

TURRIALBA

REVISTA INTERAMERICANA DE CIENCIAS AGRICOLAS

VOLUMEN 43

TRIMESTRE ENERO-MARZO 1993

NUMERO 1

CODEN: TURRAB 43(1):1-92

Efecto de dos sistemas de labranza sobre la estabilidad estructural y contenido de gomas microbianas. R.A. Díaz, J.L. Torella, O.J. Santanatógia	1
Inoculación con <i>Rhizobium loti</i> sobre componentes del rendimiento en <i>Leucaena leucocephala</i> . M. Valdés, J.F. Aguirre	7
Contenido foliar de nutrimentos y crecimiento en plantaciones de teca en Ticoporo, Ven. R. Hernández, A. Torres, O. Márquez, W. Franco	11
Relações entre perfilamento, floração e rendimento de grãos inteiros de cultivares de arroz. E. Marchezan	16
Baseline soil characteristics of a humid tropical silvopastoral system and changes in selected soil properties. L.R. Cooperband, T.J. Logan	22
Cambios en las propiedades físico-químicas de los suelos en una cronosecuencia de <i>Tectona grandis</i> . O. Márquez, R. Hernández, A. Torres, W. Franco	37
Evaluación de la estabilidad de cultivares de <i>Triticum aestivum</i> L. J. Lúquez, J.C. Suárez	42
Selección de especies y ecótipos de <i>Azolla</i> en Chile. I. Vidal, L. Longeri	49
Determinação de resíduos do herbicida trifluralin em latossolo roxo com soja. M.C.S.S. Novo, H.G. Blanco, L.A. Ambrósio, R.R. Coelho, R.B.F. Gimenez, J.B. Arcas	66
Cambios en la porosidad de un suelo por efecto de su uso A. Ellies, C. Ramírez, R. Mac Donald	72
Variación en la resistencia del suelo por efecto de su uso A. Ellies, C. Ramírez, R. Mac Donald	77
Reseñas de libros	15, 36, 83, 84



INSTITUTO INTERAMERICANO DE COOPERACION PARA LA AGRICULTURA

San José, Costa Rica

CR ISSN 0041 - 4360

Efecto de Dos Sistemas de Labranza sobre la Estabilidad Estructural y Contenido de Gomas Microbianas¹

R.A. Díaz*, J.L. Torella*, O.J. Santanatóglia*

ABSTRACT

Soil aggregate stability and microbial gums were studied in a double-cropped wheat and soybean field under two different tillage systems: conventional and reduced tillage. Both tillage systems produced similar effects and no differences were detected in the studied parameters. Temporal fluctuations in aggregation are associated with microbial gum content, and they are imputed to incorporations of crop residues by tillage. The high correlation found between both parameters, as well as the fall in aggregate stability after destruction of microbial polysaccharides oxidized by periodate, point to microbial gums as an important factor in aggregation of these soils under cultivation.

Key words: Tillage systems, microbial gums, aggregate stability.

RESUMEN

Se estudió la evolución de la estabilidad estructural relacionada con el contenido de gomas microbianas en el doble cultivo trigo-soja, bajo dos sistemas de labranza: convencional y reducida. Ambos sistemas produjeron efectos similares; no se encontraron diferencias en el contenido de gomas microbianas ni en la estabilidad estructural. Se determinaron fluctuaciones estructurales asociadas a las variaciones en el contenido de gomas microbianas, atribuidas a la remoción del suelo y a los aportes de los restos de cosecha, que ocurren durante las labranzas. La alta correlación entre ambos parámetros y la caída en la estabilidad estructural después de la destrucción de los polisacáridos microbianos, por oxidación con periodato, evidencian la importancia de dichas sustancias en la agregación de estos suelos agrícolas.

Palabras clave: Sistemas de labranza, gomas microbianas, estabilidad estructural.

INTRODUCCION

A partir de las últimas décadas, en Argentina se tiende hacia la agricultura continua, producto de la mayor rentabilidad comparativa de la agricultura sobre la ganadería.

Este proceso afecta las zonas que, por sus características ecológicas, poseen un mayor potencial productivo, como el norte de la provincia de Buenos Aires. Asimismo, la difusión alcanzada por el doble cultivo trigo-soja ha intensificado el laboreo del suelo en esta zona. La consecuencia de este manejo es el deterioro de las propiedades físicas, químicas y biológicas de los suelos.

Algunos síntomas de este proceso son la inestabilidad de los agregados y la formación de costras y pisos de arado que aumentan el peligro de erosión hídrica (Casas 1985).

Los cultivos requieren para su adecuado crecimiento un suelo bien estructurado. En especial es importante la presencia de agregados de 1 mm a 10 mm, con una relación de macro- y microporosidad que provea adecuadas condiciones de aireación, retención de agua y nutrimentos (Tisdall y Oades 1982). Por otra parte debe ser resistente a la acción de agentes destructivos tales como el impacto de la lluvia, los esfuerzos mecánicos durante las labores y otros. Entre los factores que intervienen en la estabilidad estructural están los polisacáridos, especialmente los de origen microbiano, conocidos como gomas microbianas, ampliamente estudiados. Sin embargo, su papel no resulta claro y varía desde los que las consideran relevantes (Aspiras *et al.* 1971; Harris *et al.* 1966; Moloje *et al.* 1987; Rennie *et al.* 1958) a los que les conceden sólo una acción muy limitada (Stefanson 1971; Tisdall y Oades 1980; Tisdall y Oades 1982).

¹ Recibido para publicación el 10 de enero de 1992.

* Centro de Radiología, Departamento de Ecología, Facultad de Agronomía, Universidad de Buenos Aires. Av. San Martín 4453, CP 1417, Buenos Aires, Arg

Otro factor que afecta en gran medida la estabilidad de los agregados, es el laboreo del suelo (Gibbs y Reid 1988; Unger 1982). Se ha observado, además, que las labranzas actúan modificando la fracción de agregados mayores a 2 mm (Ramsay *et al.* 1986; Tisdall y Oades 1980).

Asimismo, la incorporación de rastrojos de cosecha incrementa la estabilidad de los agregados (Muneeer y Oades 1989). Por otra parte, una adecuada estabilidad estructural contribuye a un abastecimiento favorable de nutrimentos para los cultivos. En tal sentido, en la zona maicera, Tallarico (1972) encontró una correlación positiva entre el porcentaje de agregados estables de 2 mm a 4.76 mm y el rendimiento de maíz. De tal modo que desde el punto de vista de la productividad es conveniente utilizar sistemas de labranzas que alteren en menor medida la estructura de los suelos, permitiendo un mejor perfil exploratorio de las raíces de los cultivos. Teniendo en cuenta lo señalado, se estudiaron los efectos sobre la estabilidad estructural y el contenido de gomas microbianas al utilizar dos sistemas de labranzas con una intensidad de uso del suelo de cuatro cosechas en un período de dos años (trigo/soja; trigo/soja).

MATERIALES Y METODOS

El ensayo se ubicó sobre un Argiudol típico, serie Pergamino, con un Ap de textura franco-limosa, 1.36% de carbono orgánico y pH de 5.6. En él se diagramó una secuencia de cultivos propia de la zona: trigo y, luego, soja, sembrada después de la cosecha del primero. Para el diseño estadístico se utilizaron cuatro bloques con dos parcelas cada uno de 4 m x 17 metros.

Durante dos años consecutivos, a partir de julio de 1989, se sembró trigo utilizando dos sistemas de labranza diferentes: a) labranza convencional, cuya secuencia de labores se realizó con rastra de discos, arado de reja y vertedera, rastra de discos y rastra de dientes; y b) labranza reducida, donde las labores fueron las mismas eliminando el arado de reja y vertedera.

Cosechado el trigo, se sembró soja y el esquema de labores mencionadas se repitió para cada tratamiento. Para la condición natural de la serie, se tomaron muestras del parque adyacente al ensayo, el cual no se había cultivado en los últimos 30 años.

La estabilidad estructural se determinó por el método de De Leenher y De Boodt (1958), modificado por Santanatógli y Fernández (1982), por duplicado, sobre muestras compuestas por 10 submuestras por parcela.

El contenido de gomas microbianas se midió sobre suelo extraído del horizonte Ap, secado al aire, y separado por tamiz en cinco fracciones: > 8 mm, 8 mm - 4.8 mm, 4.8 mm - 3 mm, 3 mm - 2 mm, < 2 mm. Sobre dichas fracciones, y la muestra total, se aplicó la técnica de Rennie *et al.* (1954), modificada por Alvarez *et al.* (1984).

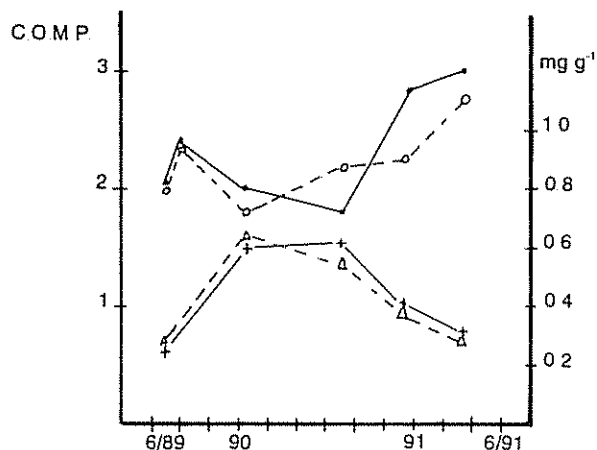
La destrucción de gomas microbianas se llevó a cabo utilizando el método de Chesire *et al.* (1983). El mismo consiste en un tratamiento de los agregados a 20° C con periodato de sodio 0.05 mol, durante 48 horas. Posteriormente se aplicó borato de sodio 0.1 mol por 24 horas. Para poder separar la acción del periodato de la del sodio, los testigos fueron tratados con cloruro de sodio 0.05 mol y luego con borato de sodio. En todos los tratamientos los agregados fueron previamente humedecidos hasta capacidad de campo, por capilaridad al vacío, para evitar el estallido de los mismos.

Se realizaron muestreos periódicos del contenido de humedad con barreno. Las temperaturas del suelo corresponden a las medias mensuales calculadas a partir de los valores diarios tomados por medio de un geotermómetro a 10 cm de profundidad a las 15 horas.

Para el tratamiento estadístico de los datos obtenidos, se aplicó un análisis de variancia correspondiente a un diseño en bloques. El ajuste de la estabilidad estructural y el contenido de gomas se realizó por regresión simple no lineal. Las diferencias se estudiaron a través de mínima diferencia significativa al cinco por ciento.

RESULTADOS Y DISCUSION

En la Fig 1 se presenta la evolución en el contenido de gomas microbianas y en la estabilidad estructural de los sistemas de labranzas estudiados. Según el análisis estadístico de los datos obtenidos no hubo diferencias en el nivel de 5% para ambos parámetros entre tratamientos.



Leyenda: CDMP = lab. reducida (—●—), lab. convencional (---○---), gomas = lab. reducida (—▲—), lab. convencional (---▲---)

Fig. 1. Contenido de gomas microbianas y estabilidad estructural.

Se presentaron, sin embargo, fluctuaciones en el período estudiado. Las gomas microbianas, que son productos metabólicos constituidos por polisacáridos extracelulares (Dommergues y Mangenot 1970), pueden formarse rápidamente a partir de la degradación de restos vegetales, aunque también representan una fuente de energía cuando existe un crecimiento microbiano explosivo (Harris *et al.* 1966). Parece ser la causa de las fluctuaciones relacionadas con la ocurrencia de labranzas y la consecuente incorporación de materiales ricos en carbono, que provienen del cultivo antecesor. El aumento del contenido de gomas microbianas en la primera parte del período estudiado (5-1-90), corresponde al muestreo efectuado con posterioridad al entierro de rastrojos de trigo debido al laboreo para la siembra de la soja.

Esta situación coincidió con las altas temperaturas del suelo y un contenido hídrico relativamente bajo (Fig. 2). Una situación similar se repitió en el muestreo de julio de 1990, realizado luego de incorporar rastrojo de soja y con el trigo en emergencia. Los niveles de gomas microbianas fueron semejantes al muestreo anterior. A pesar de que cuando se produjo dicho aporte de carbono las temperaturas del suelo estaban en su etapa descendente

En los muestreos posteriores efectuados antes de las cosechas de los cultivos (19-12-90 y 24-4-91) el

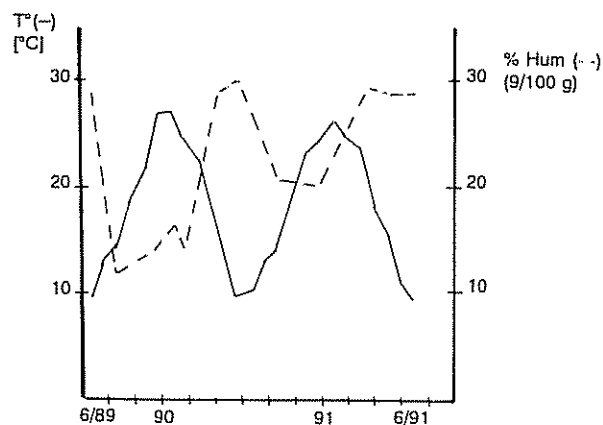


Fig. 2. Temperatura y humedad del suelo.

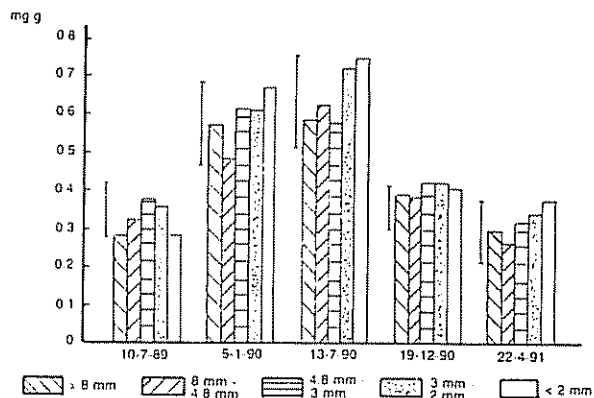


Fig. 3. Contenido de gomas microbianas en los distintos tamaños de agregados en la labranza reducida.

contenido de gomas decayó, indicando un consumo en el período desde la siembra hasta la cosecha. Es interesante señalar que la cantidad de polisacáridos fue similar en ambos tratamientos, a pesar de que los sistemas de labranza estudiados implicaban una distribución diferencial de los rastrojos; así la labranza reducida presenta una mayor cantidad de los mismos en superficie. Cuando se estudió la evolución de las gomas microbianas para los distintos tamaños de agregados (Figs. 3 y 4), no se encontraron diferencias significativas ($P < 0.05$)

No obstante, se puede observar que cuando se analizan los valores obtenidos para la labranza reducida en las fechas correspondientes al 5-1-90 y 13-7-90, que coinciden con muestreos posteriores a las labores, hay una tendencia al aumento del contenido de gomas microbianas en los tamaños por debajo de 3 mm, respecto de la labranza convencional. La es-

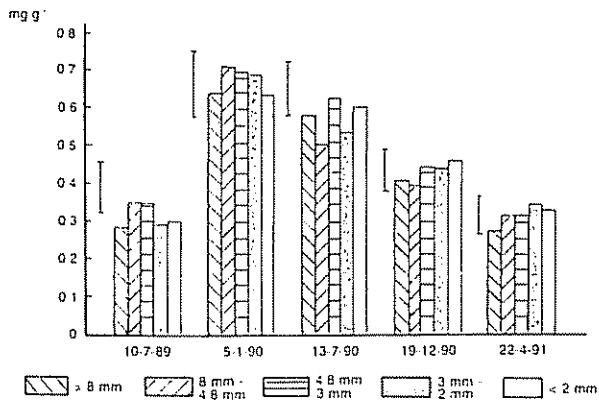
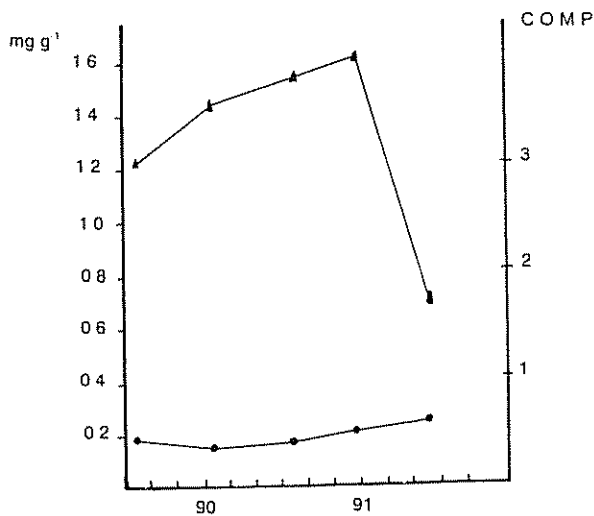


Fig. 4. Contenido de gomas microbianas en los distintos tamaños de agregados en la labranza convencional.

tabilidad estructural, medida a través del cambio de diámetro medio ponderado (CDMP), presentó variaciones en el tiempo que se asociaron a cambios producidos en el contenido de polisacáridos microbianos. En general se puede observar en la Fig. 1 que cuando los valores de los polisacáridos caen, el CDMP aumenta, mostrando un deterioro en las condiciones estructurales. Por el contrario, cuando el contenido de gomas microbianas es mayor, el CDMP disminuye.

La Fig. 5 muestra el contenido de gomas microbianas y la estabilidad estructural en la condición natural, sin cultivar. En la misma se observa que el



Leyenda CDMP = —●—, gomas = —▲—

Fig. 5. Gomas microbianas y estabilidad estructural para la condición natural.

contenido de polisacáridos microbianos es superior al del suelo cultivado (Fig. 1).

Sin embargo, los cambios entre los muestreos, no son de la misma magnitud que para los suelos labrados. Este comportamiento es esperable, pues el aporte de restos vegetales se produce en forma gradual. La caída observada hacia el final del período estudiado, al igual que en los suelos cultivados, coincidió (Fig. 2) con las altas temperaturas y humedad del suelo de modo que un incremento de la actividad biológica explicaría dicha disminución, ya que los polisacáridos se presentan en el suelo como una fuente rápida de energía (Harris *et al.* 1966).

Por otra parte, la condición natural exhibió una estructura muy estable, evidenciada por el bajo CDMP hallado. Se pudo determinar que las grandes variaciones en el contenido de gomas microbianas no correspondían con cambios de la misma magnitud en el CDMP, como para los suelos labrados.

Para poder interpretar la relación entre el contenido de gomas microbianas y la estabilidad estructural en suelos labrados y sin cultivar, se realizó un ajuste mediante un modelo exponencial negativo (Fig. 6), que presentó una alta correlación estadística. También mostró que a medida que la cantidad de polisacáridos alcanzaba valores importantes, la estabilidad estructural prácticamente no cambiaba. Esta situación se encuentra en la condición natural. En este sentido, Molopec *et al.* (1987), con base en Foster (1981), sugieren la existencia de sitios entre las partículas donde los polisacáridos ejercerían su acción agregante; cualquier exceso de los mismos no produ-

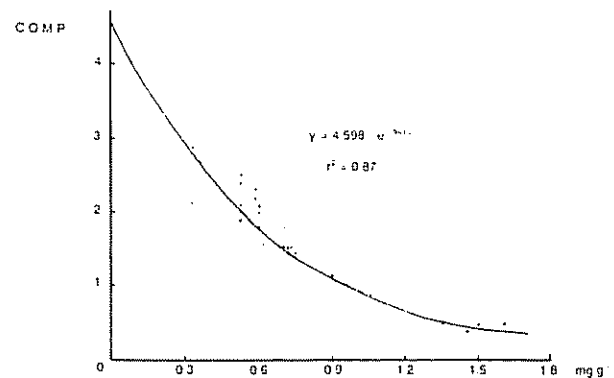


Fig. 6. Estabilidad de estructura y contenido de gomas microbianas.

ciría incremento alguno sobre la estabilidad estructural. Por otro lado, se han estudiado otros factores que influyen marcadamente sobre la agregación en suelos no labrados, tales como las hifas de los hongos y las raíces de las plantas (Tisdall y Oades 1980).

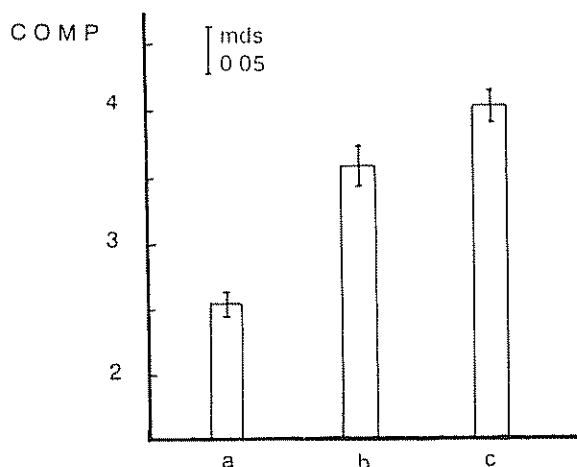


Fig. 7. Efecto de la oxidación de gomas microbianas sobre la estabilidad de estructura: (a) Sin tratamiento, (b) cloruro de sodio, (c) periodato de sodio.

En suelos cultivados, la destrucción por los implementos de labranza daría a los polisacáridos microbianos un papel más relevante en la agregación. En tal sentido, Greenland *et al.* (1962) destacan la importancia de los mismos en el mantenimiento de la estructura en el período de labranza hasta la emergencia de las plántulas, considerado crítico. Para estudiar la influencia de los polisacáridos sobre la estructura, uno de los procedimientos más utilizados fue cuantificar la estabilidad estructural, luego de la degradación de los mismos con periodato de sodio (Cheshire *et al.* 1983; Stefanson 1971). En la Fig. 7 se presentan los efectos de aplicar dicho tratamiento a suelos bajo cultivo. En la misma se ven los valores en promedio de ambos sistemas de labranza, ya que no hubo diferencias significativas entre ambos. Como se observa hay un aumento del CDMP que indica un deterioro de la estructura. No obstante, el efecto de la destrucción de polisacáridos no es clara por la acción desagregante del ión sodio que acompaña al periodato y que se utiliza para tratar a los testigos.

Este comportamiento se ve agregado por la pobre condición estructural del suelo estudiado. A pesar de

ello, se encontró una diferencia significativa ($P < 0.05$) entre tratamientos, que confirma la acción de las gomas microbianas en estos suelos.

CONCLUSIONES

Luego de dos años de análisis de los tratamientos de labranza convencional y labranza reducida, éstos no se diferenciaron respecto de los efectos en el contenido de polisacáridos microbianos y la estabilidad estructural.

El contenido de gomas microbianas estuvo relacionado con la ocurrencia de labranzas y presentó los valores más altos después de la remoción del suelo y la incorporación de rastrojos de cosecha.

El grado de asociación encontrado entre estabilidad estructural y contenido de gomas microbianas, conjuntamente con el aumento del CDMP después de la destrucción de estas últimas por oxidación con periodato, destacan el papel de este tipo de cementantes biológicos como agentes estructurantes.

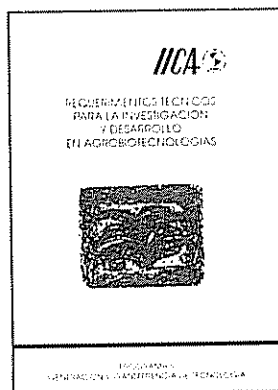
En esta serie de suelos, bajo uso agrícola, sujetos a labranzas periódicas y con pobre condición estructural, las gomas microbianas, aunque con un carácter transitorio, contribuyen de forma manifiesta al mantenimiento de la estructura.

LITERATURA CITADA

- ALVAREZ, R.; SANTANATOGLIA, O.J.; FERNANDEZ, N.R. 1984. Determinación colorimétrica de gomas microbianas del suelo. *Ciencia del Suelo* 2:173-178
- ASPIRAS, R.B.; ALLEN, O.N.; CHESTERS, G.; HARRIS, R.F. 1971. Chemical and physical stability of microbially stabilized aggregates. *Soil Science Society of America Proceedings* 35:283-285
- CASAS, R.R. 1985. La agricultura permanente y la degradación de los suelos en la República Argentina. *IDIA* 433-436:62-74
- CHESHIRE, M.V.; SPARLING, G.P.; MUNDIE, C.M. 1983. Effect of periodate treatment of soil on carbohydrate constituents and soil aggregation. *Journal of Soil Science* 34:105-112
- DE LEENHER, L.; DE BOODT, M. 1958. Determination of aggregate stability by the change in mean weight diameter. In *International Symposium of Soil Structure. Proceedings*. Ghent, Belgica. p 290-300

- DOMMERS, Y.; MANGENOT, F. 1970. Ecologie microbienne du sol. Mason et Cie, Paris. 796 p.
- FOSTER, R.C. 1981. Polysaccharides in soil fabrics. *Science* 214:665-667.
- GIBBS, R.J.; REID, J.B. 1988. A conceptual model of changes in soil structure under different cropping systems. *Advances in Soil Science* 8:123-149.
- GREENLAND, D.J.; LINDSTROM, G.R.; QUIRK, J.P. 1962. Organic material which stabilize natural soil aggregates. *Soil Science Society of America Proceedings* 26:366-371.
- HARRIS, R.F.; CHESTERS, G.; ALLEN, O.N. 1966. Dynamics of soil aggregation. *Advances in Agronomy* 18:107-169.
- MOLOPE, M.B.; GRIEVE, I.C.; PAGE, E.R. 1987. Contributions by fungi and bacteria to aggregate stability of cultivated soil. *Journal of Soil Science* 38:71-77.
- MUNEER, M.; OADES, J.M. 1989. The role of Ca-organic interactions in soil aggregate stability. II. Field studies with C-14 labelled straw, CaCO₃ and CaSO₄ 2H₂O. *Australian Journal of Soil Research* 27:412-420.
- RAMSAY, A.J.; STANNARD, R.A.; CHURCHMAN, G.J. 1986. Effect of the conversion from rye-grass pasture to wheat cropping on aggregation and bacterial populations in a silt loam soil in New Zealand. *Australian Journal of Soil Research* 24:255-264.
- RENNIE, D.A.; TROUG, E.; ALLEN, O. 1954. Soil aggregation as influenced by microbial gums, level of fertility and kind of crop. *Soil Science Society of America Proceedings* 18:399-403.
- SANTANATOGLIA, O.J.; FERNANDEZ, N. 1982. Modificación del método de De Boodt y De Leeuwe para el análisis de la distribución de agregados y efecto del tipo de embalaje y acondicionamiento de la muestra sobre la estabilidad estructural. *Revista de Investigaciones Agropecuarias* 17:23-31.
- STEFANSON, R.C. 1971. Effect of periodate and pyrophosphate on the seasonal changes in aggregate stabilization. *Australian Journal of Soil Research* 9:33-41.
- TALLARICO, L.A. 1972. La estructura del suelo y el rendimiento de maíz en la región pampeana. *Revista de Investigaciones Agropecuarias* 9:79-88.
- TISDALL, J.M.; OADES, J.M. 1980. The effect of crop rotation on aggregation in a Red-Brown Earth. *Australian Journal of Soil Research* 18:423-434.
- TISDALL, J.M.; OADES, J.M. 1982. Organic matter and water stable aggregates in soils. *Journal of Soil Science* 33:141-163.
- UNGER, P.W. 1982. Surface soil physical properties after 36 years of cropping to winter wheat. *Soil Science Society of America Journal* 46:796-801.

LIBRO RECOMENDADO



US\$5.00

Requerimientos Técnicos para la Investigación y Desarrollo en Agrobiotecnologías. San José, C.R., IICA. Programa II. 62 p. Serie Publicaciones Misceláneas (ISSN-0534-5391) A1/SC-93-07.

Proporciona orientaciones detalladas para los directores de investigación y otras instancias de decisión en ALC, interesados en el desarrollo de su capacidad de generación y transferencia de agrobiotecnologías.

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

Inoculación con *Rhizobium loti* sobre Componentes del Rendimiento en *Leucaena leucocephala*¹

M. Valdés*, J.F. Aguirre**

ABSTRACT

In livestock regions of Mexico, the distribution of precipitation determines, to a great extent, the seasonality of forage production and, consequently, animal production. One way to improve this situation is to establish associated pastures of forage grasses and leguminous fodder crops. The latter can be either horizontal growth or forage trees, such as acacia (*Leucaena leucocephala*). This species has a wide range of adaptation in the tropical regions of the Americas, from Mexico to Paraguay (Peralta *et al.* 1987). Previous greenhouse studies with different soils along the coast of Chiapas reported that inoculation had significant effects on certain yield components. The objective of this paper is to compare the growth of acacia trees that have been inoculated with different strains of *Rhizobium loti* and the application of N and P, through yields component analysis.

RESUMEN

En las regiones ganaderas de México la distribución de la precipitación determina, en parte, la estacionalidad en la producción de forrajes y, por consiguiente, en la producción animal. Una alternativa para mejorar esta situación es el establecimiento de pasturas asociadas de gramíneas y leguminosas forrajeras, ya sean estas últimas de crecimiento rastrero o arbóreo como guaje (*Leucaena leucocephala*). Esta especie tiene un amplio rango de adaptación en América Tropical, desde México hasta Paraguay (Peralta *et al.* 1987). En estudios previos de invernadero, con diferentes suelos de la costa de Chiapas (De la Garza *et al.* 1987) se reportan efectos marcados de inoculación en algunos componentes del rendimiento. El objetivo de este trabajo fue comparar el crecimiento del guaje inoculado con diferentes cepas de *Rhizobium loti* y la aplicación de N y P a través de algunos de sus componentes del rendimiento.

