy of indigenous rock phosphate when it is applied only to the green manure crop, and to find out whether N and P dosages to cassava can be reduced while maintaining production rates.

MATERIALS AND METHODS

Field experiments were conducted for three crop years (1986-1987, 1987-1988, 1988-1989) at the CTCRI, Thiruvananthapuram. The soil of the experimental site was lateritic (Udic Kandiusults), with the following characteristics:

sand	65%	organic carbon	0.52%
silt	4%	available N	187 kg ha ⁻¹
clay	31%	available P	21 kg ha ⁻¹
pH	4.8	available K	179 kg ha ⁻¹

The climate of the locality is humid tropical with a mean maximum temperature of 31.2 °C. The rain-fall pattern during the experimental period is shown in Fig. 1. Two cassava varieties, Sree Visakhm, the high-yielding hybrid with a duration of 10 months and Sree Prakash, the short-duration variety which can be harvested in seven months, were selected for the experiment. The vegetable cowpea B-61 and the green manure cowpea C-152 were chosen as green manure crops. The vegetable cowpea flowers 40-45 days after planting, while the green manure cowpea takes 50-55 days for flowering.

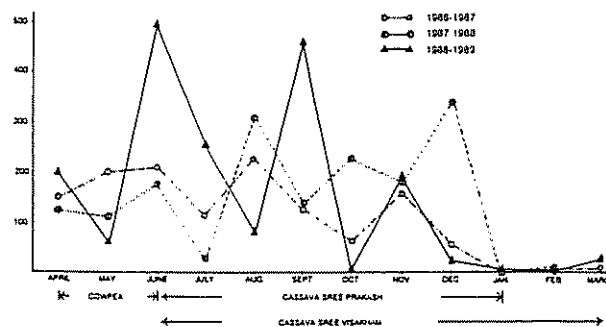


Fig. 1. Rain fall pattern during the crop period (mm).

The experimental design was RBD replicated twice, with 16 treatment combinations, consisting of two cassava varieties and the following eight soil fertility management practices.

- T₁ - Cassava with FYM 12.5 t and N P205K20 100:100:100 kg ha⁻¹ (Recommended dosage).
- T₂ - Cassava with recommended dosages of FYM, N and K₂O, but with P₂O₅ reduced to 25 kg ha⁻¹.
- T₃ - Cowpea B-61 followed by cassava with N and K 100 kg ha⁻¹.
- T₄ - Cowpea B-61 followed by cassava with 75 kg N and 100 kg K.
- T₅ - Cowpea B-61 followed by cassava with 50 kg N and 100 kg K ha⁻¹.
- T₆ - Cowpea C-152 followed by cassava with N and K 100 kg ha⁻¹.
- T₇ - Cowpea C-152 followed by cassava with 75 kg N and 100 kg K ha⁻¹.
- T₈ - Cowpea C-152 followed by cassava with 50 kg N and 100 kg K ha⁻¹.

The plot size for each treatment was 5.4 x 5.4 m. In treatments T₃ to T₈, rhizobium-treated cowpea seeds were sown in April, on receipt of pre-monsoon rains, with a basal dressing of 50 kg P₂O₅ ha⁻¹ as indigenous rock phosphate (20% P₂O₅). When the cowpea attained 60 days growth, the available pods were harvested for vegetable purpose and the haulms were incorporated as green manure prior to planting.

cassava. In all three years, cassava was planted immediately after incorporation of cowpea haulms. Other than the treatment requirements for cowpea and cassava, the recommended agronomic practices were followed. At the time of incorporation of cowpea haulms, observations on number of effective nodules per plant, fresh biomass yield and fresh pod yield were recorded. The dry matter content and the N, P & K added through cowpea haulms were also determined. For determination of N, P, K in cowpea plant samples, the methods of Jackson (1967) were followed. In the case of cassava, observations on plant height at harvest, LAI at third and sixth month stages, and tuber yield were recorded and statistically analyzed.

Colonization of VAM on cassava plants under green manuring in situ and FYM treatments was also monitored for two years (Phillips and Hayman 1970). The percentage of colonization was also assessed using the grid-line intersect method (Giovanetti and Mosse 1980). Soil samples were taken from each plot after the harvest of cassava in every year and analyzed for organic carbon content (Walkley and Black method), available nitrogen calculated by the alkaline permanganate method (Subbiah and Asija 1956), phosphorus by the Bray 1 extraction, and potassium by extraction with ammonium acetate.

RESULTS AND DISCUSSION

Green manure potential of cowpeas

The data on fresh biomass yield ha^{-1} , fresh pod yield ha^{-1} and a number of effective root nodules plant^{-1} , pertaining to the cowpea varieties used as green manure are provided in Table 1. In all years, the

green manure cowpea C-152 produced higher fresh biomass yield with an average of 17.33 t ha^{-1} . The average biomass yields from the vegetable cowpea B-61 was 14.22 t ha^{-1} . The biomass yields from these cowpea varieties were comparable to those from sun hemp and crotalaria. In fresh pod yield, the vegetable cowpea, producing an average of 1.47 t ha^{-1} , was superior. The average yield of pods from the green manure cowpea C-152 was only 0.47 t . The average income per hectare from sale of pods of vegetable cowpea and green manure cowpea Rs 2920/- and Rs 940/- respectively. The average cost of cultivation for vegetable cowpea was about Rs 900/- and that for green manure cowpea come to Rs 800/-ha. Hence, the additional yield of fresh pods from the vegetable cowpea brought an extra income of Rs.2000/per hectare.

Since little variation in dry matter production and NPK added to the soil from cowpeas over the seasons was observed, the pooled data for three years are presented in Table 2. It may be seen that these fast-growing cowpea varieties possess a high nitrogen fixation power, since they could assimilate $79-96 \text{ kg N ha}^{-1}$ in their tissue within 60 days. Further, they could recycle $6-8 \text{ kg P}$ and $72-87 \text{ kg K}$ per hectare. In dry matter production and addition of N, P, K to the soil, the green manure cowpea C-152 had an edge over the vegetable cowpea. The number of effective root nodules produced per plant was also higher in C-152, suggesting its higher N fixing capacity (Table 1).

Growth and yield of cassava

The data on effect of soil fertility management practices on plant height of cassava are given in Table 3. There was no significant difference in plant height between FYM-treated and green manuring in

Table 1. Performance of cowpea.

Cowpea variety	Biomass yield t ha^{-1}				Fresh pod yield t ha^{-1}				No. of effective root nodules plant^{-1}			
	1986-1987	1987-1988	1988-1989	Mean	1986-1987	1987-1988	1988-1989	Mean	1986-1987	1987-1988	1988-1989	Mean
Vegetable cowpea B-61	13.00	14.48	15.20	14.22	1.33	1.70	1.40	1.47	5.8	6.0	5.5	5.76
Green manure cowpea C-152	17.00	16.20	18.80	17.33	0.63	0.37	0.41	0.47	10.90	9.5	6.15	8.85

Table 2. Average dry weight and nutrient content in the cowpea varieties at 60 days after planting*

Cowpea variety	Dry matter kg ha ⁻¹	Nutrient content					
		N (%)	kg ha ⁻¹	P (%)	kg ha ⁻¹	K (%)	kg ha ⁻¹
Vegetable cowpea(B-61)	3270	2.41	79	0.21	6.8	2.21	72.0
Green manure cowpea(C-152)	3890	2.48	96	0.22	8.5	2.23	87

* Average of three seasons.

situ plots. However, the cassava plants which received green manuring + 100 kg N ha⁻¹ registered significantly higher plant heights than the plants under the lowest level of nitrogen (50 kg ha⁻¹). The influence of soil fertility management practices on LAI of cassava recorded at three and six months was not significant (Table 4). But plants receiving higher level of N (100 kg ha⁻¹) tended to maintain greater LAI at both stages.

The data on tuber yield of the two cassava varieties as influenced by the soil fertility management practices are presented in Table 5. During 1986-1987 and 1987-1988, the tuber yield of cassava was not significantly affected by the treatments. In both cassava varieties, the yields were not influenced by the soil fertility management practices. Further, the variation in levels of nitrogen (50, 75 and 100 kg

ha⁻¹) had no significant effect on cassava tuber productivity.

In 1988-1989, the tuber yield in general was lower as compared to the previous two years. This may be due to the poor distribution of rain-fall, especially during the tuber differentiation and enlargement phases in the months of August and October (Fig. 1). The decline in yield was more pronounced in the case of Sree Visakhham, the longer-duration genotype of cassava. The yield of cassava in the treatment in which P application was reduced to 25 kg P₂O₅ ha⁻¹ was comparatively less in 1988-1989 and the effect was significant in the case of the variety Sree Prakash. As in previous years, the levels of nitrogen in 1988-1989 had no significant influence on the tuber productivity of Sree Prakash. This showed that nitrogen application to the short-dura-

Table 3. Effect of soil fertility management on plant height of cassava.

Treatments	Plant height at harvest (cm)					
	Sree Visakhham		1988-1989	Sree Prakash		1988-1989
	1986-1987	1987-1988		1986-1987	1987-1988	
T ₁	182	266	184	164	229	140
T ₂	183	222	172	151	207	146
T ₃	184	290	195	145	200	123
T ₄	170	230	159	146	212	135
T ₅	162	250	157	118	146	124
T ₆	225	296	197	148	228	154
T ₇	197	295	198	138	237	143
T ₈	132	271	150	123	217	128
C.D. (P=0.05)	26	40	35	26	40	35

Table 4. Effect of soil fertility management on LAI of cassava.

Treatments	Sree Visakham						Sree Prakash					
	3rd month			6th month			3rd month			6th month		
	1986-1987	1987-1988	1988-1989	1986-1987	1987-1988	1988-1989	1986-1987	1987-1988	1988-1989	1986-1987	1987-1988	1988-1989
T ₁	2.05	2.18	2.08	2.71	2.70	2.63	2.11	2.17	2.17	2.82	2.90	2.53
T ₂	2.05	2.17	2.04	2.85	2.86	2.26	2.11	2.22	2.10	2.92	2.95	2.47
T ₃	2.12	2.21	2.21	2.97	2.98	2.56	2.25	2.36	2.15	2.94	3.00	2.85
T ₄	2.13	2.24	2.14	2.89	2.92	2.56	2.30	2.20	2.25	2.95	2.77	2.79
T ₅	1.89	2.11	2.10	2.44	2.52	2.59	1.92	2.21	2.17	2.42	2.67	2.77
T ₆	2.72	2.29	2.30	3.02	2.67	2.82	2.21	2.24	2.22	2.97	2.92	2.76
T ₇	2.23	2.30	2.16	2.95	2.96	2.77	2.06	2.23	2.26	2.92	2.66	2.83
T ₈	2.12	2.14	2.08	2.26	2.28	2.68	1.95	2.11	2.18	2.34	2.33	7.85
C D (P=0.05)	NS											

Table 5. Yield of fresh tuber t ha⁻¹.

Treatments	Sree Visakham				Sree Prakash			
	1986-1987	1987-1988	1988-1989	Mean	1986-1987	1987-1988	1988-1989	Mean
T ₁	27.95	28.19	19.47	25.20	27.82	25.27	24.28	25.79
T ₂	25.24	27.21	17.83	23.42	29.80	24.22	17.67	23.89
T ₃	29.80	34.32	22.39	28.83	28.81	27.45	26.33	27.53
T ₄	30.13	33.17	20.78	28.02	29.63	29.92	24.53	28.00
T ₅	26.73	32.76	20.62	26.70	22.55	32.80	22.72	26.00
T ₆	28.36	35.10	28.37	30.61	25.35	34.41	22.64	26.71
T ₇	30.95	34.99	23.01	29.65	25.39	31.82	20.37	25.86
T ₈	24.88	30.17	22.71	25.92	22.83	28.73	24.12	25.22
Mean	28.00	31.98	21.89	—	26.52	29.32	22.83	—
C D. (P=0.05)	NS	NS	5.81	—	NS	NS	5.81	—

tion variety of cassava could be reduced to 50 kg N ha⁻¹ in the green manure/vegetable cowpea - cassava sequential cropping system

In the case of Sree Visakham (the longer duration genotype) during 1988-1989, the treatment of green manuring in situ with C-152 cowpea + 100 kg N ha⁻¹ resulted in significantly higher tuber yield over FYM + 100 kg N ha⁻¹. The progression of cassava yields over the three years also indicated that green manuring in situ with cowpeas was beneficial in sustaining the productivity of cassava, though the yields were

slightly less in the third year due to poor distribution of rainfall (Fig. 2).

Colonization of VAM on cassava roots

The effect of green manure in situ as compared to FYM application on colonization of VAM on cassava roots is depicted in Fig. 3

The cassava plants under green manure in situ were found to have higher numbers of VAM. Mosse (1977) and Bagyaraj *et al.* (1979) also reported beneficial effects of VAM on non-legumes, due to legume-non legume associations.

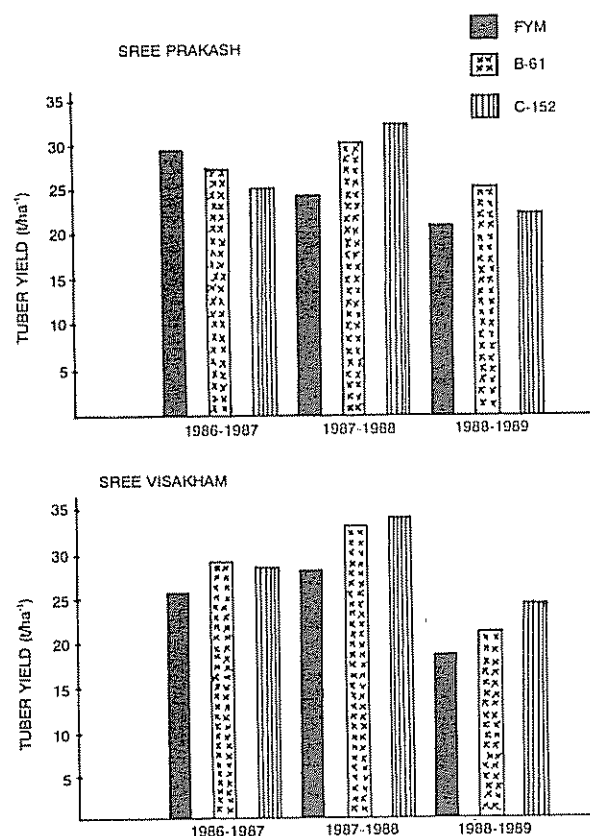


Fig. 2. Progression of cassava yield.

Effect on organic carbon and available N, P and K contents in the soil

The organic carbon content tended to augment from the second year (Table 6). But the differences between FYM-treated plots and green manuring in situ plots were not conspicuous. As regards available N status, the effect of green manuring in situ was not

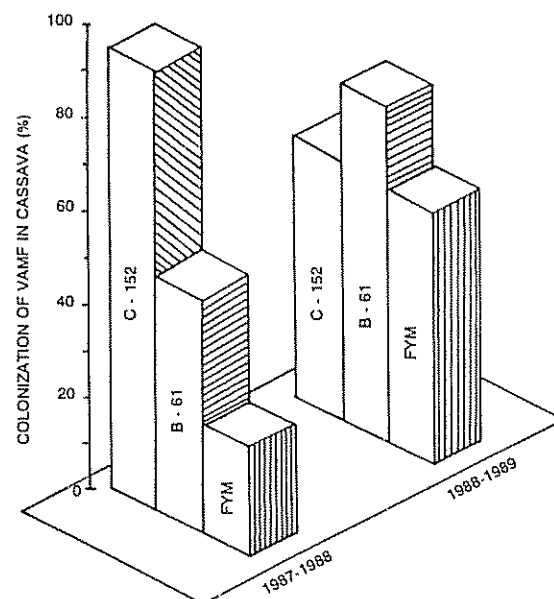


Fig. 3. Colonization of VAMF in cassava (%) as influenced by green manuring in situ and FYM application.

discernable in the first year (Table 7). From the second year on, there was a tendency for accumulation of nitrogen in green manuring in situ plots. This effect was more visible in the third year. The pooled average N build-up over three years showed an increase of 30-35 kg ha⁻¹ in green manuring in situ plots. Over three years, the available P status was enhanced, except in the treatment in which P dosage was reduced to 25 kg ha⁻¹ (Table 8). The average build-up showed higher a P status in green manuring in situ plots, especially in which the green manure cowpea C-152 was raised. This may be due to the ability of C-152 to mineralize the rock phosphate in the process of absorption of large amounts of calcium needed for the production of more dry matter.

Table 6. Effect of soil fertility management practices on soil organic carbon (%).

Treatments	1986-1987	1987-1988	1988-1989	Mean
T ₁	0.667	0.739	0.710	0.705
T ₂	0.614	0.733	0.732	0.693
T ₃	0.545	0.760	0.780	0.695
T ₄	0.568	0.756	0.761	0.695
T ₅	0.584	0.752	0.760	0.697
T ₆	0.676	0.739	0.741	0.718
T ₇	0.607	0.738	0.736	0.693
T ₈	0.639	0.737	0.735	0.703

Table 7. Effect of soil fertility management practices on available nitrogen (kg ha⁻¹).

Treatments	1986-1987	1987-1988	1988-1989	Mean
T ₁	255	248	260	254
T ₂	236	251	255	247
T ₃	278	282	311	290
T ₄	284	275	308	289
T ₅	253	268	304	275
T ₆	289	286	309	294
T ₇	253	274	306	272
T ₈	289	283	301	291

Available K was also enhanced in green manuring in situ treatments by the end of the third crop season (Table 9). The notably higher values of available K in the green manuring in situ treatments indicate the power of cowpea to extract K from the subsoil and accumulate it in the surface soil.

Table 8. Effect of soil fertility management practices on available phosphorus (kg ha⁻¹).

Treatments	1986-1987	1987-1988	1988-1989	Mean
T ₁	46	52	65	54.33
T ₂	31	35	32	32.66
T ₃	59	63	62	61.33
T ₄	76	71	74	73.66
T ₅	65	66	67	66.00
T ₆	73	78	76	76.66
T ₇	79	77	79	78.33
T ₈	74	73	75	74.00

Table 9. Effect of soil fertility management practices on available potassium (kg ha⁻¹).

Treatments	1986-1987	1987-1988	1988-1989	Mean
T ₁	278	322	313	304.33
T ₂	281	318	331	310.00
T ₃	358	327	349	344.00
T ₄	333	336	344	337.00
T ₅	327	358	331	338.66
T ₆	324	327	327	326.00
T ₇	344	323	340	335.66
T ₈	357	341	332	343.33

CONCLUSION

Green manuring in situ with fast-growing cowpea varieties can substitute FYM application to cassava in acid lateritic soils. If short-duration vegetable-purpose cowpea is grown for the above purpose, it generates an additional income of about Rs 2000 ha⁻¹ by sale of the pods. Phosphorus applications to the short-duration cowpea cassava sequential cropping system can be reduced to 50 kg P₂O₅ as indigenous rock phosphate. By practicing green manuring in situ with cowpea, the N dosage for short-duration cassava can be reduced to 50 kg ha⁻¹, that is, 50% of the present accepted recommendation. Further green manuring in situ showed a tendency to enhance the available N, P and K status in the soil, thus improving the fertility.

LITERATURE CITED

- ANANTHARAMAN, M.; RAMANATHAN, S.; GADEWAR, A.U.; LAKSHMI, K.R. 1986. Adoption barriers to improved cultivation practices of cassava. *Journal of Root Crops* 12:1-5.
- BAGYARAJ, D.J.; MANJUNATH, A.; PATIL, R.B. 1979. Interaction between VAM and rhizobium and their effect on soybean in the field. *New Physiologist* 82:141-145.
- CIAT (CENTRO INTERNACIONAL DE AGRICULTURA TROPICAL). 1975. Annual Report 1974. Col., Cali.
- CTCRI (CENTRAL TUBER CROPS RESEARCH INSTITUTE). 1983. Two decades of research. India, Trivandrum, CTCRI. p. 221.
- DRAKE, M. 1968. Soil chemistry and plant nutrition. In *Chemistry of the soil*. F.E. Bear (Ed.). Oxford, IBH. Calcutta 16.
- GIOVANETTI, M.; MOSSE, B. 1980. An evaluation of techniques for measuring vesicular-arbuscular mycorrhizal infection in roots. *New Physiologist* 84:489-500.
- JACKSON, M.L. 1967. Soil chemical analysis. India, New Delhi, Prentice Hall. p. 488.
- MAHLER, R.L.; AULD, D.L. 1989. Evaluation of green manure potential of austrial winter peas in northern Idaho. *Agronomy Journal* 81:258-264.
- MOSSE, B. 1977. Plant growth response to VAMF response of stylosanthes and maize to inoculation in unsterile soils. *New Physiologist* 78:277.
- PHILLIPS, J.M.; HAYMAN, D.S. 1970. Improved procedures for clearing staining parasites and vesicular arbuscular mycorrhizal fungi for rapid assessment of infection. *Transactions of the British Mycorrhizal Society* 70:158-169.
- SUBBIAH, B.V.; ASIJA, G.L. 1956. Rapid procedure for estimation of available nitrogen in soils. *Current Science* 25:259-260.

Phosphate Desorption from Some Argentine Soil Samples.

I. Constant Temperature¹

E.J. Bottani*, E.A. Fertitta**,
L.E. Cascarini de Torre***

ABSTRACT

Phosphate ion desorption from four Argentine soil samples is studied, and the kinetics are analyzed. Two different kinds of adsorbed phosphate ion are identified, one corresponding to low concentrations of added phosphate. From the desorption isotherms, it is possible to determine the Bray-Kurtz phosphorus. Phosphate released by soil without previous additions is also analyzed.