MATERIALES Y METODOS

Localización de suelos

El Campo Experimental Costa de Chiapas, México, está localizado en la planicie costera del Pacífico en el Municipio de Pijijiapán, Chiapas. Se caracteriza por tener un clima cálido-húmedo con lluvias en verano y una estación seca en la mitad de la época lluviosa, peculiaridades que corresponden a un tipo climático Am (w") ig (García 1973). El suelo en el sitio experimental es Fluvisol-

Eútrico con pH de 6.4, 3 ppm de P, 0.16% de N, 3% de M.O. y 6.4×10^4 rizobios por gramo de suelo, capaces de nodular a *L. leucocephala*.

Establecimiento

La siembra de *L. leucocephala* cv. Perú se realizó sobre pasto bermuda, *Cynodon dactylon*, con varios años de uso. Después de chapear la pastura, se hicieron surcos de 6 m de longitud, con una distancia de 1 m entre ellos. Estos surcos se trazaron en contra de la pendiente con un arado sin vertedera para reducir el laboreo del suelo, de acuerdo con las recomendaciones de Sylvestre-Bradley *et al.* (1983). La densidad de siembra fue de 15 kg/ha de semilla escarificada, e inoculada al momento de la siembra, usando goma arábica como adherente.

El inoculante con el rizobio correspondiente, se preparó en la Escuela Nacional de Ciencias Biológicas del Instituto Politécnico Nacional, emple-

¹ Recibido para publicación el 19 de junio de 1992.

* M.C. Investigador; Campo Experimental Rosario Izapa, Centro de Investigaciones del Pacífico Sur, Instituto Nacional de Investigaciones Forestales y Agropecuarias, Ap. Postal 96, Tapachula, Chis 30700, Méx.

** Dr. Profesor-Investigador de la Escuela Nacional de Ciencias Biológicas, Laboratorio de Microbiología Agrícola, Instituto Politécnico Nacional, Ap. Postal 63-246 México, D.F. 02800, Méx.

ando como base turba un mínimo de 9×10^6 células por gramo. El N, en los tratamientos que llevaban este nutrimento, fue aplicado como urea a razón de 20 kg/ha cada 10 d y P a razón de 60 kg por hectárea

Tratamiento y diseño experimental

Los tratamientos evaluados fueron los siguientes

Número	Tratamiento
1	<i>R. loti</i> TAL 1145
2	<i>R. loti</i> NGR-8
3	<i>R. loti</i> D-17
4	<i>R. loti</i> 31
5	testigo
6	nitrógeno
7	fósforo
8	nitrógeno + fósforo

Se utilizó el diseño de bloques al azar con cuatro repeticiones y los datos se analizaron por el mismo método.

Variables

Cada 10 días, mediante muestreos destructivos, se midió el número de hojas, folíolos, nódulos y la longitud radical, lo mismo se hizo con el peso seco de la raíz, tallo, lámina foliar y peciolo.

RESULTADOS Y DISCUSION

El número de hojas de guaje por planta se incluye en la Fig. 1, donde se observa una mayor cantidad de hojas en los tratamientos inoculados con las cepas. El promedio de los valores para estos tratamientos fue de dos hojas producidas cada 10 días.

En las plantas inoculadas el número de folíolos fue mayor que en las fertilizadas. Cuando se realizó el octavo muestreo, después de la inoculación, las plantas inoculadas con *R. loti* TAL 1145, D-17 y 31 tenían más de 50 folíolos, mientras que las que recibieron N y P presentaban un promedio de 38 folíolos (Fig. 2). Estadísticamente la cepa *R. loti* D-17 fue diferente del resto de los tratamientos probados. Resultados similares en invernadero han sido reportados por De la Garza *et al.* (1987) con otras cepas de *R. loti*, que confirma esa diferencia.

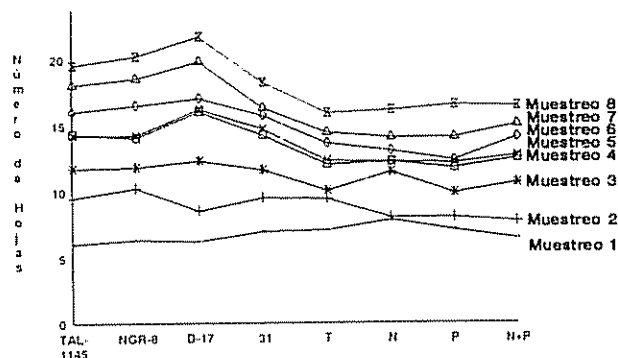


Fig. 1. Número de hojas de guaje (*L. leucocephala*) inoculada con diferentes cepas de *R. loti*.

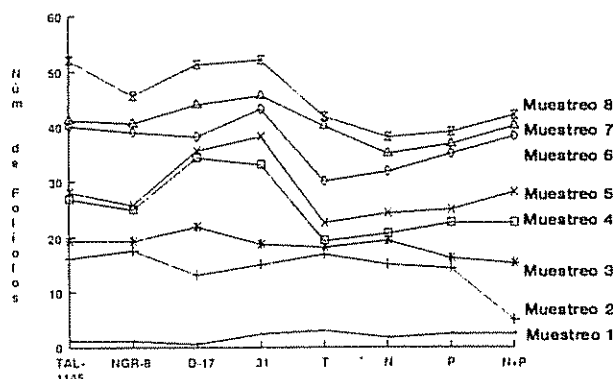


Fig. 2. Número de folíolos del guaje inoculado y/o fertilizado en Chiapas, Méx.

En la Fig. 3 se incluye la producción de materia seca de las raíces de *L. leucocephala*. Ahí se observa que las mayores producciones fueron obtenidas al inocular con las cepas *R. loti* 31. La aplicación de N sólo no influyó en la producción de materia seca de las raíces, pues la producción alcanzada de este nutrimento fue inferior a la del testigo. El N tuvo un efecto negativo en la producción de materia seca del sistema radical. De una respuesta similar informan De la Garza *et al.* (1987) en un suelo ácido de Chiapas. Después de los 80 días de crecimiento, la producción de materia seca de las raíces de las plantas fertilizadas con N y P fue ligeramente superior a la obtenida con las cepas *R. loti* TAL 1145 y *R. loti* NGR-8.

Los efectos más notables en las raíces con los tratamientos que lograron la mejor inducción de materia seca se manifestaron después de los 60 días. Estadísticamente a los 80 días, la cepa *R. loti* 31 superó los demás tratamientos. Por otra parte, la longitud de las raíces varió entre 25 cm en las plantas que recibieron N y 38 cm en las plantas inoculadas con *R. loti* 31 (Fig. 4).

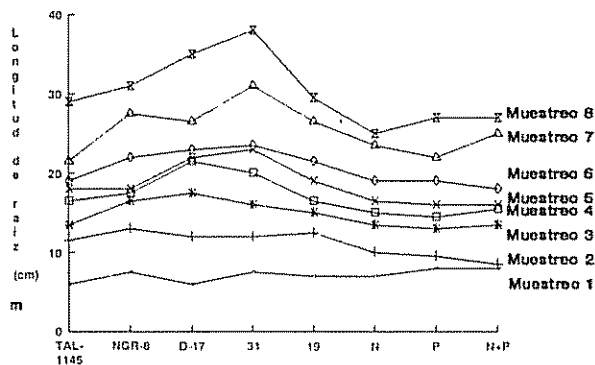


Fig. 3. Peso seco de raíz (g) en *L. leucocephala* al inocularse con cepas de *R. loti* en Chiapas, Méx.

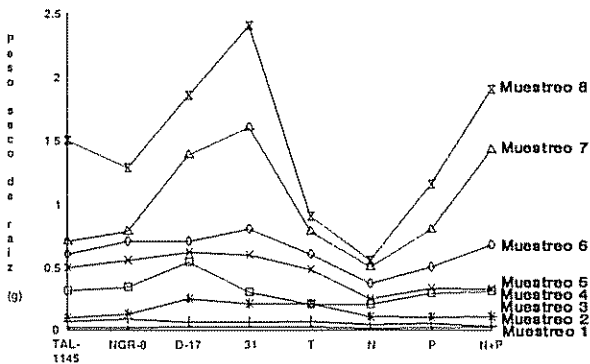


Fig. 4. Longitud de raíz (cm) de *L. leucocephala* inoculada con diferentes cepas de *R. loti* en Chiapas, Méx.

Las diferencias estadísticas entre tratamientos favorecieron las cepas *R. loti* D-17 y NGR-8. La inoculación con alguna de las cepas de *R. loti* aumentó el crecimiento de la raíz de guaje. Resultados similares reportan Aguirre *et al.* (1988) en otras leguminosas rastreras.

El peso seco de la parte aérea, la lámina foliar, el tallo y el pecíolo se presentan en las Figs. 5, 6, y 7. Al igual que en las raíces, las mayores producciones de materia seca se encontraron cuando *L. leucocephala* se inoculó con *R. loti* 31 y D-17. Este efecto se expresó más claramente a partir de los 60 d de crecimiento. Estadísticamente, los tratamientos fueron diferentes a los probados al final del estudio. Las menores producciones de materia seca se encontraron cuando se aplicaron N y P solos. Sobre este mismo efecto en *Centrosema brasilianum* y *Pueraria phaseoloides*, han informado Aguirre *et al.* (1988).

Todas las plantas desarrollaron nódulos; sin embargo, cuando se inocularon, el número fue mayor

y diferente estadísticamente hasta la tercera semana después de la siembra (Cuadro 1). El N redujo el número de nódulos y el P lo incrementó. Este hecho ha sido reportado por varios autores en la región (Valdés *et al.* 1985; De la Garza *et al.* 1987; Aguirre *et al.* 1988).

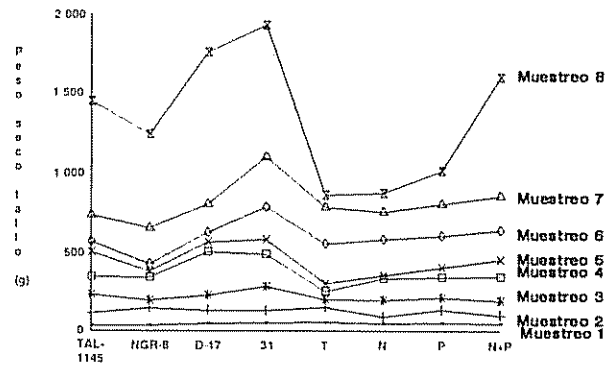


Fig. 5. Peso seco del tallo (g) de *L. leucocephala* inoculada con *R. loti* o fertilizada (Chiapas, Méx.).

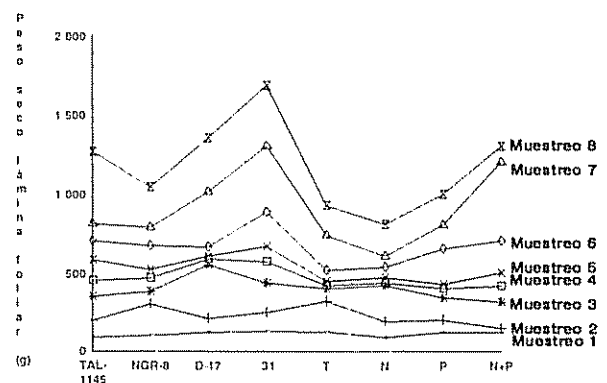


Fig. 6. Peso seco de la lámina foliar (g) de *L. leucocephala* inoculada con *R. loti* (Chiapas, Méx.).

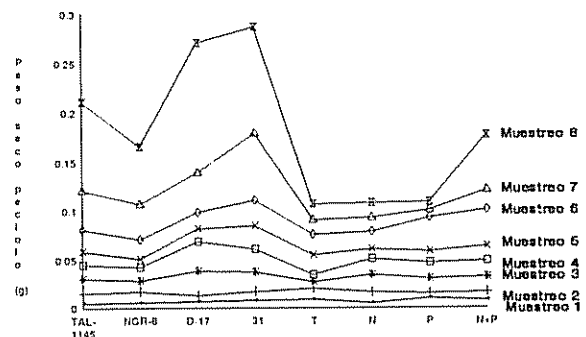


Fig. 7. Peso seco del pecíolo (g) de *L. leucocephala* inoculada con diferentes cepas de *R. loti* (Chiapas, Méx.).

Cuadro 1. Número de nódulos por planta de *L. leucocephala* inoculada con diferentes cepas de *R. loti* y fertilizadas con N y P (Chiapas Méx.).

Tratamientos	Semanas						
	1	2	3	4	5	6	7
<i>R. loti</i> TAL 1145	60 a*	28 ab	48 ab	30 a	11 a	12 a	20 a
<i>R. loti</i> NGR-8	50 ab	19 ab	35 ab	33 a	27 a	7 a	21 a
<i>R. loti</i> D-17	32 abc	27 ab	72 a	30 a	30 a	8 a	23 a
<i>R. loti</i> 31	37 abc	26 ab	29 ab	37 a	24 a	7 a	14 a
Testigo	14 bc	10 b	15 b	14 a	22 a	6 a	10 a
Nitrógeno (N)	17 bc	22 ab	18 b	9 a	22 a	4 a	4 a
Fósforo (P)	27 abc	44 a	23 abc	23 a	10 a	7 a	9 a
N + P	3 c	6 b	9 b	19 a	22 a	10 a	7 a

* Letras que no son iguales en las columnas indican diferencia estadística significativa de acuerdo con Duncan y 5% de probabilidad

Después de la cuarta semana, el número de nódulos no difirió estadísticamente, puesto que, según Matus *et al.* (1990), existen en la región bacterias homólogas, que compiten en la formación de nódulos, pero con menos efectividad que las cepas inoculadas. La cepa *R. loti* TAL 1145 es la que formó el más alto número de nódulos, y Matus *et al.* (1990) la describen como altamente competitiva por el sitio de infección nodular en *L. leucocephala*.

CONCLUSIONES

Los resultados de este ensayo muestran las ventajas de la inoculación de *L. leucocephala* con rizobios. El desarrollo de las raíces y de la parte aérea de esta leguminosa fue mayor cuando se inoculó la semilla con *R. loti* D-17 y 31, que cuando se fertilizó con N o con N y P. Se encontraron igualmente diferencias en la respuesta de las plantas a las diferentes cepas de rizobios utilizadas en el ensayo. El número de nódulos fue mayor cuando el inóculo fue *R. loti* y estadísticamente diferente, hasta la tercera semana del estudio.

LITERATURA CITADA

AGUIRRE, M. J. F.; VALDES, M.; SILVESTER-BRADLEY, R. 1988. Simbiosis entre rizobios y cuatro leguminosas

tropicales adaptadas en Chiapas, México. *Pasturas Tropicales* 10(3):18-21

DE LA GARZA, R. H.; VALDES, M.; AGUIRRE, J. F. 1987. Effect of *Rhizobium* strains, phosphorus and soil type on nodulation and growth of *Leucaena leucocephala*. *Leucaena Research Report* 8:42-43.

GARCIA, E. 1973. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen. Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Geografía. 136 p.

MATUS, J. M.; VALDES, M.; AGUIRRE, J. F. 1990. Capacidad competitiva de cepas de rizobio en la formación de nódulos en *Leucaena leucocephala*. *Pasturas Tropicales* 10(1):21-26.

PERALTA, A.; SHULTZE-DRAFT, R.; MARTINEZ, J. M.; AGUIRRE, J. F.; AMAYA, J.; ENRIQUEZ, J. 1987. Recolección de leguminosas forrajeras nativas en el trópico de México. *Pasturas Tropicales* 10(1):21-26.

SILVESTER BRADLEY, R.; AYARZA, M. A.; MENDEZ, J. E.; MORIONES, M. 1983. Use of undisturbed soil for evaluation of *Rhizobium* strains and methods for inoculation of tropical forage legumes in a Colombia oxisol. *Plant and Soil* 74:243-247.

VALDES, M.; AGUIRRE, J. F.; VELAZQUEZ, M. 1985. Diferencias en nodulación y producción de grano de la soya al inocular suelo o semilla. *Turrialba* 35(2):159-163.

Contenido Foliar de Nutrientos y Crecimiento en Plantaciones de Teca en Ticoporo, Ven.¹

R. Hernández*, A. Torres*, O. Márquez*, W. Franco*

ABSTRACT

The relationship between foliar nutrient content and growth was studied in a teak (*Tectona grandis* L.f.) plantation on alluvial soils, in the Venezuelan western plains. The 12-year-old plantation on moderately drained soils showed better growth, expressed in terms of basal area and volume, than the one on poorly drained soils. The K and P foliar contents were significantly greater in the site with moderate drainage, whereas the Mg, Fe y Mn foliar concentration were significantly greater in the poorly drained site. Potassium foliar content was positively correlated ($R^2 = 0.5757$, $P = 0.001$) with teak growth, expressed in terms of basal area. This could explained the better productivity of teak plantations on moderately drained soil.

RESUMEN

Se estudió la relación entre el contenido foliar de nutrientes y el crecimiento en una plantación de teca (*Tectona grandis* L.f.) sobre suelos aluviales en dos sitios contrastantes en los llanos occidentales venezolanos. La plantación de 12 años de edad sobre suelos moderadamente bien drenados, mostró un crecimiento mayor, en términos de área basal y de volumen, que la establecida en suelos pobremente drenados. Los contenidos foliares de K y P fueron significativamente mayores en el sitio con mejor drenaje; mientras que las concentraciones foliares de Mg, Fe y Mn resultaron notoriamente mayores en el sitio poco drenado. El contenido foliar de K mostró correlación ($R^2 = 0.5757$, $P = 0.001$) con el crecimiento de la teca, en términos de área basal, que podría explicar la mejor productividad de la plantación en suelos moderadamente bien drenados.

Palabras clave: Contenido foliar de nutrientes, teca, plantación forestal.

INTRODUCCION

En los llanos occidentales venezolanos se establecieron plantaciones de teca (*Tectona grandis* L.f.) sobre suelos aluviales con diferentes niveles de inundación durante la estación lluviosa. Esto determinó un rendimiento variable de las plantaciones, pues esta especie requiere suelos bien drenados (Keogh 1980; Torres 1982; Watterston 1971). Se ha documentado (Kozłowski 1984) el efecto de las inundaciones periódicas sobre el crecimiento de especies intolerantes, al disminuir la aireación y la capacidad de absorción de nutrientes por

las plantas. Se han realizado también algunos estudios del ciclaje de nutrientes, como el efectuado en una plantación experimental de teca en Dehra Dun (India), (Seth *et al.* 1963), con el propósito de evaluar la calidad de sitio y la rotación continua de la especie. En ese mismo bosque, por medio de la técnica del árbol promedio y del muestreo estratificado, se estimaron la materia seca y el contenido de nutrientes (Kozłowski 1984). En la Reserva Forestal de Caparo, al oeste de Venezuela, se realizó un inventario de los macronutrientes en parcelas de teca plantadas sobre suelos aluviales, y se encontró que el 70% del K y entre el 40% y 50% del Ca se almacenan en la vegetación (Hase y Foelster 1983).

Generalmente, como no se realizan evaluaciones del sitio antes de la reforestación, ocurren fallas en plantaciones forestales; así sucedió en una plantación de teca de Filipinas (Zech 1990), donde se presentó un empequeñecimiento de los individuos por deficiencias minerales.

El presente estudio trata de establecer una relación entre el contenido foliar de nutrientes y el crecimiento en las plantaciones de teca en suelos

1 Recibido para publicación el 20 de mayo de 1992.
Los autores agradecen la participación de J. Fernández y M.E. Benítez en la toma de los datos de campo; también a F. Ferrer y J. Fernández por los análisis foliares y a J. Serrano en el procesamiento de los datos. Este trabajo fue financiado parcialmente por el Consejo de Desarrollo Científico, Humanístico y Tecnológico de la Universidad de Los Andes (CDCHT-ULA) y por las empresas FOSFA-SUROESTE C A y CONTACA

* Universidad de Los Andes, Facultad de Ciencias Forestales, Mérida, Mérida 5101. Ven

moderadamente bien drenados y pobremente drenados de la Reserva Forestal de Ticoporo.

MATERIALES Y METODOS

Area de estudio

El trabajo de campo se realizó en la Unidad II de la Reserva Forestal de Ticoporo (40 775 ha), cedida en concesión a la empresa CONTACA en 1970. La descripción general de esta área puede encontrarse en Márquez *et al.* (s.f.). Los suelos moderadamente bien drenados se caracterizan por texturas FA³⁰/FA-FAL⁵⁰/FAa¹²⁰, donde los superíndices indican la profundidad del horizonte en centímetros; eso determina la existencia de períodos de saturación moderada durante la estación lluviosa, a partir de los 50 cm de profundidad en el sector de enraizamiento principal (0-100 cm). Los suelos pobremente drenados tienen texturas FA⁶⁰/A⁸⁰/FAa-Fa¹²⁰, lo que produce una saturación durante la época húmeda. Las características químicas en ambos sitios son similares. El pH es ligeramente ácido (5.4-5.7).

Las parcelas de estudio se ubicaron en una plantación establecida en 1978. En el sitio pobremente drenado todos los árboles mostraron necrosis foliar entre un tercio y dos tercios del follaje, mientras que en el sitio moderadamente drenado la mayoría de los árboles (91%) presentó necrosis hasta un tercio del follaje.

Evaluación de crecimiento

El crecimiento de la teca se evaluó en ambos sitios, en 18 parcelas de 0.13 ha con 64 árboles (12 hileras x 12 hileras) teóricos centrales, correspondientes a dos ensayos de fertilización (Torres *et al.* s.f.) con tres dosis de fosforita, con y sin aclareo, y tres repeticiones. Durante el período de mayo a junio de 1990, previo a la aplicación de los tratamientos, se midió la circunferencia de todos los fustes a la altura del pecho (c) en milímetros y la altura total (h) en un 30% de los árboles escogidos al azar, por parcela. El número de árboles, el área basal y el volumen por parcela y por hectárea, y el diámetro y altura promedios por parcela, se calcularon con los programas EPO2 y ORO1 del paquete F77, desarrollado en la Facultad de Ciencias Forestales de la Universidad de Los Andes.

La estimación del volumen por árbol (sin tocón y sin corteza) se hizo con la ecuación encontrada por Salinas (1986):

$$V = 9.83 * 10^{-6} * d^{1.78684} * h^{1.52166}$$

Para los árboles a los que no se les midió altura, fue estimada con el ajuste de los datos al modelo matemático $h=f(d^2)$, utilizando el paquete estadístico SAS (SAS 1988).

Las diferencias de las características del vuelo y el contenido foliar de nutrimentos, entre los dos sitios, se analizó a través de pruebas de medias con el procedimiento "TTEST" (SAS 1988).

Muestreo foliar y análisis químico

En cada sitio se seleccionaron 12 parcelas correspondientes a las dosis de control y más alta de fosforita, con y sin raleo. En cada parcela se muestrearon cuatro árboles al azar, tomándose cuatro hojas por árbol a una altura aproximada de 9.5 m, las cuales se mezclaron para formar una muestra compuesta por parcela.

Se obtuvieron en total 24 muestras foliares, que se secaron a 60°C durante 72 horas; luego se pulverizaron en un molino Thomas Wiley "Laboratory Mill Model 4". Alícuotas de polvo foliar fueron digeridas con una mezcla de HClO₄ - HNO₃ (1:1), para determinar los elementos Ca, Mg y K mediante un espectrofotómetro Perkin-Elmer 303. El N se precisó por MicroKjeldahl; el azufre (S), por el método gravimétrico del sulfato de bario; el boro (B), después de la acenización seca de las muestras a 550°C, mediante la reacción colorimétrica de curcumina. Los elementos Mn, Fe y P se determinaron coloriméricamente (Malavolta *et al.* 1989).

Para determinar la relación entre el crecimiento —expresado a través del área basal por hectárea— y el contenido foliar de nutrimentos se usó una regresión múltiple, método "Stepwise", utilizando SAS (SAS 1988).

RESULTADOS Y DISCUSION

En el Cuadro 1 se observa que el crecimiento en diámetro (d) de los individuos en suelos poco drenados, es aproximadamente 1.3 veces mayor que en los poco drenados; esto puede relacionarse con la mejor

Cuadro 1. Características del crecimiento en plantaciones de teca de 12 años sobre suelos moderadamente y pobremente drenados (medias y desviación estándar).

Parámetro	Sitios con drenaje		
	Moderado	Pobre	P > F
Arboles (núm/ha)	1 054 (36)	1 006 (51)	0 0127
Diámetro (cm)	17.4 (1.4)	13.9 (1.1)	0 0001
Area basal (m ² /ha)	32.6 (4.0)	23.2 (3.4)	0 0001
Altura (m)	11.9 (0.5)	11.4 (0.4)	0 0281
Volumen (m ³ /ha) ¹	98.5 (14.6)	68.8 (12.6)	0 0001
IMA (m ³ ha ⁻¹ año ⁻¹) ²	8.2 (1.2)	5.9 (1.1)	0 0001

¹ Volumen sin corteza y sin tocón.

² Incremento medio anual en volumen.

aireación de ese sitio. Los resultados obtenidos en Ticoporo son inferiores a los hallados en Caparo, Venezuela, en sitios bien drenados (Hase y Foelster 1982) y bastante menores a los encontrados en Trinidad, en rodales de 5 años y 10 años, situados en terrenos de colinas y penillanuras, bien drenados, pero muy ácidos (pH 4-5.5), (Ross 1959).

Tanto el área basal como el volumen por hectárea resultaron significativamente ($P=0.0001$) más altos en suelos moderadamente bien drenados, que en suelos pobremente drenados. Los valores promedios de área basal, relativamente altos, sugirieron que el crecimiento de la teca es fuertemente afectado por la competencia intraespecífica. El incremento medio anual en volumen sin corteza fue 8.2 m³/ha en suelos

con drenaje moderado, mientras que en suelos pobremente drenados fue 5.9 m³/ha, lo que da una diferencia de 1.4 veces más. Estos valores son menores que los encontrados en sitios bien drenados de Caparo, Ven., (Hase y Foelster 1983).

El Cuadro 2 muestra el contenido promedio de nutrientes en las hojas de teca; en él se observa una diferencia bien marcada en el contenido de K en el suelo moderadamente bien drenado ($P=0.0001$), dos veces mayor que en el suelo pobremente drenado. El contenido de K encontrado en este trabajo es superior al reportado por Kaul *et al.* (4). Este fue el único nutriente que sobresalió ($P=0.0001$) en el modelo que relacionó el área basal con el contenido foliar de nutrientes. Su elevado coeficiente de determina-

Cuadro 2. Concentraciones foliares promedio de elementos en plantaciones de teca sobre suelos moderadamente drenados y pobremente drenados. (Desviación estándar y porcentaje de los macronutrientes con base en el peso seco).

Nutriente	Sitios con drenaje		
	Moderado	Pobre	P > t
N (%)	1.11 (0.25)	1.16 (0.19)	0.3600
P (%)	0.38 (0.09)	0.21 (0.08)	0.0001
K (%)	2.25 (0.50)	1.15 (0.33)	0.0001
Ca (%)	1.61 (0.20)	1.57 (0.31)	0.6561
Mg (%)	0.30 (0.07)	0.36 (0.07)	0.0507
S (%)	0.16 (0.03)	0.16 (0.03)	0.6100
B (ppm)	17.07 (4.43)	19.14 (3.00)	0.2180
Fe (ppm)	9.98 (3.10)	12.57 (1.60)	0.0399
Mn (ppm)	67.77 (12.23)	89.34 (15.43)	0.0019

ción ($R^2 = 0.5757$) muestra que una porción importante de la variación en el crecimiento de la teca podría explicarse por un cambio en el contenido foliar de este elemento.

La concentración foliar de P es notoriamente mayor ($P = 0.0001$) en los suelos moderadamente bien drenados que en los pobremente drenados, y superior, en ambos casos, a las concentraciones encontradas en hojas de teca de la India (Kaul *et al.* 1974) y Filipinas (Zech 1990). Los valores de P encontrados en teca en suelos bien drenados son similares a los reportados para una plantación de teca sobre suelos aluviales de la Reserva Forestal de Caparo (Hase y Foelster 1983). La concentración foliar de N es menor que las publicadas en la literatura (Hase y Foelster 1983; Kaul *et al.* 1979; Seth *et al.* 1963; Zech 1990), mientras que la concentración foliar de Mg en tecas de Ticoporo es alta, si se compara con plantaciones de la India (Seth *et al.* 1963) y Caparo (Hase y Foelster 1983), pero es similar a los resultados obtenidos en Filipinas (Zech 1990).

Se ha dado gran importancia al contenido foliar de Ca en las hojas de teca, porque se trata de una especie calcícola (Bhatia 1955); los valores de Ca (1.57-1.61%), en ambos sitios de la plantación estudiada, están por encima de los reportados en Caparo (Hase y Foelster 1983) y en el norte de Luzon, en Filipinas (Zech 1990); pero, son menores que los reportados para la teca de New Forest, India, (Kaul *et al.* 1979).