INTRODUCTION

In a previous paper (Bottani *et al.* 1993), several soil samples were characterized by analysis of gas adsorption data. The characteristics deduced were employed to explain adsorption of the phosphate ion from solutions.

To increase knowledge of the mechanisms and state of phosphate ion adsorption in soils, we studied the desorption process at constant and variable temperatures. In this paper, we present the results obtained at constant temperature; in the second paper, we present the results obtained at different temperatures; in the third paper, we relate the characteristics deduced from adsorption of simple gases in the same soil samples.

RESUMEN

Se estudia la desorción de iones-fosfato en cuatro muestras de suelos argentinos y se analiza la cinética del proceso. Se postula la existencia de dos tipos diferentes de iones fosfatos adsorbidos, uno correspondiente a bajas concentraciones de fosfato agregado y otro a altas. A partir de las isothermas de desorción es posible obtener un valor de fósforo comparable con el obtenido por el método Bray-Kurtz. También se examina el fósforo liberado por el suelo cuando no hay agregado previo.

The desorption data may give information about of strength of the phosphate ion-soil- site bond, and the analysis of this process could explain how the phosphate ion is retained and released by soils (Gardner and Preston 1973; Imai *et al.* 1981).

Although Langmuir's model (De Blas Varela *et al.* 1989; Camara *et al.* 1987), when applied to adsorption isotherms of phosphate, can give a good fit, it is shown that the deduced parameters may be meaningless, especially the energy-dependent one.

MATERIALS AND METHODS

Soil samples studied in this paper are from different regions of Buenos Aires province. Soil LUJ is from Lujan, LP from La Plata, LE from La Emilia district, and LT from the region close to La Tigra lake. LP is an argiudoll-like soil, while LE is a typical haplustol, LT is an argiudoll petrocalcic, and LUJ is a typic argiudoll (Table 1).

Phosphate ion concentration was determined following the standard technique of the phosphomolybdate blue complex using ascorbic acid as a reducing agent. This experimental technique has been previously described (Bottani *et al.*; Jackson 1964; Chen *et al.* 1956).

The desorption of the phosphate ion was done as follow: Soil samples of approximately 2.5 g were

1 Received for publication on June 2, 1993.
Instituto de Investigaciones Fisicoquímicas Teóricas y Aplicadas (INIFTA); Casilla de Correo 16 Suc. 4. RA-1900, La Plata, Arg. This work was partially supported by Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET), Comisión de Investigaciones Científicas; Provincia de Buenos Aires (CIC). Helpful discussions with N.O. Bárbaro and S. López are gratefully acknowledged.

* Fellowship of the CIC, Provincia de Buenos Aires, Arg

* Researcher of the CIC, Provincia de Buenos Aires, Arg

Table 1. Main characteristics of the soils employed.

Soil	LUJ	LE	LP	LT
pH (1:2.5)	5.4	6.2	5.8	6.3
%OM ¹	3.55	1.79	1.98	3.16
%N ²	0.218	0.112	0.21	0.148
P ³ (ppm)	5.31	3.59	16.40	4.04
Ca ⁴ (mEq/100g)	14.69	8.44	8.20	13.57

- 1: Organic matter content determined according to Walkley-Black method
- 2: Kjeldahl Nitrogen content
- 3: Bray and Kurtz #1
- 4: Exchangeable calcium.

put in contact with 25 ml of phosphate solutions in Pyrex glass flasks during five days at 303.2 ± 0.1 K, as in the determination of the adsorption isotherms (Barrow 1978; López-Hernández *et al.* 1981). Formal concentrations of phosphate solutions were 1, 3, 5, 7, 10, 12, 15, 25 and 30 ppm (mg/ml). Once the equilibrium was reached, the liquid was extracted and both the pH and the remaining phosphate in the solution were determined. In this way, the adsorbed quantity was known, and taken as soil-starting phosphate content. Then, 25 ml of pure water were added to each sample and kept at 303.2 K during several days. The new solution was extracted, without reaching equilibrium, to determine the released phosphate quantity and fresh water was added (always 25 ml). Finally, the process was repeated until the released phosphate was negligible, usually after a maximum of 96 days. We always included a flask containing soil where only pure water was added, which was replaced by pure water, in order to measure the phosphate released by the soil. In all cases, manual discontinued agitation (twice a day) was practiced.

The analysis of the pH values obtained from these experiences has not shown any dependence on the adsorption-desorption process in terms of pH.

The adsorption isotherms of the phosphate ion were determined at 303.2 K in order to obtain the desorption isotherms; in addition the adsorption isotherms at 313.2 K were determined (Mehadi and Taylor 1988). In Figures 1-4 the adsorption isotherms of phosphate at both temperatures are shown.

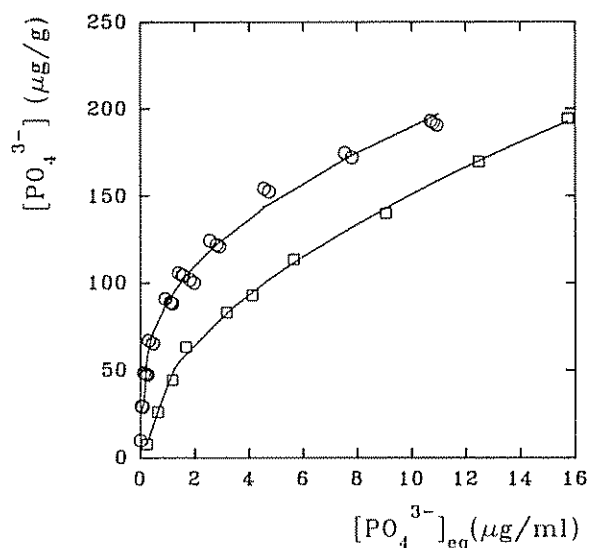


Fig. 1. Phosphate adsorption isotherms on soil LE. °: 303.2 K; □ : 313.2 K.

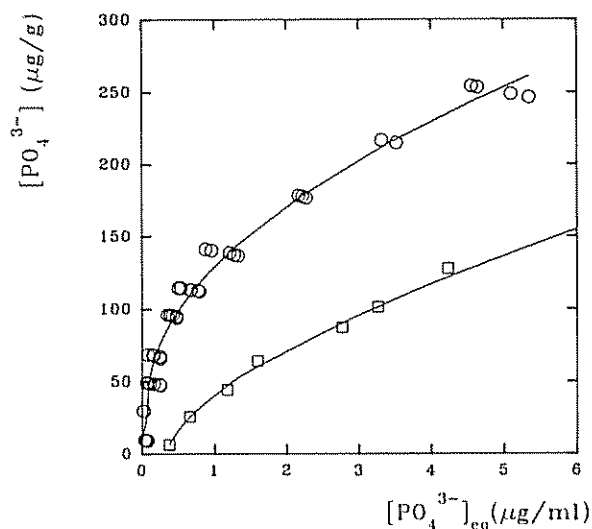


Fig. 2. Phosphate adsorption isotherms on soil LP. °: 303.2 K; □ : 313.2 K.

RESULTS AND DISCUSSION

All the adsorption isotherms were fitted to Langmuir's model equation:

$$\frac{C}{X} = \frac{C}{X_m} + \frac{1}{K_T X} \quad (1)$$

where C represents the phosphate ion remaining in solution, X is the adsorbed phosphate, X_m is the phosphate ion necessary to form a monolayer and K_T

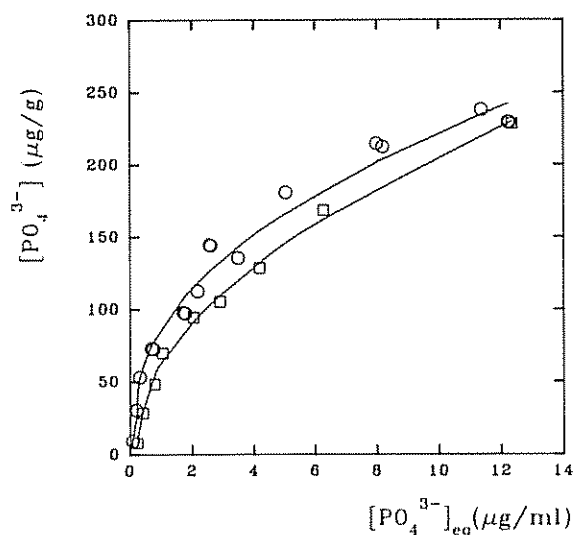


Fig. 3. Phosphate adsorption isotherms on soil LT.
○: 303.2 K; □ : 313.2 K.

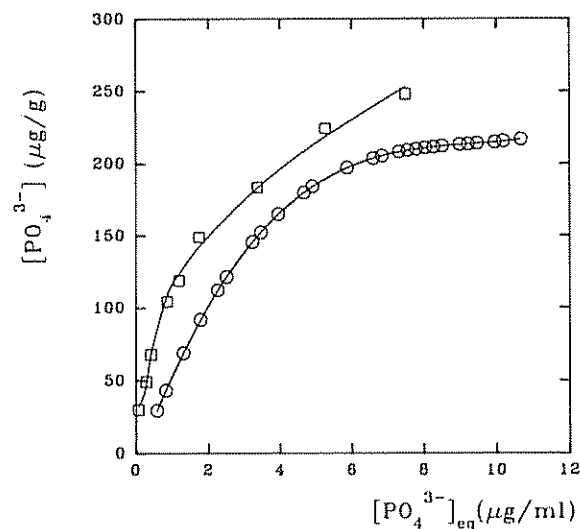


Fig. 4. Phosphate adsorption isotherms on soil LUJ.
○: 303.2 K; □ : 313.2 K.

is a constant related to the bonding energy between the phosphate ion and the soil surface:

$$K_T = A_0 \exp \left(\frac{E_{ad}}{RT} \right) \quad (2)$$

where A_0 is a preexponential factor, E_{ad} is the adsorption energy, R is the universal gas constant and T the absolute temperature. If it is assumed that A_0 does not strongly depend on temperature, it is

possible to determine the E_{ad} from the K_T values obtained at two temperatures. In our case, the temperature difference between the adsorption isotherms was 10 K; therefore perhaps the adsorption energy did not change. The values obtained for X_m , K_T and E_{ad} are quoted in Table 2. It can be seen that the values obtained for the adsorption energy are very large, making impossible the desorption process, at least in the experimental conditions used in this work. The X_m values do not reflect the expected values from graphic representations of the adsorption isotherms (see Figures 1-4). Therefore, these results indicate that any good agreement between experimental data and the Langmuir model is only due to mathematical reasons and not to the physical reality of this simple model.

Table 2. Langmuir's parameters for adsorption isotherms.

Soil	KT1	KT2	Ead	Xm,T1	Xm,T2
LE	0.8796	0.14044	142.8	197.1	268.0
LP	1.2160	0.08816	206.9	264.4	457.6
LT	0.3346	0.22548	30.9	283.2	282.0
LUJ	0.2936	0.63150	-60.6	295.3	289.3

T1=303.2 K; T2=313.2 K; Ead in kJ/mol; Xm in mg/g

Before presenting the desorption data we need to define some variables, as follows:

P_{ad}^0 is the quantity of the phosphate ion initially adsorbed as determined by the adsorption isotherm; P_{ad}^n is the remnant adsorbed phosphate after the n -th extraction with pure water, and P_{des}^n is the phosphate-ion-recovered quantity at the n -th extraction. P_{ad}^n is calculated from:

$$P_{ad}^n = P_{ad}^{n-1} - P_{des}^n \quad (3)$$

Thus:

$$P_{ad}^1 = P_{ad}^0 - P_{des}^1 \quad (4)$$

$$P_{ad}^2 = P_{ad}^1 - P_{des}^2 \quad (5)$$

equations (4) and (5) can be combined to give:

$$P_{ad}^2 = P_{ad}^0 - P_{des}^1 - P_{des}^2 \quad (6)$$

and the generalization of this equation is straightforward:

$$P_{ad}^n = P_{ad}^0 - \sum_{i=1}^n P_{des}^i \quad (7)$$

We can easily see that the limit of expression (7), when n tends to infinity, is zero, meaning that after infinite extractions, all the initially adsorbed phosphate must be recovered.

If it is assumed that the desorption process is of first order of P_{ad}^n , and using equation (7), the final expression is:

$$\ln P_{ad}^n = C - kt \quad (8)$$

where $C = \ln P_{ad}^0$, k is the rate constant and t is the time. The units are always: mg for P_{ad}^n and day for t , unless anything else is explicitly indicated. In fact, there are a set of equations (8) for each initial phosphate concentration. In Figures 5-8, the corresponding profiles for all soils are shown. All straight lines have correlation coefficients that are greater than 0.998. These graphs demonstrate that the desorption process is a first-order one.

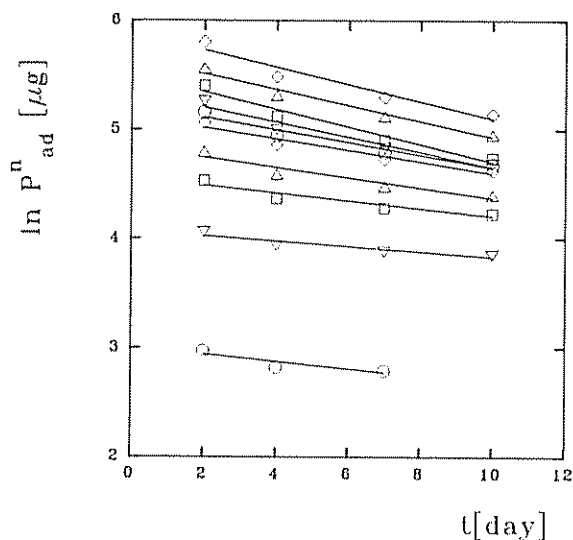


Fig. 5. Soil LE profiles calculated with Equation (8) for all initial added phosphate quantities (see text). $T = 303.2$ K.

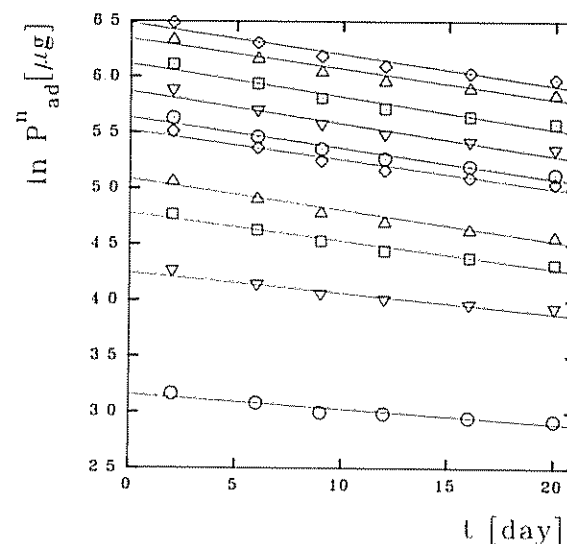


Fig. 6. Soil LP profiles calculated with Equation (8) for all initial added phosphate quantities (see text). $T = 303.2$ K.

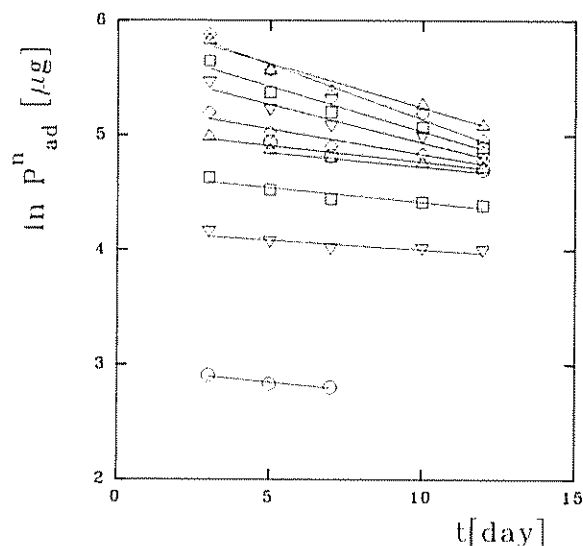


Fig. 7. Soil LT profiles calculated with Equation (8) for all initial added phosphate quantities (see text). $T = 303.2$ K.

We can now discuss the obtained values for P_{ad}^0 by extrapolation of equation (8). If the extrapolated values of P_{ad}^0 are compared to the experimental values, two straight lines are obtained for each soil sample. In Figure 9, the profile obtained for soil LUJ is presented as an example; the other soils show similar profiles. One has low phosphate quantities (< 230 mg) and the other higher concentrations (> 230 mg). Table 3 quotes the values obtained for each soil. In

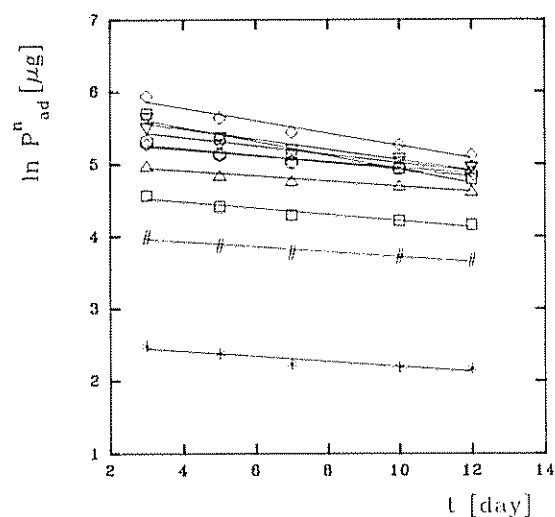


Fig. 8. Soil LUJ profiles calculated with Equation (8) for all initial added phosphate quantities (see text). $T = 303.2$ K.

Table 3, the mean values of the slopes are included to show that there are only two values, except for soil LT high phosphate quantities. In the last two columns, the values of P_{rec}^0 (the total quantity of phosphate ion recovered after 96 days of successive extractions in the flask without phosphate addition) and P_{iso}^0 (the total quantity of phosphate ions recovered in the reference flask employed in the adsorption experiment). In other words, P_{rec}^0 is the phosphate ion released in non-equilibrium conditions (extractions at variable periods of time) and P_{iso}^0 is the phosphate ion liberated by the soil in equilibrium conditions.

The intercepts of the straight lines obtained (Table 3) are in good agreement with these two quantities for

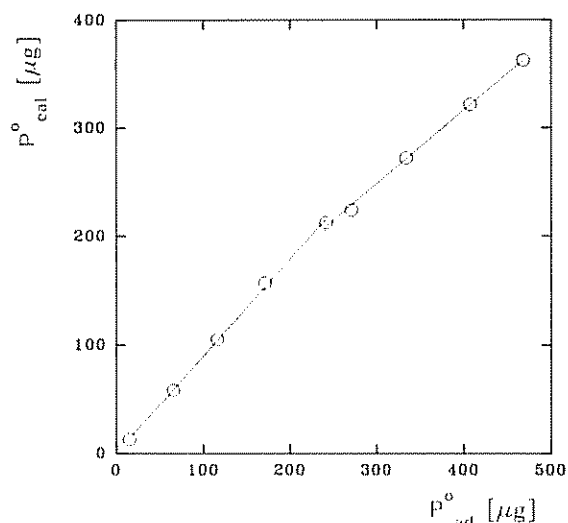


Fig. 9. P_{ad}^0 extrapolated with Equation (8) as a function of the experimental values for soil LUJ. $T = 303.2$ K.

each soil sample. This behavior confirms the reasonable assumption that at low quantities of added phosphate the equilibrium is reached in shorter times than at higher concentrations of phosphate ions. In addition, it indicates that soil in equilibrium with a solution releases a certain quantity of phosphate ions, much less than the actual phosphate content of the soil but large enough to stop the liberation process due to reasons that we can not support by experimental evidence. One possible way to explain this is to assume that there are different kinds of phosphate ions bonded to the surface in such a way that, in the equilibrium experiment, only the loosely bonded phosphate is released, while in successive extractions (non-equilibrium situation) almost all phosphate is liberated.

Table 3. Parameters calculated from Equation 8.

Soil	$P_{ad}^0 < 230 \mu g$		$P_{ad}^0 > 230 \mu g$		P_{rec}^0	P_{iso}^0
	C	k	C	k		
LUJ	1 086	0 8885	45 942	0 67511	57 279	4 167
LT	2 495	0 8662	14 200	0 81098	15 701	2 437
LP	3 209	0 8679	50 025	0 68093	50 485	3 313
LE	2 666	0 8215	19 057	0 69945	14 840	2 341
		0 8610		0 6852		
c2		6. 10-4		1. 10-4*		

where is the mean value of b and c2 is the deviation

* Excluding the value for soil LT (see the text).

Regarding to the slopes of the straight lines, it can be said that both processes discussed above are soil-independent. In the case of soil LT, the same slope is obtained for both straight lines—indicating that phosphate ions are loosely bonded to its surface.

If P_{ad} raised to the third power is represented against time for each added phosphate quantity, straight lines are obtained; this kind of representation maximizes experimental errors. The intercepts to the origin of these lines are the extrapolated phosphate quantities initially added. In an ideal situation, the extrapolated value should coincide with the experimental phosphate quantity initially adsorbed, as indicated by equation 7. If the extrapolated quantity is less than the experimental one, it means that some phosphate is retained by the soil and cannot be recovered by extraction. On the other hand, if the extrapolated quantity is greater than the experimental one, as in our case, it means that some of the recovered phosphate was released by the soil itself. This fact could be easily verified by plotting the extrapolated values as a function of the experimental quantities:

$$P_{ad,x}^{cal} = a + bP_{ad,x}^{exp} \quad (9)$$

where $P_{ad,x}^{cal}$ is the phosphate quantity adsorbed when no phosphate was previously added, the superscripts cal and exp indicate the extrapolated and experimental values respectively; in other words, $P_{ad,x}^{cal}$ is the phosphate quantity of the soil itself.