En suelos moderadamente bien drenados la relación Ca:K varía de 0.66 a 0.69; mientras que en los poco drenados, está entre 1.27 y 1.54, por la disminución del contenido foliar de K. El S presenta un contenido 1.6 veces mayor que el reportado en Filipinas (Zech 1990), y el B, en ambos sitios, tiene un contenido similar.

Las concentraciones de Fe y Mn, aunque son significativamente mayores en el sitio pobremente drenado, que en el moderado, son bajas si se comparan con los valores publicados por otros autores para *Pinus* (Bonneau 1988), *Eucalyptus* (Malavolta *et al.* 1989) y *Tectona* (Zech 1990).

La diferencia en la productividad de la teca puede ser por las condiciones edáficas, diferentes en los sitios estudiados, con una mejor aireación en los suelos moderadamente bien drenados, lo que implica un

aumento de los contenidos foliares de K y P, como resultado de una mayor absorción activa (Luttge y Higinbotham 1979) de estos nutrientes.

LITERATURA CITADA

- BHATIA, K. 1955. Foliar calcium o teak. *Journal of the Indian Botanical Society (India)* 34(3):227-234.
- BONNEAU, M. 1988. Le diagnostic foliaire. *Revue Forestière Française* 40:19-28.
- HASE, H.; FOELSTER, H. 1983. Impact of plantation forestry with teak (*Tectona grandis*) on the nutrient status of young alluvial soils in west Venezuela. *Forest Ecology and Management* 6:33-57.
- KAUL, O N.; SHARMA, D.C.; TANDAR, V N.; SRIVASTAVA, P.P.L. 1979. Organic matter and plant nutrients in a teak (*Tectona grandis*) plantation. *Indian Forester* 105(8):573-582.
- KEOGH, R.M. 1980. El futuro de la teca en la América tropical. *Unasyuva (Italia)* 31(126):13-19.
- KOZLOWSKI, T.T. 1984. Responses of woody plants to flooding. In Kozlowski, T.T. 1984. *Flooding and plant growth*. New York, Academic Press. p. 129-163.
- LUTTGE, U.; HIGINBOTHAM, N. 1979. *Transport in plants*. New York, Springer Verlag. 468 p.
- MALAVOLTA, E.; VITTI, G.C.; DE OLIVEIRA, S.A. 1989. Avaliação do estado nutricional das plantas. Piracicaba, São Paulo. Bra. Potafos no 201. p. 9.
- MARQUEZ, O.; HERNANDEZ, R.; TORRES, A.; FRANCO, W. s.f. Cambios de las propiedades físico-químicas de los suelos en una cronosecuencia de *Tectona grandis* en los llanos occidentales de Venezuela.
- ROSS, P. 1959. Teak in Trinidad. *Economic Botany (EE UU)* 13:30-40.
- SALINAS, L. 1986. Elaboración de tablas de volumen para teca (*Tectona grandis*) en la Unidad Experimental de la Reserva Forestal de Ticoporo, Estado Barinas. Mérida, Ven., Universidad de Los Andes, Facultad de Ciencias Forestales. Cuaderno del Comodato ULA-MARNR no. 4. 43 p.
- SAS INSTITUTE. 1988. SAS/STAT user's guide: Release 6.03 Edition. Cary, North Carolina, EE UU., SAS Institute Inc. 378 p.

- SETH, O.; KAUL, N.; GUPTA, A.G. 1963. Some observations on the nutrient cycle and return of nutrients in plantations at New Forest Indian Forester 89:90-97.
- TORRES, A. 1982. Influencia del sitio y la espesura en el crecimiento de plantaciones de teca (*Tectona grandis*) en la Reserva Forestal de Caparo, Estado Barinas. Ven. Mérida, Ven., Universidad de los Andes. Facultad de Ciencias Forestales. Instituto de Silvicultura 67 p
- TORRES, A.; MARQUEZ, O.; HERNANDEZ, R.; FRANCO, W. s.f. Respuesta inicial de crecimiento a la fertilización con fosforita en plantaciones de teca (*Tectona grandis*) en los llanos occidentales de Venezuela.
- WATTERSTON, K.G. 1971. Growth of teak under different edaphic conditions in Lancetilla Valley, Honduras Turrialba (C.R.) 21(2):222-225
- ZECH, W. 1990. Mineral deficiencies in forest plantations of North-Luzon, Philippines. Tropical Ecology 31(1):22-31

RESEÑA DE LIBROS

ROBERT, P.C.; RUST, R.H.; LARSON, W.E. (EDS.). 1993. Soil specific crop management. In Primer Taller sobre Investigación y Desarrollo (1., 1992, Minneapolis, USA). Resúmenes. ASA/CSSA/SSSA. 395 p.

El presente documento contiene los trabajos presentados en el Taller de Trabajo sobre Investigación y Desarrollo de Prácticas de Manejo para Sitios Específicos, realizado en Minneapolis en 1992. En general, los objetivos fueron (i) revisar el conocimiento adquirido respecto al manejo y aplicación tecnológica para sitios específicos; (ii) identificar las necesidades de investigación en este sentido, para manejar cultivos desde la siembra hasta la cosecha; e (iii) identificar las necesidades del desarrollo de tecnología de transferencia.

Debe recordarse que a pesar de que históricamente las prácticas agronómicas se desarrollaron en las fincas, las tendencias modernas de conservación y, recientemente, las condiciones socioeconómicas y ambientales causaron que el manejo del conjunto fuera más relevante que el de sitios específicos; por esta razón, en el taller se trató de revertir el proceso hacia

el concepto original, con el fin de disminuir los efectos unilaterales en "la finca" en beneficio "del conjunto".

El texto incluye secciones sobre variabilidad del recurso suelo, manejo de esa variabilidad, tecnología en ingeniería, beneficios, ambiente y transferencia de tecnología, en adición a varios resúmenes de "posters" presentados durante el taller y las recomendaciones emanadas de los participantes. El contenido de los trabajos presentados fue, en su mayoría, de excelente calidad y como en otras ocasiones el documento debe leerse con afán de actualizarse y adaptar su contenido a nuestra situación tropical.

Por los temas tratados, el volumen podría ser de relevancia en cursos sobre manejo de suelos y cultivos, así como de planificación en ordenamiento territorial. La obra puede obtenerse en la Sociedad Americana de Agronomía de los Estados Unidos de América.

DR ALFREDO ALVARADO H
CENTRO DE INVESTIGACIONES AGRONOMICAS

Relações entre Perfilhamento, Floração e Rendimento de Grãos Inteiros de Cultivares de Arroz¹

E. Marchezan*

ABSTRACT

The ideal period for sowing in the state of São Paulo is from October to December; during this period in 1988 three paddy rice cultivars adapted to flood irrigation were sowed four times each. The evolution of the tillering and flowering processes was evaluated in an area where there were 300 plants/m². The highest quantity of tillers was found out to be between the 40 and the 50 day. PESAGRO-104 had the longest flowering period and IAC-4440, the shortest in the four sowings. It has been concluded that a shortening in the flowering period is related to the tillering process duration. IACC-4440 presented the longest period of heading and the higher percentage of head rice. One of the factors that affects more the quantity of head rice grains is the flowering period. Short flowering causes grains with shorter moisture content variation during harvesting, and resulting in a better milling quality.

Key words: *Oryza sativa* L., moisture content, uniformity flowering, head grain, cultivars.

RESUMO

Foram realizados quatro semeaduras com cultivares de arroz adaptados ao sistemas de irrigação por inundação que cobriram toda a época recomendada para o estado de São Paulo; de outubro a dezembro de 1988. A evolução do perfilhamento e da floração foi avaliada num local contendo população equivalente a 300 plantas/m². O número máximo de perfilhos ocorreu entre os 30 e os 50 dias após a emergência das plântulas. O cultivar PESAGRO-104 mostrou o maior período de floração e IAC-4440, o menor, em todas as semeaduras. Constatou-se redução do período de floração à duração do perfilhamento. O cultivar IAC-4440 apresentou o menor período de emissão de panículas e o percentual mais alto de grãos inteiros. Dentre os fatores que afetaram a quantidade de grãos inteiros o períodos de floração mais curto proporciona a formação de grãos com menor amplitude de variação de conteúdo de água na colheita e, consequentemente, maior rendimento industrial em grãos inteiros.

Palavras-chave: *Oryza sativa* L., grau de umidade, uniformidade de floração, grãos inteiros, cultivares.

INTRODUÇÃO

O preço do arroz destinado à alimentação humana está positivamente relacionado à quantidade de grãos inteiros.

Uma das causas que provocam quebra de grãos de arroz durante o processo de beneficiamento é a desuniformidade do conteúdo de água dos mesmos por ocasião da colheita. A origem dessa diferença

está relacionada a vários fatores, dentre os quais destaca-se a característica de perfilhamento e a duração da floração do cultivar, traduzindo-se em grãos que amadurecem em momentos diferentes. Essa variação no teor de água pode conduzir à formação de fissuras e quebra de grãos, elevando-se à medida que o teor de água dos mesmos aumenta.

Diversas pesquisas relatam diferenças no grau de umidade entre os grãos que compõem a amostra no momento da colheita. Kunze e Nguyen (1985) e Srinivas e Bhashyam (1985) explicam que essas diferenças podem ser influenciadas pelo processo de perfilhamento, que apresenta duração de três a seis semanas, dependendo da população de plantas, fertilidade do solo, clima, cultivar, entre outros fatores. Quando ocorre a floração, os perfilhos florescem na mesma sequência de seu surgimento, mas num menor período de tempo.

¹ Recebido para publicação em 20 de agosto de 1992. Parte do trabalho de tese do autor apresentado à ESALQ/USP, para obtenção do título de Doutor em Agronomia.

* Eng Agr Prof Adj. Depto Fitotecnia - Centro de Ciências Rurais da Universidade Federal de Santa Maria, 97.119 - Santa Maria, RS, Bra.

Adiciona-se a isso a duração da floração dentro de uma mesma panícula que está entre 5 a 10 dias. Assim, a duração de uma planta pode estender-se por período de até duas semanas e na comunidade de plantas por um tempo maior ainda.

Esse processo fisiológico acarreta diferenças acentuadas no teor de água dos grãos, durante a maturação; fazendo com que na colheita se tenha grãos com teores de água inferiores aos suficientes para a ocorrência de fissuras causadas por absorção e perda de água nos seus ciclos diários de variação de umidade relativa do ar (Kunze e Nguyen 1985; Kunze *et al.* 1988) e grãos com teor de água tão elevado (grãos imaturos) que irão produzir grãos quebrados durante o beneficiamento (Bhattacharya 1980 e De Datta 1981).

Em trabalho visando determinar a amplitude de variação do grau de umidade entre os grãos de ápice e da base de uma mesma panícula, McDonald (1967) e Chau e Kunze (1982) concluíram que depende do grau de maturação da panícula, mas esteve ao redor de 10%. Porém, ao comparar o teor de água dos grãos das panículas mais maduras e das panículas imaturas de uma lavoura, no momento adequado de colheita, Chau e Kunze (1982) verificaram diferenças de até 46%, enquanto Kunze e Nguyen (1985) encontraram variações de 23,3%.

Através desses relatos infere-se que há possibilidades de reduzir a quantidade de grãos quebrados, por meio do manejo da cultura, como por exemplo, a semeadura, a população de plantas e o cultivar. Por outro lado, a época de realização da colheita assume um papel decisivo, pois deve compatibilizar o momento em que não haja percentual elevado de grãos com baixo teor de água e nem quantidades consideráveis de grãos imaturos.

MATERIAL E MÉTODOS

Foram efetuadas quatro semeaduras a determinados intervalos que cobriram toda a época de semeadura recomendada para o estado de São Paulo; 04/10/88, 05/11/88, 25/11/88 e 9/12/88.

Em cada uma das semeaduras, o delineamento experimental adotado foi o de blocos ao acaso com três tratamentos (cultivares) e quatro repetições num total de doze parcelas.

Utilizou-se três cultivares adaptados ao cultivo em sistema de irrigação por inundação. O cultivar IAC-4440, por ser praticamente o único cultivado nessa condição no estado de São Paulo. 'Pesagro-104', por apresentar boa produtividade no estado de Rio de Janeiro, e 'CNA-3771', linhagem promissora, que está sendo avaliada pelo Centro Nacional de Arroz e Feijão (CNPAPF), da EMBRAPA.

As semeaduras foram realizadas em área de várzea, em solo classificado como Gley pouco Húmico, Eutrófico, com argila de alta atividade, pertencente ao Departamento de Agricultura da Escola Superior de Agricultura Luiz de Quiróz (ESALQ/USP) em Piracicaba, SP.

A adubação de semeadura constituiu-se de 10-20-40 kg/ha de NPK, respectivamente, nas formas de sulfato de amônio, de superfosfato simples e de cloreto de potássio. O fertilizante foi aplicado e incorporado ao solo nos sulcos, imediatamente, antes de semeadura.

Utilizou-se irrigação por inundação contínua com lâmina de água de 10 a 15 centímetros, iniciando-se em torno de 15 a 20 dias após a emergência, mantendo-se até a colheita do cultivar mais tardio.

A adubação nitrogenada em cobertura foi efetuada com sulfato de amônio (30 kg/ha de N), aplicado por ocasião da visualização do primórdio flora no colmo principal do cultivar mais precoce. Aplicou-se sobre a lâmina de água, evitando-se a circulação da mesma nas parcelas por 4 a 5 dias após a operação.

A evolução do perfilhamento foi avaliada numa extensão de 1 m de linha, numa parcela, contendo população equivalente a 300 plantas/m², demarcada antes de iniciar o perfilhamento. As leituras foram feitas a intervalos de 10 dias, considerando-se como perfilhado, o colmo que apresentava as duas primeiras folhas visíveis. Considerou-se como período de perfilhamento, o compreendido a partir do surgimento do primeiro até a estabilização do número de perfilhos nas contagens efetuadas. Considerou-se como período de perfilhamento, o compreendido a partir do surgimento do primeiro até a estabilização do número de perfilhos nas contagens efetuadas.

A duração do período de floração foi determinada na mesma amostra utilizada para avaliação do perfil-

hamento, sendo as observações realizadas em dias alternados. Considerou-se como florescida, a panícula que havia emergido da bainha da folha bandeira e atingido cerca da metade do seu tamanho. No acompanhamento do desenvolvimento das plantas, anotou-se a floração plena (80% das plantas florescidas) como ponto de referência para colheita das amostras.

As amostras utilizadas para determinação dos grãos inteiros foram colhidas em sete locais de amostragens, previamente demarcados antes do perfilhamento e que continham 90 plantas/secção de linha de 1 m linear, equivalente à população de 300 plantas/m². Colheram-se amostras de 5 em 5 dias, entre os 25 dias e os 55 dias após a floração plena, entre as 13 e as 15 horas.

Os grãos foram separados das panículas, sendo determinado o teor de água médio de amostra, dos grãos mais maduros (retirados do ápice das panículas) e dos mais imaturos, (da base das panículas). A determinação do teor de água foi feita pelo método da estufa a 105° C, por 24 horas, conforme Ministério de Agricultura do Brasil (1976).

A redução do teor de água dos grãos par 13% foi realizada em estufa com ventilação forçada de ar e com temperatura de 32-34° C.

Os dados experimentais de grãos inteiros, foram analisados pelo teste F e as médias dos tratamentos comparadas entre si pelo teste de Tukey, ao nível de 5% de probabilidade.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A evolução do perfilhamento pode ser visualizada através das Figs. 1, 2, 3, e 4. Constata-se que a duração do período de perfilhamento foi maior na quarta sementeira, para todos os cultivares, em torno de 40 dias. Na primeira e segunda sementeiras a duração foi de 30 dias, sendo que na terceira sementeira esse período se reduziu para 20 dias, possivelmente devido a ocorrência de fitotoxicidade de enxofre verificada nessa sementeira.

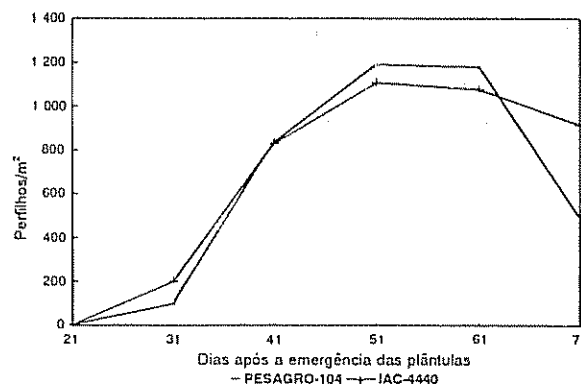


Fig. 1. Evolução (1988-1989) do perfilhamento de dois cultivares de arroz irrigado na primeira sementeira (04/10/88).

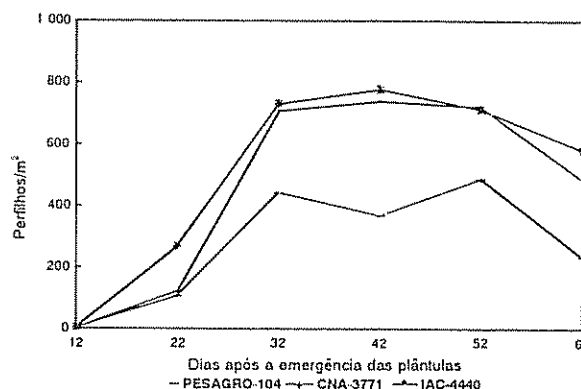


Fig. 2. Evolução (1988-1989) do perfilhamento de três cultivares de arroz irrigado na segunda sementeira (05/11/88).

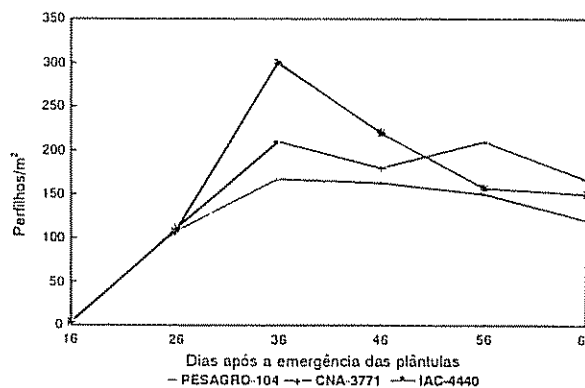


Fig. 3. Evolução (1988-1989) do perfilhamento de três cultivares de arroz irrigado na terceira sementeira (25/11/88).

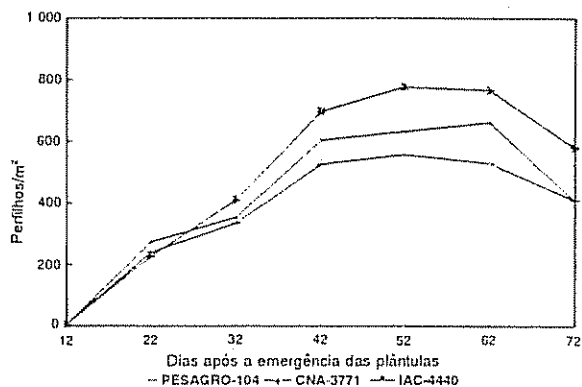


Fig. 4. Evolução (1988-1989) do perfilhamento de três cultivares de arroz irrigado na quarta sementeira (09/12/88).

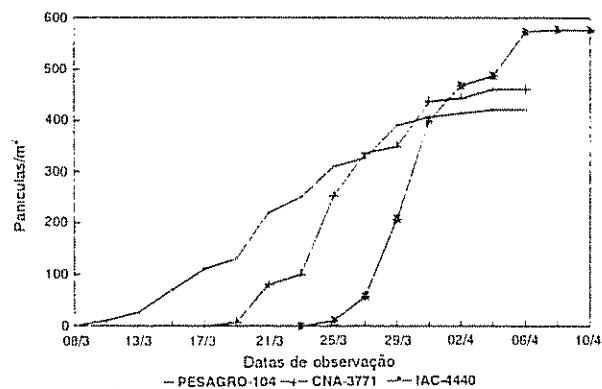


Fig. 7. Período (1988-1989) do floração de três cultivares de arroz irrigado na quarta sementeira (09/12/88).

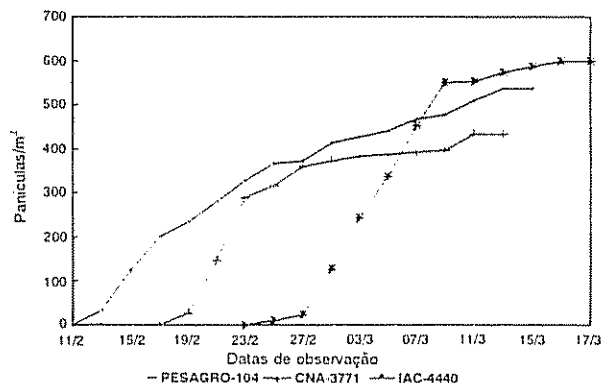


Fig. 5. Período (1988-1989) do floração de três cultivares de arroz irrigado na segunda sementeira (05/11/88).

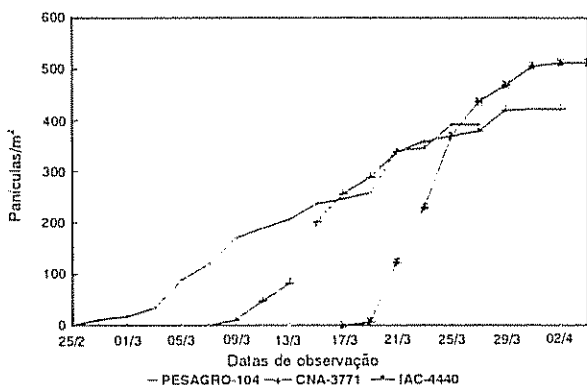


Fig. 6. Período (1988-1989) do floração de três cultivares de arroz irrigado na terceira sementeira (05/11/88).

O número máximo de perfilhos ocorreu entre os 40 e os 50 dias após a emergência das plântulas, para as quatro sementeiras, tendo, no entanto, continuado a emitir perfilhos, mas que possivelmente, não tenham produzido panículas, de acordo com resultados de Gomosta e Zahurul (1979).

Porém, como nem todos os perfilhos chegam a produzir panículas, a avaliação dos cultivares na fase de floração oferece subsídios importantes à interpretação dos resultados na maturidade e colheita. Nas Figs. 5, 6, 7, tem-se a duração e a quantidade de panículas que atingiram a floração a cada dois dias de intervalo de observação. O cultivar PESAGRO-104 mostrou o maior período de floração e IAC-4440, o menor, em todas as sementeiras. Observou-se que ocorreu redução do período de floração, da primeira para a quarta sementeira, para os três cultivares.

Também houve redução do período de floração em relação à duração do perfilhamento, estando de acordo com Kunze e Nguyen (1985). No entanto, a duração da floração não foi tão reduzida quanto à encontrada por Raju e Varma (1979), que foi de apenas três dias.

As duas grandes diferenças verificadas estão relacionadas ao cultivar IAC-4440 que, apresentou o menor período de emissão de panículas e produziu o maior número de panículas. Este cultivar emitiu em torno de 90% de suas panículas num período de 10 a 12 dias, fazendo com que a duração da floração fosse acentuadamente inferior à duração do período de perfilhamento, que se estendeu por 30 a 40 dias. A floração mais uniforme do cultivar IAC-4440, certa-

mente, foi responsável por produzir, na maturidade e colheita, grãos com menor amplitude de variação no teor de água conforme consta na Quadro 1. Kunze e Nguyen (1985) encontraram que a colheita de grãos com diferentes teores de água, provoca fissuras nos grãos com menor grau de umidade.

Isso ocorre devido aos grãos com menor conteúdo de água, reabsorverem-na daqueles grãos mais úmidos. Os cultivares PESAGRO-104 e CNA-3771 não apresentaram redução do período de floração em relação a duração do perfilhamento, traduzindo-se em amostras que apresentavam de 15 a 20 pontos percentuais de diferença no teor de água entre os grãos mais úmidos e os mais secos que compunham a amostra. Nesse sentido, Battacharya (1980) encontrou diferenças quanto a grãos inteiros, em amostras colhidas no topo, na base e na parte média da panícula. Atribuiu-as ao grau de umidade dos grãos que aumentava do ápice para a base da panícula.

Dessa maneira, no cultivar IAC-4440, o teor de água da amostra da grãos corresponderia ao conteú-

do de água da grande maioria dos grãos que continha teor médio de água inferior aos outros dois cultivares, em todas as épocas de colheita, como consequência da maior uniformidade da floração. IAC-4440 teve diferença de 10 pontos percentuais entre grãos de maior e de menor teor de água, na primeira colheita aos 25 dias após a floração plena, reduzindo-se para cinco pontos percentuais, aos 45 dias após a floração.

Essa característica de maior uniformidade no teor de água dos grãos do cultivar IAC-4440 contribuiu para a obtenção de maior percentual de grãos inteiros, conforme foi verificado experimentalmente (Quadro 2).

Com esses resultados constante-se que existem diferenças entre cultivares, também em relação à fase de floração ou duração do período de emergência das panículas. Por outro lado, o comportamento verificado durante o perfilhamento, pode ser alterado na fase de maturação, como correu com IAC-4440, sugerindo que essa característica pode ser utilizada em

Quadro 1. Teor de água dos grãos (médio, máximo e mínimo) para os três cultivares; média das sementeiras em cada época de colheita (1988-1989).

DAF	Teor água	PESAGRO-104	CNA-3771	IAC-440
25	Máx.	43.3	37.9	36.5
	Méd.	32.2	31.4	29.3
	Mín.	22.4	25.6	24.8
30	Máx.	39.3	37.8	30.9
	Méd.	27.5	27.9	25.1
	Mín.	22.3	24.1	21.8
35	Máx.	33.9	34.5	28.1
	Méd.	24.8	24.9	22.7
	Mín.	19.3	22.6	18.7
40	Máx.	36.3	31.8	26.1
	Méd.	22.4	21.5	20.1
	Mín.	19.4	20.2	18.9
45	Máx.	33.4	25.9	22.7
	Méd.	20.6	18.7	17.5
	Mín.	18.9	16.1	17.6
50	Méd.	16.8	15.9	14.7
55	Méd.	16.7	13.8	13.8

DAF = Dias após a floração plena

Fuente: Dados da pesquisa.

Quadro 2. Valores médios obtidos para os efeitos da interação cultivares x época de colheita sobre o percentual de grãos inteiros (1988-1989).

Cultivares			
DAF	PESAGRO-104	CNA-3771	IAC-4440
25	52 1b	48 5bc	58 5ab
30	55 0a	50 5ab	60 8ab
35	55 8a	52 0a	61 0ab
40	56 1a	51 4a	40 6ab
45	55 1a	48 2bc	58 2c
50	49 5c	46 3c	53 6c
55	46 9d	41 9	47 3d
Média	52 9B	48 4C	57.1A

Médias seguidas pela mesma letra não diferem significativamente entre si pelo teste de Tukey a nível de 5% de probabilidade. Letras minúsculas comparam médias na vertical. Letras maiúsculas comparam na horizontal.

DAF = Dias após a floração plena.

Fuente: Dados da pesquisa

programas de fitomelhoramento, que objetivem maiores percentuais de grãos inteiros. A duração do período de floração é uma avaliação de fácil execução e permite rápida utilização dos resultados.

CONCLUSÕES

Dentre os fatores que afetam a quantidade de grãos inteiros, o período de floração mais curto, proporciona a formação de grãos com menor amplitude de variação de conteúdo de água na colheita e, conseqüentemente, maior rendimento industrial em grãos inteiros.

A caracterização do período de floração é mais rápida e eficiente do que a avaliação do perfilhamento, quando o objetivo é determinar a amplitude de variação do grau de umidade dos grãos.

LITERATURA CITADA

- BHATTACHARYA, K.R. 1980. Breakage of rice during milling: A review. *Science* 22(3):255-267.
- BRA. MINISTERIO DE AGRICULTURA. DEPARTAMENTO NACIONAL DE PRODUÇÃO VEGETAL. 1976. Regras para análise de sementes. Brasília 188 p.
- CHAU, N.N.; KUNZE, O.R. 1982. Moisture content variation among harvested rice grains. *Transactions of the ASAE* 25(4):1037-1040.
- DE DATTA, S. 1981. Principles and practices of rice production. New York. John Wiley. 618 p.
- GOMOSTA, A.R.; HAQUE, MD Z. 1979. Contribution of tillers produced at different weeks to panicle formation. *International Rice Research Newsletter* 4(4):4.
- KUNZE, O.R.; NGUYEN, C.N. 1985. Moisture content variation among repening rice grains. In *International Conference of Physical Properties of Agricultural Materials* (1985. Prague). Prague. p. 977-982.
- KUNZE, O.R.; PEERALTA, E.K.; TURNER, F.T. 1988. Fissured rice related to grain moisture weather and fertilization rates. In *International Winter Meetings of the American Society of Agricultural Engineers* (1988, St. Joseph). St. American Society of Engineers. 14 p.
- McDONALD, D.J. 1967. Suncracking in rice, some factors influencing its development and the effects of cracking on milling quality of the grain. *Sidney*. 147 p.
- RAJU, R.A.; VARMA, S.C. 1979. Tillering pattern of dwarf indica rice and its contribution to grain yield. *International Rice Newsletter* 4(4):4-5.
- SRINIVAS, R.; BHASHYAM, M.K. 1985. Effect of variety environment of milling quality of rice. In *International Rice Research Institute. Rice, Grain Quality and Marketing*. Manila, IRRRI p. 49-59.

Baseline Soil Characteristics of a Humid Tropical Silvopastoral System and Changes in Selected Soil Properties¹

L.R. Cooperband*, T.J. Logan**

ABSTRACT

We established fast-growing leguminous trees (*Erythrina berteroana* Urban) in native grass pastures in Costa Rica's Atlantic region to determine the effects of tree pruning and cattle grazing on soil phosphorus availability and pasture biomass production. The field experiment included a randomized complete block of four treatments which were replicated on five farms: grazing and trees, grazing-no trees, trees-no grazing, and no trees-no grazing (the control). In 1987, we conducted a complete baseline characterization of the study soil's chemical, physical and mineralogical properties (andic humitropept, series Neguev). Three years later, we remeasured exchangeable bases and acidity, soil pH, carbon and nitrogen contents, phosphorus forms and bulk density to evaluate both farm and treatment effects over time. The Neguev soil series is acid (pH 4.8 - 5.2), low in exchangeable bases (sum of bases ~2.3 cmol_c/kg), high in exchangeable Al (>25% of ECEC), low in available P (2.8 mg P/kg modified Olsen extractable), yet high in total P (1385 mg P/kg). Soil bulk density was relatively low (0.84 - 0.91 g/cm³) and moisture retention capacity high (53% by volume at field capacity). The soil's mineralogy, dominated by kaolinite, gibbsite and iron oxides, is consistent with the oxic-andic nature exhibited by both chemical and physical properties. Over the three-year study period, soil organic C increased in the two no-grazing treatments and soil bulk density decreased in the no-grazing no tree control. Short-term changes in these parameters reflect the fallow-like status incurred from no grazing. There were also significant declines in soil pH and exchangeable monovalent cations along with increases in exchangeable Al and Fe at the farm level. Concurrently, organic P reserves declined and NaHCO₃-EDTA extractable P increased. Such changes may represent either gradual soil chemical changes associated with post-deforestation equilibrium shifts or normal fluctuations in the pasture ecosystem's inherent dynamic equilibrium.

Key words: Andic humitropept, leguminous tree, labile soil P, silvopastoral system.

RESUMEN

Se sembraron árboles leguminosos de rápido crecimiento (*Erythrina berteroana* Urban) en pasturas naturalizadas en la región atlántica de Costa Rica, para evaluar los efectos de la poda de los árboles y el pastoreo del ganado vacuno sobre la disponibilidad de P del suelo y la producción de biomasa de la pastura. El experimento incluyó los tratamientos: pastoreo y árboles; pastoreo sin árboles; árboles sin pastoreo; pasturas sin pastoreo y sin árboles (control). Los tratamientos se plantaron en forma aleatoria en un bloque en cinco fincas diferentes. Las características químicas, físicas y mineralógicas básicas de estos suelos (andic humitropept, serie Neguev) se determinaron en 1987. Tres años más tarde, se midieron nuevamente las siguientes variables: bases intercambiables y acidez, pH, contenidos de C y N, diferentes formas de P, y densidad aparente. El objetivo fue determinar los cambios en los estados de estas variables en el tiempo, a nivel de la finca como de diferentes tratamientos. Los suelos de la serie Neguev son ácidos (pH 4.8 - 5.2), pobres en bases intercambiables (la suma de bases es 2.3 cmol_c/kg), ricos en Al intercambiable (> 25% del CICE) y bajos en P disponible (2.8 mg P/kg, según Olsen modificado) a pesar de los elevados niveles de P total (1385 mg P/kg). La densidad aparente del suelo es relativamente baja (0.84 - 0.91 g/cm³) y una elevada capacidad de retención de humedad (53% por volumen con el suelo a capacidad de campo). Las propiedades físico-químicas de estos suelos son una mezcla de rasgos de oxisoles y andosoles. Su mineralogía, dominada por caolinita, gibbsite y óxidos de hierro, es congruente con estos órdenes de suelos. Al cabo de tres años, la cantidad de C orgánico del suelo aumentó en los dos tratamientos sin pastoreo, mientras que la densidad aparente del suelo disminuyó en el control (sin árboles y sin pastoreo). El barbecho de la pradera, una vez excluido el pastoreo, produjo cambios significativos en estos parámetros del suelo, aun en el corto período del estudio. A nivel de finca, se detectaron descensos significativos en el pH y en los cationes monovalentes intercambiables, y aumentos en el Al intercambiable y en hierro. Las reservas de P orgánico disminuyeron y el P que podría extraerse por Olsen modificado aumentó. Estos cambios se atribuirían a la dinámica natural de estos suelos después de la eliminación del bosque o a fluctuaciones normales en el equilibrio dinámico de la pradera.

¹ Received for publication 22 April, 1993

We thank the Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE), especially the Silvopastoral Systems Project (CATIE-IDRC-MAG), the Nitrogen-Fixing Trees Project (IDRC-SAREC) and the Soils Lab for providing logistical and management support for this research. We also thank the Fulbright Fellowship Commission and The Charles Lindbergh Fund for their financial support. Special appreciation is extended to Carlos Fernandez, Ebal Oviedo, Luis Carlos Saborio and Leonel Solano for their assistance in lab and field work. We also thank the people associated with the Wagen-

ingen Atlantic Zone Program, particularly Willem Wielemaker and Sytze de Bruin for help in locating field sites and for their expertise in soil mapping/genesis. We express deep gratitude to the farmers in the Neguev settlement who cooperated with the project for more than three years.

* The University of Florida, Soil and Water Science Dept., Gainesville, FL, USA.

** The Ohio State University, Agronomy Dept., Columbus, OH, USA.

INTRODUCTION

In the Costa Rican Atlantic coastal plain, improper pasture management practices such as continuous grazing, overstocking and lack of inputs often result in declines in soil fertility and pasture productivity. Over time, the common end-product is degraded pasture; i.e., an increase in undesirable forage species such that it is no longer economically or ecologically viable to maintain livestock (Serrao *et al.* 1979). Degraded pasture lands are subsequently abandoned and more forests are cleared to maintain livestock production. Soils with inherently low fertility (low nutrient levels, acid, aluminum toxicity, high phosphorus retention) exacerbate this problem and accelerate the process of degradation (Sánchez y Benites 1987; Sollins *et al.* 1988). Phosphorus, in particular, is considered the major nutrient limiting plant growth in highly weathered soils or those derived from volcanic materials (Parfitt *et al.* 1989).

In an attempt to improve and sustain existing pasture land productivity on inherently infertile soils, we planted fast-growing leguminous trees (*E. berteriana* Urban) in native grass pastures in an acid, high P-retaining soil of Costa Rica's Atlantic coastal plain. The study's overall objectives were to: 1) investigate the dynamics of bioavailable soil P as a function of leguminous tree pruning and cattle grazing in this silvopastoral system; and 2) determine the effects of leguminous trees, tree pruning and cattle grazing on pasture biomass production. In this paper, we present the baseline characterization of the study soil's chemical, physical and mineralogical properties and evaluate changes in selected chemical and physical properties over a three-year period.

MATERIALS AND METHODS

Site description

The field experiment was located in the Atlantic coastal plain of Costa Rica (10° N 83° W). The area receives 3630 mm rainfall annually and the ecological lifezone is lowland humid tropical rainforest. The field experiment, a silvopastoral system, was a 2 x 2 factorial design with cattle (grazing) and trees as the two independent variables; resultant treatments included: grazing and trees (GT), grazing-no trees (G), trees-no grazing (T) and no trees-no grazing (the

experimental control C). We planted *E. berteriana* (a tropical leguminous tree) from 2.6 m cuttings (stakes) in native grass pastures on five farms, all within a 6 km radius (all inside the Neguev settlement, Siquirres Canton, Limon Province). All farms were located on the Neguev soil series upon which we established the randomized block of four treatments (farms were considered as experimental replicates). Grazed treatment plots were 900 m² and non-grazed treatments 400 m². We planted trees one year prior to the experiment's initiation to allow sufficient time for establishment.

The study soil (series Neguev) is classified as an andic humitropept, family very fine, kaolinitic, isohyperthermic according to U.S. soil taxonomy (USDA Soil Survey Staff 1990). The soil formed from fluvio-laharic materials on the high flat ridges and slopes of the dissected landscape (Wielemaker and Lansu 1991). The Neguev series is the penultimate in a soil chronosequence typical of the region. It is deep to very deep (>150 cm), well-drained, clayey, acid, dark brown to dark yellowish brown (hue 10YR) with slightly weathered gravels at depths greater than 120 cm (de Bruin 1991). Soil texture is classified as clay with approximately 60% < 2 µm diameter particles.

Baseline soil characterization

We took composite soil samples (1-2 kg) to characterize baseline soil chemical, physical and mineralogical properties on all five farms. After treatments were demarcated, we collected at least 10 random subsamples per composite sample. We included treatment and soil depth as the two main factors in the sampling design: four treatments (GT, G, T and C) and two soil depths (0 -15 cm and 15 - 30 cm). For the two larger grazed plots (900 m²), we took two composite samples per depth, and one composite sample per depth for the smaller, non-grazed plots (400 m²). The samples were mixed, air-dried and sieved through a 2-mm mesh sieve for subsequent chemical, physical and mineralogical analyses. We undertook composite soil sampling as well as other baseline measurements in August 1987 before trees were planted and conducted final characterization sampling, in the same manner, in November-December 1990.

Soil chemical methods

General characteristics

The following soil chemical parameters were measured according to conventional procedures: 1) soil pH in water and 1 M KCl (1:1 soil:solution ratio; (McLean 1982); 2) exchangeable cations (Ca, Mg, K) in pH 4.8 ammonium acetate and exchangeable acidity via unbuffered KCl (Thomas 1982); 3) total Kjeldahl nitrogen (TKN); for initial soil characterization, we used a modification of Lachat's QuickChem method No. 10-107-06-2-G (Lachat Instruments Co. 1990b) in which 0.5 g of air-dried, sieved soil was digested for 3 h at 350°C with 2.5 ml concentrated H₂SO₄ and a mercuric oxide catalyst; an aliquot of the digest was then run on the Lachat QuickChem Automatic Flow Injection Ion Analyzer using the salicylate colorometric test for NH₃; for end of the study period, we followed the method according to Bremner and Mulvany (Bremner and Mulvany 1982); 4) organic carbon via dry combustion (USDA Soil Survey Staff 1972); 5) total P; for initial characterization, we followed the Lachat QuickChem method No. 10-115-01-1-H for PO₄-P in Kjeldahl digests (Lachat Instruments Co. 1990a); at the end of the study period, we used the conc. HNO₃/HClO₄ digestion method (Olsen and Sommers 1982); 6) organic P via ignition method (Olsen and Sommers 1982); 7) NaHCO₃-EDTA extractable or modified Olsen P (Diaz-Romeu and Hunter 1978). We devised a multivariate ANOVA model using the SYSTAT MGLH procedure (Wilkinson 1990) including farm, treatment, soil depth and sampling time as main effects and all corresponding 2-, 3- and 4-way interactions.

Post tests were performed (either least significant differences, LSDs or Tukey's HSD multiple comparisons test) for those effects with a significant F-statistic ($P < 0.05$).

Anion Exchange Resin (AER) P

Anion exchange resin P (AER-P), considered to be correlated with the most labile soil P fraction, was determined *in situ* only at the beginning of the study. AER-P was determined using the buried bag technique (Gibson *et al.* 1985) with Dowex 1 x 8 anion exchange resin, and 20 - 50 µm mesh. Approximately 1 g was sewn into very fine mesh (< 20 µm) permeable polyethylene bags, 3 cm x 3

cm. We buried bags randomly in each treatment plot in the surface horizon only (0 - 7.5 cm depth): 18 bags each in G and GT treatments, 8 in the T treatment and 6 in the C treatment, for a total of 50 bags per farm. We left these bags in the soil at all five farms for one week in August 1987. We extracted resin from each bag twice with 25 ml of 0.5 M HCl and determined AER-P according to the ascorbic acid-reduced phosphomolybdate method (Olsen and Sommers 1982). We conducted MGLH analyses of variance on the data for both farm and treatment effects using the SYSTAT MGLH ANOVA procedure (Wilkinson 1990).

Phosphorus sorption isotherm

We determined P sorption isotherms for the 0 - 15 cm (surface) and 15 - 30 cm (subsurface) horizons. We took composite samples for each depth from the five farms and shook duplicate, air-dried, sieved soil samples at a soil:solution ratio of 1:100 with six P levels (0, 5, 10, 15, 25, 50 mg/l) in 0.05 M NaCl for 72 h. Total dissolved Al was determined for a subset of the samples via the ferron-phenanthroline method (Barnhisel and Bertsch 1982). Dissolved organic C (DOC) was also measured directly in the equilibrium solution with a Dohrmann-Xertex Carbon Analyzer. Using pH, Al, DOC and PO₄ and the Geochem program (Sposito and Mattigod 1980), Al-P ion activity products (IAP) were calculated for all P levels. These were then compared to IAPs for variscite and amorphous aluminum phosphate to determine whether the major mechanism for soil P retention was sorption and/or mineral precipitation.

Soil physical analyses

Bulk density was determined via the core method for oven-dried (105°C) soil (Blake and Hartge 1986). After field treatment plots were established and before trees were planted, we took 10 cores from the 900 m² plots and five cores from the 400 m² plots from the surface soil horizon (0 - 10 cm). For final characterization, we stratified sampling in tree treatments. We took six cores from each of the four treatments.

From the tree treatments, we stratified the six cores into three next to trees and three from tree row interspaces. The statistical analysis included: 1) an

MGLH ANOVA on the end sampling (t_e) data set including farm, treatment (only analyzed the two tree treatments) and distance from tree; and 2) a second ANOVA on the beginning (t_0) and t_e data sets including farm, treatment and sampling time as main effects. We used an incomplete factorial design because farm 4 was not sampled at the end of the study.

In addition to soil bulk density, a moisture retention curve was determined for the study soil. For the low tensions, we used undisturbed soil cores from the surface horizon placed on a sand-filled tension table (points determined include: saturated, pF 1.7, 2.0, 2.3) (Klute 1986). For the intermediate tensions (pF 2.7 and 3.0), we used cores equilibrated on ceramic pressure plates. We took two cores per treatment plot per farm for a total of 60 cores. For high tensions, we used disturbed samples equilibrated on ceramic pressure plates (3 and 15 bar or pF 3.48 and 4.18). The soil samples used were the bulk composite samples collected in 1987. We converted gravimetric moisture content to volumetric and plotted pF against volumetric moisture content. We also calculated the percentage of total pores drained at each suction pressure. Soil moisture retention was determined for baseline characterization only.

Soil mineralogy

Most of the mineralogical analyses were performed on the clay fraction only. For the oxalate-Al and -Fe (McKeague *et al.* 1971; Searle and Daly 1977) and citrate-bicarbonate-dithionite (CBD)-Fe extractions (Jackson 1975), we used samples composited from all five farms for both the 0 - 15 cm and 15 - 30 cm horizons. Whole soil was used for oxalate extraction, whereas the clay fraction was used for CBD. A composite 0 - 15 cm sample was used for x-ray diffraction of which the clay fraction (< 2 μm) was separated, Mg-saturated, and freeze-dried according to standard procedures (Jackson 1975).

Parallel-oriented aggregate specimens were prepared for XRD by pipetting 2 ml of Mg-saturated dispersed clay suspensions (containing approximately 30 mg clay) onto glass slides and allowing to air-dry (Brady *et al.* 1986). We used a Philips XRG-3100 generator, PW 1316/90 wide-range goniometer (using CuK radiation) fitted with a theta-compensat-

ing slit diffractometer and DMS-41 control panel to generate the diffraction patterns with the following instrument parameters: initial $2\theta = 10^\circ$, final $2\theta = 65^\circ$, $2\theta = 0.1^\circ$, $T = 40$ s and number of data points = 551.

We also performed a rapid test for presence of halloysite (Churchman *et al.* 1983). An XRD spectrum was run on an untreated clay specimen as described previously. The same slide was then sprayed with formamide, allowed to dry for 20 - 30 min and the XRD spectrum rerun. If halloysite was present, a peak at 1.04 nm d-spacing would appear. Spectra were also compared with those of halloysite and kaolinite standards.

RESULTS AND DISCUSSION

Soil chemical parameters

Exchangeable bases and pH

Consistent with the general characteristics of the study soil, bases extracted in pH 4.8 NH_4 -acetate were low (mean sum of bases for five farms was 2.29 cmol_e/kg) and unbuffered KCl-exchangeable acidity was high (mean for the five farms was 1.45 cmol_e/kg ; Table 1). Overall, exchangeable bases were significantly lower in the subsoil than the surface soil (mean is 0.94 cmol_e/kg) while exchangeable Al and acidity did not differ appreciably with depth. Exchangeable Al dominated both total acidity and ECEC. Both exchangeable Al and percent ECEC present as Al increased substantially from beginning to end of the study.

Soil pH in H_2O and KCl were low (5.17 and 4.00 respectively for the surface horizon), and there was a significant decrease in H_2O pH with depth (5.17 to 4.88). Both pH in water and in 1 M KCl appeared to decrease significantly over time for all farms (from 5.17 to 4.80 H_2O pH; from 4.00 to 3.84 KCl pH; Table 2). This decrease was probably regulated by increases in exchangeable Al. H_2O pH did not change significantly over time in the 15 - 30 cm horizon, but it did decrease significantly for KCl pH (from 4.03 to 3.85). The difference between the H_2O pH and KCl pH ($\bar{\Delta}$ pH) was always positive (ranges from 0.72 - 1.23 across both soil depths), indicating a net CEC for both soil horizons. While pH decreased over time, the Δ pH did not change.

Table 1. Cation exchange properties of study soil at two depths from the beginning and end of study.

Farm	Ca		Mg		K		Sum	Bases	Al	
	beg	end	beg	end	beg	end				
molc/kg ⁻¹										
0 - 15 cm										
1	1.33	1.63	1.01	0.93	0.40	0.32	2.73	2.88	0.92	1.63
2	0.66	0.67	0.84	0.65	0.33	0.23	1.83	1.55	0.69	1.19
3	0.76	0.83	0.81	0.71	0.51	0.32	2.08	1.85	1.40	2.12
4	0.92	0.83	1.17	1.00	0.63	0.46	2.73	2.30	0.89	1.52
5	0.69	0.62	0.91	0.85	0.49	0.32	2.09	1.79	1.31	2.36
15 - 30 cm										
1	0.48	1.13	0.40	0.42	0.24	0.19	1.13	1.74	0.90	1.99
2	0.21	0.36	0.29	0.28	0.18	0.14	0.69	0.79	0.59	1.24
3	0.30	0.76	0.27	0.37	0.27	0.21	0.84	1.33	1.45	2.20
4	0.45	0.45	0.44	0.48	0.42	0.28	1.31	1.20	1.07	1.79
5	0.27	0.28	0.27	0.34	0.20	0.16	0.74	0.79	1.63	3.33
	LSD =	0.22	LSD =	0.08	LSD =	0.07	LSD =	0.27	LSD =	0.15

Farm	beg	H end	Exch. acidity		ECEC		AI (% ECEC)	
			beg	end	beg	end	beg	end
cmolc/kg ⁻¹								
0 - 15 cm								
1	0.56	0.26	1.48	1.88	4.21	4.76	21.6	34.0
2	0.31	0.22	1.00	1.41	2.83	2.96	25.1	40.1
3	0.45	0.28	1.85	2.40	3.94	4.25	36.0	50.1
4	0.31	0.31	1.21	1.83	3.93	4.13	22.8	36.9
5	0.57	0.38	1.70	2.74	3.79	4.53	30.0	51.9
15 - 30 cm								
1	0.41	0.26	1.32	2.25	2.44	3.99	36.9	49.7
2	0.24	0.22	0.83	1.46	1.51	2.25	39.2	55.5
3	0.37	0.27	1.81	2.47	2.65	3.80	54.3	59.9
4	0.24	0.26	1.31	2.05	2.63	3.26	41.0	54.9
5	0.56	0.39	2.19	3.73	2.93	4.51	55.9	73.8
	LSD = 0.14		LSD = 0.15		LSD = 0.35		LSD = 5.51	

LSDs = are differences among all independent variables for each dependent variable

ECEC = effective cation exchange capacity = sum of bases + exchangeable acidity

Table 2. Study soil pH in water, 0.1 M KCl and their difference for two depths at the beginning an end of study.

Farm	pH H ₂ O		pH KCl		Delta pH	
	beg	end	beg	end	beg	end
0-15 cm						
1	5.25	4.80	4.01	3.73	1.23	1.08
2	5.32	4.83	4.10	3.94	1.22	0.89
3	5.06	4.79	3.89	3.83	1.17	0.96
4	5.08	4.86	3.97	3.94	1.11	0.93
4	5.12	4.74	4.04	3.74	1.08	1.00
15-30 cm						
1	4.94	4.81	4.03	3.76	0.91	1.05
2	4.96	4.86	4.16	3.94	0.80	0.93
3	4.93	4.80	3.91	3.88	1.02	0.93
4	4.79	4.89	4.01	3.96	0.78	0.93
5	4.78	4.86	4.06	3.73	0.72	1.14
	LSD= 0.80		LSD= 10.05		LSD= 0.10	

LSDs: area differences among all independent variables for each dependent variable

The extremely low values obtained for exchangeable Ca, Mg and K for the study soil are typical of highly leached volcanic-material derived soils, and they corroborate results obtained by de Bruin (1991) and Lansu (1988) for the Neguev soil series. In a survey of soils from Central America, Müller *et al.* (1968) found notably fewer exchangeable bases in acid Costa Rican soils than in other less acid Central American soils. In general, Al dominates both the exchangeable acidity and effective CEC of the Neguev soil series. The importance of free Al hydroxide is further evidence for the soil's advanced stage of weathering (van Dooremolen *et al.* 1990a).

Organic C and TKN

Total organic C did not change significantly over the three-year study and ranged from 3.17 - 3.85% in the 0 - 15 cm horizon and 1.92 - 2.73% in the 15 - 30 cm horizon (Table 3). In contrast, TKN decreased over time among farms for both soil depths (from 0.38 to 0.29% and 0.23 to 0.19% in the surface and

subsurface horizons, respectively). The two grazed treatments, G and GT, exhibited higher C:N ratios (11.52, 12.35) than the non-grazed treatments T, C (8.14, 8.84) in the subsurface horizon only (Table 4). By the end of the study, however, there were no significant differences among treatments or depths, suggesting that either organic C increased for all treatments at both depths or TKN decreased (except in the two grazed treatments' subsurface horizons).

The Neguev soil had a slightly higher than average OC content when compared with a survey of Central American soils (Fassbender *et al.* 1968), yet its organic C content was much lower than soils of more recent volcanic deposition. Alvarado (1984) cites 9.2% OM or 5.4% OC for volcanic ash-derived soils in Guatemala and Costa Rica. The literature on volcanic-ash soils also reports C:N ratios ranging from 9 - 12; again, the Neguev soil falls within this range. Relative to other non-volcanic soils of the tropics, the C:N ratio is low, probably due to the relatively higher TKN values (Lal 1989a).

Table 3. Organic carbon, total Kjeldahl N and C:N ratio for two depths at the beginning and end of study.

Farm	Organic C (%)		TKN (%)		C:N ratio	
	beg	end	beg	end	beg	end
0 - 15 cm						
1	3.17	3.12	0.31	0.27	10.49	11.51
2	3.17	3.20	0.33	0.27	10.15	11.78
3	3.19	3.68	0.50	0.31	6.45	12.04
4	3.85	3.26	0.42	0.31	9.25	10.45
5	3.50	3.18	0.33	0.29	10.65	10.85
15 - 30 cm						
1	2.18	2.02	0.17	0.17	12.69	12.25
2	2.06	1.99	0.26	0.17	8.44	11.88
3	2.25	2.49	0.28	0.21	8.33	11.91
4	2.73	2.14	0.25	0.20	11.00	10.81
5	1.92	2.01	0.19	0.19	10.61	10.85
	LSD = 0.42		LSD = 0.05		LSD = 2.54	

LSDs: area differences among all independent variables for each dependent variable

Table 4. Changes in C:N ratio among treatments from beginning to end of study.

Treatment	Beginning	End
0 - 15 cm		
Trees alone (T)	8.51	11.36
Grazed-no trees (G)	9.33	11.18
Grazed-trees (TG)	9.51	11.00
No grazing-no trees (C)	10.25	11.77
15 - 30 cm		
Trees alone (T)	8.14	11.60
Grazed-no trees (G)	11.52	11.56
Grazed-trees (TG)	12.35	11.45
No grazing-no trees (C)	8.84	11.55

Overall LSD = 2.54

Phosphorus forms
and P adsorption isotherm

Both AER-P and modified Olsen (NaHCO_3 -EDTA) extractable P were low while total P was

very high (Table 5). The percent of total P as organic was also quite high, ranging between 60 - 75%. Modified Olsen P increased for all farms over time in both soil depths, but dramatically on farms 3 and 4 (3.28 to 11.7 and 4.05 to 15.12 mgP/kg). Organic P decreased significantly over time (from 882.5 to 671.6 mg/kg in the surface horizon), while the percent of total P in organic form marginally increased for some farms. Both, however, remained high relative to other, non-volcanic soils (Fassbender and Bornemisza 1987). Over time, total P increased significantly for farms 1, 2 and 5 in the surface horizon and farms 3, 4 and 5 in the subsurface.

The P retention capacity for the study soil was high; approximately 2000 mg P/kg soil and higher for the surface and subsurface horizons (Fig. 1). Changes in Al-P ion activity products (IAP) with increasing P addition showed that all P levels were undersaturated with respect to variscite (Fig. 2). However, the Geochem model suggested that, at the four highest P additions, the soil was supersaturated with respect to amorphous Al-phosphate. As such, we could not conclude that the P retention characteristics of this soil series resulted solely from adsorp-

Table 5. Phosphorus forms in study soil at two depths from the beginning and end of study.

Farm	AE#	NaHCO ₃ extr. P		Organic P		Total P		Org. P (% toal)		
		Resin P	beg	end	beg	end	beg	end	beg	end
(mgP/kg soil)										
0 - 15 cm										
1	0.325	1.95	3.63	900.21	615.47	1310.55	821.25	68.70	74.93	
2	0.179	2.20	3.34	716.43	480.55	1091.41	662.11	65.35	72.54	
3	0.378	3.28	11.69	893.06	705.73	1507.06	1196.67	59.26	59.21	
4	0.503	4.05	15.12	1055.29	853.44	1731.84	1452.19	60.79	58.96	
5	0.578	2.47	6.12	847.28	702.58	1284.07	967.27	65.99	72.67	
15 - 30 cm										
1	nd	2.09	3.27	779.69	503.75	1199.59	701.25	64.93	71.81	
2	nd	2.00	2.90	764.98	383.67	1104.81	567.74	69.09	67.64	
3	nd	3.01	10.16	730.14	677.62	1359.76	1161.99	53.62	58.65	
4	nd	3.63	14.68	940.71	790.00	1606.79	1384.22	58.44	57.11	
5	nd	2.28	5.75	788.39	612.50	1258.21	872.34	62.63	70.33	
LSD = 0.087		LSD = 0.52		LSD = 167.4		LSD = 95.21		LSD = 9.68		

LSDs = are differences among all independent variables for each dependent variable.

Anion exchange resin extractable P in mg P/g resin measured at beginning of study only.

tion; rather, precipitation of amorphous Al-phosphate minerals may contribute substantially to the soil's high P retention capacity. Parfitt (Parfitt 1989) concurs that Al-phosphates are likely to precipitate at high levels of P addition in soils containing large amounts of reactive Al. Indeed, several studies have shown that the sesquioxide constituents of andosols

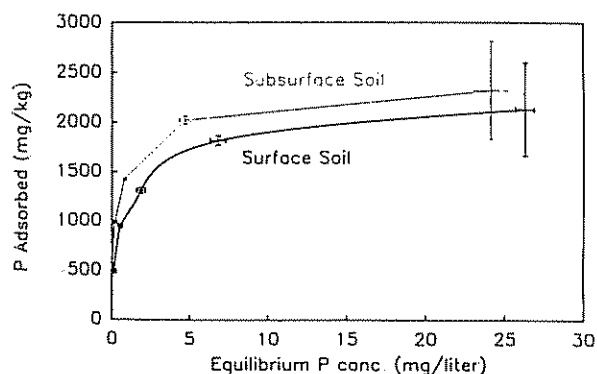


Fig. 1. P adsorption isotherm for the surface (0-15 cm) and subsurface (15-30 cm) horizons.

(e.g., gibbsite) contribute as much to the soils' high P retention capacities as the poorly-crystallized minerals like allophane and imogolite (Shoji and Ono 1978; Daage 1987; Saunders 1965).