The parameters calculated with equation 9, for all soils, are quoted in Table 4. It is important to notice that the cubic root of the intercept coincides with the phosphorus content determined by the Bray-Kurtz #1

Table 4. Parameters calculated with Equation 9.

Soil	a	b	PBray-Kurtz	D%
LUJ	14.98	0.72398	13.28	13
LP	39.19	0.67375	41.0	-4
LT	12.57	0.61789	10.1	24
LE	9.04	0.55759	8.975	0.7

$\langle b \rangle = 0.64330$, $c_2 = 0.004$

where a and b are the cubic root of the intercept and the slope of the line respectively, D% is the relative error between a and total Bray-Kurtz phosphorus

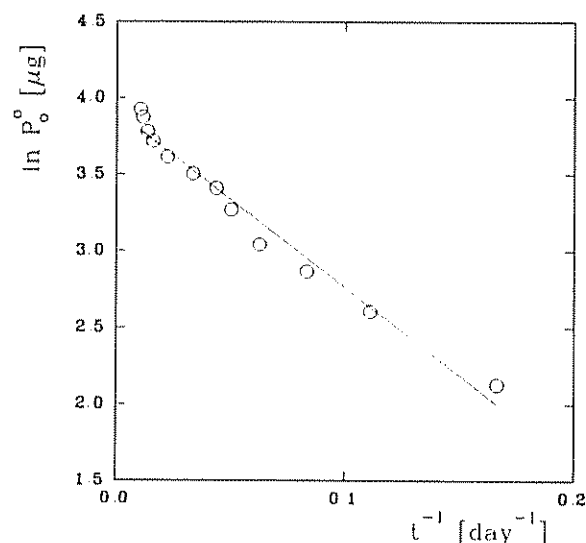


Fig. 10. Representation of Equation (10) for soil LP. $T = 303.2 \text{ K}$.

method supporting the ideas mentioned above. The slope of the lines are very similar, indicating that the process is soil-independent.

Table 5. Parameters calculated with Equation 10.

Soil	a	b	Poext	PBray-Kurtz
LP	3.90557	-11.436	49.68	41.0
LE	2.17666	-2.954	8.82	8.975
LUJ	3.91510	-5.7765	0.151	3.28
LT	2.66630	-6.6571	4.39	10.1

During each desorption experiment, a flask containing soil with no phosphate added was used as a reference. The accumulated desorbed phosphate in the reference flask is denoted as P_0 ; if a linear dependence of the natural logarithm and the inverse of time (t) is assumed:

$$\ln P_0 = \alpha - \frac{\beta}{t} \quad (10)$$

straight lines are obtained for each soil sample. Figure 10 shows as an example the results obtained for soil LP. It must be noted that the inverse of time is taken in order to simplify the parameter interpretation; similar lines are obtained by plotting against

time. In equation 10, a_1 is the logarithm of the released phosphate quantity at infinite extraction time (P_{∞}). In Table 5, the values of a , b and Bray-Kurtz phosphorus are quoted. It can be seen that, except for soil LUJ, P_{∞} and Bray-Kurtz phosphorus are in good agreement.

CONCLUSIONS

The inadequacy of Langmuir's adsorption model to produce parameters with physical meaning has been shown with the examples presented in this and in a previous (Bottani *et al.* 1993) paper. It should be possible to test the validity of this model for soils of different characteristics to the ones studied here.

The analysis of the desorption process proved to give valuable information. This process is in principle a first-order one. The analysis of our data indicates that there are phosphate ions bonded to the soil surface with different strengths: Only the loosely bonded phosphate is liberated under equilibrium conditions. To release almost all the phosphate contained in the soil, it is necessary to apply non-equilibrium conditions (extractions with water).

From plots of remnant adsorbed phosphate raised to the third power as a function of time, it is possible to determine the phosphorus content of these soils, one in good agreement with that determined by Bray-Kurtz #1 method.

LITERATURE CITED

- BARROW, N.J. 1978. The description of phosphate adsorption curves. *Journal of Soil Science* 29:447-462.
- BOTTANI, E.J.; CASCARINI DE TORRE, L.E.; FERTITIA, E.A.; LÓPEZ, S.; BÁRBARO, N.O. 1993. Adsorption of gases and phosphate ions in some Argentinean soil samples. *Soil Science* 155-190.
- CAMARA, I.; CESCAS, M.P.; KARAM, A.; PARENT, L.E. 1987. Chimie du phosphore dans quelques sols de rizière de l'Afrique de l'ouest. *Naturaliste Can. (Rev. Ecol. Syst.)* 114: 141-149.
- CHEN, P.S.; TORIBARA, T.Y.; WARNER, H. 1956. Microdetermination of phosphorus. *Analytical Chemistry* 28(1):1756.
- DE BLAS VARELA, E.; GIL SOTRES, F.; GUITIÁN OJEA, F. 1989. Las reacciones lentas del fósforo en suelos gallegos. II. Variación de las isotermas de sorción con el tiempo de contacto. *Annales Edafología y Agrobiología* 48:343-355.
- GARDNER, B.; PRESTON, J. 1973. Effects of temperature on phosphate sorption isotherms and phosphate desorption. *Soil Science Plant. An.* 4:83-93.
- IMAI, H.; GOULDING, K.W.I.; TALIBUDEEN, O. 1981. Phosphate adsorption in allophanic soils. *Journal of Soil Science* 32:555-570.
- JACKSON, M.L. 1964. *Análisis químico de suelos*. Omega.
- LÓPEZ-HERNÁNDEZ, D.; CORONEL, I.; ALVAREZ, L. 1981. Uso de la isoterma de adsorción para evaluar requerimientos de fósforo. I. Isoterma de adsorción de los suelos. *Turrialba (C.R.)* 31(3):168.
- MEHADI, A.A.; TAYLOR, R.W. 1988. Phosphate adsorption by two highly-weathered soils. *Soil Science Society of America Journal* 52:627-632.

Frecuencia Optima de Riego y Fertilización en *Aloë vera* L.¹

L.M. Yépez*, M.L. Díaz*,
E. Granadillo*, F. Chacín**

ABSTRACT

The effects of irrigation and fertilization on the productivity of *Alöe vera* L. in terms of aerial dry biomass were studied. Additionally, the effects on gel and latex yield were analyzed. The assay was performed in pots using an oriented and increased matrix experimental design. Nine combinations of irrigation frequency and fertilization doses were evaluated. The largest accumulation of dry leaf biomass was observed in the treatments with frequent irrigation (every 8 days) and low fertilization doses (3 g/pots) and those with lower irrigation frequency (every 20 days) and high fertilization doses (9 g/pots). The maximum values of latex, acibar, crystal and dry gel were highest in the treatments where low irrigation was combined with high fertilization doses (every 20 days, 12 g/pots), or in frequent irrigation without fertilization (every 8 days, 0 g/pots). We concluded that biomass accumulation responded to the optimum combination of irrigation frequency and the fertilization doses, while latex, acibar, crystal and dry gel production responded principally to water availability.

INTRODUCCIÓN

Las zonas áridas y semiáridas del norte de Venezuela se caracterizan por periodos prolongados de sequía y precipitaciones entre septiembre y enero con máximos alrededor de 500 mm

RESUMEN

Se estudió el efecto del riego y la fertilización sobre la productividad de *Aloë vera* L. en términos de acumulación de biomasa seca de las hojas y del contenido de los productos naturales que se extraen de esta planta. El experimento se realizó en macetas aplicando un diseño experimental de matrices orientado y aumentado. Se evaluaron nueve combinaciones de frecuencias de riego con dosis de fertilizante 15-15-15. Se observó mayor acumulación de biomasa aérea en los tratamientos con riego frecuente (cada 8 d) y dosis bajas de fertilizante (3 g por maceta) y en aquellos con riego poco frecuente (cada 20 d) y dosis altas de fertilizante (9 g por maceta). Los valores máximos de látex, acíbar, cristal y gel seco resultaron mayores en los tratamientos donde se combinaron distancias grandes entre riegos con dosis altas de fertilizante (cada 20 d y 12 g por maceta), o distancias intermedias con riego sin fertilización (cada 8 d y 0 g por maceta). Se concluyó que la acumulación de biomasa responde a la combinación óptima de la frecuencia de riego con la dosis óptima de fertilizante, mientras que la producción de látex, acíbar, cristal y gel seco responden mayormente a la disponibilidad de agua.

Palabras clave: Productividad, plantas CAM, *Aloë vera* L.

y mínimos de 270 mm; la temperatura máxima es de 40° C, con una media durante el año de 30° C y los valores de radiación solar oscilan entre 400-600 C m² por segundo.

Los suelos son de profundidad variable, de pedregosos a arcillosos y, en raras ocasiones, francoarenosos. En su mayoría son de baja calidad con altos tenores de salinidad, alcalinos y pobres en materia orgánica (Díaz 1987).

Los factores mencionados, propios de las áreas tropicales semiáridas, limitan el crecimiento vegetal; sin embargo, el déficit hídrico es el de mayor importancia, tanto para el crecimiento como para la productividad, puesto que representa el efecto interactivo, integrista y acumulativo de la precipitación, la temperatura, la radiación y los nutrimentos, en par-

¹ Recibido para publicar el 26 de mayo de 1993
Este trabajo ha sido financiado por FUNDACITE C.O., dentro del proyecto F1 05-09-85. Se agradece al Dr. Javier García Benavides el diseño de experimentos y la eficiente colaboración de Agustín Cedeño en el trabajo de campo.

* Universidad Nacional Experimental "Francisco de Miranda", Centro de Investigaciones en Ecología y Zonas Áridas. Apdo 7506, Coro, Ven.

** Universidad Central de Venezuela, Facultad de Agronomía, Posgrado de Estadística, Maracay, Ven

ticular los relacionados con la ganancia neta de CO_2 y el almacenamiento de carbono (Nobel 1988).

La baja disponibilidad de agua ha sido uno de los principales factores selectivos en la evolución de las especies que se encuentran en estas zonas, las cuales han desarrollado características morfológicas y fisiológicas, que les han permitido sobrevivir en estos ambientes. De esta manera, los mecanismos estructurales se complementan fisiológicamente con la coexistencia de plantas, en su mayoría con el metabolismo ácido de las Crassulaceae (CAM) y C_3 (Díaz 1987).

Nobel (1988), con base en la integración de la información recopilada durante años del trabajo sobre *Agave* y *Cactus*, ha encontrado que estas especies son capaces de mostrar altas productividades (0.45 kg m^{-2} y 0.84 kg m^{-2} respectivamente) en las regiones áridas y semiáridas estudiadas.

Estos valores altos de productividad pueden alcanzarse aun sin requerir altas precipitaciones, como es el caso de la mayoría de los cultivos tradicionales, debido a la presencia en estas plantas del metabolismo ácido de las Crassulaceae.

Se reconoció que ciertas áreas desérticas son subutilizadas por la agricultura; por eso, se propuso la expansión de cultivos alternativos, como las plantaciones de plantiopuntias para la alimentación del ganado, altamente recomendable para estas tierras (Nobel 1988).

Fischer y Turner (1978) señalan que, usualmente, la selección de las especies cultivables en estos ecosistemas ha sido determinada por el hombre aplicando la regla general de la maximización del rendimiento del producto económico. Regla que, generalmente, coincide con la maximización de la productividad primaria, aunque, algunas veces, no ocurre así.

Con base en lo expuesto anteriormente, el cultivo alternativo que ofrece mayores ventajas para las zonas semiáridas neotropicales es el *A. vera* L. Este es un cultivo industrial de alto valor económico, sembrado tradicionalmente en la región noreste de Venezuela desde hace 30 años en plantaciones poco tecnificadas, lo que ha provocado una disminución sustancial de los rendimientos en los últimos 20 años.

La información científica sobre la biología y el manejo agronómico de esta planta es escasa; no obs-

tante, estudios recientes en condiciones naturales en las zonas semiáridas al norte de Venezuela han demostrado que individuos de *A. vera*, que crecían bajo sombra arbórea natural y en suelos con baja disponibilidad de nutrimentos, acumularon mayor biomasa y su rendimiento en productos comerciales fue mayor, en comparación con aquellas plantas crecidas en ambientes expuestos totalmente al sol (Díaz y González 1986). En condiciones de laboratorio se demostró que las plantas de *A. vera* cultivadas con alta intensidad de luz y estrés hídrico presentaron mayor grado de fotoinhibición, sin recuperación aparente, que las cultivadas con alta intensidad de luz y riego frecuente; por su parte, las plantas bajo condiciones de sombra parcial mostraron menor grado de fotoinhibición y una rápida recuperación de la actividad fotosintética, que provocó una mayor fijación neta de CO_2 (Díaz *et al.* 1986). No obstante, el efecto de la adición de nutrimentos no se ha estudiado ni se conoce el umbral de requerimiento hídrico para las condiciones óptimas de cultivo de esta especie.

En este trabajo se determinó la productividad de *A. vera* L. como respuesta a diferentes combinaciones de frecuencias de riego y dosis de fertilizante, con el fin de obtener información sobre la influencia de esos factores en la acumulación de materia seca de las hojas y la variación en el contenido de los productos naturales que se extraen de esta planta.

MATERIALES Y MÉTODOS

Materia vegetal

Las plantas de *A. vera* L. utilizadas en el experimento provenían de plantaciones de la Península de Paraguaná, Estado Falcón, Ven. Se seleccionaron plantas entre 30 cm y 35 cm de altura y morfológicamente similares.

Preparación del suelo

El suelo usado en el ensayo se tomó de las mismas plantaciones y se mezcló posteriormente con arena de médano y remanso de río en partes iguales. La mezcla de suelo se desinfectó con Captan, siguiendo las instrucciones del fabricante.

Preparación de las macetas

Se utilizaron macetas rectangulares de aluminio con un área de 0.14 m^2 y 40 cm de profundidad.

Estas dimensiones fueron escogidas, considerando el área ocupada por la planta en cultivos de campo.

Diseño experimental

El diseño experimental utilizado fue el de matrices orientadas y aumentadas. El estudio constó de nueve tratamientos, con cinco repeticiones cada uno. Se sembraron dos plantas por maceta (una para determinar la biomasa aérea y otra para cuantificar los productos). Los tratamientos se distribuyeron como indica el Cuadro 1.

Cuadro 1. Frecuencia de riego y dosis de fertilizante aplicado en *A. vera* L.

Tratamiento (núm.)	Frecuencia de riego (d)	Dosis de fertilizante (gramos por maceta)
1	2	3
2	8	0
3	8	3
4	8	9
5	14	6
6	20	3
7	20	9
8	20	12
9	26	9

Manejo del cultivo

Se estableció un calendario de riego según el diseño establecido y se cumplió hasta dos semanas antes de la cosecha. La fertilización se realizó en la semana 14 después de la siembra. Se utilizó el fertilizante 15-15-15, usado tradicionalmente por los productores de *A. vera* L. de la región en que se realizó el estudio.

Determinación de la productividad

Se seccionó la planta para determinar la biomasa en la raíz, tallo, hojas e hijos. Se registró el peso fresco y seco de cada compartimiento. Para este trabajo se analizó sólo el peso seco de las hojas.

Se cuantificaron los siguientes productos comerciales: el látex, el acfbar, el cristal y el gel seco. Para obtener el volumen y el peso fresco del látex, se

escurrieron en posición vertical las hojas de la planta. La determinación de acfbar o látex deshidratado se realizó según metodología descrita por Borin (1977). La técnica para procesar el cristal y la separación de sus productos (gel seco y fibra), se realizó siguiendo la metodología descrita por Farkas y citada por Borin (1977). La fibra no se incluyó en este análisis.

Análisis estadístico de los datos

El análisis estadístico de los resultados se realizó aplicando estadística descriptiva, análisis de variancia, análisis de regresión lineal múltiple y análisis de superficie de respuesta, que permitió la predicción de la respuesta a varias combinaciones de los factores estudiados.

RESULTADOS

La productividad de *A. vera* L. se evaluó en términos de acumulación de materia seca de las hojas por planta. Los valores promedios más bajos para esta variable (57.6 g Ps y 61.4 g Ps) se encontraron en plantas con aplicaciones bajas de fertilizante (3 g por maceta) e intermedias (9 g por maceta), independientemente de las frecuencias de riego. Los valores promedios máximos de biomasa de hojas (94.6 g Ps y 96.6 g Ps) corresponden a tratamientos opuestos en riego (20 d y 8 d), en combinación con dosis más reducidas de fertilizante (3 g por maceta) y/o en ausencia de éste. Esto indica que el factor riego es determinante en la producción de dicha variable y que la fertilización no favorece su acumulación (Cuadro 2).

Los resultados de las pruebas de hipótesis para los coeficientes de regresión múltiple revelaron que la acumulación de materia seca en las hojas de *A. vera* no tuvo influencia de los factores frecuencia de riego y dosis de fertilizante, ya que no se detectaron diferencias significativas para ninguno de ellos.

Los valores máximos de contenido de látex, acfbar y gel seco, se ubicaron en tratamientos totalmente opuestos (8 d, 0 g por maceta y 20 d, 12 g por maceta). No obstante, el gel seco mostró un valor bastante cercano a los máximos observados (10.09 g) en plantas regadas cada 8 d y con dosis intermedias de fertilizante (9 g por maceta). Para el cristal de *Aloë* se apreció un valor máximo (2113.8 g) en plantas irrigadas cada 8 d sin fertilización (Cuadro 2).

Cuadro 2. Productividad por planta en *A. vera* L.: Respuesta a cambios en la frecuencia de riego y dosis de fertilizante.

Frecuencia de riego (d)	Dosis de fertilizante (gramos por maceta)	Biomasa hojas (qPs)	Látex (ml)	Acíbar (g)	Cristal (g)	Gel seco (g)
2	3	49.1 ± 2.9	32.4 ± 1.1	9.43 ± 1.1	1074.9 ± 239.1	4.70 ± 1.2
8	0	94.6 ± 31.7	56.2 ± 6.3	19.87 ± 2.2	2113.8 ± 392.3	10.30 ± 2.9
8	3	57.6 ± 18.1	31.0 ± 8.3	13.33 ± 3.6	1012.7 ± 330.7	6.0 ± 1.7
8	9	65.4 ± 10.0	37.9 ± 10.0	8.34 ± 3.7	1343.4 ± 357.7	10.09 ± 7.3
14	6	62.3 ± 20.9	40.9 ± 10.2	—	1846.9 ± 562.2	4.53 ± 4.2
20	3	96.6 ± 10.2	38.2 ± 12.3	6.51 ± 0.5	1256.9 ± 589.9	7.81 ± 1.9
20	9	61.4 ± 7.8	39.9 ± 3.1	8.34 ± 1.1	1663.1 ± 498.1	9.18 ± 4.0
20	12	66.9 ± 21.9	56.3 ± 18.2	12.91 ± 3.8	1800.9 ± 645.9	10.15 ± 1.6
26	9	89.1 ± 46.4	37.2 ± 10.2	—	1433.1 ± 449.1	5.92 ± 16.5

n = 5

g = gramos

Area de la maceta: 0.14 m²

Nota: Los valores se expresan en promedios en relación con el número de observaciones por tratamiento ± la desviación estándar.

Los resultados de las pruebas de hipótesis para los coeficientes de regresión múltiple, obtenidos en el análisis de la superficie de respuesta, revelaron que la frecuencia de riego afecta positivamente la producción de acíbar y cristal, es decir, que los aumentos en la disponibilidad de agua benefician la ganancia en peso de dichas variables; los aumentos en las dosis de fertilizante no favorecen la acumulación de ninguno de los productos comerciales analizados en este estudio, aunque variaciones en los valores promedios sugieren que si existió influencia del fertilizante (Cuadro 2). El efecto de interacción entre ambos factores (frecuencia de riego y dosis de fertilizante) es significativo para la producción de acíbar en relación positiva, es decir, que al aumentar la irrigación y/o la cantidad de fertilizante se esperaba un incremento en peso de esta variable, tal como se encontró en los valores reales obtenidos (Cuadro 2).

La representación de los análisis de las superficies de respuesta se muestran en la Fig. 1. Los modelos de estimación y los coeficientes de determinación (r^2) de cada variable analizada se muestran en el Cuadro 3. Los valores correspondientes a r^2 , excepto del acíbar (73.9%), se apreciaron por debajo del 60%, lo cual indica que fue baja la proporción de la variabilidad observada en los datos de los factores considerados en este estudio (frecuencias de riego y dosis de fertilizante).

Los resultados del análisis de la superficie de respuesta revelaron que todos los valores de predicción,

en el punto estacionario de las variables consideradas, eran puntos críticos conocidos como puntos en ensilladura (35.5 cc por planta; 10.25 g por planta; 1542.66 g por planta y 6.10 g por planta), donde la respuesta de los productos comerciales (látex, acíbar, cristal y gel seco, respectivamente) se maximiza para un factor y se minimiza para otro (Cuadro 4). Sólo la biomasa de las hojas no se consideró punto crítico, pues mostró un valor mínimo (42.9 g Ps). Estos valores de predicción se encontraron por debajo de los valores promedios reales obtenidos (Cuadro 2). La combinación óptima de los factores estudiados, dada por los valores propios o "eigencianos", mostró para el caso del producto natural cristal valores fuera de la superficie de exploración (Cuadro 4).

DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

Los valores de productividad encontrados en *A. vera* L. parecen indicar que la acumulación de biomasa seca de las hojas depende de la combinación óptima de ambos factores (frecuencia de riego y dosis de fertilizante). Aparentemente, si la disponibilidad de agua es alta, no es necesaria la presencia del fertilizante y si el recurso agua es escaso, dosis bajas (3 g por maceta ó 21.42 g/m²) de fertilizante 15-15 serán suficientes para lograr una adecuada acumulación de biomasa seca en las hojas.

Díaz y González (1986) encontraron que las plantas de *A. vera* L. que crecían bajo sombra arbórea

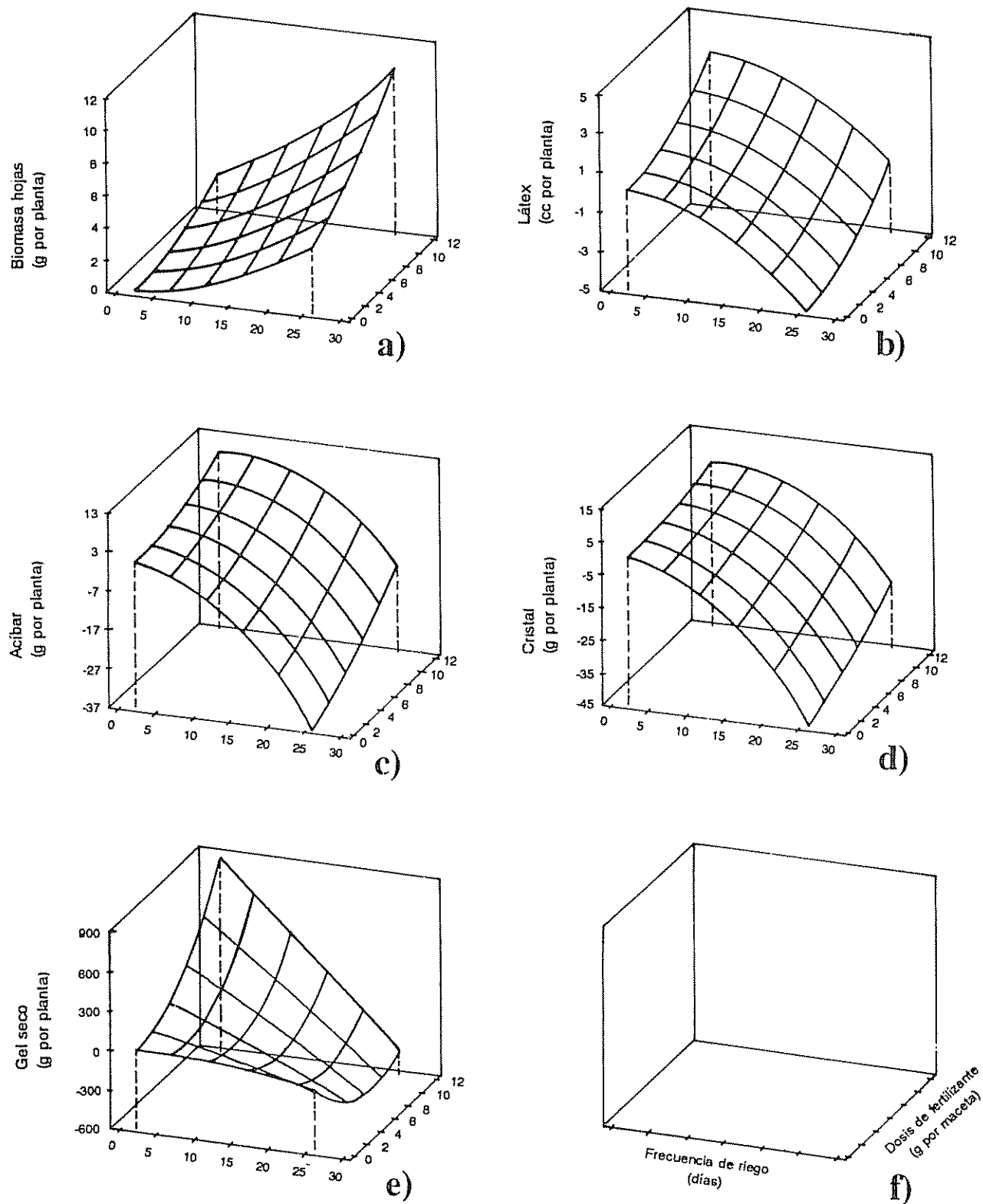


Fig. 1. Efecto de la frecuencia de riego y dosis de fertilizante en *A. vera* L.; a) biomasa de las hojas, b) látex, c) acíbar, d) cristal, e) gel seco y f) leyenda de las coordenadas.

Cuadro 3. Modelos de estimación y coeficientes de determinación en *A. vera* L.

Variable	Modelo de estimación	r ²
Biomasa	$Y_i = 55.3 + 6.8 R - 4.1 F + 5.5 R^2 + 14.9 F^2 + 13.2 RF$	0.1217
Hojas		
Látex	$Y_i = 35.3 + 2.45 R + 0.6 F - 7.5 R^2 + 21.3 F^2 + 1.43 RF$	0.4151
Acíbar	$Y_i = 10.5 + 1.2 R - 3.4 F - 5.5 R^2 + 5.1 RF$	0.7385
Cristal	$Y_i = 1534.9 + 154.7 R - 13.9 F - 664.5 R^2 + 298.1 F^2 + 5.1 RF$	0.2453
Gel seco	$Y_i = 6.1 - 0.02 R + 0.9 F - 0.2 R^2 + 6.6 F^2 - 4.02 RF$	0.3628

r²: Coeficiente de determinación.

R: Efecto del factor frecuencia de riego.

F: Efecto del factor dosis de fertilización.

R²: Efecto cuadrático del factor (R).F²: Efecto cuadrático del factor (F).

RF: Efecto de interacción de los factores (R) y (F).

Cuadro 4. Valores "eigencianos" obtenidos del análisis de la superficie de respuesta en *A. vera* L.

Variable	Valor de predicción	Valores propios o "eigencianos"	
		Frecuencia de riego (d)	Dosis de fertilizante (gramos por maceta)
Biomasa de hojas	42.9 g Ps	24.42	6.34
Látex	35.5 ml por planta	21.35	7.47
Acíbar	10.25 g por planta	5.66	6.1
Cristal	1 542.66 g por planta	362.4	728.77
Gel seco	6.10 g por planta	7.15	0.73

Área de la maceta = 0.14 m²

natural de especies como el "cuji" o mezquite (*Prosopis juliflora*) y el divi-divi (*Caesalpinia coriaria*), en suelos con baja disponibilidad de nutrientes, acumularon mayor biomasa aérea que las totalmente expuestas al sol. No obstante, en este estudio se detectó que, independientemente de la frecuencia de riego, los aumentos en las dosis de fertilizante disminuyeron la biomasa foliar y provocaron un aumento en peso de la biomasa radical (datos no publicados). Una posible explicación para este fenómeno es que el exceso de sales podría inducir un mayor estrés hídrico, por el aumento de solutos en la solución del suelo y/o al establecimiento de una mayor competencia radical, si se toman en cuenta las condiciones del estudio (dos plantas por maceta).

Las variaciones observadas en la productividad en términos de ganancia de peso seco en las hojas de *A.*

vera L. se explican por el porcentaje muy bajo de los factores estudiados: frecuencia de riego y dosis de fertilizante. Según esto es posible que los resultados obtenidos sean la respuesta del efecto de otros factores, como los señalados y/o factores intrínsecos de la planta.

La importancia económica de *A. vera* L. radica, principalmente, en los productos comerciales que de ella se extraen. Excepto los trabajos realizados en condiciones naturales por Díaz y González (1986), no hay información científica en Venezuela sobre la variación que estos productos experimentan cuando las plantas están sometidas a distintas disponibilidades de agua y nutrientes.

En general, la acumulación de los productos comerciales en esta especie vegetal no parece benefi-

ciarse con los aumentos en las dosis de fertilizante, cuando las plantas se someten a riegos frecuentes. Al contrario, cuando los riegos son menos frecuentes, una adición de fertilizante favorece la producción de gel y látex. Esto parece sugerir que la disponibilidad de agua es el factor determinante en la acumulación de dichos productos. Se sugiere que si las condiciones hídricas son favorables (un riego cada 8 d) no es conveniente aplicar fertilizante.

Grindlay y Reynolds (1986) informan sobre la fertilización ocasional del cultivo de *A. vera* L. con fertilizantes no ricos en nitrógeno, sin revelar dosis específicas; sugieren, además, la importancia de la sombra para mantener la humedad en el suelo y disminuir la radiación. De esa manera, se favorecen los rendimientos en el contenido de gel; esto concuerda con lo observado por Díaz y González (1986), quienes encontraron que esta especie vegetal, bajo sombra arbórea natural, aumentó el contenido de gel y la acumulación de la biomasa aérea. El contenido de látex fue similar al obtenido en plantas totalmente expuestas al sol.

Los autores mencionados sugieren el establecimiento de zabilares bajo un estrato arbóreo natural, que favorece la retención de humedad y la mayor incorporación de materia orgánica al suelo –situaciones que minimizan el uso del agua. Además benefician el aporte de nutrimentos de los árboles hacia el cultivo, sin necesidad de fertilización; todo esto redundará en el mantenimiento de la vegetación natural como pilar fundamental para la conservación de los ecosistemas semiáridos.

Los resultados obtenidos revelan que la adición del fertilizante comercial Triple 15 no es necesaria por lo menos para las condiciones estudiadas y que una frecuencia de riego cada 20 d o una vez al mes es suficiente para obtener una óptima producción comercial, cuando las plantas están totalmente expuestas al sol y en monocultivos.

En cuanto a la respuesta a los fertilizantes químicos, será necesario establecer experimentos más rigurosos, que puedan medir el efecto de cada macronutriente en forma independiente, con el fin de encontrar el mejor fertilizante que optimice la productividad y el rendimiento en *A. vera* L.; también se sugiere realizar experimentos en condiciones de campo, donde se utilicen sistemas naturales y se evalúe la productividad de esta especie asociada a especies arbóreas típicas de la región, con el propósito fundamental de diseñar sistemas de producción más aptos, que conlleven una agricultura sostenible en las zonas áridas y semiáridas de Venezuela.

LITERATURA CITADA

- BORIN, S. 1977. Extracción de aloínas y poliuronidos de la zábila. Ven., Universidad del Zulia. 39 p. (Mimeo).
- DÍAZ, M.; GONZÁLEZ, A. 1986. Capacidad CAM en zábila: Respuesta a la intensidad de luz. Ven., CIEZA, Universidad Nacional Experimental Francisco de Miranda (UNEFM). 20 p. (Mimeo).
- DÍAZ, M. 1987. Las zonas áridas al norte de Venezuela: Hacia el aprovechamiento racional de sus recursos naturales renovables. In Publicación de la Fundación para el Desarrollo de la Región Centro Occidental. p. 33-54.
- DÍAZ, M.; ADAMS III, W.; WINTER, K. 1988. Déficit hídrico y fotoinhibición en *Aloë vera* L. In Convención Anual de la Asociación Venezolana para el Avance de la Ciencia (ASOVAC) (38, Ven., Maracay). Ven.
- FISCHER, R.; TURNER, N. 1978. Plant productivity in the arid and semiarid zones. *Plant Physiology* 29:277-317.
- GRINDLAY, D.; REYNOLDS, T. 1986. The *Aloë vera* phenomenon: A review of the properties and modern uses of the leaf parenchyma gel. *Journal of Ethnopharmacology* 16:117-151.
- NOBEL, P. 1988. Environmental biology of Agaves and Cactis. Cambridge University Press. 270 p.

Effects of *Bauhinia monandra* (Kurz) Seed Extracts on Yield, Morphology and Anatomy of Cassava Plants¹

Z. Russom*

ABSTRACT

Cassava stem cuttings of TMS 30572 were partially soaked in extract of *B. monandra* seeds for 70 hours, planted in the field in April 1988 and harvested in April 1989. Second and third experiments were carried out during April 1989 - May 1990 and during May 1990 - May 1991. Stem cuttings used in Experiment 2 were taken from Experiment 1 and those used in Experiment 3 were taken from Experiment 2. Extracts were applied only in April 1988. Yield and morphological characters were recorded every year. In a fourth experiment, cotyledon extract of *B. monandra* was applied to tubers of 3-month-old cassava plants, and the control plant was left untreated. These plants were harvested a year later, and then planted again without re-treating. Morphological and anatomical characters were recorded from these second-generation plants. The *B. monandra* extract consistently increased the following characters: tuber yield, tuber number per plant, number of primary stems per plant, stem girth, height of stem from ground level to the first branching point, number of lateral branches per stem, number of branches at the first, second and third branching points, leaf petiole length and number of leaf lobes per leaf. Furthermore, plants treated with the cotyledon extract had different anatomical structures than the controls in the primary growth of the root, petiole and stem. Trichomes were observed only in the stems of the treated plants. Stomata and calcium oxalate crystals were observed in the leaf and stem of both treated and control plants. The morphological and anatomical changes observed in the extract treated plants appear to be stable.

RESUMEN

Estacas de yuca TMS30572 fueron remojadas parcialmente en extractos de semillas *B. monandra* por 70 h y, luego, sembradas en el campo en abril de 1988 y cosechadas en abril de 1989. Se llevaron a cabo un segundo y un tercer experimento en abril de 1989 y mayo de 1990 y durante mayo de 1990-1991, respectivamente. Se utilizaron estacas del Experimento 1 para el Experimento 2 y estacas del Experimento 2 para el Experimento 3. Se aplicaron los extractos solamente en abril de 1988 y se registraron el rendimiento y las características morfológicas cada año. En el Experimento 4, se aplicó extracto de cotiledón de *B. monandra* a tubérculos de yuca de tres meses, mientras que no se trató la planta-testigo. Estas plantas fueron cosechadas un año después y luego sembradas, sin ser tratadas de nuevo. Se registraron las características morfológicas y anatómicas de estas plantas de segunda generación. Los extractos aumentaron consistentemente las siguientes características: rendimiento del tubérculo, número de tubérculos por planta, número de tallos primarios por planta, circunferencia del tallo, altura del tallo desde el nivel del suelo hasta el primer punto de ramificación, número de ramas laterales por tallo, número de ramas al primer, segundo y tercer punto de ramificación, largo del peciolo foliar, y número de lóbulos foliares por hoja. Además, las plantas tratadas con el extracto del cotiledón presentaron estructuras anatómicas diferentes a las de los testigos en cuanto al crecimiento primario de la raíz, el peciolo y la estaca. Se observaron tricomas sólo en los tallos de las plantas tratadas; y estomas y cristales de oxalato de calcio en la hoja y el tallo tanto de las plantas tratadas como en los testigos. Los cambios morfológicos y anatómicos observados en las plantas tratadas con el extracto parecen ser estables.

INTRODUCTION

Extracts from the seeds of *B. monandra* increased leaf size and grain number in maize (Russom 1987), pod number and seed size in ground nut (Russom 1990) and tuber yield of cassava plants (Russom s.f.). All these results were obtained after the extracts were directly applied either on

¹ Received for publication on October 9, 1990

* Abubakar Tafawa Balewa University, PMB 0248, Bauchi, Bauchi State, Nigeria, West Africa

seeds, stem cutting or on intact plants. The consequence of re-planting either seeds or cuttings taken from plants previously treated with extract is unknown.

The objective of this experiment was to study the performance of cassava stem cuttings taken from plants previously treated with extract. This was carried out by propagating cuttings from extract-treated plants for three generations. It is difficult to carry out genetic testing of regenerants, but it is generally accepted that transmission of off-type traits through at least two successive clonal field generations provides reasonable certainty of a true genetic base for the variation (Karp and Bright 1985; Scowcroft 1984?). This is why this study was carried out for three generations. Also, extract from the whole seed of *B. monandra* was used on cassava for the first time in this experiment.

MATERIALS AND METHODS

Experiment 1 (April 1988 - April 1989)

Sterile distilled water was used as an extraction medium. Seeds of *B. monandra* were removed from their pods and each seed was separated into its cotyledon and seed coat. The following extracts were then prepared using the seeds and water: 1) Two cotyledons (seed coats removed) were soaked in 100 ml of sterile distilled water; 2) seed coats of two seeds were soaked in 100 ml of sterile distilled water; 3) seed coat and cotyledon of two seeds were soaked in 100 ml of sterile distilled water.

After a week, the extracts were distilled using a Nylon cloth. Each of the extracts was then diluted by adding a liter of distilled water. These three extracts and the control were the four treatments used in this experiment.

Cassava stem cuttings (30 cm) of TMS30572 were partially soaked in each of the extracts for a period of 70 h and then sown in the field April 21, 1988, and harvested in April 1989. Stem cuttings for the control were soaked in distilled water.

A randomized completed block design with four replications was used. There were 20 plants per plot and the spacing between plants was 1 x 1 m. Spacing between plots was 2 m. Data collected were: fresh tuber yield (t/ha) and tuber number per plant.

Experiment 2 (April 1989 - May 1990)

Stem cuttings were taken from Experiment 1. The cuttings were not treated again with the extracts. They were planted in April 1989 and harvested in May 1990. Experimental design, spacing and size of cuttings were the same as in Experiment 1, but there were 10 replications.

All characters considered in Experiment 1 were recorded. Additional characters recorded included: number of primary stems per plant; stem girth (measured at 25 cm above ground level); length of each primary stem from ground level to the first branching point; number of branches at the first, second and third branching points; and number of lateral branches per plant (recorded only to the third branching point).

Experiment 3 (May 1990 - May 1991)

Stem cuttings were taken from Experiment 2. The cuttings were not treated with the extracts. They were planted in April 1990 and harvested in May 1991. The type of experimental design used, spacing, size of cuttings and type of data recorded were the same as in Experiment 2, except that there were five replications. Additionally, the stem cuttings were planted on ridges.

Experiment 4 (October 1989 - November 1990 and November 1990 - October 1991)

The main objective of Experiment 4 was to determine whether the extracts from the cotyledon of *B. monandra* had induced anatomical changes in the primary growth of the root, petiole and stem of the vegetatively grown second generation cassava plants.

A single 60 cm stem was cut from a plant of TMS30572, and was cut again into two pieces each measuring 30 cm. These two stem pieces were planted in identical soil in October 23, 1989. Three months later, 2 ml of the cotyledon extract was introduced into the young developing tubers using a hypodermic syringe. This application was continued for three months, applying the extract once a month. The control plant was similarly treated, but using only distilled water.

The extract used in Experiment 4 was prepared using the same procedure as in Experiment 1a, except that it was not diluted with one liter of distilled water.

The two plants were harvested a year later, on November 2, 1990. Each plant was separately cut in 18 pieces (30 cm long) per treatment, and they were planted on the same day on ridges, using 1 x 1 m spacing. The soil used to make the ridges was thoroughly mixed before use.

To study the anatomy of the root, petiole and stem, two samples from each plant were taken when the plants were eight months old. The anatomical study was carried out using the procedure described by Cutler (Cutler 1978). Root cross sections were made from young roots and cross sections of petiole were prepared from the middle part. Cross sections of young stems were prepared from the center of an internode. Sections were cut to 15 μ using a Sledge microtome.

White nail polish was used to study the stomata. It was smeared on the surface of leaf or stem and allowed to dry for about 1 hour. It was then peeled off from the surface of leaf or stem and the impression on the peel was directly studied under the microscope. The following characters were also recorded from every plant of the two treatments: number of leaf lobes per leaf; length of leaf petiole; and length of primary stem from ground level to first branching point. The first two characters were recorded from those fully expanded leaves that were formed between ground level and the first branching point of every stem.

RESULTS AND DISCUSSION

Effect of the extracts on fresh tuber yield

Cassava stem cuttings that were soaked in the extracts gave significantly higher tuber yield ($P < 0.01$) than the control plants (Table 1).

In both Experiments 2 (second generation) and 3 (third generation), cassava plants that originated from the extract-treated plant continued giving higher tuber yield than the control plants (Table 1). On the whole, results in Table 1 confirmed earlier findings that extracts from the seeds of *B. monandra* do increase tuber yield of cassava plants (Russom s.f.).

Furthermore, the extracts significantly increased number of tubers per plant (Table 1). This partially explains why the extract-treated plants had higher tuber yield than the control plants. This view was supported by the highly significant correlation coefficient between tuber yield and tuber number per plant. The correlation coefficient values in control, coat, cotyledon and coat + cotyledon treatments of Experiment 2 were $r = 0.80$, $P < 0.001$; $r = 0.72$, $P < 0.001$; $r = 0.65$, $P < 0.01$; and $r = 0.80$, $P < 0.001$, respectively. In Experiment 3, the range for number of tubers per plant in control, coat, cotyledon, and coat + cotyledon was 1-26, 1-41, 2-27 and 2-31, respectively. These ranges appear to be high because the number of tubers per plant in cassava varies between five and 10 (Onwueme 1982; Purseglove 1974).

Effect of the extracts on the morphology of cassava plants

When a piece of cassava stem cutting is planted, primary stems grow from the nodes the cuttings. The extracts changed the morphology of these primary stems by increasing: number of primary stems per plant (Table 2); stem girth (Table 2); height of stem from ground level to first branching point (Table 2); number of branches at the first, second and third branching points (Table 3); number of lateral branches per stem; leaf petiole length; and number of leaf lobes per leaf.

Table 1. Effect of *B. monandra* seed extracts on tuber yield and tuber number per plant of cassava plants grown in 1988-1989, 1989-1990 and 1990-1991.

Treatment	Experiment 1 (1988-89)		Experiment 2 (1989-1990)		Experiment 3 (1990-1991)	
	yield (t/ha)	tuber no.	yield (t/ha)	tuber (no.)	yield (t/ha)	tuber (no.)
Control	21.6	5.1	25.5	6.5	30.7	7.7
Coat	32.3	8.6	32.0	9.9	50.4	16.7
Cotyledon	37.4	8.2	34.4	8.8	40.0	11.5
Coat + cotyledon	32.2	8.5	34.9	10.2	45.9	15.8
LSD ($P = 0.05$)	7.87	1.36	5.24	2.01	8.21	2.81

Table 2. Effect of *B. monandra* seed extracts on number of primary stems per plant. Height to the first branching point and stem girth of cassava plants grown in 1989-1990 and in 1990-1991.

Treatment	Experiment 2 (1980-1990)			Experiment 3 (1990-1991)		
	Stem no. per plant	Height to 1st branch (cm)	Stem no. girth (cm)	Stem no. per plant (cm)	Height to 1st branch (cm)	Stem girth (cm)
Control	1.8	58.6	2.2	2.1	49.6	2.4
Coat	2.0	86.7	2.3	2.9	102.1	3.4
Cotyledon	2.5	85.0	2.1	2.9	93.9	2.6
Coat + cotyledon	2.1	98.1	2.4	3.1	103.6	3.1
LSD ($P < 0.01$)	0.39	24.27	N.S.	0.46	18.10	0.35

Table 3. Effect of *B. monandra* seed extracts on number of branches at the first, second and third branching points: Data presented are percentage of plants with 2, 3, 4, 5 and 6 branches at the first, second and third branching points and in each of the treatments. 1989-1990 Experiment.

Branches (no.)	First branching point Treatments			
	Control	Coat	Cotyledon	Coat + Cotyledon
2	53.7	29.8	32.2	26.3
3	42.9	53.9	51.0	58.2
4	3.4	12.7	14.7	14.1
5	0.0	2.6	1.8	1.1
6	0.0	1.0	0.3	0.3
Second branching point				
2	30.2	19.0	33.0	27.4
3	60.2	61.2	54.4	66.3
4	9.2	8.8	11.2	6.0
5	0.3	8.8	0.0	0.0
6	0.0	0.2	0.0	0.0
Third branching point				
2	50.8	49.5	46.2	50.8
3	43.1	43.3	47.0	43.1
4	5.2	6.2	6.0	5.2
5	0.9	1.0	0.8	0.9
6	0.0	0.0	0.0	0.0

Some cassava varieties are known to develop one primary stem per cutting because they have strong apical dominance (CIAT 1983). It is not known whether the extracts increased the number of primary stems per cutting by reducing the effect of the apical dominance. Although the extracts increased stem girth, significant differences were observed only in Experiment 3.

The most significant ($P < 0.001$) effect of the extracts was to increase the height at which the first branching point occurs (Table 2). There were two other results, in addition to those results presented in Table 2, for the height at which the first branching point occurs.

In April 1990, a local farmer planted untreated and treated (stems that were treated with the three

extracts were bulked together) stem cuttings from Experiment 2. After a year, the height of each primary stem from ground level to the first branching point was recorded in both treated and control plants. The mean height of the control plants was $49.6 \text{ cm} \pm \text{SE} = 1.82$, $n = 294$, and the mean height of the extract-treated plants was $146.6 \text{ cm} \pm \text{SE} = 3.37$, $n = 141$. The difference between these two means was highly significant ($P < 0.001$).

The other result was obtained from Experiment 4. The control had a mean height of $70.0 \text{ cm} \pm \text{SE} = 9.71$, $n = 48$, while the extract-treated stems had a mean height of $176.6 \text{ cm} \pm \text{SE} = 10.2$, $n = 54$. The difference between these two means was also highly significant ($P < 0.001$).

The above results clearly suggest that the extracts changed the branching pattern of TMS 30572 because that variety branches early and very close to the ground (Arthur *et al.* 1987; Ezumah 1988). Furthermore, the height at which the first branch occurred in the extract-treated plants appear to be stable because the change persisted for three generations. Such change may have a genetic basis because branching near the base or high up is a distinguishing characteristic of cassava varieties (Onwueme 1982; Purseglove 1974). The height at which the first branch occurs is also a strongly inherited character.

Once the first branching point is formed, this can divide dichotomously, trichotomously and tetra-chotomously (CIAT 1983). This agreed with the results of the control plants, but not with the results of the extract-treated plants (Table 3). Some of the extract-treated plants had five and even six branches at the first branching point (Table 3). In addition, plants in control, coat, cotyledon, and coat + cotyledon treatments had 46.3, 70.2, 67.8 and 73.8%, respectively, of their stems with three or more branches at the first branching point (Table 3). Even at the second and third branching points, all extract-treated plants except those treated with cotyledon had slightly more branches than the controls. In the extract-treated plants, the pattern of branching at the first, second and third branching points was three, three and two, respectively, while in the control plants it was two, three and two, respectively (Table 3).

Cassava stems also branch laterally, but this is sporadic (CIAT 1983). Among the control plants, there was no stem that had lateral branches. But in

Experiment 3, plants treated with coat, cotyledon, and coat + cotyledon had 0.9, 2.0 and 4.4% of their stems, respectively, with at least one lateral branch per stem.

In experiment 4, the mean leaf petiole length of the control plants was $22.9 \text{ cm} \pm \text{SE} = 0.88$, $n = 1726$; and the mean leaf petiole length of the extract-treated plants was $32.9 \text{ cm} \pm \text{SE} = 0.14$, $n = 1303$. The difference between these two means was highly significant ($P < 0.001$).

The cotyledon extract increased significantly the level of potassium in both leaves and tubers of cassava plants (Russom s f.). Plants in Experiment 4, which were treated with the extract, may have had higher amount of potassium than the controls. In turn, the potassium may have increased petiole length because highly significant and positive relationships between length of petiole and level of potassium have been reported (Nair and Aiyer 1985). In fact, short petioles in cassava plants are said to be symptoms of potassium deficiency (Nair and Aiyer 1985).

The mean number of lobes per leaf in the control and in the extract-treated plants of Experiment 4 were: $6.6 \pm \text{SE} = 0.024$, $n = 1726$; and $7.6 \pm \text{SE} = 0.038$, $n = 1303$, respectively. The difference between these two means was also highly significant ($P < 0.001$). Among the control plants, only 0.7% of the 1726 leaves had eight lobes per leaf, and no control plants had leaves with nine lobes. By contrast, 20% of the 1303 leaves of the extract-treated plants had eight lobes per leaf and 21% had nine lobes per leaf. The number of lobes per leaf is a varietal characteristic (CIAT 1983).

The morphological characters described above could have important implications in cassava cultural practices. Low-branching cassava varieties may have an advantage of reducing weeds, but most of the shoots tend to lie close to or on the ground, so that weeding and harvesting are made more difficult (Onwueme 1982). The best type of cassava would be one in which the initial branches are a reasonable distance from the ground, so that in the field the crop stands relatively open beneath the canopy of leaves. Such a canopy allows room for work between the rows (Onwueme 1982). This description fits the branching pattern of the extract-treated plants well. What is more, the extract-treated plants closed the canopy early and reduced the weeds. They did this

by increasing the number of primary stems per plant (Table 2), which in turn increased the number of leaves per plant. They also increased the petiole length, enabling the neighboring plants to touch each other. An increase in the number of lobes per leaf and number of branches at the first branching point also helped to close the canopy early. Upright and late-branching types of cassava are preferable for both intercropping and monoculture systems (Leihner 1983).

Root morphology of the extract-treated and control plants was also different. The extract-treated plants had very numerous rootlet branches which appear to be VA mycorrhizae; the roots of the controls had few such rootlets. Spores of the fungus were similar to those reported by Rhodes (1980:277, Fig. 5b).

Another interesting aspect of the extract-treated plants was that their tubers did not rot quickly. For example, tubers stored in August 1991 are still fresh after nine months.

Effect of the extracts on cassava plant anatomy

The *B. monandra* cotyledon extract induced changes in the anatomy of the cassava root (Fig. 1), leaf petiole (Fig. 2) and stem (Fig. 3). The control

plants had one very large metaxylem element in the center of the root; this was absent in the root of the extract-treated plants (Fig. 1). The center of root of the extract-treated plants had a pith consisting of parenchyma cells. A closer look at the controls' root center showed that the protoxylem was away from the center. This implies that the development of the xylem was centripetal, or the xylem is said to be exarch (external origin). The development of xylem in the roots of extract-treated plants was an endarch, or inner origin. Differentiation of xylem is part of overall genetic control (Cutler 1978), but there are also evidences of hormonal controls (Esau 1977). The shape of the vascular cylinder (stele) was circular in the roots of the control plants, but pentagonal in the roots of the extract-treated plants. There were five vascular bundle in both the control and treated plant roots, but some roots of the control plants had only four vascular bundles. A cross section of the petiole in the control plants had nine vascular bundles, while that of the extract-treated-plants had 10 vascular bundles (Fig. 2).

Cross sections of the stem in the extract-treated plants had five ridges and five furrows, a shape similar to that of the root. of the stem cross sections for the control plants were circular, again similar to the root (Fig. 3).

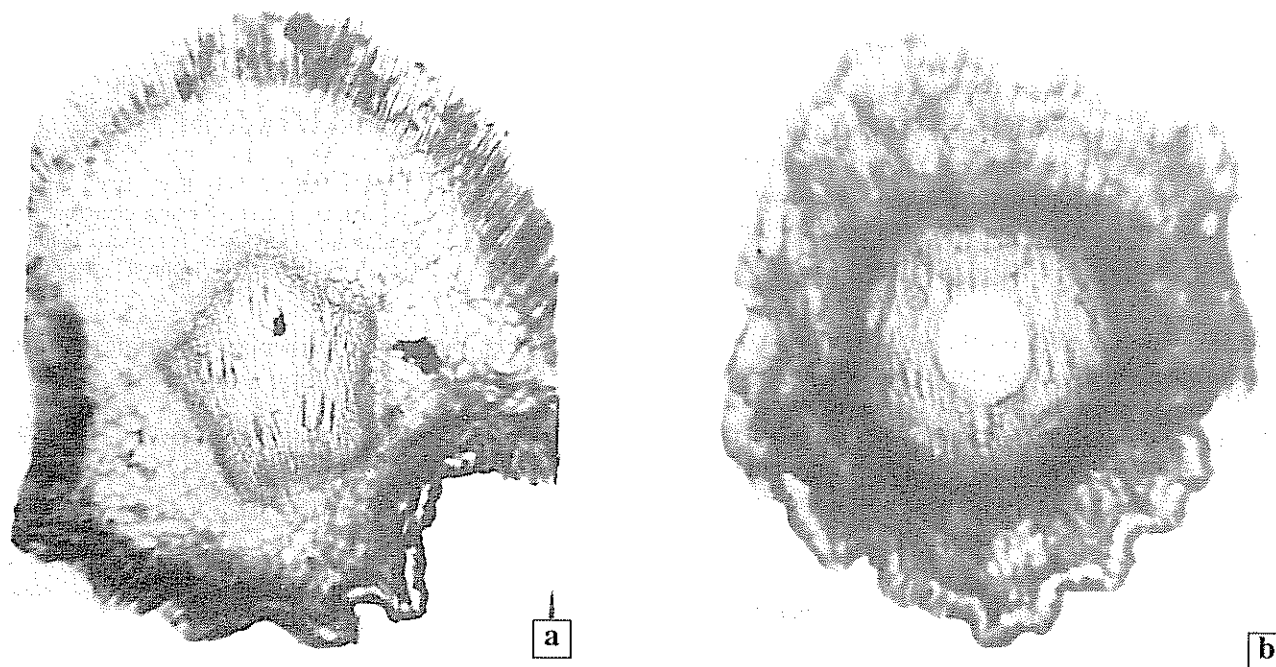


Fig. 1. Cross-sections of roots in treated (a) and in control (b) cassava plants.

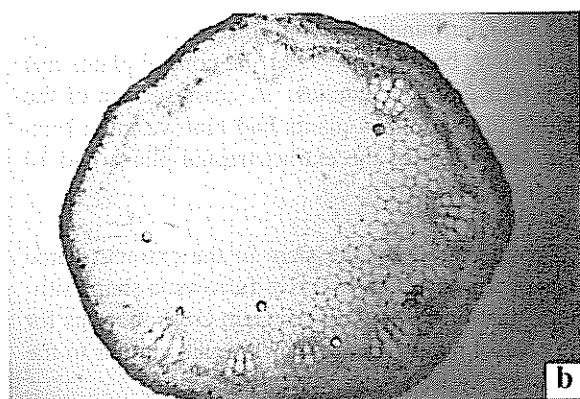
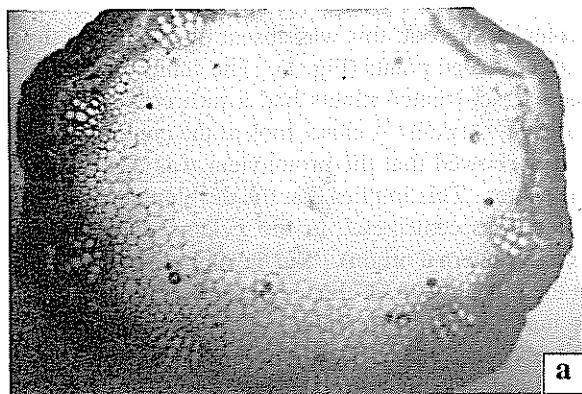


Fig. 2. Cross sections of petiole in treated (a) and control (b) cassava plants.

Calcium oxalate of the sphaero-crystal type was observed in the parenchymatous cells of the leaf and stem of both treated and control plants. The crystals were star-shaped in appearance, exactly like those reported by Dutta (1981:178, Fig. 18c).

There were stomata on the leaves and stems. Each was bordered by two subsidiary cells of equal size. The stomata belong to the paracytic type (Cutler 1978). The lower surface of the leaf had more stomata than the upper surface; on the latter, the stomata were mainly present along the main veins.

Extracts from the seeds of *B. monandra* increased tuber yield, morphological characters and induced changes in the anatomy of the cassava plants. These changes appear to be stable.

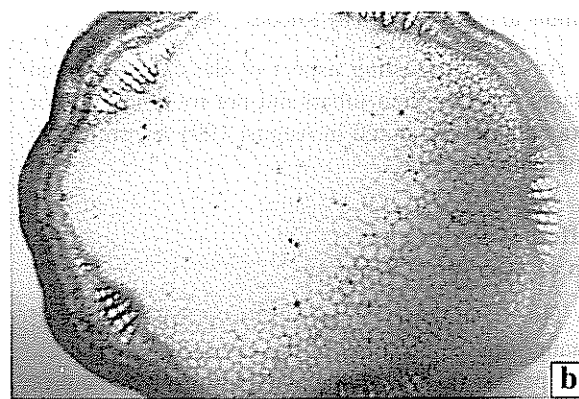
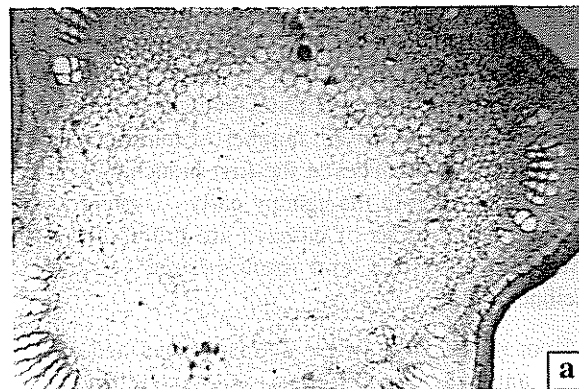


Fig. 3. Cross sections of stem in treated (a) and in control (b) cassava plants.

LITERATURE CITED

- ARTHUR, J.; EZUMAH, H.C.; DOKU, E.V. 1987. Maize variety and population in cassava-maize intercrop. In Cassava-based cropping systems research. Ibadan, Nigeria, International Institute of Tropical Agriculture. p. 132-143.
- CIAT (CENTRO INTERNACIONAL DE AGRICULTURA TROPICAL). 1983. Study guide. Cali, Col. p. 8-31.
- CUTLER, D.F. 1978. Applied plant anatomy. New York. 103 p.
- CUTLER, E.G. 1978. Plant anatomy. London, Clowes. v. 1, p. 140-169.
- DUTTA, A.C. 1981. Botany for degree students. New Delhi, Oxford University Press. 907 p.
- ESAU, K. 1977. Anatomy of seed plants. New York, Wiley. p. 116-122.

- EZUMAH, H.C. 1988. Some component technologies for cassava + maize intercropping systems in humid southern Nigeria. In *Improved agricultural technologies for small-scale Nigerian farmers* G.O.I Abalu, B.A. Kalu (Eds.). Jos, Nigeria. p. 73-87
- KARP, A.; BRIGHT, W.J. 1985. On the causes and origins of somaclonal variation. In *Oxford surveys of plant molecular and cell biology* B.J. Milfin (Ed.). London, Oxford University Press. p. 199-231.
- LEIHNER, D. 1983. Management and evaluation of intercropping systems with cassava. Cali, Col., Centro Internacional de Agricultura Tropical. 70 p.
- NAIR, P.G.; AITER, R.C. 1985. Effect of potassium nutrition: Growth, yield components and yield. *Journal of Root Crops* (1-2): 23-28.
- ONWUEME, I.C. 1982. *Tropical tuber crops*. Chichester, England, Wiley. 234 p.
- PURSEGLOVE, J.W. 1974. *Tropical crops: Dicotyledons*. London, ELBS, Longman. p. 171-180.
- RHODES, L.H. 1980. The use of mycorrhizae in crop production systems. *Outlook on Agriculture* 10:275-281.
- RUSSOM, Z. 1987. Effect of aqueous extracts of *Bauhinia monandra* (Kurz) on leaf size internode length and grain number of maize. *Phyton* 47(6):83-87.
- RUSSOM, Z. 1990. Effect of an aqueous extract of butterfly-flower (*Bauhinia monandra*) on groundnut (*Arachis hypogaea*). *Indian Journal of Agricultural Sciences* 60(12):818-820.
- RUSSOM, Z. s.f. Effect of *Bauhinia monandra* (Kurz) seed extracts on tuber yield, morphological characters, nutrients and HCN content of cassava plants. Turrialba. (In press).
- SCOWCROFT, W.R. s.f. Genetic variability in tissue culture: Impact on germplasm conservation and utilization. IBPGR Report 84/153.

RESEÑA DE LIBROS

INSTITUT NACIONAL DE LA RECHERCHE AGRONOMIQUE. 1989. Mise en valeur de l'écosystème forestier guyanais: Opération ECEREX. J.M. Sarrailh (coordinateur).

L'opération ECEREX, mise en place par différents organismes de recherches, est née de la volonté de développer la Guyane française par l'exploitation de la forêt dense humide naturelle à des fins papetières.

Une approche pluridisciplinaire a permis: l'évaluation des risques écologiques que présente cette exploitation passant par une déforestation totale -érosion, modifications des régimes hydrologiques, baisse de productivité, dégradations biologiques; et

la proposition de modèles d'aménagement et la définition des techniques nécessaires à l'implantation d'écosystèmes simplifiés, après l'exploitation papetière.

L'opération ECEREX a obtenu l'un des 12 labels MAB (Comité français) de l'UNESCO au cours de la première décennie de fonctionnement de cet organisme.

Cet ouvrage s'adresse autant aux chercheurs qu'aux ingénieurs agronomes et forestiers chargés d'aménagements en zone forestière tropicale humide.

INRA/CTFT

Fracciones Químicas de Micronutrientes en el Suelo en un Agroecosistema de Caña de Azúcar¹

O. Vallejo-Torres^{*}; D. López-Hernández^{**}

ABSTRACT

The chemical fractionation of Zn, Cu, Mn and Fe in a Mollisol (Typic Haplaquoll) cultivated with sugar cane, located in Yaracuy, Ven., was studied. Although total micronutrient contents were above average, easily available fractions (water soluble and exchangeable) represented only 0.01% - 0.5% of total content. Residual forms, on the other hand, represented the major fraction (59% - 88%). DTPA values for Cu, Mn and Fe were high, although Zn DTPA were at critical limits. In general, fertilization with micronutrients (Zn, Cu and Mn) did not significantly increase labile forms (exchangeable and specific - adsorbed) due to adsorption processes in the carbonatic soil matrix. Organic and oxid forms acted as a sink for added micronutrient fertilizer.

RESUMEN

Se investigaron las fracciones químicas de Zn, Cu, Mn y Fe de un suelo Mollisol (Typic Haplaquoll) cultivado con caña de azúcar del estado Yaracuy, Ven. El contenido total de micronutrientes se determinó por encima de los promedios reportados en la literatura; no obstante, la fracción fácilmente disponible (soluble en agua e intercambiable) representó sólo entre el 0.01% y 0.5% del total. La mayor proporción encontrada de los micronutrientes fue residual (59% - 88%). De acuerdo a la prueba del DTPA, los valores de disponibilidad del Cu, Mn y Fe se consideraron altos, aunque el Zn se encontró en los límites críticos. Debido a la matriz carbonática, en general, la fertilización con micronutrientes no incrementó significativamente las formas más lábiles (intercambiable y específicamente adsorbida), y las fracciones de micronutrientes correspondientes a óxidos y ligandos orgánicos actuaron como sumidero de estos fertilizantes.

Palabras claves: Formas químicas, Zn, Fe, Mn, Cu, disponibilidad, fertilización.