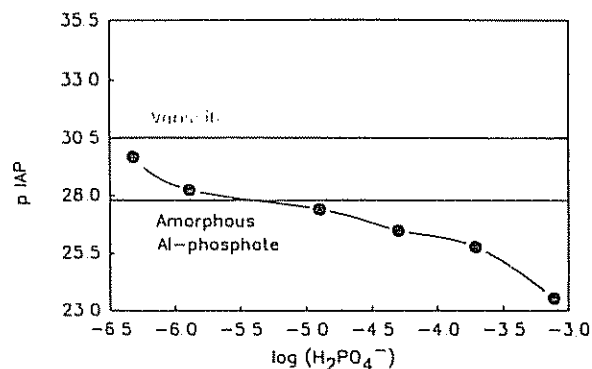


Fig. 2. Calculated ion activity products (IAP) in adsorption isotherm equilibrium solutions compared with solubilities of variscite and amorphous Al phosphate (AlOHPO₄). Activities estimated with the Geochem speciation model (Sposito and Mattigod 1980).

In summary, the Neguev soil's chemical properties do not fit neatly in either typical andisol or oxisol soil orders. The high P retention capacity is more characteristic of volcanic ash-deposited soils, whereas the low pH, low CEC and high exchangeable Al are more reminiscent of highly weathered soils. Organic C and N levels are intermediate when placed along an andisol-oxisol continuum. As van Dooremolen *et al.* (van Dooremolen *et al.* 1990a) indicate, the Neguev series falls along the older end of the spectrum of volcanic-derived soils.

Soil physical parameters

Soil bulk density

The no grazing-no tree experimental control (C) was the only treatment with a significant decrease in bulk density over the three-year study (from 0.89 to 0.83 g/cm³; Table 6).

Table 6. Soil bulk density via core method presented as means by farm and by treatment for the beginning and end of study.

Farm	beg	end
	(g cm ⁻³)	
1	0.85	0.85
2	0.86	0.86
3	0.84	0.83
4	0.90	nd
5	0.91	0.88
LSD = 0.03		
Treatment	beg	end
	(g cm ⁻³)	
T	0.87	0.85
G	0.87	0.87
IG	0.87	0.88
C	0.89	0.83
LSD = 0.03		

Bulk density not measured for farm 4 at end of study.
Treatment T = trees alone; G = grazed-no trees;
IG = grazed-trees; C = no grazing-no trees.

This probably resulted from the sustained absence of animals along with no trees. The presence of trees may have slowed the rebound effect from lack of grazing in the trees-no grazing treatment. Among farms, the soil bulk density ranged between 0.84 - 0.91 g/cm³; typical of soils with andic properties and high clay content (El Swaify 1980; Shoji and Ono 1978; Wielemaker and Lansu 1991).

Moisture retention characteristics

Soil moisture retention changed little from saturated conditions to tensions close to 1 bar (Fig. 3). Saturated moisture content was approximately 63% by volume and decreased gradually to around 48% at 1 bar (pF 3). Field capacity, which several researchers suggest is more appropriately represented by pF 1.7 (Maeda *et al.* 1977), was 53% by volume. The greatest decrease in soil moisture retention occurred between 1 and 3 bar (pF 3 and 3.5) and coincided with the break between measurements made on intact soil cores and those made with disturbed soil samples. Even at 15 bar tension (pF 4.2), volumetric moisture content still hovered around

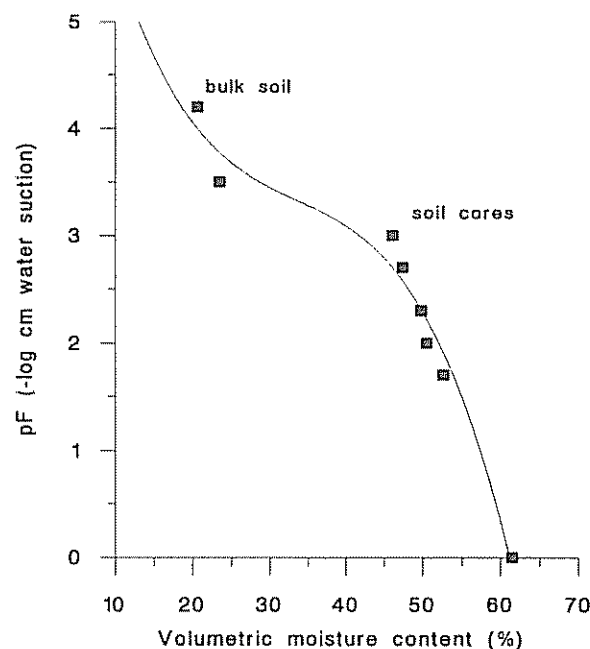


Fig. 3. Moisture retention characteristics of the Neguev soil surface (0-15 cm) horizon. Each point on the curve represents the mean value of the five study farms.

20%. This relatively high moisture retention at such high tensions was most likely a function of the soil's high clay content (Warkentin and Maeda 1980). In addition, the high 15 bar water content is another indication of the andic nature of the Neguev soil series (Maeda *et al.* 1977).

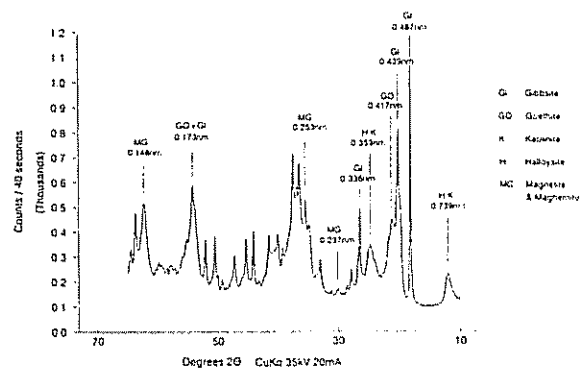


Fig. 4. Percent total pores drained over the range of pore size diameters from macropores to micropores. Pore size diameters correspond to the difference between successively increasing suction pressures.

Plant available water, calculated as the difference in water content between pFs 1.7 and 3.5 was 29.2% by volume. The total porosity, averaged over all farms, was 64%. The high percentage of micropores (~52%) was most likely a function of the soil's high clay content (El Swaify 1980; Gavande 1968), whereas the low percentage of macropores (~20%) suggested soil compaction (Lal 1989b). In general, the shape of the moisture release curve was similar to those for soils with high allophane content; i.e., an S-shaped curve with a linear portion between 0.01 - 1 bar or pF 1.5 - 3.0 (Warkentin and Maeda 1980; Maeda *et al.* 1977; Gavande 1968). Although the Neguev soil has no allophane, the high clay and moderate organic matter contents coupled with high total porosity contribute to the soil's andosol-like moisture retention characteristics.

Soil mineralogy

Mineral oxide characteristics

Oxalate extractable Fe and Al were high (1.64% Fe, 0.94% Al), but were consistent with other soil chemical and mineralogical analyses which characterized the soil series as a highly weathered andisol.

There was no significant difference between the surface and subsurface horizons (1.64 vs. 1.48% for Fe; 0.94 vs. 1.04% for Al). Although oxalate is believed to extract poorly crystallized Fe forms, the high values obtained may be an overestimate of this fraction due to the presence of magnetite (J. Bigham, Ohio State University, pers. comm., 1991).

The percent Fe extracted with citrate bicarbonate dithionite (CBD) in the < 2 μm fraction was also high (9.8%) and most closely correlated with the soil's crystallized Fe oxide content (goethite, magnetite, maghemite). The ratio of oxalate-Fe:CBD-Fe, a measure of percent poorly crystallized Fe, was considered high relative to oxisols (15% - 17%) but was probably representative of volcanic material-derived soils (Bigham *et al.* 1978). The ratio should be viewed with some caution, however, since the oxalate-Fe was probably not an accurate estimate of the soil's amorphous fraction.

X-ray diffraction and the formamide test for halloysite

The dominant minerals were poorly crystallized kaolinite or halloysite, gibbsite and iron oxides (Fig. 5). The differential pattern of untreated and

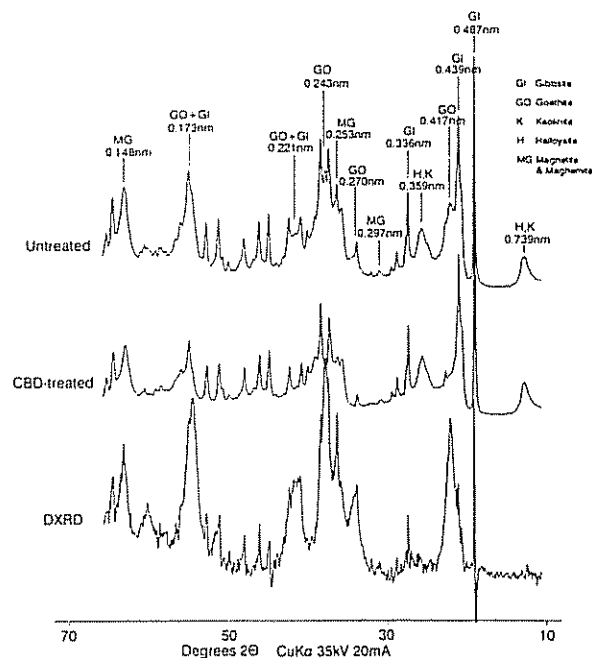


Fig. 5. X-ray diffractogram of the Neguev surface (0-15 cm) horizon clay (< 2 μm) fraction.

CBD-treated samples showed sharp peaks for gibbsite, goethite, magnetite and maghemite (Fig. 6). The asymmetry and breadth of the two kaolinite/halloysite peaks (0.74 and 0.36 nm) fostered doubts regarding the exact mineralogy of the 1:1 aluminosilicate present. X-ray diffractograms for both formamide-treated surface and subsurface <math> < 2 \mu\text{m}</math> study soil samples did not show the shift associated with halloysite (Fig. 7). Previous work has shown that kaolinites in oxic materials are largely poorly crystallized, and that poor crystallinity is often exhibited as broad XRD peaks which can be confused further if oxide coatings are present (Haynes and Swift 1986).

Nonetheless, the van Dooremolen *et al.* (van Dooremolen *et al.* 1990a) survey of the Atlantic coastal region's soils provides conclusive XRD evidence for the dominance of kaolinite, gibbsite and goethite in the older volcanic deposits like the Neguev series.

Characterization of the dominant minerals explained the somewhat-oxic, somewhat-andic nature of the Neguev soil series. For example, CBD-extractable Fe for oxisols ranges between 7% - 14% (Bigham *et al.* 1978); the Neguev soil's CBD-Fe (9.8%) fell squarely within this range.

However, the Neguev soil had almost twice the amount of oxalate extractable Al typical of oxisols (0.94% - 1.04%), suggesting that there is still a significant amorphous Al component. As Blume and Schwertmann (1969) suggest, the soil's low pH coupled with some downward movement of organic matter may actually retard the crystallization process, resulting in high relative and absolute amounts of poorly crystallized Fe and Al oxides.

Changes in selected soil chemical and physical properties over the study period

The silvopastoral system of *E. berteriana* and native grass pasture underwent notable changes at the farm level over the 40-month study. However, there were no significant treatment-induced changes in any of the soil chemical parameters measured. The significant declines in soil pH and exchangeable

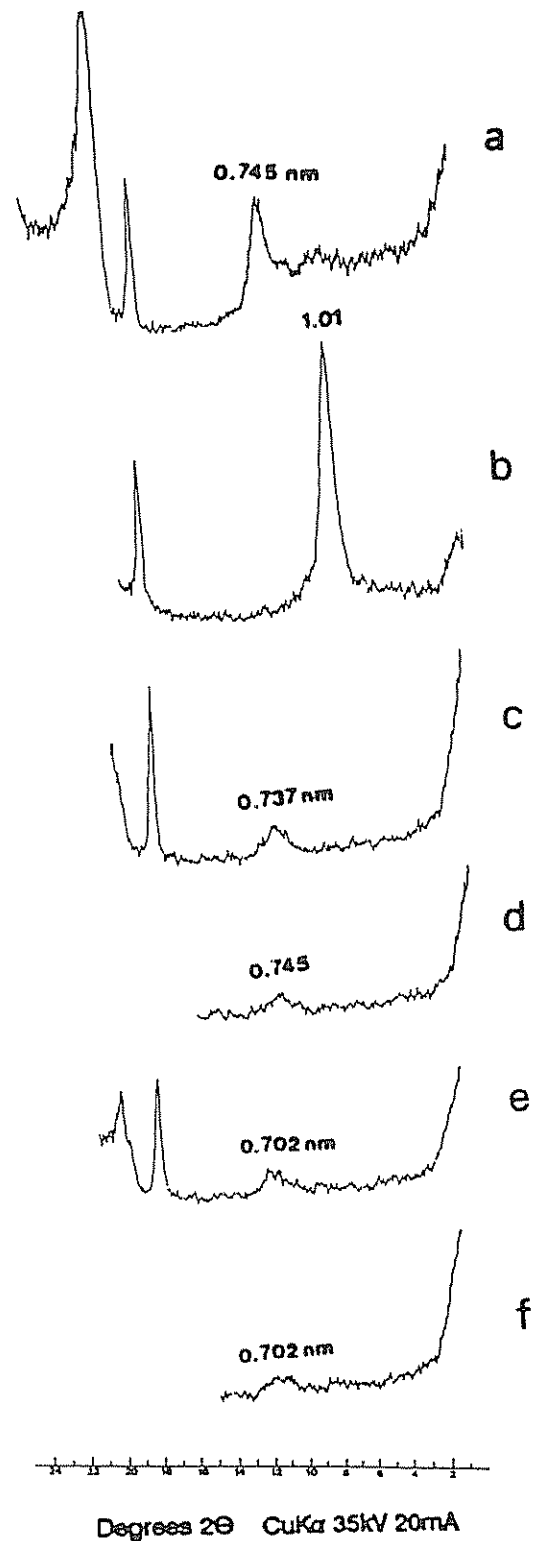


Fig. 6. Differential x-ray diffractogram for untreated and CBD-treated <math> < 2 \mu\text{m}</math> fraction, surface horizon.

monovalent cations with concurrent increases in extractable Al and Fe suggest that the soil system was still undergoing an equilibrium shift from forest to pasture ecosystems, even 15 - 20 years after rain forest clearing (Herbillon 1980). Alternatively, the observed changes in soil chemical properties, when viewed in a longer time-scale context, may merely represent normal fluctuations associated with the pasture ecosystem's own dynamic equilibrium.

The significant increase in soil C relative to N in only the non-grazed tree treatment implies that organic C accumulated to a greater extent than N. Since there is no nutrient or organic matter export from the non-grazed system, one should expect organic C accumulation over time. In addition, N may not have accumulated as much as C because N mineralized from decomposing *Erythrina* leaves may have stimulated mineralization of soil organic N reserves, resulting in a temporary decrease in TKN (Bornemisza 1966). The presence of leguminous trees and tree pruning increased the C:N ratio in the surface soil to a greater extent than recycling from pasture grass clippings alone (control treatment). The increase in the C:N ratio in the non-grazed tree treatment relative to the grazed treatments supports the hypothesis that the lack of grazing is analogous to fallow conditions and that leguminous trees enhance the fallow status of the system.

In contrast with organic C, organic P reserves decreased among all farms regardless of treatment. Simultaneously, available P (NAHCO₃-EDTA extractable) increased. With treatment means pooled by farm, there was an increase in P mineralization from the experiment's initiation to its end. Bertsch and Cordero (Bertsch and Cordero 1984) also found that when inorganic P was added to P-deficient soils, mineralization of organic P and N reserves increased. This increased mineralization may reflect enhanced nutrient turnover associated with changes in pasture management from continuous to rotational or no grazing (Wielemaker and Lansu 1991; Sollins and Radulovich 1988).

Soil bulk density decreased significantly only in the control treatment after three years. When compared with the Neguev series' bulk density under forest (0.63 g/cm³), the control treatment bulk density was still relatively high. Nonetheless, it appeared to

be rebounding from the compaction incurred from previous continuous grazing (Humphreys 1991). In comparison, the non-grazed tree treatment did not undergo such a significant decline in soil bulk density, which suggests that the tree roots are slowing the rate of decline. The possible ameliorative tree effect in a grazed system may not have developed yet at this early stage in the silvopastoral system's establishment.

CONCLUSIONS

—The study soil, an andic humitropept (series Neguev), exhibits chemical, physical and mineralogical properties reflective of both oxisols and andisols; i.e., it is acid, high in exchangeable Al, dominated by kaolinite, gibbsite and iron oxides (properties characteristic of oxisols), yet it has a very high P retaining capacity, low bulk density and high water holding capacity (properties akin to andisols).

—Over the three-year study period, there were few changes in soil chemical or physical properties resulting from treatment imposition. However, soil organic C increased in the two non-grazed treatments and soil bulk density decreased in the no-grazing no tree control. Short-term changes in these parameters reflect the fallow-like status incurred from no grazing.

—There were significant changes in selected soil chemical properties at the farm level. These may either represent gradual chemical changes associated with post-deforestation agro-ecosystem equilibrium shifts, or simply reflect normal fluctuations in the pasture ecosystem's inherent dynamic equilibrium.

LITERATURE CITED

- ALVARADO, A. 1984 Aluminio activo en suelos derivados de cenizas volcánicas de Costa Rica y Guatemala. *Turrialba* (C R) 34(3):396-398
- BARNHISEL, R.; BERTSCH, P.M. 1982 Aluminum. In *Methods of soil analysis. II Chemical and microbiological properties*. 2nd ed. A.L. Page, R.H. Miller, D.R. Keeney (Eds) Madison, ASA. SSSA. p 275-300

- BERTSCH, F.; CORDERO A. 1984. Fertilidad de Typic Dystrandepts de Costa Rica. II. Aniones (N, P, B, S, Mo), materia orgánica y textura. Turrialba (C.R.) 34(2):199-205.
- BIGHAM, J.M.; GOLDEN, D.C.; BOWEN, L.H.; BUOL, S.W.; WEED, S.B. 1978. Iron oxide mineralogy of well-drained ultisols and oxisols. I. Characterization of iron oxides in soil clays by Mossbauer spectroscopy, X-ray diffractometry and selected chemical techniques. Soil Science Society of America Journal 42:816-825.
- BLAKE, G.R.; HARTGE, K.H. 1986. Bulk density. In Methods of soil analysis: Physical and mineralogical methods. 2nd ed. A. Klute (Ed.). Madison, Wisconsin, ASA, SSSA p. 363-376.
- BLUME, H.; SCHWERTMANN, U. 1969. Genetic evaluation of profile distribution of aluminum, iron and manganese oxides. Soil Science Society of America Proceedings 33:438-444.
- BORNEMISZA, E. 1966. El fósforo orgánico en suelos tropicales. Turrialba (C.R.) 16(1):33-38.
- BRADY, K.S.; BIGHAM, J.M.; JAYNES, W.F.; LOGAN, T.J. 1986. Influence of sulfate on Fe-oxide formation: Comparisons with a stream receiving acid mine drainage. Clays and Clay Minerals (U.S.) 34(3):266-274.
- BREMNER, J.M.; MULVANY, C.S. 1982. Nitrogen-total. In Methods of soil analysis. II. Chemical and microbiological properties. 2nd ed. A.L. Page, R.H. Miller, D.R. Keeney (Eds.). Madison, ASA, SSSA. p. 595-624.
- CHURCHMAN, G.J.; WHITTON, J.S.; CLARIDGE, G.G.; THENG, B.K. 1983. A rapid test for halloysite. Washington, D.C., USAID-Soil Management Support Service. Soil Taxonomy News 5:10.
- DAAGE, F.C. 1987. Current programs, problems and strategies for land clearing and development on volcanic ash soils. In IBSRAM Inaugural Workshop Tropical Land Clearing for Sustainable Agriculture. Proceedings. R. Lal, M. Nelson, H. Scharpenseel, M. Sudjadi (Eds.). Bangkok, Thailand, International Board for Soil Research and Management (IBSRAM). p. 195-206.
- DE BRUIN, S. 1991. Estudio detallado de los suelos del asentamiento Neguev. Guapiles, C.R., CATIE-AUW-MAG Atlantic Zone Programme. 23 p. (Unpublished report).
- DIAZ-ROMEY, R.; HUNTER, A. 1978. Metodología de muestreo de suelos, análisis químico de suelos y tejido vegetal e investigación en invernadero. Turrialba, C.R., CATIE, Proyecto Centroamericano de Fertilidad de Suelos. 61 p.
- EL SWAIFY, S.A. 1980. Physical and mechanical properties of oxisols. In Soils with variable charge. B.K. Theng (Ed.). Palmerston North, New Zealand Society of Soil Science. p. 303-324.
- FASSBENDER, H.W.; MÜLLER, L.; BALERDI, F. 1968. Estudio de fósforo en suelos de América Central. II. Formas y su relación con las plantas. Turrialba (C.R.) 18(4):333-347.
- FASSBENDER, H.W.; BORNEMISZA, E. 1987. Química de suelos con énfasis en suelos de América Latina. 2nd ed. rev. San José, C.R., IICA.
- GAVANDE, S.A. 1968. Water retention characteristics of some Costa Rican soils. Turrialba (C.R.) 18(1):34-39.
- GIBSON, D.J.; COLQUHOUN, I.A.; GREIG-SMITH, P. 1985. A new method for measuring nutrient supply rates in soils using ion-exchange resins. In Ecological interactions in soil, plants, microbes and animals. A.H. Fitter, D. Atkinson, D.J. Read, M.B. Usher (Eds.). Oxford, England, British Ecological Society. Blackwell Scientific Publications. Special publication no. 4. p. 73-79.
- HAYNES, R.J.; SWIFT, R.S. 1986. Effects of soil acidification and subsequent leaching on levels of extractable nutrients in a soil. Plant Soil 95:327-336.
- HERBILLON, A.J. 1980. Mineralogy of oxisols and oxic materials. In Soils with variable charge. B.K. Theng (Ed.). New Zealand Society of Soil Science, Palmerston North. p. 109-126.
- HUMPHREYS, L.R. 1991. Tropical pasture utilisation. Cambridge, England University Press. p. 27-29.
- JACKSON, M.L. 1975. Soil chemical analysis: Advanced course. 2nd ed., 10th printing. Madison, University of Wisconsin, Department of Soil Science.
- KLUTE, A. 1986. Water retention: Laboratory methods. In Methods of soil analysis. I. Physical and mineralogical methods. 2nd ed. A. Klute (Ed.). Madison, ASA, SSSA. p. 635-662.
- LACHAT INSTRUMENTS CO. 1990a. Lachat QuickChem Method No. 10-115-01-1-H:TKP: Lachat methods manual for QuickChem Automated Ion Analyzer. Milwaukee, Lachat Instruments. Chapter 20.

- LACHAT INSTRUMENTS CO 1990b Lachat QuickChem method No. 10-107-06-2-G:TKN: Lachat methods manual for QuickChem Automated Ion Analyzer. Milwaukee, Lachat Instruments. Chapter 8.
- LAL, R 1989a Agroforestry systems and soil surface management of a tropical alfisol. III. Changes in soil chemical properties. *Agroforestry Systems (Holland)* 8:113-132.
- LAL, R 1989b Agroforestry systems and soil surface management of a tropical alfisol. IV. Effects on soil physical and mechanical properties. *Agroforestry Systems (Holland)* 8:197-215.
- LANSU, A. 1988. Soil structure under four land use types in the settlement Neguev, Atlantic zone of Costa Rica. Turrialba, C.R., Atlantic Zone Program CATIE-UAW-MAG. Field Report no. 18. 12 p.
- MAEDA, T.; TAKENAKA, H.; WARKENTIN, B.P. 1977. Physical properties of allophane soils. *Advances in Agronomy (U.S.)* 29:229-264.
- MCKEAGUE, J.A.; BRYDON, J.E.; MILES, N.M. 1971. Differentiation of forms of extractable iron and aluminum in soils. *Soil Science Society of America Proceedings (U.S.)* 35:33-38.
- MCLEAN, E.O. 1982. Soil pH and lime requirement. In *Methods of soil analysis. II. Chemical and microbiological properties*. 2nd ed. A.L. Page, R.H. Miller, D.R. Keeney (Eds.). Madison, ASA, SSSA. p. 199-224.
- MÜLLER, L.; BALERDI, F.; DIAZ-ROMEY, R.; FASSBENDER, H.W. 1968. Estudio del fósforo en suelos de América Central. I. Ubicación, características físicas y químicas de los suelos estudiados. *Turrialba (C.R.)* 18(4):319-332.
- OLSEN, S.R.; SOMMERS, L.E. 1982. Phosphorus. In *Methods of soil analysis. II. Chemical and microbiological properties*. 2nd ed. A.L. Page, R.H. Miller, R.L. Keeney, D.R. (Eds.). Madison, ASA, SSSA. p. 403-430.
- PARFITT, R.L. 1989. Phosphate reactions with natural allophane, ferrihydrite and goethite. *Journal of Soil Science (U.K.)* 40:359-369.
- PARFITT, R.L.; HUME, L.; SPARLING, G. 1989. Loss of availability of phosphate in New Zealand soils. *Journal of Soil Science (U.K.)* 40:371-382.
- SÁNCHEZ, P.A.; BENITES, J. 1987. Low-input cropping for acid soils of the humid tropics. *Science (U.S.)* 242:1521-1527.
- SAUNDERS, W.M.H. 1965. Phosphate retention by New Zealand soils and its relationship to free sesquioxides, organic matter and other soil properties. *New Zealand Journal of Agricultural Research* 8:30-57.
- SEARLE, P.L.; DALY, B.K. 1977. The determination of aluminum, iron, manganese and silicon in acid oxalate soil extracts by flame emission and atomic absorption spectrometry. *Geoderma (Holland)* 19:1-10.
- SERRAO, E.; FALESI, I.; VEIGA, NETO, J. 1979. Productivity of cultivated pastures on low fertility soils in the Amazon of Brazil. In *Pasture production in acid soils of the tropics*. P.A. Sanchez, L. Tergas (Eds.). Cali, Col. Centro Internacional de Agricultura Tropical. p. 195-225.
- SHOJI, S.; ONO, T. 1978. Physical and chemical properties and clay mineralogy of andosols from Kitakami, Japan. *Soil Science (U.K.)* 126:297-312.
- SOLLINS, P.; RADULOVICH, R. 1988. Effects of soil physical structure on solute transport in a weathered tropical soil. *Soil Science Society of America Journal (U.S.)* 52(4):1168-1173.
- SOLLINS, P.; ROBERTSON, P.; UEHARA, G. 1988. Nutrient mobility in variable- and permanent-charge soils. *Biogeochemistry (U.S.)* 6:181-199.
- SPOSITO, G.; MATTIGOD, S.V. 1980. *Geochem: A computer program for the calculation of chemical equilibria in soil solutions and other natural water systems*. Riverside, California, The Kearney Foundation of Soil Science, University of California, Riverside. 92 p.
- THOMAS, G.W. 1982. Exchangeable cations. In *Methods of soil analysis. II. Chemical and microbiological properties*. 2nd ed. A.L. Page, R.H. Miller, D.R. Keeney (Eds.). Madison, ASA, SSSA. p. 159-166.
- USDA. SOIL SURVEY STAFF. 1972. *Soil survey laboratory methods and procedures for collecting soil samples: Method 6A2b*. USDA Soil Conservation Service (Ed). Washington, D.C., U.S., Govt. Printing Office. Soil Survey Investigations Report no. 1.

USDA SOIL SURVEY STAFF 1990. Keys to soil taxonomy 4th ed AID, USDA, SMSS, Virginia Polytechnic Institute. SMSS Technical Monograph no 19

VAN DOOREMOLEN, W.A.; WIELEMAKER, W.G.; VAN BREEMEN, N.; MEIJER, E.M.; VAN REEWIJK, L.P. 1990a. Chemistry and mineralogy of andosols of various ages in a soil chronosequence on andesitic lahars in Costa Rica. *Chemical Geology (U.S.)* 84:139-141.

WARKENTIN, B.P.; MAEDA, T. 1980. Physical and mechanical characteristics of andosols. Soils with variable charge. B.K. Theng (Ed.) Palmerston North, New Zealand Society of Soil Science p 281-302.

WIELEMAKER, W.G.; LANSU, A. 1991. Land-use changes affecting classification of a Costa Rican soil. *Soil Science Society of American Journal* 55:1621-1624.

WILKINSON, L. 1990. SYSTAT: The system for statistics. Evanston, Illinois, SYSTAT.

RESEÑA DE LIBROS

BRIGHMAN, J.M.; CIOLKOSZ, E.J. (EDS.).
1993. **Soil color.** Madison, WI, **Soil Science Society of America. Special Publication no. 31. 159 p.**

La utilización del color del suelo y la teoría del color son los temas centrales del libro, contribución de la Sociedad Americana de la Ciencia del Suelo. A pesar de que este tema es relevante en la ciencia del suelo, debe mencionarse que los problemas relacionados son motivo de preocupación para otras disciplinas científicas (ver *Hortscience* 27(12) 1992)

El color del suelo en su forma natural presenta una gran variabilidad espacial, debido a que este parámetro se ve afectado por factores que influyen en su formación (p.e. material parental, edad, clima, otros) y los procesos que lo modifican (p.e. gleización, laterización, otros). Por esta razón, el color se emplea como criterio de clasificación en casi todos los sistemas taxonómicos.

Los ocho capítulos que conforman el documento incluyen los aspectos históricos del desarrollo del concepto teórico, las metodologías empleadas para su determinación, las correlaciones entre mediciones de campo y de laboratorio, las relaciones entre color

y óxidos de hierro, el efecto de la materia orgánica sobre el color del suelo, la coloración de los suelos ácidos con sulfatos y la perspectiva geológica del color de las capas sedimentarias rojas.