INTRODUCCIÓN

La disponibilidad de micronutrientes para las plantas está relacionada con los niveles presentes de ciertas fracciones en equilibrio con la solución del suelo y la velocidad con que son renovados en dicha solución, una vez que se agotan (Cox y Kamprath 1972). Se ha logrado un mejor conocimiento de las formas y comportamiento de los micronutrientes en el suelo mediante el concepto de "pool" (Viets 1962) y la aplicación de técnicas o esquemas de fraccionamiento.

Mediante la extracción secuencial con agentes extractores específicos, las diversas fracciones de cada micronutriente se pueden separar y definir (Hodgson 1963; Shuman 1986). Sin embargo, estos procesos se pueden dificultar debido a las cantidades reducidas de algunas fracciones en el suelo (López-Hernández *et al.* 1986), la no selectividad de los extractantes, la redistribución de los elementos entre las diferentes fases durante la extracción y la precipitación, y otras posibles reacciones colaterales de los nutrientes solubilizados con los residuos del suelo (García-Miragaya 1984; Guy *et al.* 1978; Kheboian y Bauer 1987; Rendell *et al.* 1980).

Los esquemas de fraccionamiento generan valiosa información sobre el comportamiento biogeoquímico de los elementos; así, la tasa de distribución entre los diferentes compartimientos del ecosistema está en alto grado asociada con la velocidad con que el elemento es transferido de formas poco disponibles a más disponibles (López-Hernández *et al.* 1986).

¹ Recibido para publicar el 13 de febrero de 1990.

^{*} Universidad Ezequiel Zamora "Unelvez" Guanare, Edo. Portuguesa, Ven

^{**} Laboratorio de Estudios Ambientales, IZT, Facultad de Ciencias. Univesidad Central de Venezuela, Apdo. 47058, Caracas 1041, Ven.

Entre los estudios realizados en El Valle del Río Yaracuy, Ven., con el fin de identificar las posibles causas de la merma en los niveles de producción de la caña de azúcar y establecer las medidas necesarias para mejorarla, se consideró importante el estudio de los ciclos biogeoquímicos de los micronutrientes (López-Hernández *et al.* 1993). El conocimiento preciso del estado nutricional del suelo, desde el punto de vista de los micronutrientes, la manera de presentación de estos elementos en sus formas disponibles, potencialmente disponibles y no disponibles, así como la interrelación existente entre estas formas, tienen gran importancia en la predicción de los cambios de fertilidad del pedón debido a la actividad agrícola; también, para establecer modelos conceptuales del comportamiento de estos nutrientes en agroecosistemas.

En este trabajo se presentan los resultados del fraccionamiento químico del Zn, Cu, Mn y Fe en el suelo de un agroecosistema de caña de azúcar del Valle del Río Yaracuy.

MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se realizó en un área experimental en la Hacienda Santa Fe, entre los poblados de Farriar y Palmarejo, en Yaracuy, entre las coordenadas geográficas de 10° 29' N y 68° 34' O. Detalles sobre las características climáticas, geomorfológicas y edafológicas del área han sido descritas anteriormente (Sequera *et al.* 1984; Vallejo y López 1988).

Se tomaron al azar 40 muestras de suelo (0 cm - 30 cm de profundidad) en un área de 1200 m² dividida en cuatro parcelas de 300 m² cada una (20 m x 15 m). En el momento del muestreo, dos parcelas estaban sembradas con cañas de la segunda soca de cuatro meses de edad de la variedad PR 1028 y dos

con la V 58-4. Estas variedades son ampliamente cultivadas en la zona, tanto por su tolerancia a algunas plagas y enfermedades como por su adaptación a las condiciones climáticas.

Luego de retirar las raíces y restos vegetales, las muestras de suelo se secaron al aire, se homogeneizaron y se pasaron a través de un tamiz de acero inoxidable de 2 mm de malla. Se utilizó el método del cuarteo para formar muestras compuestas representativas del área de estudio. En general, se tomaron todas las precauciones para evitar la contaminación de las muestras.

Las parcelas antes del muestreo fueron fertilizadas empleando 500 kg/ha de urea, 50 kg/ha de superfosfato triple y 100 kg/ha de cloruro de potasio (Sequera *et al.* 1984). La información recabada revela que en la Hacienda Santa Fe se cultiva caña de azúcar desde hace más de 20 años y, durante ese tiempo, no se aplicó fertilización con micronutrientes. Tampoco durante la experimentación se utilizaron enmiendas con esos elementos. En esta zona, es común el uso de la quema pre- y poscosecha y la aplicación de agroquímicos, especialmente para contrarrestar el ataque de "candelilla" (*Aeneolamia* spp., Homóptera: Cercopidae) y de malezas. En el Cuadro 1 se muestran algunas características generales del suelo bajo estudio.

Fraccionamiento

El fraccionamiento de los cuatro micronutrientes (Cu, Zn, Mn y Fe) se realizó en muestras de suelo con el elemento nativo, es decir, sin adición de fertilizante. En el caso de Cu, Zn y Mn se realizó un fraccionamiento en muestras de suelo con el elemento añadido. A 100 g de suelo, colocados en una cápsula de porcelana, se les adicionó, en solución, el

Cuadro 1. Características generales del suelo bajo estudio.

Ubicación taxonómica	pH (KCl)	Limo (%)	Arcilla (%)	(%) C	CaCO ₃ equivalente	CIC mEq/100 g
	1:5					
Typic Haplaquoll	7.4	65	26	1.3	0.9	40.0

equivalente a 6 µg/g de Cu, 12 µg/g de Zn y 100 µg/g de Mn, en forma de sulfatos. Estas adiciones corresponden y son equivalentes a dosis de fertilización con micronutrientes recomendados para varios cultivos.

Las muestras de suelo se incubaron durante 15 días a capacidad de campo mediante la adición de agua desionizada. Durante la incubación, el contenido de humedad fue corregido gravimétricamente. Al finalizar, las muestras fueron secadas al aire, pasadas a través de un tamiz de 2 mm de malla y submuestreadas para realizar el fraccionamiento, el cual, se hizo por duplicado y a una temperatura de 20°C ± 1°C en laboratorio.

Las diferentes fracciones se evaluaron mediante el método propuesto por McLaren y Crawford (1973). Las fracciones evaluadas fueron las correspondientes a las formas solubles en agua e intercambiables (M-CA), formas específicamente adsorbidas (M-AAC), formas asociadas con la materia orgánica (M-PIR), formas asociadas con los óxidos (M-OX) y formas

residuales (M-RES); donde M es el micronutriente (Zn, Cu, Mn ó Fe). Las formas residuales y totales se extrajeron por digestión ácida mediante una mezcla de HNO₃, HClO₄ y HF concentrados, en relación 2:4:1 (Agemian y Chau 1976). También se usó el método del DTPA (Lindsay y Norvell 1978) para determinar los cambios en la disponibilidad, causados por la adición de micronutrientes al suelo. El análisis de los elementos en los diferentes extractos se realizó por absorción atómica en un aparato Varian Techtron AA6.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los niveles de micronutrientes en la fracción M-CA (formas químicas fácilmente disponibles) representaron un porcentaje bastante bajo del total (Cuadro 3). La concentración de Zn: 0.57 µg/g; Cu: 0.29 µg/g y Fe: 5.1 µg/g (Cuadro 2), en la fracción fácilmente disponible, es mayor que la concentración de la fracción reportada para suelos con reacción alcalina (Elsokkary 1979; Iyengar y Deb 1977; McLaren y

Cuadro 2. Distribución de Zn, Cu, Mn y Fe en las diferentes fracciones del suelo con y sin adición del elemento. Media ± (Desviación estándar). Valores en µg/g.

Elemento	Tratamiento	Fracciones del suelo				
		M-CA	M-AAC	M-PIR	M-OX	M-RES
Zn	0	0.57a	1.37a	6.90	16.50	183.0
	1	(0.04)	(0.03)	(0.04)	(0.5)	(7.2)
		0.27a	2.00a	6.1	16.5	201.5
		(0.01)	(0.25)	(0.63)	(0.3)	(10.7)
Cu	0	0.29	0.71	8.7	14.6a	34.2
	1	(0.13)	(0.09)	(0.7)	(0.4)	(4.9)
		0.30	1.13	9.26	16.5a	40.0
		(0.09)	(0.25)	(0.3)	(0.2)	(0.3)
Mn	0	3.2a	52.0	40.1a	174.4a	492.0
	1	(0.2)	(0.8)	(4.4)	(0.5)	(5.6)
		0.07a	50.1	87.7a	208.9a	410.2
		(0.1)	(1.8)	(4.9)	(3.1)	(8.0)
Fe	0	5.1	15.0	1232.5	8371.5	37351.0
		(3.3)	(0.4)	(2.1)	(547.7)	(46.6)

M = micronutriente (Zn, Cu, Mn ó Fe).

Tratamiento 0 y 1: Suelo con el elemento nativo y con adición respectivamente.

N = dos réplicas. Valores con letras iguales son significativamente diferentes.

P < 0.05. Prueba estadística, "t" de Student.

Crawford 1973). Resalta que en algunos casos los valores en la fracción soluble + intercambiable, reseñados en la literatura para suelos de pH ácido, son menores que los aquí reportados como en el caso del Cu (McLaren y Crawford 1973; Mullins *et al.* 1982; Shuman 1979) o similares como en el del Zn (Iyengar y Deb 1977; Iyengar *et al.* 1981). El valor de 5.1 μg de Fe para la fracción fácilmente disponible es mayor que los valores encontrados en otros estudios (Kuo *et al.* 1983; Shuman 1985). Sin embargo, el valor obtenido se caracteriza por un alto coeficiente de variación (65%).

Los niveles de Mn (3.2 $\mu\text{g/g}$) en las formas fácilmente disponibles aquí encontrados, corresponden a los valores más bajos reportados en la literatura para estas fracciones en suelos de pH básico. Una disminución del Mn intercambiable con el aumento del pH ha sido reseñado por varios autores (Shuman 1986; Sims *et al.* 1979). Para algunos suelos se ha detectado poco Mn intercambiable en pH mayores de 5 (Sims 1978).

De acuerdo con lo anterior, y tomando en cuenta la reacción alcalina del suelo en estudio (Cuadro 1), así como la inversa entre la fracción fácilmente disponible y el pH (Mc Bride 1979; Sims 1978) puede considerarse que los niveles de micronutrientos en esta fracción, excepto del Mn, son altos. Es probable que los valores de micronutrientos en la fracción CA estén asociados a características particulares del agroecosistema bajo estudio como las altas tasas de fertilización con urea (500 kg/ha); el pH ácido de las aguas de lluvia (entre 3.5 y 4.5), y las altas tasas de descomposición de la materia orgánica (raíces y hojas de caña y malezas), que introducen condiciones ácidas al suelo y ayudan a la solubilización de micro-

nutrientos a partir de formas más resistentes (Vallejo-Torres 1988).

Por otro lado, la entrada de micronutrientos con las aguas de lluvia, que en algunos casos exceden a las salidas del agroecosistema (López-Hernández *et al.* 1993) y la deposición de cenizas con su carga de micronutrientos durante la quema pre- y poscosecha (Vallejo-Torres *et al.* s.f.), podrían estar incidiendo en los valores de las formas fácilmente disponibles reportadas.

De la fracción considerada potencialmente disponible: unidos los sitios orgánicos e inorgánicos (Viets 1962), la mayor proporción la constituyó M-PIR con excepción del Mn (Cuadro 3). Por una parte destaca el alto porcentaje de Cu en la fracción orgánica, lo que evidencia, en concordancia con otros autores, la afinidad de la materia orgánica humificada por este micronutriente y, por otra, la mayor proporción de Mn unido específicamente a los sitios inorgánicos (Mn-AAC), lo que podría estar relacionado con la matriz arcillosa y carbonática del suelo (McBride 1979; Dhillon *et al.* 1981).

En general se observan diferencias entre la fracción residual y la suma de las otras fracciones. M-RES explicó el 88% para el caso del Zn; 59% del Cu; 60% del Mn y 80% del Fe respecto al contenido total (Cuadro 3). Esto sugiere que la fracción podría considerarse como la forma primaria nativa de los micronutrientos catiónicos de este suelo. Los resultados corroboraron los obtenidos por otros autores (Barber 1984; McLaren y Crawford 1973; Shuman 1979, 1986) y demuestran que en los suelos la mayor proporción de Zn, Cu, Mn y Fe forma parte de su fracción resistente, es decir, los micronutrientos

Cuadro 3. Distribución de Zn, Cu, Mn y Fe entre las diferentes fracciones del suelo como porcentajes del total.

Elemento	Tratamiento	Fracciones del suelo				
		M-CA	M-AAC	M-PIR	M-OX	M-RES
Zn	0	0.27	0.66	3.3	7.9	87.9
	1	0.12	0.88	2.7	7.3	89.0
Cu	0	0.50	1.21	14.9	25.0	58.5
	1	0.45	1.70	13.8	24.6	59.5
Mn	0	0.48	7.8	6.0	26.0	59.9
	1	0.01	6.6	11.6	27.6	54.2
Fe	0	0.01	0.03	2.6	17.8	79.5

atrapados en los minerales primarios y secundarios del suelo (Viets 1962)

Otra forma importante de los micronutrientes en el suelo, desde el punto de vista del contenido total, la constituyó la fracción unida a los óxidos: Zn-OX 7.8%; Cu-OX 25%; Mn-OX 26% y Fe-OX 18%; las fracciones M-RES y M-OX generalmente no están disponibles para las plantas (Viets 1962). Estas fracciones se excluyen comúnmente cuando se estima la disponibilidad de micronutrientes catiónicos por medio de soluciones extractoras. No obstante se han encontrado correlaciones positivas entre la absorción de Zn por plantas de maíz (Iyengar *et al.* 1981), arroz (Murthy 1982; Singh y Abrol 1986) y el Zn de las fracciones de los óxidos y residual. De igual manera se ha encontrado una relación positiva entre el Cu unido a los óxidos y la absorción de este elemento por plantas de trigo (Sims 1986).

De lo expuesto anteriormente, se desprende que la contribución de ciertas formas de micronutrientes en el suelo a la absorción por las plantas, no está totalmente dilucidada. El carácter acuifero, que indica procesos severos de óxido-reducción, y los procesos y factores que introducen condiciones ácidas a este suelo (Vallejo-Torres 1988), podrían determinar una cierta movilización (redistribución) de las formas menos solubles (ocluido, residual, entre otros) hacia las fracciones más solubles del elemento (intercambiable, adsorbido específicamente) haciéndolos más disponibles para las plantas y susceptibles a ser perdidos por lixiviación. No obstante, estos aspectos merecen estudios más detallados para poder ser totalmente comprendidos.

Los valores totales de Zn (208 µg/g), Cu (60.5 µg/g) Mn (666.8 µg/g) y Fe (47 147.5 µg/g) del suelo bajo estudio (Cuadro 4) se encuentran por encima de los promedios indicados para suelos de diferentes áreas de la corteza terrestre (Lindsay 1979). La textura y el contenido de materia orgánica (Cuadro 1) podrían estar determinando estas cantidades ya que la fracción fina de los suelos puede ser rica en micronutrientes. Las arcillas poseen altas concentraciones de metales debido a los altos niveles adsorbidos y presentes en la red cristalina (Shuman 1985); similarmente, la materia orgánica puede acomplejar estos elementos (Hodgson 1963; Stevenson y Ardakani 1972).

En el Cuadro 2 se resumen los valores de concentración de las diferentes fracciones de micronutrientes cuando se adicionó el fertilizante. El suelo tratado con Cu presentó ligeros aumentos en todas las fracciones; sin embargo, sólo se encontraron diferencias significativas entre Cu-OX con y sin adición. Para el suelo fertilizado con Zn, la fracción Zn-CA mostró menor valor que en el suelo con el elemento nativo. En la fracción Zn-AAC hubo un aumento al igual que en la fracción residual; pero sólo Zn-CA y Zn-AAC mostraron diferencias estadísticas significativas.

La fracción Mn-CA en muestras con Mn añadido experimentó una disminución considerable. Por otro lado se encontró un aumento significativo de Mn en la fracción orgánica y en la de óxidos, aunque el aumento fue mayor para la fracción Mn-PIR.

La disminución de Zn y Mn, fácilmente disponibles con adición del fertilizante, podría deberse a una

Cuadro 4. Contenido total de micronutrientes obtenidos por digestión y fraccionamiento. Valores en µg/g.

	Tratamiento	Zn	Cu	Mn	Fe
Total	0	208.3	58.5	671.7	46975.0
fraccionamiento	1	226.4	64.2	758.0	NA
Total	0	208.0	60.5	666.8	47174.5
digestión	1	221.5	68.7	772.0	NA
(%)					
recuperado en	0	100.1	96.7	100.7	99.6
fraccionamiento	1	102.2	93.5	98.2	NA

0 y 1 ver Cuadro 2. NA, no se adicionó el elemento.

inducción de la actividad microbiana que acumula estos elementos. También es importante la adición mixta de los fertilizantes, que provocó una posible competencia entre estos tres nutrientes por los sitios de adsorción del complejo de cambio y una posterior redistribución hacia otras fracciones.

En experimentos de retención de micronutrientes, se ha encontrado liberación de Mn e hidrogeniones por la adsorción de Zn y Cu, mientras que la adición de Cu impidió la retención de Zn; pero cuando se adicionó este último elemento, la adsorción de Cu no fue afectada (Kurdi y Donner 1983). Podría agregarse que los cambios en el ambiente de óxido-reducción, producidos por la adición regular de agua desionizada para mantener las muestras a capacidad de campo, también contribuyeron a una movilización y redistribución de los nutrientes bajo estudio.

Las pequeñas dosis añadidas de micronutrientes aumentaron la disponibilidad de Zn y Cu en los suelos tratados (medidos con DTPA, Cuadro 5); sin embargo, en el caso del Mn se observó una ligera disminución. Este último valor confirma la información presentada en el Cuadro 2, donde se señala una reducción de los niveles de Mn intercambiable como consecuencia de la fertilización con varios micronutrientes. De acuerdo con la prueba del DTPA los valores de disponibilidad de Cu, Mn y Fe en el suelo con el elemento nativo, se consideraron altos, aunque el Zn se encontró en los límites críticos.

En el Cuadro 4 se muestran los valores de recuperación de Zn, Cu, Mn, y Fe en el fraccionamiento con y sin adición del elemento; además se indica la efectividad del esquema de fraccionamiento utilizado. Estos valores de recuperación concuerdan con los obtenidos para otros suelos (Cottenie *et al.* 1979; Iyengar *et al.* 1981; López-Hernández *et al.* 1986; McLaren y Crawford 1973; Sposito *et al.* 1982).

Los resultados obtenidos en este estudio son de interés práctico. En este suelo la fracción fácilmente disponible de Zn, Cu, Mn y Fe es menor del 0.5% del total e implica que la mayor parte de estos elementos se encuentran en forma no intercambiable. La continua extracción de micronutrientes por exportación de la caña en la época de la zafra, las salidas por lixiviación (Vallejo-Torres 1988) y dispersión de cenizas durante la quema (Vallejo-Torres *et al.* s.f.) podrían estar agotando paulatinamente esa fracción, sobre todo, si se toma en cuenta que las formas consideradas de reserva (específicamente adsorbidas a los sitios orgánicos e inorgánicos) son igualmente bajas. De hecho, en este suelo, a pesar de poseer alto contenido total de Zn, la disponibilidad del nutriente, medida con DTPA, estuvo en los límites críticos y experimentó grandes fluctuaciones durante el desarrollo del cultivo (Vallejo-Torres 1988), lo que sugiere una baja reposición del elemento de las formas menos solubles a fracciones más disponibles.

En este agroecosistema no se fertiliza con micronutrientes, por lo que el cultivo depende de las reservas del suelo y otras entradas tales como micronutrientes contenidos en las aguas de lluvia, impurezas en los fertilizantes y en las aguas de riego. Dosis de fertilización de mantenimiento con base en balances nutricionales (entradas-salidas) han sido recomendadas para este agroecosistema (Vallejo-Torres 1988). Estas enmiendas, al igual que las entradas antes mencionadas, son bajas y es probable que una alta proporción del elemento, que llega al suelo, quede fuertemente inmovilizado, como sugieren los resultados del fraccionamiento con adición de fertilizante encontrados en este trabajo. Valores de retención máxima medidos con las isotermas de adsorción (Vallejo-Torres 1988), para ser presentados en otra contribución, corroboran estos resultados.

Por último se debe señalar que es necesario realizar estudios más detallados sobre la evaluación de la

Cuadro 5. Cambios en los niveles de micronutrientes disponibles ($\mu\text{g/g}$) en el suelo con el elemento nativo ($N = 3$) y con adición del fertilizante ($N = 2$). Media $\pm$ (desviación estándar).

	Zn	Cu	Mn	Fe
Suelo sin fertilizar	0.84(0.04)	4.60(0.12)	5.6(0.24)	5.20(0.18)
Suelo fertilizado	2.91(0.05)	5.2(0.05)	3.9(0.05)	NA

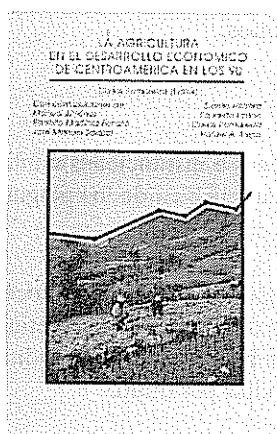
contribución de cada fracción a la absorción de micronutrientes por la caña de azúcar, y la importancia para su crecimiento. También sería valioso conocer los cambios que este cultivo produce en las formas de cada micronutriente del suelo.