La publicación resume y analiza el conocimiento actual sobre el origen y la medición del color del suelo, y cada capítulo fue preparado por distinguidos profesionales en el tema, de los Estados Unidos de América, Alemania y España. La edición del documento es impecable, incluyéndose varias figuras en colores nítidos.

Por lo especializado del tema, el libro tendrá una audiencia muy seleccionada pero es sobre todo recomendable para quienes laboran en programas de cartografía de suelos. Es también una obra de consulta para estudiantes de posgrado en el área de suelos. El documento puede adquirirse por US\$25.00 escribiendo a Soil Science Society of America, Attention Book Order Dept., 677 South Sego Road, Madison, WI 52711-1086.

DR ALFREDO ALVARADO H.
CENTRO DE INVESTIGACIONES AGRONOMICAS
UNIVERSIDAD DE COSTA RICA

Cambios en las Propiedades Físico-Químicas de los Suelos en una Cronosecuencia de *Tectona grandis*¹

O. Márquez*, R. Hernández*, A. Torres*, W. Franco*

ABSTRACT

The effect of a teak (*Tectona grandis* L.f.) chronosequence on the soil properties was studied in the Ticoporo Forest Reserve, Ven. Ca and Mg contents, pH and cation exchange capacity were significantly higher in the soils of the 12-year-old plantation as compared to the two- and seven-year-old plantations. The available soil P concentration showed a significant decline with plantation age, while K content showed little variation. The possibility that older teak trees could take nutrients more efficiently from deeper soil horizons and return them to the soil surface as leaf litter is discussed. The increase in soil nutrients could be a consequence of leaf litter decomposition and further nutrient cycling.

Key words: Forest soils, forest plantation, nutrients, teak.

INTRODUCCION

En la mayoría de los programas de plantaciones monoespecíficas se utilizan especies con altos requisitos nutricionales y suelos de media a baja fertilidad. En la reserva forestal de Ticoporo en Venezuela, en los Llanos Occidentales, existen 10 000 ha de plantación de teca (*Tectona grandis*), que configura un marco de producción cuyo estudio ecológico y nutricio debe ser cuidadoso. La teca es una especie que presenta un crecimiento relativamente rápido y provee una de las maderas de mayor valor comercial. Por tanto es necesario estudiar las

RESUMEN

Se estudió en la reserva forestal de Ticoporo, Unidad II Contraenchapados Táchira C.A. (CONTACA), en el estado Barinas, Ven., el efecto que tiene una cronosecuencia de teca (*Tectona grandis* L.f.) sobre los suelos. Se encontraron aumentos significativos en los contenidos de Ca, Mg, pH, N, materia orgánica y en la capacidad de intercambio catiónico en las plantaciones con 12 años de edad. No hubo variaciones en los contenidos de K, pero sí una disminución significativa en los de P en las plantaciones estudiadas (2 años, 7 años y 12 años). Se concluyó que, con el crecimiento, la teca extrae con mayor eficiencia más cantidad de nutrimentos de los horizontes profundos del perfil del suelo, que son retomados como hojarasca sobre la superficie. Ello produce, con el tiempo, un aumento de los elementos nutritivos como consecuencia del reciclaje de nutrimentos por descomposición de la hojarasca.

Palabras clave: Suelos forestales, plantaciones forestales, nutrimentos, teca.

modificaciones que pueden ocurrir en el suelo, y se espera que todo cambio en el uso de la tierra modifique las características físico-químicas del suelo. Algunos autores (Aborisade y Aweto 1990; José y Rosh 1992; Nath *et al.* 1988; Salas 1985; Yadav y Sharman 1968) señalan que el impacto de los monocultivos forestales se manifiesta en las capas superiores, donde afecta algunas propiedades del suelo y se relaciona con el pH, las bases cambiables y el carbono orgánico.

En estudios efectuados por Nath *et al.* (1988) se constató un incremento en el pH y la saturación de bases en los suelos bajo plantaciones de teca con 12 años e incluso la transformación de un suelo Inceptisol a un Mollisol en plantaciones de 28 años. El grupo de trabajo "Productividad, ecología y suelos en plantaciones forestales industriales", de la Facultad de Ciencias Forestales de la Universidad de Los Andes, adelanta actualmente un programa de investigación en la región con el fin de desarrollar un conocimiento predictivo del funcionamiento, mantenimiento y mejoramiento de la fertilidad del suelo y su producción; así como el efecto sobre el manejo de plantaciones forestales. Este trabajo se enmarca

1 Recibido para publicación el 20 de mayo de 1992. Se agradece la participación de J. Fernández, N. Cañizales y H. Uzcátegui en la toma de datos de campo y en los análisis de laboratorio. Este trabajo fue financiado parcialmente por el Consejo de Desarrollo Científico y Humanístico y Tecnológico de la Universidad de los Andes (CDCHT-ULA), y las empresas FOSFA-SUROESTE C.A. y CONTACA.

* Universidad de Los Andes, Facultad de Ciencias Forestales, Mérida 5101, Ven.

dentro de una de esas líneas de investigación; su objetivo fue estudiar los cambios sobre algunas características físico-químicas de los suelos, inducidos por plantaciones de teca con 2 años, 7 años y 12 años de edad.

MATERIALES Y METODOS

El estudio se realizó en la Unidad II de la reserva forestal de Ticoporo, a 8° 12' latitud norte y 70° 56' longitud oeste. El área de estudio está a 160 msnm y su topografía es plana con una pendiente del uno por ciento.

En general, la zona presenta un patrón intrincado de superposiciones de sedimentos aluviales, depositados por varios ríos que provienen de Los Andes (Quiu, Zapa, Acequia, Michay y Socopo). Estos ríos forman una típica planicie aluvial de deposiciones sucesivas ocurridas durante el Pleistoceno inferior y superior hasta el Holoceno. Los suelos presentan texturas medias a pesadas, con clases de drenaje que varían de bien drenados a pobremente drenados. Los sedimentos retomados de acumulaciones piedemontinas de fines de la Era Terciaria o inicios de la Cuaternaria han originado suelos ultisoles muy ácidos y con severas limitaciones por fertilidad. Los sedimentos más recientes del Pleistoceno superior y Holoceno dan origen a suelos inceptisoles y alfisoles ligeramente ácidos y de mediana fertilidad (Franco 1988).

El área se caracteriza por un clima (Al wig), según la clasificación climática de Koeppen y corresponde a la zona de vida bosque húmedo tropical. Presenta una precipitación media anual de 1700 mm, distribuidos anualmente con tendencia bimodal, con ocho meses a nueve meses de lluvia (máximas precipitaciones en junio, julio y agosto) y una temperatura media anual de 27 grados centígrados. En consecuencia, el régimen de humedad en los suelos bien drenados se califica como údico y existen zonas donde la ocurrencia de humedad en el perfil, durante gran parte del año, refleja condiciones de hidromorfismo, que determinan un régimen de humedad aquíco (Ven. Ministerio del Ambiente y Recursos Naturales Renovables s.f.).

Con el fin de efectuar este estudio y otros se establecieron parcelas en plantaciones de teca, que incluyeron tres edades (2 años, 7 años y 12 años)

sobre suelos que corresponden a los grandes grupos Eutropepts y Dystropepts. Se seleccionaron 36 parcelas cuadradas de 12 árboles x 12 árboles (144) (0.13 ha) para las plantaciones correspondientes a 12 años, y 24 de 8 árboles x 8 árboles (64) (0.06) para las plantaciones de dos años y siete años de edad. Mayores detalles sobre las plantaciones y las parcelas pueden encontrarse en Torres *et al.* (1992).

Se recolectaron muestras de suelo en todas las parcelas en las profundidades 0 cm - 20 cm y 20 cm - 40 cm, siguiendo una diagonal determinada por el extremo SO en el centro y el extremo NE de la parcela. De cada parcela se obtuvo una muestra compuesta por tres submuestras tomadas en las profundidades indicadas. Las 168 muestras recogidas se secaron al aire y fueron tamizadas en mallas de dos milímetros. Para los análisis físicos y químicos se utilizaron metodologías estándar (Black 1965; Jackson 1958). La caracterización granulométrica fue hecha por el método de Boyoucos; el pH se determinó en agua y en KCI, usando la relación 1:2.5; y la acidez de cambios se determinó utilizando el KCI 1N como extractor. El fósforo se determinó por colorimetría; los elementos Ca, Mg, K y Na se extrajeron con acetato de amonio 1N pH 7 y se midieron en un espectrofotómetro Perkin Elmer mod. 303. El N se determinó por microKjeldahl y el carbono orgánico por combustión húmeda.

Se realizaron análisis de variancia para establecer el efecto de la edad de la plantación sobre las variables del suelo; con ese propósito se seleccionaron 20 parcelas al azar para cada una de las edades. Las diferencias entre los tratamientos se determinaron con la aplicación de la prueba de Duncan.

RESULTADOS Y DISCUSION

Los resultados promedio de los análisis de suelos de las 20 parcelas estudiadas para cada una de las edades de plantación (2 años, 7 años y 12 años), se resumen en el Cuadro 1. En cuanto al impacto del factor edad en las plantaciones sobre las propiedades del suelo, se señala que no presentan variación en color, estructura y espesor de los horizontes. Los resultados concuerdan con un estudio comparativo realizado en Kerala, India (José y Koshi 1972), en el que se analizó la influencia de la teca sobre el suelo en plantaciones de 1 año, 15 años, 30 años, 60 años y 120 años y en un bosque natural, y se encontró que

sólo el bosque natural, igual que las plantaciones de 120 años, presentaban un horizonte superficial más profundo.

En nuestro caso, los suelos bajo teca de 12 años de edad señalaron diferencias con respecto de los suelos bajo teca de siete años y dos años de edad en muchas de las propiedades químicas analizadas. Los contenidos de materia orgánica y N aumentaron en función de la edad de la plantación, ocurriendo cambios significativos ($P < 0.01$). El contenido de N en la plantación de 12 años se incrementó en 53.3% en relación con la de dos años, mientras que la materia orgánica fue 1.9 veces mayor. El aumento en el contenido de materia orgánica confiere al suelo una mayor capacidad de retención de cationes. En un estudio realizado sobre ciclaje de nutrimentos en plantaciones de teca en Cuba (Geigel 1977), se encontró un aumento similar de N en la hojarasca incorporada al suelo.

La capacidad de intercambio (CIC) tiene poca variación en las plantaciones de dos años y siete años, mientras que en la plantación de 12 años se observó un aumento que se relacionaría más con el incremento de materia orgánica, que con las varia-

ciones observadas en los contenidos de arcilla en los diferentes suelos. En la plantación de siete años, el suelo tiene un contenido de arcilla 1.5 veces mayor que en la de dos años mientras que en la de 12 años, cuyos contenidos de arcilla son similares a la de siete años pero 1.6 veces más que la de dos años, la CIC es 1.7 veces mayor.

En la plantación más vieja ocurrió un ascenso significativo del pH del suelo (0.5 unidades) en los primeros 40 cm de profundidad, mientras que en las otras plantaciones la variación del pH no fue significativa. La mayor alcalinidad del suelo puede relacionarse con el aumento en los contenidos de Ca y Mg y con la relación Ca/Mg, que es 1.9 veces mayor en la plantación de 12 años.

La plantación de 12 años presentó un contenido de Ca 2.4 veces superior que la de siete años y 2.8 veces mayor que la de dos años (Cuadro 2). Estas diferencias fueron estadísticamente significativas ($P < 0.01$). Por otra parte, el contenido de Mg fue 2.5 veces mayor en la plantación de 12 años que en la de siete años y 1.9 veces mayor que en la de dos años. Resultados similares (Nath *et al.* 1988) atribuyen la elevación del pH del suelo al aumento

Cuadro 1. Propiedades físicas y químicas de los suelos bajo plantaciones de teca a diferentes edades. Se dan las medias y la desviación estándar, entre paréntesis.

	12 años	7 años	2 años
Arena (%)	23.00 (5.20)	34.00 (5.20)	39.00 (7.80)
Arcilla (%)	31.00 (4.10)	28.70 (6.40)	19.00 (3.40)
Limo (%)	45.60 (4.80)	36.50 (4.20)	41.00 (9.40)
pH	5.60 (0.10)	5.20 (0.40)	5.10 (0.30)
P (ppm)	1.13 (0.70)	1.99 (1.50)	3.11 (0.60)
Ca (mEq/100 g)	5.86 (2.10)	2.43 (1.20)	2.06 (1.10)
Mg (mEq/100 g)	2.57 (1.00)	1.02 (0.20)	1.37 (0.50)
K (mEq/100 g)	0.28 (0.10)	0.25 (0.02)	0.30 (0.10)
Ca/Mg	3.30 (1.40)	1.70 (0.80)	1.70 (0.50)
Al (mEq/100 g)	0.30 (0.10)	0.70 (0.40)	0.50 (0.20)
CIC (mEq/100 g)	14.15 (2.80)	8.31 (1.00)	8.26 (1.10)
M.O (%)	4.80 (0.57)	3.40 (0.30)	2.90 (0.50)
N (%)	0.23 (0.02)	0.16 (0.02)	0.15 (0.02)

en las concentraciones de Ca y Mg en plantaciones de teca. Esos incrementos pueden ser provocados por la eficiencia en el biociclaje de nutrientes por la teca como lo confirman otros investigadores, quienes han encontrado acumulaciones de Ca y Mg en suelos bajo plantaciones de teca (Franco 1988, Sing *et al.* 1985, Yadan y Sharman 1968). Los aumentos en el contenido de Ca en los suelos de los bosques de teca se deben al carácter calcícola de esta especie, muy eficiente en acumular y retornar ese elemento con la caída del follaje.

El elemento K muestra pocas variaciones. Aunque se han encontrado cantidades limitadas bajo plantaciones de cuatro años y nueve años en suelos aluviales, a 100 km de Ticoporo (Jackson 1958) En Tanzania (Lundgren 1973) se halló un contenido similar de K, mientras que las concentraciones de Ca y Mg se mostraron superiores a las requeridas por la plantación al final de la rotación (30 años). En un estudio realizado en una plantación de teca y *Gmelina arborea* en la India se determinó un aumento en las bases totales en el suelo, sin embargo el contenido de K disminuyó (Chijioke 1980).

El contenido de P varía de 3.1 ppm en la plantación de 2 años a 1.13 en la de 12 años, lo que representa un decremento de 2.7 veces. Esta diferencia fue significativa ($P = 0.01$) (Cuadro 2B), pudiendo estar relacionada con una absorción continua de P por parte de la planta y una redistribución interna en los tejidos jóvenes en crecimiento (Pritchett 1990).

Está bien documentado en la literatura (Salas 1987) que la mayor extracción de nutrientes ocurre en las plantaciones jóvenes entre los 8 años y 10 años, por presentar un crecimiento y un desarrollo más activo aunque un menor retorno al suelo. Por su parte, Chijioke (1980) estima que plantaciones de gmelina de cinco años a seis años requieren 132% más de K y un 50% más de Ca que plantaciones de 13 años y 15 años.

Se concluye que los incrementos de pH, contenidos de Ca, Mg y saturación de bases en los suelos bajo teca de 12 años, pueden atribuirse a la liberación de nutrientes que se producen con la biodegradación de la hojarasca sobre el horizonte (A), lo que significa un aumento progresivo en la fertilidad del suelo.

Cuadro 2. Análisis de variancia con la edad, en el contenido de calcio en suelo bajo plantaciones de teca.

A Calcio (mEq/100 g) y fósforo (ppm)

Edad de la plantación Años	Calcio mEq/100 g	Fósforo (ppm)
2	2.06 a	3.11 a
7	2.43 a	1.99 b
12	5.86 b	1.13 b

B. Análisis de variancia para el calcio

Fuente de variación	GL	CM	Fc	P > F
Tratamiento	2	79.3518	5.18	0.01
Error	51	2.3573		
Total	53			

C Análisis de variancia para el fósforo

Fuente de variación	GL	CM	Fc	P > F
Tratamiento	2	17.8494	5.18	0.01
Error	51			
Total	53			

a, b: Letras distintas indican diferencia significativa al 0.01 de probabilidad

LITERATURA CITADA

- ABORISADE, K D ; AWETO, A. 1990 Effects of exotic tree plantations of teak (*Tectona grandis*) and gmelina (*Gmelina arborea*) on a forest soil in south - western Nigeria Soil Use Management (India) 6:43-45.
- BLACK, C.A. 1965 Methods of analysis. American Society of Agronomy. 1572 p
- CHIJIJOKE, O.E. 1980. Impact on soils of fast-growing species in lowland humid tropics FAO Forestry Paper no 21 111 p.
- FRANCO, W. 1988. Suelos del Lote Boscoso San Pedro y de las Reservas Forestales de Guarapiche, Imataca y Ticoporo Mérida, Ven.. Universidad de los Andes, Facultad de Ciencias Forestales 309 p.
- GANGOPADHYAY, S K ; NATH, S ; BANERJEE, S. 1987. Nature and properties of some introduced teak (*Tectona grandis*) growing on soils of north-west Gengal. Indian Forester 113:65-72
- GEIGEL, F. 1977. Materia orgánica y nutrimentos devueltos al suelo mediante la hojarasca de diversas especies forestales Revista Forestal Baracoa (Cuba) 7(3-4):15-38.
- HASE, H.; FOELSTER, H. 1983. Impact of plantation forestry with teak (*Tectona grandis*) on the nutrient status of young alluvial soils in west Venezuela. Forest Ecology and Management (Holanda) 6:33-57.
- JACKSON, M.L. 1958. Soil chemical analysis Prentice-Hall, Englewood Cliffs p 498.
- JOSE, A ; KOSHI, M. 1972. A study of the morphological, physical and chemical characteristics of soils as influenced by teak vegetation. Indian Forester (India) 98:338-348.
- LUNDGREN, B. 1973. Soil conditions and nutrient cycling under natural and plantation forest in Tanzania highlands. Upsala, Swedish University of Agricultural Sciences, Dept. of Forest Soils Reports on Forest Ecology and Forest Soils no 31 426 p
- NATH, S ; BANERJEE, M ; CHATTOTAJ, G ; GANGULY, S ; DAS, P ; BANERJEE, S 1988 Changes in soil attributes consequent upon differences in forest cover in a plantation area Journal of the Indian Society of Soil Science 36:515-521
- PRITCHETT, ? 1990 Suelos forestales: Propiedades, conservación y mejoramiento Trad. por José Hurtado Vega. México, D F, Limusa 634 p.
- SALAS, G DE LAS. 1987. Suelos y ecosistemas forestales, con énfasis en América Tropical San José, C.R., Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura 447 p.
- SALAS, M. 1985. Caracterización físico-química de los suelos de la Unidad Experimental Ticoporo bajo plantaciones de *Tectona grandis* desde el año 1972 hasta 1981. Mérida, Ven., Universidad de Los Andes, Facultad de Ciencias Forestales 50 p
- SING, S.B. ; NATH, D.K. ; PAL, D.K. ; BANERJEE, S.K. 1985 Changes in soil properties under different plantations of the Darjeeling forest division. Indian Forester 3:90-97.
- TORRES, A ; OMAIRA, M ; RUGEN, H ; FRANCO, W 1992 Respuesta inicial a la fertilización con fosforita en plantaciones de teca (*Tectona grandis*) en los Llanos Occidentales de Venezuela. Mérida
- VEN MINISTERIO DEL AMBIENTE Y RECURSOS NATURALES REVOVABLES. s f Estudio de suelos del Sector Ticoporo. Estado Barinas. 75 p
- YADAV, J S ; SHARMAN, R. 1968 A soil investigation with reference to the distribution of sal and teak. Indian Forester 94:897-902.

Evaluación de la Estabilidad de Cultivares de *Triticum aestivum* L.¹

J. Lúquez*, J.C. Suárez**

ABSTRACT

Yield data from nine wheat cultivars obtained from experiments conducted in 15 locations during three years, were used to estimate type-four yield stability. These type-four stability estimators were compared to the type-two and type-three estimators. Type-four stability estimator methodology requires two analyses: a) a regression analysis based on location effects averaged over several years, assuming that the means of location represent predictable variability, and b) an analysis of variance, where stability is defined by the square of the mean for years in each location for each cultivar, which is regarded as a non-predictable variable. With a), the range of locations in which a cultivar is well adapted can be determined. With b), the most stable cultivars can be selected. Type-four stability for one cultivar is independent of the other cultivars included for comparison, and from the regression coefficient estimated for predictable variability. The classification of cultivar stability according to the three different methods of calculation was compared.

RESUMEN

A partir de los datos sobre rendimiento en nueve cultivares de trigo para pan, que provenían de un grupo de Ensayos Comparativos de Rendimiento (ECR) (30 años y 15 localidades), se analizó la estabilidad del rendimiento de tipo 4 y se la comparó con las estimaciones de estabilidad de tipos 2 y 3. La estabilidad de tipo 4 propone dos análisis: uno, de regresión basado en los efectos promediados de la localidad sobre los años, suponiendo que las medias de localidad representan la variación predecible; otro, de cálculo de la estabilidad con base en los cuadrados medios de años dentro de las localidades, y asume que significan la variación no predecible. A través del primero se puede determinar el rango de localidades en que un cultivar estará bien adaptado, y con el segundo se pueden elegir los cultivares más estables. Existen algunas coincidencias en la clasificación de genótipos estables según los tres métodos analizados. La estabilidad de tipo 4, calculada para cada cultivar, es independiente de los otros cultivares incluidos en el ensayo y presenta un coeficiente de regresión estimado para la variación predecible.

Palabras clave: Interacción genótipo-ambiente, estabilidad, *Triticum aestivum* L.

INTRODUCCION

Para que un cultivar se difunda debe mantener un buen comportamiento en el rango de ambientes en el que se cultiva. La presencia de interacciones genótipo-ambiente reduce la correlación entre genótipo y fenótipo, y dificulta la apreciación del potencial genético. Con el objeto de determinar la magnitud de tal interacción, los mejoradores de plantas realizan pruebas de comportamiento de genótipos en distintas localidades y años.

La estabilidad de un cultivar se refiere a la consistencia de su comportamiento en los ambientes, y se ve afectada por la presencia de interacciones genótipo-ambiente. En este caso, es posible estimar parámetros de estabilidad para determinar la superioridad de genótipos individuales en el rango de ambientes. Los datos estadísticos de la estabilidad, en la literatura, se han clasificado en tres tipos (Lin *et al.* 1986); tipo 1: un genótipo es estable si su variancia entre ambientes es pequeña; tipo 2: un genótipo es estable si su respuesta a los ambientes es paralela a la respuesta media de todos los genótipos en el ensayo; tipo 3: un genótipo es estable si el cuadrado medio de las desviaciones de la regresión sobre un índice ambiental es pequeño. Los parámetros de estabilidad de cultivares de Finlay y Wilkinson (1963), y Perkin y Jinks (1968) pertenecen a los tipos 1 ó 2, dependiendo de cómo se defina un genótipo estable, y los de Eberhart y Russell (1966) al tipo 3.

¹ Recibido para publicación el 1 de setiembre de 1991.

* Facultad Ciencias Agrarias, Universidad Nacional, Mar del Plata, Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Tecnológicas (CONICET), Arg.

** Dpto. Producción Vegetal, Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA), Balcarce, Arg.

La estabilidad del tipo 1 se considera homóloga al concepto de homeóstasis y se llama estabilidad biológica (Becker 1981), para diferenciarla de la estabilidad agronómica que es la de tipo 2. La primera, a pesar de ser teóricamente la más ortodoxa, es la menos usada por los mejoradores de plantas, quienes pretenden no sólo encontrar cultivares con buena adaptación a todos los ambientes, sino también con altos rendimientos. Es una estabilidad asociada a una respuesta pobre y a bajos rendimientos en ambientes que son de alto rendimiento para otros cultivares. Además es difícil en la práctica alcanzar un alto nivel de desempeño en un amplio rango de ambientes, y, si se lograra, el esfuerzo podría ser innecesario, pues algunos cultivares con más restricciones para adaptarse pueden crecer separadamente en distintos ambientes y dar una producción máxima. Por lo tanto, emplear este tipo de estabilidad es beneficioso si el rango de ambientes del experimento es pequeño.

La estabilidad de tipo 2 es una medida relativa de los genotipos incluidos en la prueba; así su alcance de inferencia se limita a ellos y no se generaliza.

La estabilidad de tipo 3 agrega al concepto anterior que, ante una interacción genotipo-ambiente significativa, se realiza una regresión entre rendimiento e índice ambiental, y si se cuantifica la estabilidad por medio de un coeficiente b de regresión, se obtendrá una parte residual de la variación por la respuesta del genotipo al ambiente, que no se explica por la regresión y se mide en forma de desvíos de la misma (s^2d) (Lin *et al.* 1986).

Entonces, la variabilidad de un genotipo con respecto al ambiente puede subdividirse en una parte predecible y, a veces, controlable debido a la regresión, y en otra que no lo es, la cual corresponde al cuadrado medio de la desviación. En los experimentos cultivar x localidad x año es frecuente encontrar interacciones significativas en el análisis de variancia (ANOVA), causadas por variaciones importantes del efecto ambiental local de año a año. Esta variación impredecible dificulta la recomendación de un cultivar en una región.

El efecto ambiental sobre un genotipo está constituido por el clima y suelo de la zona, en forma persistente, y por la variación del tiempo cada año, en forma no persistente (Lin y Binns 1988). Se propone entonces dividir la interacción genotipo-ambiente en

componentes predecibles y no predecibles, que permitiría recomendar cultivares con adaptación específica a ambientes determinados predecibles, así como a variaciones ambientales no predecibles. Por eso, se necesitarían dos criterios distintos para la recomendación de un cultivar, según lo propuesto por el método de estabilidad de tipo 4: 1) si la media de cultivar x localidad promediada sobre años fuera el equivalente biológico de cultivar x variación predecible, se usaría el análisis de regresión de la interacción genotipo x localidad (promediada sobre años) para recomendar cultivares adaptados a localidades específicas. 2) En el caso de que el factor años dentro de las localidades fuera equivalente al cultivar por la variación no predecible, entonces se aplicarían los cuadros medios de "años" dentro de localidades como una medida de estabilidad. Los cultivares serán más estables cuanto más pequeño sea el cuadrado medio.

El objetivo de este trabajo fue analizar un grupo de ECR de cultivares de trigo para pan al calcular la estabilidad de tipo 4 de los mismos (Lin y Binns 1988) y compararla con las estimaciones de estabilidad de tipo 2 y 3.

MATERIALES Y METODOS

Se utilizaron los datos de ECR obtenidos en 15 localidades de distintas zonas ecológicas con cultivo de trigo para pan, en Argentina (Rafaela, Reconquista, Pergamino, Bellocq, Paraná, Balcarce, La Dulce, Necochea, Miramar, La Banda, Anguil, Carhué, Bordenave, Coronel Suárez y Gral. Pico), durante tres años (1985, 1986 y 1987). De los resultados de esos ensayos, se usaron los promedios de rendimiento de nueve de los cultivares: Cooperación Cabildo, Buck Pangaré, Cochicó INTA, Victoria INTA, Las Rosas INTA, Klein Criollo, Klein Cartucho y Klein Chamacó (Cuadro 1).

Se realizaron dos análisis de variancia. En el primero se consideraron como fuentes de variación los cultivares, los 45 ambientes y la interacción cultivar x ambiente (C x A). Esta última se subdividió en fuentes de variación por la regresión y las desviaciones de la regresión (residuales) (Eberhart y Rusell 1966). En el segundo análisis, las fuentes de variación consideradas fueron los cultivares, las localidades y los años dentro de las localidades (A/L) y se utilizó la interacción cultivar por año dentro de localidad (C x A/L) como error. En este análisis se abrió la interacción C x A como una fuente de variación

Cuadro 1. Rendimiento promedio (kg/ha) de nueve cultivares de trigo pan en tres años y 15 localidades. Índices ambientales calculados según Lin y Binns (1988).

	Pangare	Coehico	Cartucho	Victoria	Chamaco	Las Rosas	Criollo	La Paz	Cabildo	Promedio	I. A.
ANGUIL	1 205	1 114	1 074	1 027	995	996	1 189	766	902	1 030	-1 483
GRAL. PICO	1 250	1 377	1 068	1 141	1 175	1 470	1 207	1 213	1 330	1 248	-1 265
LA BANDA	1 660	1 205	1 321	1 583	1 368	1 486	1 325	1 639	777	1 374	-1 139
RECONQUISTA	1 901	1 637	1 972	1 689	2 013	1 969	1 572	1 663	1 107	1 725	-788
PARANA	2 092	1 510	2 602	2 099	2 210	2 020	1 953	1 072	1 069	1 847	-666
CARHUE	1 445	2 482	1 914	2 030	1 892	1 822	1 886	1 818	2 089	2 042	-471
BELLOCQ	2 423	1 998	2 525	2 538	2 485	1 870	2 115	2 138	1 908	2 222	-291
CNEL SUAREZ	2 013	2 799	2 643	2 645	1 918	2 045	2 580	2 473	1 792	2 323	-190
PERGAMINO	2 735	2 597	2 761	2 464	2 372	3 021	2 658	1 869	2 265	2 527	14
RAFAELA	2 741	2 434	3 108	2 709	2 988	3 121	2 718	1 815	1 670	2 589	76
BORDENAVE	2 975	3 481	3 380	3 165	3 206	2 368	2 565	2 999	2 434	2 953	440
BALCARCE	3 365	3 174	3 009	3 459	3 335	2 897	2 931	3 333	2 696	3 133	620
LA DULCE	3 955	3 622	3 028	3 307	3 425	3 170	2 860	3 532	3 213	3 346	833
MIRAMAR	3 753	4 204	3 475	3 309	3 369	3 795	3 488	3 797	3 201	3 599	1 086
NECOCHEA	6 233	6 099	5 732	5 903	5 791	5 334	5 419	5 918	5 396	5 758	3 245
PROMEDIOS	2 717	2 649	2 641	2 604	2 570	2 492	2 431	2 403	2 123	2 513	

ante la interacción cultivar x localidad (C x L) (predecible) y la interacción C x A/L (Lin y Binns 1988).