LITERATURA CITADA

- AGEMIAN, H.; CHAU, A.S.Y. 1976. Evaluation of extraction techniques for the determination of metals in aquatic sediments. *Analyst* 101:761-767.
- BARBER, S.A. 1984. Soil nutrient bioavailability: A mechanistic approach. New York, Wiley.
- COTTENIE, A.; CAMERLYNCK, R.; VERLOO, M.; DHAESE, A. 1979. Fractionation and determination of trace elements in plants, soils and sediments. *Pure Applied Chemistry* 52:45-53.
- COX, F.R.; KAMPRAH, E.J. 1972. Micronutrient soil test. In *Micronutrients in agriculture*. J.J. Morvedt, P.M. Giordano, W.L. Lindsay (Eds.). Soil Science Society of America Journal 36:289-317.
- DHILLON, S.K.; SIDHU, P.S.; SHINA, M.K. 1981. Copper adsorption by alkaline soils. *Journal of Soil Science* 32:571-578.
- ELSOKKARY, I.H. 1979. The chemical fractionation of soil zinc and its specific and total adsorption by Egyptian alluvial soils. *Plant and Soil* 53:117-129.
- GARCIA-MIRAGAYA, J. 1984. Levels, chemical fractionation, and solubility of lead in roadside soils of Caracas, Ven. *Soil Science* 138(2):147-152.
- GUY, R.D.; CHAKRABARTI, C.L.; MCBAIN, D.C. 1978. An evaluation of extraction techniques for the fractionation of copper and lead in model sediment systems. *Water Resources Research* 12:21-24.
- HODGSON, J.F. 1963. Chemistry of micronutrients in soils. *Advances in Agronomy* 15:119-159.
- IYENGAR, S.S.; DEB, D.L. 1977. Contribution of zinc fractions to plant uptake and rate of zinc applied to the soil. *Journal of the Indian Society of Soil Science* 25(4):426-432.
- IYENGAR, S.S.; MARTENS, D.C.; MILLER, W.P. 1981. Distribution and plant availability of zinc fractions. *Soil Science Society of America Journal* 45:735-739.
- KHEBOIAN, C.; BAUER, C.H.F. 1987. Accuracy of selective extraction procedures for metal speciation in model aquatic sediments. *Annals of Chemistry* 59(10):1417-1423.
- KUO, P.; HEILMAN, P.E.; BAKER, A.S. 1983. Distribution and forms of copper, zinc, cadmium, iron, and manganese in soil near copper smelter. *Soil Science* 135(2):101-109.
- KURDI, F.; DONNER, H.E. 1983. Zinc and copper sorption and interaction in soils. *Soil Science Society of America Journal* 47:873-876.
- LINDSAY, W.L.; NORVELL, W.A. 1978. Development of DTPA soil test for zinc, iron, manganese and copper. *Soil Science Society of America Journal* 42:421-428.
- LINDSAY, W.L. 1979. Chemical equilibria in soils. New York, Wiley.
- LOPEZ-HERNANDEZ, I.D.; HEUDES, J.R.; CARRION, N. 1986. Fraccionamiento de cinc, cobre y cobalto en suelos de banco y estero del módulo experimental de Mantecal. *Turrialba (C.R.)* 36(3):395-400.
- LOPEZ-HERNANDEZ, D.; MEDINA, E.; INFANTE, C.; SEQUERA, D.; NIÑO, M.; VALLEJO-TORRES, O. 1993. Nutrient cycles in a sugarcane agroecosystem. In *Soil biota and nutrient cycling farming systems*. D. Coleman, W. Foissner, R. Poincelot, M.G. Paoletti (Eds.). Food Products Press. v. 3. (En prensa).
- MCBRIDE, M.B. 1979. Chemisorption and precipitation of Mn^{+2} at $CaCO_3$ surfaces. *Soil Science Society of America Journal* 43:693-698.
- MCLAREN, R.G.; CRAWFORD, D.V. 1973. Studies on soil copper. I. The fractionation of copper in soils. *Journal of Soil Science* 24(2):172-181.
- MULLINS, G.L.; MARTENS, D.C.; MILLER, W.P.; KORNEGAY, E.I.; HALLOCK, D.L. 1982. Copper availability, forms and mobility in soil from three annual copper-enriched hog manure applications. *Journal of Environmental Quality* 11(2):316-320.
- MURTHY, A.S.P. 1982. Zinc fractions in wetland rice and their availability to rice. *Soil Science* 133(3):150-154.
- RENDELL, P.S.; BAILEY, G.E.; CAMERON, A.J. 1980. Adsorption as a control of metal concentrations in sediments extracts. *Environment Science Technology* 14:314-318.
- SEQUERA, P.E.; LOPEZ-HERNANDEZ, I.D.; MEDINA, E. 1984. La producción de caña de azúcar en el Valle del Río Yaracuy. Unión de Productores de Azúcar de Venezuela. Caracas, Ven., Edicanpa.
- SHUMAN, L.M. 1979. Zinc, manganese, and copper in soil fractions. *Soil Science* 127(1):10-17.
- SHUMAN, L.M. 1985. Fractionation method for soil microelements. *Soil Science* 140(1):11-22.
- SHUMAN, L.M. 1986. Effect of liming on the distribution of manganese, copper, iron, and zinc among soil fractions. *Soil Science Society of America Journal* 50:1236-1240.

- SIMS, J.L. 1978. Soil pH effects on the distribution of micronutrient cations in soil under conditions of varying redox potential and pH. *Soil Science Society of America Journal* 42:258-262.
- SIMS, J.L.; DUANGPATRA, P.; ELLIS, J.H.; PHILLIPS, R.E. 1979. Distribution of available manganese in Kentucky soils. *Soil Science* 27(5):270-274.
- SIMS, J.T. 1986. Soil pH effects on the distribution and plant availability of manganese, copper, and zinc. *Soil Science Society of America Journal* 50:367-373.
- SINGH, M.V.; ABROL, I.P. 1986. Transformation and movement of zinc in an alkali soil and their influence on the yield and uptake of zinc by rice and wheat crops. *Plant and Soil* 94:445-449.
- SPOSITO, G.; LUND, L.J.; CHANG, A.C. 1982. Trace metal chemistry in arid zone field soils amended with sewage sludge. I. Fractionation of Ni, Cu, Zn, Cd, and Pb in solid phases. *Soil Science Society of America Journal* 46:260-264.
- STEVENSON, F.J.; ARDAKANI, M.S. 1972. Organic matter involving micronutrients in soils. In *Micronutrients in agriculture*. J.J. Morvedt, P.M. Giordano, W.L. Lindsay (Eds.). *Soil Science Society of America Journal* p. 79-114.
- VALLEJO-TORRES, O. 1988. Ciclaje de micronutrientes (Zn, Cu, Mn y Fe) en un agroecosistema de caña de azúcar. Tesis doctoral, Facultad de Ciencias, Universidad Central de Venezuela.
- VALLEJO-TORRES, O.; LOPEZ-HERNANDEZ, D. 1988. Variabilidad en el contenido de micronutrientes para suelos cultivados con caña de azúcar. *Ciencia del Suelo* 6(1):37-43.
- VALLEJO-TORRES, O.; LOPEZ-HERNANDEZ, D.; MEDINA, M. s.f. Aportes de micronutrientes por cenizas en un agroecosistema de caña de azúcar. (En preparación).
- VIETS, F.G. 1962. Chemistry and availability of micronutrients. *Journal of Agriculture and Food Chemistry* 10:174-178.

LIBRO RECOMENDADO



US\$10.00

La Agricultura en el Desarrollo Económico de Centroamérica en los 90. IICA. C. Pomareda (Ed.). 1992. 202 p. ISBN 92-9039-203 7.

Este libro compendia diversos trabajos realizados por destacados profesionales de las ciencias agrícolas, y constituye una valiosa contribución técnica a los esfuerzos de los países centroamericanos por lograr la consolidación de un modelo de desarrollo en el contexto internacional. Dichos trabajos tratan temas de gran interés socio-político y económico, tales como las relaciones intersectoriales en la agricultura, los elementos básicos de una estrategia de modernización agroindustrial y el comercio intrarregional de productos agropecuarios.

Ver lista de publicaciones disponibles para la venta y boleta de solicitud en la última sección de la revista Turrialba.

Base de Datos sobre Plaguicidas con Énfasis en Centroamérica (PLAG-CA)¹

J.E. García*

La Biblioteca Central de la Universidad Estatal a Distancia (UNED), en Costa Rica, por medio del Centro de Información y Documentación Ambiental (CEDIA), se ha dado a la tarea de crear una base de datos sobre plaguicidas con énfasis en Centroamérica (PLAG-CA).

En la actualidad la documentación se concentra en 21 grandes sectores de búsqueda:

- Estudios de impacto ambiental.
- Residuos de plaguicidas en humanos.
- Residuos de plaguicidas en aguas.
- Residuos de plaguicidas en animales y productos alimenticios de origen animal.
- Residuos de plaguicidas en plantas y productos alimenticios de origen vegetal.
- Residuos de plaguicidas en sedimentos y suelos.
- Fitotoxicidad.
- Intoxicaciones por plaguicidas: Estadísticas sobre toxicología y tratamiento.
- Educación: Programas y materiales audiovisuales.
- Manejo de los plaguicidas.
- Uso de los plaguicidas por cultivo.
- Legislación y reglamentación.
- Trabajos de tesis de graduados.
- Ponencias en congresos, reuniones, seminarios, simposios, mesas redondas y otros.
- Plaguicidas restringidos y prohibidos en el mundo.
- Plaguicidas registrados por la Agencia para la Protección Ambiental (EPA) de los EE.UU.; su uso en diferentes cultivos.
- Niveles de tolerancia establecidos por cultivos por la EPA.
- Alternativas naturales de combate de plagas.
- Salud ocupacional: Legislación, equipo de protección, seguros y otros.
- Litigios judiciales.
- Directorio de personas e instituciones públicas y privadas ligadas a la temática de los plaguicidas en Centroamérica.

La información compilada se dará a conocer periódicamente por medio de la edición de boletines bibliográficos. El primer boletín ya ha sido editado y cuenta con más de 300 citas por título.

Con la creación y puesta en marcha de este servicio de comunicación se pretende ofrecer un servicio directo de traspaso de información hacia investigadores, estudiantes, periodistas, empresas privadas, y todas aquellas personas interesadas en el tema.

¹ Recibido para publicar el 17 de febrero de 1994.

* Oficina de Extensión Comunitaria y Conservación del Medio Ambiente, Universidad Estatal a Distancia (UNED)/CEDIA/PLAG-CA, Apartado 474-2050, San Pedro de Montes de Oca, San José, C.R., Tel. (506)253-21-21 ext. 260; facsímil (506)253-49-90.

De esta manera, el CEDIA se manifiesta como un centro referencial de acopio, ordenamiento y distribución de la información que circula en la región, relacionada con los sectores de búsqueda ya mencionados.

PLAG-CA sigue contando con colaboraciones tanto a nivel personal como institucional, lo que ha aumentado significativamente la colección de la base en los últimos meses. En este momento, se cuenta con más de 300 documentos ingresados.

Al distribuir la información entre los interesados, el CEDIA pretende establecer, además, una relación dinámica "usuario-base de datos", que permita una retroalimentación para darle consistencia a la información diseminada; divulgar los nombres de las personas e instituciones que más se destacan en este campo por medio de sus publicaciones; instar a los interesados a escribir artículos para fortalecer la información generada sobre el tema hasta la fecha.

Es importante señalar y recalcar que la eficiencia de la base en cantidad y calidad de su información disponible dependerá, en gran medida, de la colaboración directa y sostenida que brinden las personas e instituciones que piensen hacer uso de este servicio.

Para el manejo de la información se utiliza el *software* Minimicro CDS/ISIS (Versión 2.3) y para la nomenclatura y numeración de los campos, el sistema normalizado por la Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL). Además se trabaja con los códigos de la *International Standard Organization* (ISO), los cuales normalizan las abreviaturas que identifican a los países y los idiomas.

Vale la pena indicar que actualmente el CEDIA está en la disposición de intercambiar, realizar búsquedas temáticas de información y vender parcial o totalmente la información de esta base de datos. El costo de los servicios será especialmente para cubrir los gastos de impresión, fotocopiado y envío.

RESEÑA DE LIBROS

IRRI (INTERNATIONAL RICE RESEARCH INSTITUTE). 1992. Rice germplasm: Collecting, preservation, use. 173 p.

The collection in the International Rice Germplasm Center at IRRI is not the Institute's sole property: it belongs to the world. International cooperation in collecting, preserving, and using plant genetic resources without limitations must continue. Controversies that involve intellectual property rights and political systems need to be resolved. This will require broad-based discussions among scientists, lawyers, breeders, and the private and public sectors.

IRRI and IBPGR are working together to facilitate dialogue on this issue, and collaborated in hosting the third international workshop on rice germplasm 10-12 May 1990 at IRRI headquarters. A distinguished group of scientists from all over the world

who are concerned with safeguarding the world's rice germplasm participated. They vigorously discussed ideas and activities to foster the continuing exchange of germplasm. This book is just part of their work to ensure that germplasm is always freely available. IRRI will continue to join forces in efforts to reach that common goal.

The third international workshop on rice germplasm was organized by Drs. T.T. Chang and D.A. Vaughan of IRRI in collaboration with Mr. P.M. Perret and Dr. J.M.M. Engels of IBPGR.

ISBN 971-22-0026-4, Price US\$2.75

IRRI
DIVISION PR
INFORMATION CENTER
IRRI, P.O. BOX 933
1099 MANILA, PHILIPPINES

Potential Use of *Azospirillum* as Biofertilizer¹

Yoav Bashan*

ABSTRACT

Azospirillum was initially tested as a potential biofertilizer for cereals more than 15 years ago. Despite the optimistic initial results, *Azospirillum* inoculation in the field has proven to be inconsistent and unpredictable. Results were difficult to repeat even when experiments were performed identically, thus field experimentation with *Azospirillum* has been drastically reduced. It is presumed that *Azospirillum* inoculation of cereals should result in an average increased yield of 10-15% in fertilized areas and up to 20% under less developed agricultural practices. However, this is difficult to predict as long as basic features of the plant-bacteria interaction are unknown. Current research is focusing on two new directions in *Azospirillum* inoculation: (1) dual inoculation of *Azospirillum* and other rhizosphere microorganisms such as *Rhizobium*, pseudomonades and mycorrhizal fungi; the role of *Azospirillum* in this multiple interaction is that of a "helper" bacteria which improves the interaction of these microorganisms with plants; and (2) inoculation of non-cereal crop plants and ornamental plants. Since this unspecific bacteria effects a large variety of plants, it is possible that inoculation of non-cereal plants will produce more consistent results.

Key words: Plant growth-promoting rhizobacteria; plant-bacteria interaction.

RESUMEN

Hace más de quince años se probó, por primera vez, el potencial de *Azospirillum* como biofertilizante en cereales. A pesar del optimismo de los resultados iniciales, la inoculación con *Azospirillum* en el campo ha demostrado ser inconsistente e impredecible. Ha sido difícil reproducir los resultados, a pesar de que los experimentos se han realizado de manera idéntica. Consecuentemente, la experimentación de campo con *Azospirillum* se redujo dramáticamente. Estimaciones actuales proponen que la inoculación de cereales con *Azospirillum* debería incrementar el rendimiento de un 10%-15%, en áreas fertilizadas, hasta un 20% con el uso de prácticas agrícolas menos desarrolladas. Sin embargo, es difícil de predecir si se desconocen los factores básicos que intervienen en la interacción planta-bacteria. Las investigaciones se enfocan hacia dos nuevas direcciones: 1) Inoculación doble de *Azospirillum* con otros microorganismos de la rizósfera como *Rhizobium*, pseudomónades y hongos micorrizas. La función de *Azospirillum* en esa interacción múltiple es la de bacteria "cooperadora", pues contribuye positivamente en la interacción de estos microorganismos con las plantas. 2) Inoculación de plantas no-cereales y plantas de ornato. Esta bacteria no-específica produce efectos positivos en una gran variedad de plantas, por eso es factible que la inoculación en plantas no-cereales dé resultados consistentes.

Palabras clave: Rhizobacterias promotoras, crecimiento en plantas, interacción.

INTRODUCTION

After 50 years of obscurity, *Azospirillum* was rediscovered in the mid 1970s by J. Döbereiner and her colleagues in Brazil. At the time, it was considered by many to be the equivalent of *Rhizobium*, but to more economically important cereal plants. Consequently, this field of research was heavily financed by the biotechnology industry. However, within a few years, this promising "gold mine" had frustrated most investors. Even though field inoculation could increase the yield of many cereals up to 30% (and even more under greenhouse conditions), it failed to produce the con-

¹ Received for publication on September 14, 1992.

This study was written in memory of the late Avner Bashan from Israel, who supported *Azospirillum* research. I thank Gina Holguin, M. Esther Puente, A. Carrillo, Lilia Alcaraz-Melendez and A. Lopez-Cortes for providing me data, advice and help during the preparation of this review, and Roy Bowers for careful English corrections. This evaluation was supported by several grants from Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT), Mex

* Department of Microbiology, The Center For Biological Research (CIB), P.O. Box 128, La Paz, B.C.S., Mexico 23000.

sistent results required by the farming industry of developed countries. There emerged no "formula for success" that could be adopted for higher yields, and results were erratic and random.

Consequently, most research funds were withdrawn in the 1980s and redirected to the bio-control of soil-borne pathogens (Bashan and Levanony 1990; Jagnow 1987; Michiels *et al.* 1989). It has been clear from the beginning that in order to make a breakthrough in inoculation technology, one of the most important questions is how *Azospirillum* affects plant growth. Unfortunately, unlike rhizobia-producing nodules, *Azospirillum*-plant interaction produces no clearly visible phenotype in the root system. Therefore, the search for a mechanism is complicated and has been heavily influenced by personal interpretation. Over the last 15 years, several mechanisms of plant-microbe interaction have been proposed.

Nitrogen fixation

The first mechanism to be proposed was N₂ fixation, since this bacteria is an efficient nitrogen fixer (Pedrosa 1988). Much of the literature from 10-15 years ago demonstrated that *Azospirillum* inoculation significantly increased the total nitrogen of the plant. However, careful analysis of the bacteria's contribution to the fixed nitrogen showed that it was responsible for, at most, 18% of the accumulated nitrogen (Rennie and Thomas 1987). Other studies showed that the real nitrogen contributed by the bacteria was within 5% of the accumulated nitrogen (Okon *et al.* 1983). Furthermore, deletion of the genes for nitrogenase from the bacteria did not arrest the growth rate of inoculated tomato plants (Bashan *et al.* 1989c). Therefore, it is unlikely that N₂ fixation plays an important role for the plant, although it might play a role in the rhizocompetence of the bacteria.

Hormonal effects

A longstanding claim has been that the *Azospirillum* mechanism is based on changes in plant hormones induced by the bacteria. This theory is based on several facts: (1) this bacteria produces several plant hormones in culture, especially IAA, a fact known since the early years of research on this bac-

teria (Hartmann *et al.* 1983; Kucey 1988); (2) the application of synthetic hormones to plants produces effects that mimic the effect of *Azospirillum* inoculation; (3) hormone-overproducing mutants cause more pronounced effects on plant growth than wild-type strains; (4) changes in plant hormones have been detected, but in only one plant species so far (Fallik *et al.* 1989).

These facts provide indirect evidence that *Azospirillum* is involved in plant hormone regulation. However, this evidence alone cannot confirm hormonal effects as the principal mechanism by which *Azospirillum* promotes plant growth. Many unanswered questions remain: (1) Do changes in root morphology, presumably induced by hormones, have a direct effect on the growth of a plant and ultimately produce a higher yield? Hormonal changes that have only been observed at the seedling stage may not affect mature plants during the productive period several months later, when the *Azospirillum* population on the roots sharply declines. (2) Are irreversible IAA-deficient mutants, isogenic to the parental strain, incapable of producing morphological effects on roots? (3) Do various soil-grown plant species have similar changes in the hormonal balance?

General improvement in root growth and mineral uptake

In addition to its effect on roots, *Azospirillum* inoculation improved many plant foliage parameters which were attributed to improved mineral and water uptake (Murty and Ladha 1988). Evidence gathered from inoculated plants includes: enhanced accumulation of many minerals in plant foliage, enzymatic activities related to ion transformation in plant foliage, improved water uptake, partial substitution of nitrogen fertilization, and increased proton efflux.

Despite these visible effects, some crucial questions remain. It is likely that improved mineral and water uptake play an essential role in *Azospirillum*-plant interaction; however, it has not been shown whether this is the cause, or the result, of another mechanism such as a change in the hormone balance of the plant. Furthermore, the wide range of enzymes related to ion transport within the plants has been poorly studied, and no detailed analysis has been made of *Azospirillum* mutants that do not

improve the mineral and water uptake in plants. Crucial to the full acceptance of this theory is that very few strains have been evaluated. It is doubtful that most *Azospirillum* strains possess these abilities, as some *A. brasilense* strains failed to improve the uptake of several ions, yet still improved plant growth (Bashan *et al.* 1990).

Signal molecules

A novel perspective has recently attempted to end the dead-lock on the mechanism of *Azospirillum*. The fact that *Azospirillum* affects plant cell metabolism from outside the plant (Bashan *et al.* 1991; Levanony *et al.* 1989) suggests that the bacteria are capable of excreting and transmitting signals which cross the plant cell wall and are recognized by the plant membranes. This interaction initiates a chain of events which result in the observed altered metabolism of inoculated plants. Since plant membranes are extremely sensitive to any change, they may serve as precise indicators of *Azospirillum* activity at the cellular level.

Signal molecules which enhanced proton efflux from roots and changed the membrane potential were detected in wheat, cowpea and soybean plants (Bashan 1990, 1991; Bashan *et al.* 1989a; Bashan *et al.* 1991). Although this is a promising avenue for future research, much remains to be clarified. Is there a relationship between the membrane activities of inoculated plants and growth parameters? Do these phenomena, detected *in vitro*, also occur *in situ*? What is the chemical nature of these molecules? Can different *Azospirillum* strains and plant species form an interaction which results in changes in membrane activity?

Additive hypothesis

Although the above proposals are based on experimental evidence, there are insufficient quantitative data to support the notion that one of these mechanisms is solely responsible for changes in plant growth. Therefore, we are submitting an "additive hypothesis": *Probably more than one mechanism participates in the association, either simultaneously or in succession. The sum of their activities, when introduced under the proper environmental conditions, results in the observed changes in plant*

growth. This hypothesis may also explain the previously inconsistent results. Presumably, one or more mechanisms are inactive or only partially active, thus maximal benefits are rarely achieved. This hypothesis, may ultimately lead us to re-define *Azospirillum* as a "plant growth-promoting rhizobacteria" (PGPR) instead of an "associative nitrogen fixer."

Importance of attachment of *Azospirillum* to roots

The frequent failure of the inoculation experiments returned the focus of research to the most fundamental feature of this interaction: The bacteria does not produce any structural formation on the roots and therefore it is unprotected from environment and microbial competitors. To survive on the root surface, the bacteria must produce some permanent anchoring mechanism.

The secure attachment of beneficial bacteria is essential for a long-term association with the host plant for three reasons: (1) If the bacteria is not attached to root epidermal cells, substances extracted by the bacteria diffuse into the rhizosphere where they are consumed by nutritionally-versatile microorganisms before reaching the target plant. However, when the bacteria attach to the roots, part of these substances are diffused from their longitudinal side into the intercellular spaces of the root cortex. This is especially true for bacterial aggregate colonization where attachment is horizontal to the root surface (Levanony and Bashan 1991). (2) Without a secure attachment, water may wash the bacteria away from the rhizosphere to perish in the surrounding, nutrient-deficient soil. *Azospirillum* is known to survive poorly in many arid soils without plants to act as hosts (Bashan and Levanony 1990). (3) Association sites on roots with no attached beneficial bacteria are vulnerable to other aggressive, non-beneficial colonizers.

Current studies in several laboratories (Bashan and Holguin 1993; Bashan and Levanony 1988 a,b, 1989a; Bashan *et al.* 1986; Bashan *et al.* 1991; Del Gallo *et al.* 1989; Levanony and Bashan 1991; Michiels *et al.* 1991) have revealed the presence of fibrillar material of various dimensions connecting the bacteria to roots and sand surfaces. The chemical nature of this fibrillar material is still uncertain. Is it protein or polysaccharide (Bashan and Levanony

1988; Michiels *et al.* 1991), and how many different mechanisms exist? Findings in this basic research area will ultimately influence applicative studies in *Azospirillum* technology.

Mixed inoculation of *Azospirillum* with other microorganisms

Inoculation with *Azospirillum* alone has a limited future as long as the abovementioned questions remain. However, a new avenue of investigation has evolved that may breathe new life into *Azospirillum* technology: mixed inoculation. In this technology, *Azospirillum* is mixed with other microorganisms which have a proven effect on plants, such as *Rhizobium* and mycorrhizal fungi, in order to enhance the effectiveness of the latter (Barca *et al.* 1983; Del Gallo and Fabri 1991; Plazinski and Rolfe 1985). This role of "helper" bacteria is especially suitable for *Azospirillum* since its primary effect is on increased root development (higher surface area, more root hairs, and increased excretion of root exudates), thus increasing the probability of successful infection by the major contributor in a synergistic way.

The co-inoculation approach is currently the most promising one; however, data are still insufficient to justify full-scale field experiments with reasonable chances of success.

Inoculation of non-cereal crop plants

Azospirillum was initially isolated from cereals roots, and most inoculations have been done on cereals. However, the inconsistent results of *Azospirillum* inoculation on cereals invited researchers to evaluate the inoculation of other plant species. It appears that many other plant species react positively to inoculation, and they appear to do it more consistently (Bashan *et al.* 1989c; Puente and Bashan 1993). However, research in this area is still at the greenhouse stage, and field studies would be required to validate any claims of consistency.

Other difficulties inhibiting the commercialization of *Azospirillum* technology

The ultimate test for even the most beneficial isolate is its ability to survive and to successfully colo-

nize plant roots in the presence of larger number of other indigenous rhizosphere microorganisms. The study of the bacterial behavior in various competitive environments (Bashan 1986c; Bashan 1991; Bashan and Levanony 1987, 1989b; Bashan *et al.* 1991; Harris *et al.* 1989) is in its infancy. No data are available on interaction between *Azospirillum* and the most prominent rhizosphere bacteria, let alone with fungi. Two major facts are known: (a) *Azospirillum* is not a biocontrol agent against soil-borne pathogens, as are many pseudomonades, and (b) suppression of competing microflora encourages colonization by *A. brasilense* (Bashan 1986b).

Genetic research in *Azospirillum* is the Achilles heel of this system. A number of studies were conducted on *Azospirillum* genetics. Unfortunately, most of them were related to the nitrogen-fixing ability of the bacteria (Elmerich *et al.* 1989), which is meaningless to *Azospirillum* technology, as explained before. Recently, the first genes related to plant bacteria interaction were identified, and a few mutants were manipulated (Abdel-Salam and Klingmüller 1987; Vande Broek *et al.* 1989). Thus, it is evident that genetic manipulation to produce a super-*Azospirillum* is in the distant future and should not be considered as a feasible possibility for *Azospirillum* technology today.

Inoculant carriers for *Azospirillum* are no different from those produced for other beneficial bacteria used as biocontrol agents, or for *Rhizobium*. The first commercial *Azospirillum* inoculants were recently released (Fages 1991; Okon and Labandera-González 1994). Most *Azospirillum* inoculants are based on peat, vermiculite or various organic waste substances. These inoculants have many limitations, and to date the most advanced inoculant carriers are micro-capsules of *Azospirillum* in polymeric matrix. This inoculant carrier are currently under development in several laboratories (Bashan 1986a; Van Elsas and Heijnen 1990).

Conclusions

The facile exploitation of *Azospirillum* technology proved to be a costly dream which has discouraged research in this plant-bacteria interaction. However, during the last decade it has been repeatedly shown that, although complex, this system has the potential

for agricultural exploitation. The main difficulty is our incomplete understanding of the basic system and several characteristics that are unique to this system. Alternatively, since the *Azospirillum* system has been one of the most studied in rhizosphere research, it is being used as a model for basic rhizosphere research regardless of its commercial potential.

LITERATURE CITED

- ABDEL-SALAM, M.; KLINGMÜLLER, W. 1987. Transposon Tn5 mutagenesis in *Azospirillum lipoferum*: Isolation of indole acetic acid mutants. *Molecular General Genetics* 210:165-170.
- BAREA, J.M.; BONIS A.F.; OLIVARES, A. 1983. Interactions between *Azospirillum* and VA mycorrhizae and their effects on growth and nutrition of maize and ryegrass. *Soil Biology and Biochemistry* 15:705-709.
- BASHAN, Y. 1986a. Alginate beads as synthetic inoculant carriers for the slow release of bacteria that affect plant growth. *Applied and Environmental Microbiology* 51:1089-1098.
- BASHAN, Y. 1986b. Enhancement of wheat root colonization and plant development by *Azospirillum brasilense* Cd. following temporary depression of the rhizosphere microflora. *Applied and Environmental Microbiology* 51:1067-1071.
- BASHAN, Y. 1986c. Migration of the rhizosphere bacteria *Azospirillum brasilense* and *Pseudomonas fluorescens* towards wheat roots in the soil. *Journal of General Microbiology* 132:3407-3414.
- BASHAN, Y.; LEVANONY, H.; KLEIN, E. 1986. Evidence for a weak active external adsorption of *Azospirillum brasilense* Cd to wheat roots. *Journal of General Microbiology* 132:3069-3073.
- BASHAN, Y.; LEVANONY, H. 1987. Horizontal and vertical movement of *Azospirillum brasilense* Cd in the soil and along the rhizosphere of wheat and weeds in controlled and field environments. *Journal of General Microbiology* 133:3473-3480.
- BASHAN, Y.; LEVANONY, H.; ZIV-VECHT, O. 1987. The fate of field-inoculated *Azospirillum brasilense* Cd in wheat rhizosphere during the growing season. *Canadian Journal of Microbiology* 33:1074-1079.
- BASHAN, Y.; LEVANONY, H. 1988a. Active attachment of *Azospirillum brasilense* Cd to quartz sand and to light-textured soil by protein bridging. *Journal of General Microbiology* 134:2269-2279.
- BASHAN, Y.; LEVANONY, H. 1988b. Adsorption of the rhizosphere bacterium *Azospirillum brasilense* Cd to soil, sand and peat particles. *Journal of General Microbiology* 134:1811-1820.
- BASHAN, Y.; LEVANONY, H. 1989a. Factors affecting adsorption of *Azospirillum brasilense* Cd to root hairs as compared with root surface of wheat. *Canadian Journal of Microbiology* 35:936-944.
- BASHAN, Y.; LEVANONY, H. 1989b. Wheat root tips as a vector for passive vertical transfer of *Azospirillum brasilense* Cd. *Journal of General Microbiology* 135:2899-2908.
- BASHAN, Y.; LEVANONY, H.; MITIKU, G. 1989a. Changes in proton efflux of intact wheat roots induced by *Azospirillum brasilense* Cd. *Canadian Journal of Microbiology* 35:691-697.
- BASHAN, Y.; SINGH, M.; LEVANONY, H. 1989b. Contribution of *Azospirillum brasilense* Cd to growth of tomato seedlings is not through nitrogen fixation. *Canadian Journal of Botany* 67:2429-2434.
- BASHAN, Y.; REAM, Y.; LEVANONY, H.; SADE, A. 1989c. Nonspecific responses in plant growth, yield, and root colonization of noncereal crop plants to inoculation with *Azospirillum brasilense* Cd. *Canadian Journal of Botany* 67:1317-1324.
- BASHAN, Y.; LEVANONY, H. 1990. Current status of *Azospirillum* inoculation technology: *Azospirillum* as a challenge for agriculture. *Canadian Journal of Microbiology* 36:591-608.
- BASHAN, Y.; HARRISON, S.K.; WHITMOYER, R.E. 1990. Enhanced growth of wheat and soybean plants inoculated with *Azospirillum brasilense* is not necessarily due to general enhancement of mineral uptake. *Applied and Environmental Microbiology* 56:769-775.
- BASHAN, Y. 1990. Short exposure to *Azospirillum brasilense* Cd inoculation enhanced proton efflux in intact wheat roots. *Canadian Journal of Microbiology* 36:419-425.
- BASHAN, Y. 1991a. Air-borne transmission of the rhizosphere bacterium *Azospirillum*. *Microbial Ecology* 22:257-269.
- BASHAN, Y. 1991b. Changes in membrane potential of intact soybean root elongation zone cells induced by *Azospirillum brasilense*. *Canadian Journal of Microbiology* 37:958-963.
- BASHAN, Y.; MITIKU, G.; WHITMOYER, R.E.; LEVANONY, H. 1991. Evidence that fibrillar anchoring is essential for *Azospirillum brasilense* Cd attachment to sand. *Plant and Soil* 132:73-83.

- BASHAN, Y.; LEVANONY, H.; WHITMOYER, R.E. 1991. Root surface colonization of non-cereal crop plants by pleomorphic *Azospirillum brasilense* Cd. Journal of General Microbiology 137:187-196
- BASHAN, Y.; ALCARAZ-MELENDZ, L.; TOLEDO, G. 1992. Responses of soybean and cowpea root membranes to inoculation with *Azospirillum brasilense* Symbiosis 13:217-228
- BASHAN, Y.; HOLGUIN, G. 1993. Anchoring of *Azospirillum brasilense* to hydrophobic polystyrene and wheat roots. Journal of General Microbiology 139:379-385
- DEL GALLO, M.; NEGI, M.; NEYRA, C.A. 1989. Calcofluor- and lectin-binding exocellular polysaccharide of *Azospirillum brasilense* and *Azospirillum lipoferum*. Journal of Bacteriology 171:3504-3510
- DEL GALLO, M.; FABRI, P. 1991. Effect of soil organic matter on chickpea inoculated with *Azospirillum brasilense* and *Rhizobium leguminosarum* bv. *ciceri*. Plant and Soil 137:171-175
- ELMERICH, C.; BOZOUKLIN, H.; VIEILLE, C.; FOGHER, C.; PERROUD, B.; PERRIN, A. 1987. *Azospirillum*: Genetics of nitrogen fixation and interaction with plants. Transactions of the Royal Entomological Society B (U.K.) 317:183-192
- FAGES, J. 1991. Research and development notes. Plant Growth-Promoting Rhizobacteria Newsletter 7:2
- FALLIK, E.; OKON, Y.; EPSTEIN, E.; GOLDMAN, A.; FISCHER, M. 1989. Identification and quantification of IAA and IBA in *Azospirillum brasilense*-inoculated maize roots. Soil Biology and Biochemistry 21:147-153
- HARRIS, J.M.; LUCAS, J.A.; DAVEY, M.R.; LETHBRIDGE, G.; POWELL, K.A. 1989. Establishment of *Azospirillum* inoculant in the rhizosphere of winter wheat. Soil Biology and Biochemistry 21:59-64
- HARTMANN, A.; SINGH, M.; KLINGMÜLLER, W. 1983. Isolation and characterization of *Azospirillum* mutants excreting high amounts of indoleacetic acid. Canadian Journal of Microbiology 29:916-923
- JAGNOW, G. 1987. Inoculation of cereal crops and forage grasses with nitrogen-fixing rhizosphere bacteria: Possible causes of success and failure with regard to yield response - a review. Zeitschrift fuer Pflanzenernährung und Bodenkunde 150:361-368.
- KUCEY, R.M.N. 1988. Plant growth-altering effects of *Azospirillum brasilense* and *Bacillus* C-11-25 on two wheat cultivars. Journal of Applied Bacteriology 64:187-196
- LEVANONY, H.; BASHAN, Y.; ROMANO, B.; KLEIN, E. 1989. Ultrastructural localization and identification of *Azospirillum brasilense* Cd on and within wheat root by immuno-gold labeling. Plant and Soil 117:207-218
- LEVANONY, H.; BASHAN, Y. 1991. Active attachment of *Azospirillum brasilense* to root surface of non-cereal plants and to sand particles. Plant and Soil 137:91-97
- MICHIELS, K.; VANDERLEYDEN, J.; VAN GOOL, A. 1989. *Azospirillum*-plant root associations: A review. Biology and Fertility of Soils 8:356-368
- MICHIELS, K.W.; CROES, C.L.; VANDERLEYDEN, J. 1991. Two different modes of attachment of *Azospirillum brasilense* Sp7 to wheat roots. Journal of General Microbiology 137:2241-2246
- MURTY, M.G.; LADHA, J.K. 1988. Influence of *Azospirillum* inoculation on the mineral uptake and growth of rice under hydroponic conditions. Plant and Soil 108:281-285
- OKON, Y.; HEYTLER, P.G.; HARDY, R.W.F. 1983. N₂ fixation by *Azospirillum brasilense* and its incorporation into host *Setaria italica*. Applied and Environmental Microbiology 46:694-697
- OKON, Y.; LABANDERA-GONZALEZ, C.A. 1994. Agronomic applications of *Azospirillum*. In Improving plant productivity with rhizosphere bacteria. M.H. Ryder, P.M. Stephens, G.D. Bowen (Eds.). CSIRO Division of Soils, Australia. p. 274-278.
- PEDROSA, F.O. 1988. Physiology, biochemistry, and genetics of *Azospirillum* and other root-associated nitrogen-fixing bacteria. CRC critical Reviews in Plant Science 6:345-384
- PLAZINSKI, J.; ROIFE, B.G. 1985. Influence of *Azospirillum* strains on the nodulation of clovers by *Rhizobium* strains. Applied and Environmental Microbiology 49:984-989
- PUENTE, M.E.; BASHAN, Y. 1993. Effect of inoculation with *Azospirillum brasilense* strains on the germination and seedlings growth of the giant columnar Cardon cactus (*Pachycereus pringlei*). Symbiosis 15:49-60
- RENNIE, R.J.; THOMAS, J.B. 1987. ¹⁵N-determined effect of inoculation with N₂ fixing bacteria on nitrogen assimilation on western Canadian wheats. Plant and Soil 100:213-223
- SARIG, S.; BLUM, A.; OKON, Y. 1988. Improvement of the water status and yield of field-grown grain sorghum (*Sorghum bicolor*) by inoculation with *Azospirillum brasilense*. Journal of Agricultural Science 110:271-277
- VANDE BROEK, A.; VAN GOOL, A.; VANDERLEYDEN, J. 1989. Electroporation of *Azospirillum brasilense* with plasmid DNA. FEMS Microbiology Letters 61:177-182
- VAN ELSAS, J.D.; HEIJNEN, C.E. 1990. Methods for the introduction of bacteria into soil: A review. Biology and Fertility of Soils 10:127-133

RESEÑA DE LIBROS

TURFGRASS. 1992. D.V. Waddington; R.N. Carrow; R.C. Shearman (Eds.). Madison, Wisconsin, USA, American Society of Agronomy; Soil Science Society of America. Agronomy Monograph no. 32. 828 p.

Turfgrass Science, Agronomy Monograph 14, provided students, teachers, researchers, grounds managers, golf course superintendents, and others with a source of information pertaining to the historical, technical, and applied aspects of turfgrass science and management. Published in 1969, more copies of this monograph have been sold than other monograph in the series. Now, the state-of-the-art information on turfgrass is available to you.

Turfgrass, Agronomy Monograph 32, updates some of the topics from the first turfgrass monograph and offers detailed information on many new topics. As such, Turfgrass complements information contained in the earlier monograph and various turfgrass textbooks and reference books.

The monograph is divided into five primary sections. The first section explores the turfgrass industry and includes chapters on historical aspects of research and education, current status of the industry, and artificial turf. The turfgrass physiology section focuses on ecological aspects, energy relations and carbohydrate partitioning, and stresses due to salinity, temperature, shade, and traffic. The third section is on soils and water and emphasizes soils and amendments, nutrition, fertilization, water requirements, and irrigation. The management section offers chapters on energy conservation and efficient maintenance, integrated pest management, turfgrass management operations, and plant growth regulators. The last section addresses research techniques related to field and controlled-environment research, diseases, insects, weeds, and breeding.

ISBN 0-89118-108-3, Price US\$42.00

ASA, CSSA, SSSA
677 SOUTH SEGOE ROAD;
MADISON, WISCONSIN 53711-1086, USA

RESEÑA DE LIBROS

SCHUBERT, B.; NAGEL, U.J.; DENNING, G.L.; PINGALI; P.L. 1992. A logical framework for planning agricultural research programs. Manila, Philippines, IRRI. (Paperback).

The logical framework (logframe) approach to improving project planning is used by several development agencies. This booklet describes how to adapt and use logframe for agricultural research planning. The approach requires teamwork among participants as they develop research plans through the following steps:

- Analysis of interest groups.
- Identification of core problem and research output.

- Development of research planning matrix.
- Development of the work plan and resource allocation.

An important element of the method is visualizing the ideas by using colored cards and pinboards. The adapted logframe approach described in the booklet was used by IRRI scientists to develop the Institute's Work Plan for 1990-1994.

IRRI
MANILA, PHILIPPINES

RESEÑA DE LIBROS

DRYLAND AGRICULTURE. R.P. Singh, J.L.F. Parr, B.A. Stewart (Eds). Advances in Soil Science. Vol. 13.

En este volumen se analizan los aspectos variables de las estrategias para sistemas de agricultura sostenible en tierras áridas. Aunque la mayoría de los resultados provienen de experimentos bajo clima templado, se afirma que gran parte de la información es útil en condiciones del trópico seco también, con las adaptaciones pertinentes. Se enfatiza en la necesidad de ampliar las investigaciones sobre la problemática del manejo productivo, económicamente rentable y sostenible de estas tierras.

Se estudian en forma individual los siguientes siete aspectos de manejo adecuado y se consideran las interacciones entre ellos:

- 1) Conservación de suelos y aguas;
- 2) erosión por agua y viento;
- 3) prácticas de cultivo;
- 4) manejo de residuos en el campo;
- 5) integración de agricultura y ganadería;

- 6) diversidad biológica de las tierras, del sistema y de las técnicas de su manejo; y
- 7) aspectos económicos y sociales, hasta cierto punto.

Todos los capítulos, principalmente preparados por técnicos del Departamento de Agricultura de los EE.UU, con experiencia internacional, tienen la correspondiente bibliografía que permite profundizar en los aspectos indicados.

Un buen índice de materiales, al final del volumen, facilita la localización de los tópicos de interés para el lector.

Debido al papel muy importante de las regiones semiáridas en la agricultura de América Latina, este volumen es una contribución útil y recomendable para las bibliotecas agrícolas de la región.

ELEMER BORNEMISZA
UNIVERSIDAD DE COSTA RICA

FE DE ERRATAS Turrialba 41(4):475-481

página	línea	dice	debe decir
477 (columna izq.)	21, 22	radiactivo	radiativo
479 (columna izq.)	21	dilución (7)	dilución (6)
480 (columna izq.)	7	(6), es decir:	(7), es decir:
	8	$(MS/100)^{-32}$	$(MS/100)^{-0.32}$