Se estimaron los tipos 2, 3 y 4 de estabilidad para cada cultivar. Los tipos 2 y 3 se calcularon con base en un análisis de regresión para cada cultivar. En estos análisis, se usó un índice ambiental (IA) como variable independiente (x) y el promedio de rendimiento del cultivar como variable dependiente (y). El IA se definió como la diferencia entre el promedio de rendimiento de los cultivares en cada ambiente y el promedio de rendimiento general. En este caso se tomaron en cuenta 45 ambientes.

La estabilidad de tipo 2 se definió en función de los coeficientes de regresión obtenidos (Finlay y Wilkinson 1963), y la estabilidad de tipo 3 en función de los cuadrados medios de las desviaciones a partir de la regresión (Eberhart y Rusell 1966).

La estabilidad de tipo 4 se definió en función de los cuadrados medios de años dentro de las localidades para cada cultivar, determinados en el segundo análisis de variancia. Para estimar la respuesta de los cultivares a la variación predecible, se realizó un análisis de regresión. La variable independiente fue un IA definido como la diferencia entre la media de los rendimientos de la localidad, obtenidos durante el transcurso de los años y la media general. Se consi-

deraron 15 ambientes para este análisis y se utilizaron como variables las medias de rendimiento de cada cultivar en las diferentes localidades promediadas a través de los años. La pendiente de regresión de cada cultivar se usó como indicador para recomendar variedades para cada localidad.

RESULTADOS

En el Cuadro 2 se presenta el ANOVA de donde surgen los genótipos estables de tipo 3. Este análisis muestra que los b son homogéneos, es decir que no se detectaron diferencias genéticas entre variedades para su regresión sobre el índice ambiental. No fue posible hacer la prueba de significancia de las diferencias entre las desviaciones de la recta de regresión de cada variedad (s^2d), porque no se disponía de los valores del error para cada uno de los años del experimento, que sirven para construir el error conjunto.

El Cuadro 3 presenta el ANOVA del experimento 9 x 15 x 3 y el Cuadro 4, las medias de rendimiento (kg/ha), los coeficientes de regresión (b) calculados según los métodos de la estabilidad de tipos 3 y 2 (experimento 9 x 45) y tipo 4 (Lin y Binns 1988) (experimento 9 x 15 x 3), los cuadrados medios residuales y los cuadrados medios de años dentro de localidades (CM A/L) para todos los cultivares del ensayo.

Cuadro 2. ANOVA del experimento 9 x 45.

Fuente de variación	Grados de libertad	Cuadrados medios
Genótipo	8	416 000 (1) ** M1
Ambiente	44	
G x A	353	1 250 000
Ambiente (lineal)	1	729 493 076
G x A (lineal)		
o heterogeneidad b's	8	123 178 (2) NS M2
Desviaciones conjuntas	387	123 000 (3) M3

** Significativa al 1%

Cuadro 3. ANOVA del experimento 9 x 15 x 3.

Fuente de variación	Grados de libertad	Cuadrados medios
Genótipo	8	1 449 936.83**
Localidades	14	37 619 227.03**
Años (A)/L.	30	6 316 865 33**
G x L	112	257 303.57**
G x L.	240	147 775.4

** Significativa al 1%

Cuadro 4. Media de rendimiento (kg/ha), coeficiente de regresión (b), CM A/L y CM residual para nueve cultivares de trigo para pan (*T. aestivum* L.).

Genótipo	Media (kg/ha)	Experimento 9 x 45*		Experimento 9 x 15 x 3**	
		b	CM residual	b	CM A/L.
Pangaré	2 743	0.99	190 930	1.07	1 033 626
Cochicó	2 649	1.04	180 000	1.10	578 169
Cartucho	2 607	0.97	100 000	0.95	633 109
Victoria	2 597	0.03	68 372	1.00	921 976
Chamaco	2 570	0.98	136 046	0.99	764 274
Las Rosas	2 515	0.93	4 093	0.89	827 651
Criollo	2 431	0.94	81 395	0.90	861 432
La Paz	2 403	1.08	23 488	1.09	946 896
Cabildo	2 176	0.93	325 581	0.98	683 294

* En este experimento se usaron los promedios de rendimiento de los cultivares en cada uno de los 45 ambientes.

** Se usaron los promedios de rendimiento de la localidad promediados a través de los años

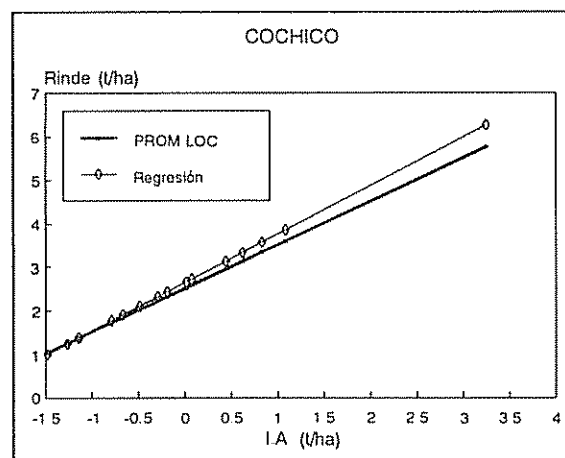


Fig. 1. Regresión del rendimiento medio del cultivar Cochicó en cada localidad sobre el I.A. para esa localidad en el experimento 9 x 15 x 3.

Se observaron las regresiones para cada cultivar según el método de la estabilidad de tipo 4 (Figs. 1 a 9), comparadas con la regresión de $b = 1$, y los CM A/L. (Fig. 10) así como los coeficientes de regresión de las nueve variedades de trigo para pan estudiadas.

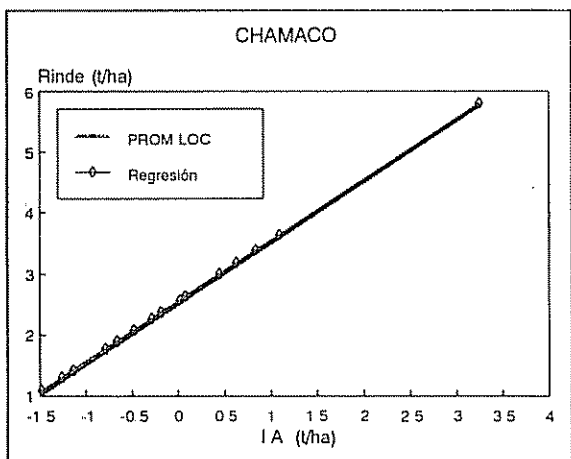


Fig. 2. Regresión del rendimiento medio del cultivar Chamaco en cada localidad sobre el I.A. para esa localidad en el experimento 9 x 15 x 3.

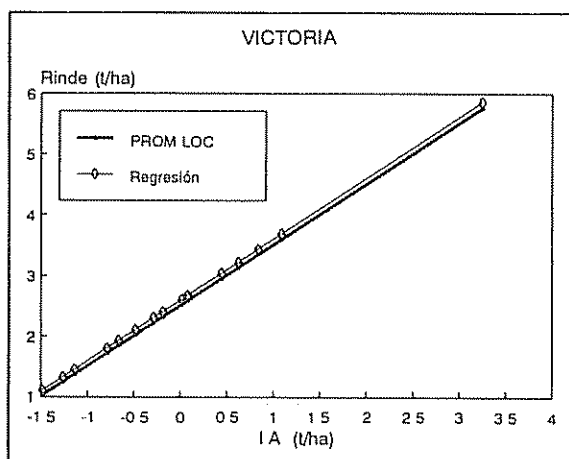


Fig. 5. Regresión del rendimiento medio del cultivar Victoria en cada localidad sobre el I.A. para esa localidad en el experimento 9 x 15 x 3.

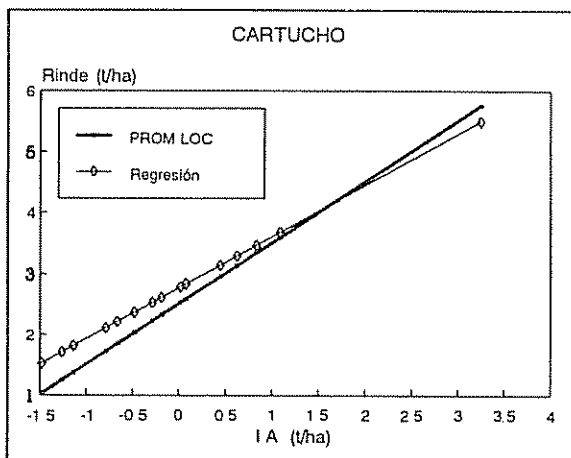


Fig. 3. Regresión del rendimiento medio del cultivar Cartucho en cada localidad sobre el I.A. para esa localidad en el experimento 9 x 15 x 3.

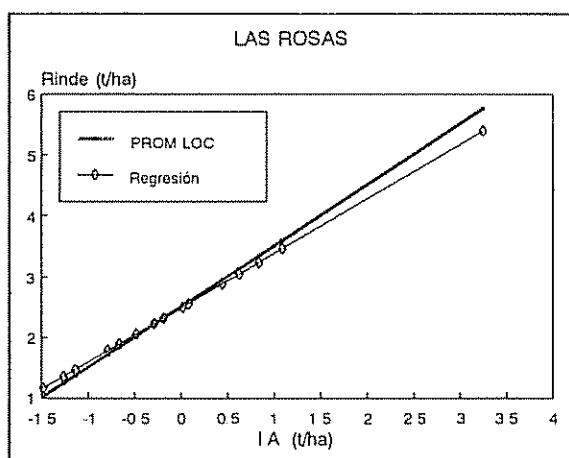


Fig. 6. Regresión del rendimiento medio del cultivar Las Rosas en cada localidad sobre el I.A. para esa localidad en el experimento 9 x 15 x 3.

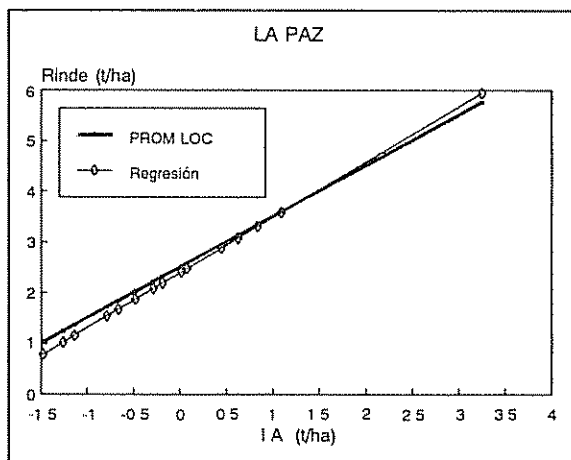


Fig. 4. Regresión del rendimiento medio del cultivar La Paz en cada localidad sobre el I.A. para esa localidad en el experimento 9 x 15 x 3.

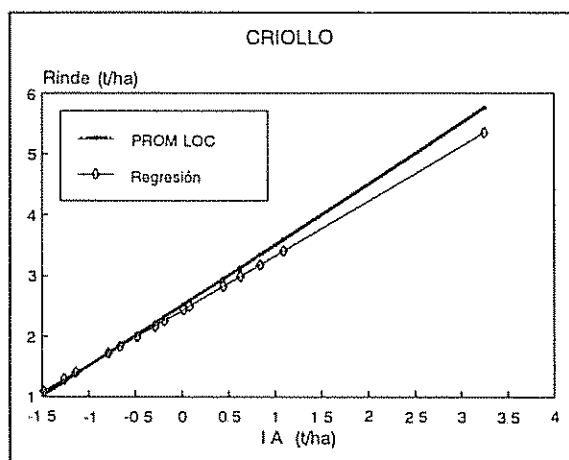


Fig. 7. Regresión del rendimiento medio del cultivar Criollo en cada localidad sobre el I.A. para esa localidad en el experimento 9 x 15 x 3.

DISCUSION

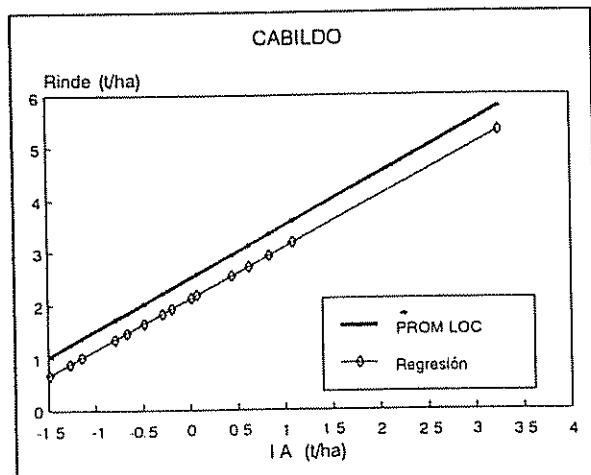


Fig. 8. Regresión del rendimiento medio del cultivar Cabildo en cada localidad sobre el I.A. para esa localidad en el experimento 9 x 15 x 3.

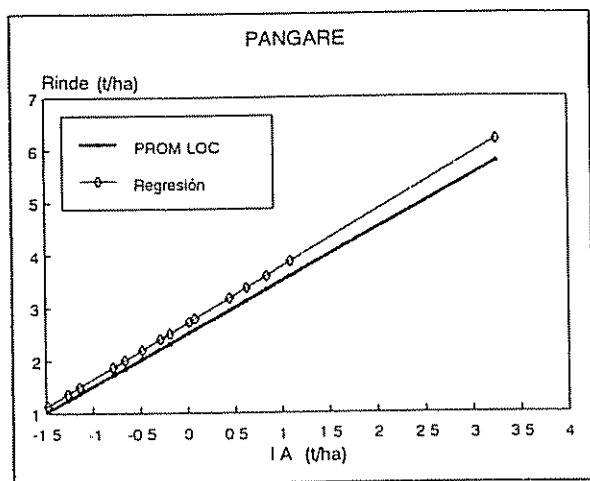


Fig. 9. Regresión del rendimiento medio del cultivar Pangaré en cada localidad sobre el I.A. para esa localidad en el experimento 9 x 15 x 3.

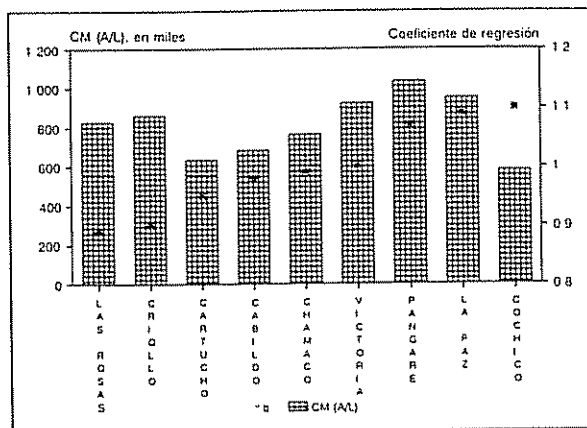


Fig. 10. Cuadrados medios de años dentro de localidades (CM (A/L)) y coeficientes de regresión de nueve cultivares de trigo pan.

Como ejemplo del uso del análisis de la estabilidad de tipo 4, se seleccionan cultivares según su coeficiente de regresión y con alta estabilidad, o sea con un valor pequeño de CM A/L en el análisis 9 x 15 x 3. En este experimento, los cultivares más promisorios fueron Cochicó y Chamaco para ambientes de alto rendimiento (alto b), y Cartucho para los de bajo rendimiento (bajo b). Según el análisis de tipo 3, y de acuerdo con los valores correspondientes de b, los cultivares que mostraron una alta capacidad de respuesta al estímulo ambiental ($b > 1$) fueron 'La Paz', 'Victoria' y 'Cochicó', aunque en relación con sus CM residuales fueron sólo relativamente estables en primeros. De acuerdo con este parámetro, Las Rosas sería el cultivar más estable. En cambio, siguiendo el concepto de estabilidad de tipo 2, los cultivares más estables serían los que tienen un $b > 1$, y 'Las Rosas', 'Criollo', 'Cabildo', 'Cartucho', 'Chamaco' y 'Pangaré', los más promisorios.

La diferencia conceptual entre el análisis de estabilidad de tipo 4 y los otros, reside en que el primero separa la variación ambiental en predecible y no predecible. Esto es importante, ya que la variación predecible puede controlarse, por ejemplo, haciendo una selección de los cultivares adaptados a localidades específicas. Puede resultar, entonces, que los cultivares seleccionados para ambientes de alto rendimiento rindan en forma oscilante con el transcurso de los años según su capacidad homeostática.

Un ejemplo lo constituye el cultivar Pangaré que tiene el mayor rendimiento medio en todos los ambientes. Según el concepto de estabilidad de tipo 2 este sería un cultivar con adaptabilidad general. Además, el concepto de estabilidad de tipo 3, si bien responde a los estímulos ambientales por el valor de su b, es uno de los cultivares más inestables de acuerdo al valor de su CM residual, y, para quienes proponen la estabilidad de tipo 4, sería el cultivar más inestable por su valor CM A/L que lo hace incapaz para enfrentar la variación impredecible. Los cultivares Cartucho y Chamaco, también, tienen valores de b muy cercanos a 1, lo mismo que los rendimientos medios relativamente altos, y presentan adaptabilidad general de acuerdo con la definición de estabilidad de tipo 2. Son, por el concepto de estabilidad de tipo 4, relativamente estables por sus valores de CM A/L, pero, 'Cartucho' estaría más adaptado a ambientes de bajos rendimientos.

'Cochicó' es el más estable por su valor de CM A/L, recomendable para ambientes de alto rendimiento según el valor de b en el análisis 9 x 15 x 3; no tiene adaptabilidad general de acuerdo con el valor de b en el análisis 9 x 45 (Finlay y Wilkinson 1963) y es uno de los más inestables según el valor de su CM residual.

El cultivar Cabildo es de tipo 2 de adaptabilidad general, por el concepto de estabilidad; también, según lo definido como estabilidad de tipo 3 (el mayor CM residual), es el más inestable y uno de los más estables según lo expuesto para estabilidad de tipo 4. No sería recomendable debido a sus bajos rendimientos.

Si bien los resultados de la regresión en los tres análisis son similares, la diferencia entre ellos es la medida de la estabilidad. Mientras algunos investigadores (Eberhart y Russell 1966; Finlay y Wilkinson 1963) utilizan un análisis de regresión sobre todos los ambientes; otros (Lin y Binnes 1988) usan un análisis de regresión sobre las localidades promediadas a través de los años, y el parámetro de estabilidad se define como el CM A/L de una parte de los datos estructuralmente independientes del análisis de regresión y de los otros genótipos del experimento.

CONCLUSIONES

Los datos utilizados en este trabajo permitieron comparar tres métodos de estabilidad (1 ó 2, 3 y 4) y observar los alcances de cada uno de ellos. Los tres métodos usan distintos parámetros para determinar si un cultivar es estable cuando se compara con otros en un experimento. Los métodos propuestos por quienes definen la estabilidad de tipo 2 y 3 son los más populares ante los numerosos trabajos publicados sobre los métodos estadísticos propuestos por ellos para estimar la estabilidad. Sin embargo, en los

últimos años se han revisado los métodos mencionados y han puesto en evidencia limitaciones en la metodología y conclusiones (Lin *et al.* 1986). La propuesta de la estabilidad de tipo 4 es pura desde el punto de vista estadístico, ya que es independiente del análisis de regresión y de los otros genótipos incluidos en la prueba. Además es interesante el parámetro que estima la estabilidad de tipo 4 para la variación impredecible, lo que también hace el s_d^2 en el análisis de estabilidad de tipo 3 (Piatti *et al.* 1985), pero con las limitaciones ya mencionadas.

LITERATURA CITADA

- BECKER, H.C. 1981 Correlations among some statistical measures of phenotypic stability. *Euphytica* 30:835-840
- EBERHART, S.A.; RUSSELL, W.A. 1966 Stability parameters for comparing varieties. *Crop Science* 6:36-40
- FINLAY, K.W.; WILKINSON, G.N. 1963 The analysis of adaptation in a plant-breeding programme. *Australian Journal of Agricultural Research* 14:342-354
- LIN, C.S.; BINNS, M.R.; LEFKOVITCH, L.P. 1986 Stability analysis: Where do we stand? *Crop Science* 26:894-900
- LIN, C.S.; BINNS, M.R. 1988. A method of analyzing cultivar x location x year experiments: A new stability parameter. *Theoretical Applied Genetics* 76:425-430.
- PERKINS, J.; JINKS, J. ¿1959? Environmental and genotype-environmental components of variability. III. Multiple lines and crosses. *Heredity* 23:339-348
- PIATTI, F.; MARIOTTI, J.; VAN BECELEARE, R.; FRUTOS, E. 1985 Respuesta al ambiente y estabilidad del rendimiento en cultivares comerciales de maíz (*Zea mays* L.). *Revista de Investigaciones Agropecuarias* 20(2):55-68.

Selección de Especies y Ecótipos de *Azolla* en Chile¹

I. Vidal*, L. Longeri*

ABSTRACT

An experiment was carried out over two years with the purpose of selecting *Azolla* species and ecotypes with the best vegetative capacity for the weather conditions of Chilean paddy fields. From 52 ecotypes, seven were selected which showed outstanding biomass production and nitrogen fixation. For a period of 15 days, the greatest growth was 130 g d.m./m², with 2 to 3 days as doubling time and 25 to 60 kg/ha of fixed nitrogen. In the Chilean paddy fields, *Azolla* grows only from October to March, coinciding with monthly average temperatures higher than 14°C and solar radiation over 400 ly/day.

RESUMEN

Se realizó una investigación durante dos años, con el propósito de seleccionar especies y ecótipos de *Azolla* con mejor adaptación a las condiciones ambientales de la zona arrocera de Chile. De 52 ecótipos estudiados, se seleccionaron siete, que destacaron por su producción de biomasa y fijación de nitrógeno. Para períodos de 15 días, los niveles máximos de producción fueron de 130 g m.s./m², con un tiempo de duplicación de dos días a tres días y 25 kg a 60 kg/ha de N fijado. En las condiciones de la zona arrocera de Chile, *Azolla* crece entre octubre y marzo, y coincide con temperaturas medias mensuales superiores a 14°C con una radiación solar sobre 400 ly por día.

Palabras clave: *Azolla*, fijación de nitrógeno, arroz, biofertilizante.

INTRODUCCION

Actualmente, la superficie sembrada con arroz en Chile supera 38 000 ha con un uso de fertilizantes nitrogenados del orden de 3.5 millones de kilogramos de N (Instituto Nacional de Estadística (Chile) 1991). Ello significa un gasto importante de divisas para adquirir fuentes nitrogenadas amoniacales importadas, como la urea, pues los fertilizantes nítricos presentan baja eficiencia por las condiciones reductoras del suelo inundado de los arrozales (Wetselaar 1979).

Ante el alto costo de la fertilización nitrogenada, se ha prestado atención al uso de la fijación biológica de dinitrógeno como alternativa a la fertilización química. *Azolla* presenta un mayor potencial de fijación que la asociación rizobioleguminosas; es capaz de desarrollarse bajo la vegetación del arroz, por lo que

ha sido identificado como posible biofertilizante para ese cultivo (Lumpkin y Plucknett 1980).

Azolla comprende especies de helechos flotantes distribuidos ampliamente en medios acuáticos de regiones tropicales y templadas. Es una de las pocas especies vasculares y le pertenecen los únicos helechos con asociación simbiótica mediante la cianobacteria fijadora de N, *Anabaena azollae* (Kumarsinghe *et al.* 1986; Lumpkin y Plucknett 1980; Van Hove 1989). Los filamentos del microsimbionte se ubican en las cavidades de los lóbulos foliares de la planta, donde se protegen del medio externo y aportan el total de N requerido por la asociación.

Se usa *Azolla* como biofertilizantes solamente en China y Vietnam. En la última década, se ha efectuado un gran número de investigaciones en países de Asia, Africa y Norteamérica y hay gran interés por su uso en Latinoamérica (Van Hove 1989).

En Chile, se ha descrito solamente la especie *A. filiculoides* Lam. y los autores del presente trabajo informan sobre su distribución, abundancia y factores nutricionales limitantes de su desarrollo (Vidal y Longeri 1990; Vidal *et al.* 1992).

¹ Recibido para publicación el 21 de julio 1992.
Parte del Proyecto 91/0356 financiado por el Fondo de Investigación Científica y Tecnológica (FONDECYT), Chile.

* Depto. de Suelos, Facultad de Agronomía. Universidad de Concepción, Casilla 537, Chillán, Chile

El objetivo del presente trabajo es seleccionar especies o ecótipos de *Azolla*, con mejor adaptación a las condiciones ambientales de la zona arrocerá del país. Con ese propósito, se ha considerado la potencialidad de su crecimiento y eficiencia en la fijación de nitrógeno.

MATERIALES Y METODOS

Se calculó el crecimiento de 52 ecótipos de *Azolla* durante el año, en las condiciones ambientales naturales que imperan en Chillán, Chile (36°34' lat.S, 72°10' long. O y a 144 msnm). Se determinó la capa-

cidad de producción de biomasa, la fijación de N y las curvas de producción durante los meses del año.

Los ecótipos fueron evaluados en dos experimentos, para los que se consideraron períodos de diciembre de 1987 a diciembre de 1988 y de mayo de 1989 a mayo de 1990, en que se efectuaron 18 cosechas en la primera temporada y 13 en la segunda.

Los ecótipos estudiados pertenecen a una colección que mantienen los autores de este artículo en el Departamento de Suelos de la Facultad de Agronomía en la Universidad de Concepción, Arg. En el Cuadro 1 se presenta cada uno de ellos con sus respectivos orígenes.

Cuadro 1. Lista de ecótipos estudiados; colección del Depto. de Suelos, Facultad de Agronomía, Universidad de Concepción.

Especie	Clave	Procedencia/origen
Temporada 1987-1988		
<i>A. pinnata</i>	UCA 170	Australia
	UCA 153	Francia, IRAT
	UCA 166	Tailandia, Bangkok
	UCA 179	Sri Lanka
<i>A. mexicana</i>	UCA 118	Brasil, Amazonas
	UCA 109	Brasil, CNPAF 9
<i>A. filiculoides</i>	UCA 131	Brasil, Paraná
	UCA 144	India
	UCA 3	Chile, VIII Región
<i>A. caroliniana</i>	UCA 6	Chile, VIII Región
	UCA 101	Filipinas (IRRI), CNPAF 1
	UCA 121	Brasil, Amazonas
<i>A. microphylla</i>	UCA 168	Paraguay
<i>A. rubra</i>	UCA 162	Nueva Zelanda
No identificada	UCA 149	México, Tabasco
	UCA 148	México, Veracruz
Temporada 1989-1990		
<i>A. pinnata</i>	UCA 145	China
	UCA 153	Francia, IRAT
<i>A. mexicana</i>	UCA 110	EE UU, U. de California
	UCA 114	EE UU, U. de California
	UCA 128	Brasil, Pará
	UCA 177	EE UU
<i>A. filiculoides</i>	UCA 7	Chile, Concepción
	UCA 8	Chile, desemb. Biobio
	UCA 11	Chile, Viña del Mar
	UCA 14	Chile, Yumbel
	UCA 16	Chile, San Nicolás
	UCA 102	CNPAF-2, CENA (IRRI)

(Cont. Cuadro 1.)

Especie	Clave	Procedencia/origen
	UCA 106	Brasil, R S., CNPAF 6
	UCA 129	Brasil, P.R., CNPAF 29
	UCA 133	Perú, CNPAF 33
	UCA 160	Perú, CNPAF 60
	UCA 178	Alemania Occ., CNPAF 78
<i>A. caroliniana</i>	UCA 103	Brasil, CENA (IRRI)
	UCA 105	Brasil, CNPAF-5, R S
	UCA 108	EE UU., CNPAF-8
	UCA 119	Brasil, Amazonas
	UCA 120	Brasil, Amazonas
	UCA 150	Brasil, Río Grande del Sur
	UCA 156	Brasil, Sta Catarina
	UCA 172	Brasil, B.A.
<i>A. microphylla</i>	UCA 1	Austria, Viena, AIEA.
	UCA 130	Brasil, P.R.
	UCA 132	Brasil, P.R.
	UCA 165	Ecudor, Galápagos, U.L.
	UCA 173	Brasil, B.A.
	UCA 174	China
<i>A. rubra</i>	UCA 162	Nueva Zelanda (U.L.)
No identificada	UCA 115	EE UU., U. de California
No identificada	UCA 146	Sonora, CNPAF-46
No identificada	UCA 154	Francia, IRAT, CNPAF 54

Las experiencias se realizaron en campo con un diseño de bloques al azar con tres repeticiones. Con este propósito se confeccionaron nueve piscinas de 2.5 m por 2.5 m y 30 cm de profundidad. Las piscinas se recubrieron en su interior con dos láminas de polietileno, para impedir la pérdida de agua, y sobre el fondo, una capa de 10 cm de suelo. Cada piscina se dividió en 16 compartimentos de 1710 cm², mediante una estructura de madera.

Estas piscinas se llenaron con agua y se fertilizaron con superfosfato triple y sulfato de potasio en dosis equivalente a 30 kg P₂O₅/ha y 20 kg K₂O/ha, respectivamente. Cada compartimento se sembró con 5 g de material fresco de cada uno de los 52 ecotipos estudiados. Después de un período variable entre 13 d y 30 d de acuerdo a la velocidad de desarrollo, se recolectó el material y se evaluó el peso húmedo, peso seco y contenido de nitrógeno. En total, para la primera temporada se efectuaron 18 cosechas y para la segunda temporada, 13 cosechas. Cabe señalar que, antes de cada siembra, se cambió el agua de las piscinas y se repitió la fertilización.

A partir de los datos de peso seco, se calculó la tasa de crecimiento relativa (TCR) de acuerdo a Ruschel (1987). Con ese fin se usó la relación:

$$TCR = \frac{\ln W_2 - \ln W_1}{T_2 - T_1}$$

Donde: W₂ = Peso seco de las plantas al tiempo final (g).

W₁ = Peso seco de las plantas al tiempo inicial (g).

T₁ = Tiempo inicial (d).

T₂ = Tiempo final (d).

El tiempo de duplicación de *Azolla* fue determinado a partir de la TCR, según la relación:

$$t = \frac{\ln 2}{TCR}$$

Cálculo de peso para periodos intermedios:

$$W_{15} = W_1 * e^{TCR * t}$$

t = tiempo predeterminado, para el caso igual a 15 días.

RESULTADOS Y DISCUSION

En los cuadros 2 y 3 se presenta el incremento de peso seco de las plantas con periodos de crecimiento de 15 d, para las temporadas 1987-1988 y 1989-1990. Del análisis de estos cuadros, se determinó un efecto diferencial en relación con los ecótipos y la época del año. En ambas temporadas, el mayor crecimiento de todas las especies ocurrió de octubre a marzo. Por el contrario, entre abril y setiembre, el desarrollo fue insignificante. Este bajo crecimiento puede atribuirse a las bajas temperaturas y, si se con-

sidera la alta frecuencia de las heladas en invierno, se concluiría que estas especies no pueden ser cultivadas durante todo el año bajo las condiciones edafoclimáticas de la zona centro-sur de Chile. No obstante, los ecótipos más resistentes a estas condiciones adversas de clima fueron UCA 3, UCA 168, UCA 105, UCA 115 y UCA 133.

La producción de biomasa difirió en cada una de las temporadas. El periodo 1987-1988 tuvo el mayor nivel de rendimiento y la máxima producción se produjo en febrero, mientras que durante 1989 ocurrió en noviembre. Esto se explica posiblemente por las precipitaciones ocurridas en la segunda temporada durante diciembre, enero y febrero, que produjeron dilución de los nutrimentos, dispersión del inóculo y posibles daños en las plantas. En efecto, durante estos meses, la precipitación sumó 67 mm, mientras que en la temporada 1987-1988, en este mismo periodo, fue de 15 milímetros.

Cuadro 2. Peso seco (g/m²) en la temporada 1987-1988 en diferentes especies y ecótipos de *Azolla* con 15 días de crecimiento (media de tres repeticiones).

Especie/ecótipo	Dic.	Enero	Feb.	Marzo	Abril	Mayo
g/m ² /15 d						
<i>A. pinnata</i>						
UCA 170	9.65	35.82	53.72	28.34	1.71	2.31
UCA 153	69.32	100.12	135.48	101.68	0.79	1.63
UCA 166	74.87	46.73	49.94	23.44	0.44	1.22
UCA 179	44.57	47.20	48.77	41.19	0.71	0.24
<i>A. mexicana</i>						
UCA 118	92.97	51.38	70.73	48.68	1.23	2.79
UCA 109	77.87	86.45	102.55	79.09	0.98	2.92
<i>A. filiculoides</i>						
UCA 131	64.41	51.88	60.24	42.78	1.02	1.89
UCA 144	38.73	70.70	82.12	47.08	1.31	3.40
UCA 3	23.97	66.11	59.54	25.68	2.63	6.41
UCA 6	58.00	99.11	99.25	99.48	2.66	3.59
<i>A. caroliniana</i>						
UCA 101	39.37	70.45	77.32	50.67	0.90	3.62
UCA 121	81.34	57.28	58.97	46.88	2.63	2.99
<i>A. microphylla</i>						
UCA 168	113.18	40.74	58.36	138.70	1.46	3.76

(Cont. Cuadro 2.)

Especie/ecótipo	Dic.	Enero	Feb.	Marzo	Abril	Mayo
6/m ² /15 d						
<i>A. rubra</i>						
UCA 162	142.42	83.64	136.48	58.60	0.53	0.97
No identificada						
UCA 148	59.12	84.91	86.97	95.86	0.65	1.09
UCA 149	100.22	49.99	74.30	54.88	0.35	3.41
Media	66.38	64.55	77.57	59.94	1.21	2.55
Especie/ecótipo	Julio	Agosto	Set.	Oct.	Nov.	Dic.
6/m ² /15 días						
<i>A. pinnata</i>						
UCA 170	1.70	2.68	2.70	27.58	42.39	51.60
UCA 153	1.75	2.24	2.76	34.51	45.50	73.97
UCA 166						
UCA 179						
<i>A. mexicana</i>						
UCA 118		2.86	3.44	25.95	36.44	69.88
UCA 109			2.27	38.52	47.87	77.41
<i>A. filiculoides</i>						
UCA 131	2.33	3.55	3.21	42.24	43.65	62.77
UCA 144	1.70	2.33	2.10	34.94	29.86	31.95
UCA 3	2.29	2.78	2.38	43.48	45.74	50.02
UCA 6	1.89		2.56	45.10	47.01	72.41
<i>A. caroliniana</i>						
UCA 101	2.29	2.96	2.86	41.13	45.40	52.76
UCA 121	2.13		2.76	22.92	34.81	55.16
<i>A. microphylla</i>						
UCA 168	1.98	2.66	3.71	41.69	39.69	48.13
<i>A. rubra</i>						
UCA 162		2.06	2.86	45.58	60.17	87.52
No identificada						
UCA 148		2.49	2.70	18.42	40.18	64.99
UCA 149		2.37	2.49	30.93	40.92	56.77
Media	2.03	2.65	2.78	35.29	42.87	61.10

Nota: Espacios en blanco no tienen evaluación por muerte de la planta en período invernal.

Cuadro 3. Peso seco (6/m²) en la temporada 1989-1990 en diferentes especies y ecótipos de *Azolla* con 15 días de crecimiento en diferentes épocas del año (media de tres repeticiones).

Especie/ecótipo	Junio	Julio	Agosto	Set.	Oct.	Nov.
6/m ² /15 días						
<i>A. pinnata</i>						
UCA 145	2.87	1.61	2.89	2.29	13.54	22.25
UCA 153	1.72	1.14	2.26	2.29	16.49	21.13
<i>A. mexicana</i>						
UCA 110	2.59	1.94	2.19	2.02	19.47	58.60
UCA 114	1.36	0.29	0.72	2.51	11.53	23.65
UCA 128	2.38	0.91	2.32	1.84	10.83	34.14
UCA 177	2.74	1.51	2.48	4.03	17.01	28.95
<i>A. filiculoides</i>						
UCA 102	2.55	1.31	1.76	4.83	18.75	54.06
UCA 106	1.70	1.82	2.15	2.95	23.48	60.78
UCA 129	3.03	1.76	2.64	2.41	19.33	48.00
UCA 133	3.37	2.58	2.83	4.62	18.81	37.55
UCA 160	2.52	2.18	2.99	3.06	18.06	31.59
UCA 178	2.62	1.29	3.19	4.44	16.36	27.75
UCA 5	3.00	0.72	3.18	4.76	17.09	27.33
UCA 7	2.81	0.53	2.40	4.72	19.45	32.80
UCA 8	2.87	0.52	1.82	3.64	17.84	26.44
UCA 11	2.61	1.10	1.81	3.48	18.48	38.62
UCA 14	2.86	1.93	3.32	4.07	18.02	36.18
UCA 16	2.82	1.40	3.33	3.88	15.04	40.16
<i>A. caroliniana</i>						
UCA 103	2.36	2.44	2.53	2.23	12.43	34.25
UCA 105	3.87	2.79	3.45	4.59	18.20	37.05
UCA 108	2.92	2.44	2.86	4.05	16.82	32.74
UCA 119	2.34	2.60	2.46	2.23	14.10	27.81
UCA 120	2.31	2.43	2.26	2.49	14.67	45.63
UCA 150	2.81	2.75	3.41	4.40	19.86	29.72
UCA 156	2.86	2.33	2.14	2.46	25.07	46.41
UCA 172	2.31	1.02	2.75	2.55	13.13	28.07
<i>A. microphylla</i>						
UCA 130	2.53	1.46	2.00	2.39	17.47	54.91
UCA 132	3.35	2.26	3.08	4.27	18.82	38.61
UCA 165	1.90	1.28	1.91	1.98	17.38	27.17
UCA 173	1.93	0.95	2.27	2.24	17.00	20.31
UCA 174	1.39	0.66	2.18	2.67	16.67	28.97
UCA 1	2.52	0.77	2.20	2.24	19.93	12.31
<i>A. rubra</i>						
UCA 162	1.60	0.50	1.21	1.83	21.90	87.31
No identificadas						
UCA 115	3.64	2.63	3.21	4.47	17.16	48.19
UCA 146	2.59	1.06	2.57	2.72	13.77	11.71
UCA 154	2.51	2.40	2.93	3.22	18.99	18.60
Media	2.56	1.59	2.49	3.19	17.30	35.55

(Cont. Cuadro 3.)

Espece/ecótipo	Dic.	Enero	Feb.	Marzo	Abril
	6/m ² /15 días				
<i>A. pinnata</i>					
UCA 145	14.78	19.98	7.84	4.84	3.81
UCA 153	19.99	21.44	12.04	8.69	5.50
<i>A. mexicana</i>					
UCA 110	28.41	25.26	14.80	10.98	7.02
UCA 114	8.58	6.21	6.54	3.40	2.17
UCA 128	24.73	15.25	13.30	9.85	6.91
UCA 177	11.08	12.25	13.44	6.86	4.97
<i>A. filiculoides</i>					
UCA 102	26.98	20.82	17.18	9.67	5.07
UCA 106	24.75	27.10	13.14	10.78	4.34
UCA 129	26.62	29.46	14.63	11.88	5.96
UCA 133	25.49	20.68	16.02	9.67	6.61
UCA 160	21.39	14.08	13.43	7.11	4.26
UCA 178	12.68	9.77	16.93	7.23	4.95
UCA 5	11.02	10.98	17.56	7.01	4.18
UCA 7	12.35	11.27	14.09	7.65	5.25
UCA 8	13.31	9.62	15.67	7.45	4.53
UCA 11	12.70	10.68	13.31	6.83	3.84
UCA 14	12.02	7.29	12.33	7.12	4.08
UCA 16	15.55	6.89	12.03	6.17	4.51
<i>A. caroliniana</i>					
UCA 103	19.73	15.84	9.37	7.86	4.38
UCA 105	18.97	11.58	11.19	11.22	6.52
UCA 108	19.58	12.96	11.72	8.04	6.11
UCA 119	21.77	20.75	10.59	8.84	5.66
UCA 120	21.81	17.18	9.00	7.29	5.22
UCA 150	22.03	19.10	14.91	8.62	5.90
UCA 156	25.67	24.10	16.74	11.77	5.60
UCA 172	22.25	20.27	11.30	9.52	4.40
<i>A. microphylla</i>					
UCA 130	30.52	20.71	17.42	10.31	6.03
UCA 132	22.59	18.71	13.14	10.05	6.04
UCA 165	24.04	22.67	12.44	7.71	5.27
UCA 173	17.41	22.55	12.21	6.79	3.10
UCA 174	21.61	26.48	13.18	8.69	5.62
UCA 1	23.90	25.82	15.50	9.16	4.77
<i>A. rubra</i>					
UCA 162	19.13	12.31	8.67	8.80	4.23
No identificadas					
UCA 115	23.90	14.81	11.71	9.72	8.36
UCA 146	15.12	16.55	10.62	5.72	4.04
UCA 154	20.02	22.73	13.55	8.53	4.25
Media	19.79	17.34	12.99	8.38	5.04

Las mayores producciones de peso seco en las diferentes épocas de la temporada 1987-1988, se obtuvieron con los ecótipos UCA 162, UCA 109, UCA 6 y UCA 153. Durante la siguiente temporada destacaron UCA 106, UCA 110, UCA 156, UCA 162, UCA 130, UCA 129 y UCA 102. Todos presentaron una producción superior a un 25% sobre la media general. Los niveles de producción de biomasa alcanzaron valores máximos del orden de 130 g p.s./m²/15 d, que corresponde aproximadamente a 25 t/ha de materia verde en dicho período.

De acuerdo con lo anterior, se infiere que los ecótipos nativos, en general, mostraron un bajo poten-

cial de crecimiento, puesto que solamente destacó el ecótipo UCA 6, procedente de la VIII Región de Chile. Este tuvo un crecimiento máximo de 99 g/m²/15 d (20 t/ha de materia verde).

Es importante considerar que las variables climáticas (Cuadro 4), especialmente la temperatura media mensual y la radiación solar, presentaron una correlación altamente significativa con la producción de biomasa ($r=0.79^{**}$ y $r=0.73^{**}$, respectivamente). En efecto, el desarrollo de *Azolla* es inhibido notablemente por las temperaturas medias mensuales inferiores a 14°C y la radiación solar inferior a 400 ly por día.

Cuadro 4. Información climática de los períodos de desarrollo de *Azolla* y su correlación con las variables peso seco y fijación de nitrógeno.

Meses	T°media (°C)	T°máx. (°C)	T°mín. (°C)	Precipitación (mm)	Rad. solar (ly/día)
Temporada 1987-1988					
Dic. 1987	18.3	26.8	9.9	0.0	589
Enero 1988	19.2	28.6	9.9	15.5	547
Feb. 1988	21.2	31.0	11.4	0.0	504
Marzo 1988	17.7	25.4	10.1	49.3	346
Abril 1988	13.2	20.2	6.3	26.6	240
Mayo 1988	9.2	15.3	3.2	72.0	165
Junio 1988	8.8	13.0	4.7	191.3	78
Julio 1988	6.8	11.6	2.0	149.3	64
Ago. 1988	8.5	12.7	4.4	244.4	105
Set. 1988	10.3	16.6	4.1	90.2	253
Oct. 1988	12.5	19.8	5.3	27.2	418
Nov. 1988	16.6	24.3	8.9	33.8	446
Dic. 1988	18.5	26.8	10.3	10.1	494
Temporada 1989-1990					
Junio 1989	9.4	12.8	6.0	236.1	92
Julio 1989	8.2	13.0	3.5	184.3	106
Ago. 1989	8.8	14.0	3.6	119.7	184
Set. 1989	11.0	17.6	4.5	44.6	343
Oct. 1989	13.7	21.1	6.3	17.2	405
Nov. 1989	17.0	25.0	9.0	0.5	543
Dic. 1989	18.3	25.9	10.7	42.3	524
Enero 1990	20.3	29.1	11.5	7.8	527
Feb. 1990	20.1	28.1	10.2	16.9	455
Marzo 1990	16.8	25.2	8.5	103.2	360
Abril 1990	13.4	19.2	7.7	40.8	239
Coeficiente de correlación (r)					
Peso seco	0.79**	0.75**	0.71**	-0.59**	0.73**
N fijado	0.79**	0.76**	0.71**	-0.61**	0.75**

** Significativo $P < 0.01$

Diversos investigadores han indicado intervalos de temperatura según la especie de *Azolla*, en la cual se obtiene el mejor desarrollo. Los valores reportados por Becking (1979) y Tuan y Thuyet (1979) corroboraron los resultados del presente estudio. Ellos indican temperaturas óptimas de 16°C a 20°C como favorables para el crecimiento vegetativo de *Azolla* sp. y *A. pinnata*. Sin embargo, estos resultados difieren lo indicado por Watanabe *et al.* (1977) de que las temperaturas óptimas van en un rango de 25°C - 30 grados centígrados.

Es importante señalar que los factores ambientales no sólo actúan en forma independiente, igual que en todas las plantas verdes, sino que hay interacciones importantes entre ellos. Así, la respuesta a la temperatura varía con la intensidad de luz dentro de ciertos

límites. Luz y temperatura tienen un efecto complementario y directo sobre el crecimiento y la actividad de la enzima nitrogenasa.

En los cuadros 5 y 6 se presentan el tiempo de duplicación de los ecotipos en las dos temporadas. Se observa que los resultados obtenidos manifiestan la misma tendencia que los expuestos anteriormente, puesto que este factor se determina en función del peso. En general, a partir de octubre, se dio una disminución considerable en el tiempo de duplicación, que fue entre 2 d y 3 d para aquellos ecotipos con alto potencial productivo. La segunda temporada de evaluación presentó tiempos de duplicación más prolongados; solamente noviembre se destacó con tiempos de duplicación del orden de 3 d y fue el único mes que no registró precipitación.

Cuadro 5. Tiempo de duplicación en la temporada 1987-1988 en diferentes especies y ecotipos de *Azolla*. (media de tres repeticiones).

Especie/ecotipo	Dic.	Enero	Feb.	Marzo	Abril	Mayo
Tiempo de duplicación en días (d)						
<i>A. pinnata</i>						
UCA 170	6.10	3.45	3.04	3.74		37.98
UCA 153	2.83	2.57	2.39	2.56		
UCA 166	2.77	3.17	3.10	4.01		
UCA 179	3.21	3.16	3.13	3.29		
<i>A. mexicana</i>						
UCA 118	2.62	3.08	2.81	3.13		22.38
UCA 109	2.74	2.67	2.56	2.73		20.35
<i>A. filiculoides</i>						
UCA 131	2.89	3.07	2.94	3.26		142.31
UCA 144	3.36	2.81	2.70	3.16		15.74
UCA 3	3.98	2.86	2.95	3.87	25.73	8.03
UCA 6	2.97	2.58	2.58	2.57	24.97	14.55
<i>A. caroliniana</i>						
UCA 101	3.34	2.82	2.75	3.09		14.35
UCA 121	2.71	2.98	2.96	3.16	25.73	19.49
<i>A. microphylla</i>						
UCA 168	2.50	3.31	2.97	2.38		13.64
<i>A. rubra</i>						
UCA 162	2.36	2.69	2.39	2.96		
No identificada						
UCA 148	2.96	2.68	2.66	2.60		
UCA 149	2.57	3.10	2.78	3.02		15.62
Media	3.12	2.94	2.79	3.10	25.47	29.49

(Cont. Cuadro 5.)

Especie/ecótipo	Julio	Agosto	Set.	Oct.	Nov.	Dic.
Tiempo de duplicación en día						
<i>A. pinnata</i>						
UCA 170		24.44	24.05	3.77	3.26	3.07
UCA 153		42.64	23.01	3.49	3.19	2.78
UCA 166						
UCA 179						
<i>A. mexicana</i>						
UCA 118		21.22	15.47	3.86	3.43	2.82
UCA 109			40.58	3.37	3.14	2.75
<i>A. filiculoides</i>						
UCA 131	36.38	14.75	17.19	3.27	3.23	2.91
UCA 144		36.56	58.00	3.48	3.67	3.58
UCA 3	38.72	22.57	34.22	3.24	3.19	3.10
UCA 6	138.76		27.53	3.20	3.16	2.79
<i>A. caroliniana</i>						
UCA 101	39.24	19.92	21.23	3.30	3.20	3.05
UCA 121	52.97		23.01	4.05	3.48	3.02
<i>A. microphylla</i>						
UCA 168	86.23	24.97	13.90	3.28	3.33	3.14
<i>A. rubra</i>						
UCA 162		64.58	21.23	3.19	2.94	2.66
No identificada						
UCA 148		29.82	24.05	4.42	3.32	2.88
UCA 149		34.53	29.80	3.62	3.30	2.99
Media	65.38	30.55	26.66	3.54	3.28	2.97

Nota: Espacios en blanco corresponden a períodos sin crecimiento de la planta por muerte en el período invernal.

Cuadro 6. Tiempo de duplicación (d) en la temporada 1989-1990 en diferentes especies y ecótipos de *Azolla* (media de tres repeticiones).

Especie/ecótipo	Junio	Julio	Agosto	Set.	Oct.	Nov.
Tiempo de duplicación en días (d)						
<i>A. pinnata</i>						
UCA 145	21.18	24.64	17.20	16.68	5.09	3.59
UCA 153		134.54	21.89	21.27	4.64	3.05
<i>A. mexicana</i>						
UCA 110	26.78	41.72	46.90	42.03	4.32	2.79
UCA 114	31.71		14.51	17.94	5.52	3.68
UCA 128	34.04	284.76	37.13	67.87	5.71	3.26
UCA 177	23.37	19.11	12.16	11.09	4.58	2.80

(Cont. Cuadro 6.)

Especie/ecótipo	Junio	Julio	Agosto	Set.	Oct.	Nov.
Tiempo de duplicación en días (d)						
<i>A. filiculoides</i>						
UCA 102	21.68	16.61	11.28	10.27	4.39	2.85
UCA 106	32.24	26.27	33.51	20.02	4.01	2.76
UCA 129	19.05	28.78	25.34	24.57	4.33	2.94
UCA 133	15.95	26.93	17.86	10.74	4.38	3.16
UCA 160	28.68	32.12	16.32	11.40	4.46	3.34
UCA 178	26.01	17.04	12.65	11.21	4.66	2.83
UCA 5	19.39	14.54	12.69	10.41	4.57	2.84
UCA 7	22.10	25.39	12.64	8.58	4.32	2.87
UCA 8	21.13		14.22	10.91	4.48	2.87
UCA 11	26.16		14.34	11.43	4.42	3.02
UCA 14	21.31	23.03	14.00	12.36	4.46	2.94
UCA 16	21.85	10.66	13.92	13.10	4.84	2.98
<i>A. caroliniana</i>						
UCA 103	34.92	31.71	28.27	42.99	5.31	3.50
UCA 105	13.16	18.24	15.40	10.82	4.44	3.18
UCA 108	20.37	21.20	17.55	12.43	4.60	3.30
UCA 119	36.18	26.54	30.82	43.33	4.99	3.48
UCA 120	37.61	31.99	40.84	29.67	4.90	3.19
UCA 150	22.04	23.11	15.66	11.30	4.29	3.41
UCA 156	21.31	26.63	52.80	14.98	3.91	2.97
UCA 172	37.58		23.21	21.65	5.17	3.17
<i>A. microphylla</i>						
UCA 130	28.44	60.26	78.95	25.09	4.52	2.84
UCA 132	16.05	29.04	18.47	11.69	4.38	3.14
UCA 165	130.76		122.71	30.37	4.53	3.20
UCA 173	109.12	133.96	21.72	42.45	4.58	3.71
UCA 174		46.15	18.16	24.79	4.62	2.79
UCA 1	28.64	27.58	23.21	42.42	4.28	2.92
<i>A. rubra</i>						
UCA 162				39.08	4.12	2.66
No identificada						
UCA 115	14.22	20.37	17.17	11.12	4.56	3.14
UCA 146	26.82	25.31	21.42	13.07	5.05	3.69
UCA 154	22.44	24.91	16.83	12.54	4.37	3.17
Especie/ecótipo	Dic.	Enero	Feb.	Marzo	Abril	
Tiempo de duplicación en días (d)						
<i>A. pinnata</i>						
UCA 145	4.42	4.10	5.75	7.58	9.19	
UCA 153	3.91	4.04	4.65	5.44	7.15	

(Cont. Cuadro 6.)

Especie/ecótipo	Dic.	Enero	Feb.	Marzo	Abril
Tiempo de duplicación en días (d)					
<i>A. mexicana</i>					
UCA 110	3.55	4.23	4.80	5.36	7.68
UCA 114	5.09	6.23	4.83	8.05	11.46
UCA 128	3.98	5.25	5.22	6.02	8.15
UCA 177	4.52	4.89	4.26	5.38	6.46
<i>A. filiculoides</i>					
UCA 102	3.94	3.91	4.62	5.62	7.84
UCA 106	3.83	4.02	4.99	5.83	9.21
UCA 129	3.53	3.86	4.75	5.34	8.27
UCA 133	3.69	4.21	4.42	6.09	7.45
UCA 160	3.58	4.91	3.32	5.60	6.03
UCA 178	4.27	5.24	3.67	5.55	7.20
UCA 5	4.11	4.75	3.98	5.64	7.85
UCA 7	4.13	4.79	4.01	5.24	6.92
UCA 8	4.19	5.17	4.38	5.62	6.86
UCA 11	3.99	5.02	4.19	5.56	7.69
UCA 14	4.46	6.31	4.69	5.92	6.76
UCA 16	4.40	7.24	4.84	6.82	9.23
<i>A. caroliniana</i>					
UCA 103	3.87	4.07	5.00	6.33	10.57
UCA 105	4.06	6.60	5.41	5.70	7.72
UCA 108	4.25	5.90	5.38	6.68	9.02
UCA 119	3.85	4.27	5.46	6.17	7.91
UCA 120	3.61	4.36	5.10	5.84	7.42
UCA 150	3.72	4.54	4.55	5.86	8.11
UCA 156	3.58	4.22	4.33	5.56	6.85
UCA 172	3.65	4.25	4.17	5.91	7.27
<i>A. microphylla</i>					
UCA 130	3.51	3.86	4.26	5.87	8.19
UCA 132	3.91	4.45	4.82	5.84	7.13
UCA 165	3.66	4.17	4.21	5.81	7.14
UCA 173	3.92	3.57	4.24	5.91	10.14
UCA 174	3.86	3.83	4.56	5.57	7.72
UCA 1	3.56	3.31	3.79	4.93	7.14
<i>A. rubra</i>					
UCA 162	3.65	4.51	4.27	5.54	8.09
No identificadas					
UCA 115	3.98	5.41	5.29	6.19	8.08
UCA 146	4.22	4.84	5.03	6.97	9.09
UCA 154	4.03	4.32	4.50	6.03	7.16

Con respecto a la fijación de N en los diferentes ecótipos (cuadros 7 y 8), UCA 162 (*A. rubra*, procedente de Nueva Zelanda) destacó notablemente con potenciales de fijación de 66 kg N/ha y 43 kg N/ha en períodos de 15 d para la primera y la segunda temporadas, respectivamente. Estos niveles de acumulación de N ocurrieron en los meses de febrero 1988 y noviembre de 1989.

Otros ecótipos sobresalientes de la primera temporada fueron UCA 153 (*A. pinnata*, Francia), UCA 6

(*A. filiculoides*, Chile) y UCA 109 (*A. mexicana*, Bra.) que presentaron fijaciones en el rango de 40 kg N/ha/15 d - 60 kg N/ha/15 días (febrero 1988). De las especies evaluadas en 1989, fueron más eficientes los ecótipos UCA 106 (*A. filiculoides*, Bra.), UCA 110 (*A. mexicana*, EE.UU.) y UCA 102 (*A. filiculoides*, Filipinas), con una fijación entre 25 kg N/ha/15 d a 30 kg N/ha/15 d (noviembre 1989). Debe señalarse que de las especies nombradas sólo es originario de Chile el ecótipo UCA 6.

Cuadro 7. Nitrógeno fijado (kg/ha) en la temporada 1987-1988 en diferentes especies y ecótipos de *Azolla* con 15 días de crecimiento en diferentes épocas del año (media de tres repeticiones).

Especie/ecótipo	Dic.	Enero	Feb.	Marzo	Abril	Mayo
kg N/ha/15 d						
<i>A. pinnata</i>						
UCA 170	3.30	12.47	19.77	6.80	0.61	0.72
UCA 153	29.88	45.06	59.61	23.18	0.30	0.47
UCA 166	19.84	16.78	20.07	7.71	0.19	0.41
UCA 179	11.86	16.99	19.02	10.50	0.30	0.07
<i>A. mexicana</i>						
UCA 118	34.58	19.52	26.24	14.65	0.43	0.75
UCA 109	24.61	37.08	40.71	21.99	0.34	0.71
<i>A. filiculoides</i>						
UCA 131	22.93	21.63	24.04	15.10	0.43	0.63
UCA 144	13.24	33.37	36.54	19.68	0.47	1.03
UCA 3	9.23	22.48	25.07	9.81	0.83	1.95
UCA 6	20.30	42.82	43.97	27.46	1.09	1.22
<i>A. caroliniana</i>						
UCA 101	14.29	30.43	32.86	16.32	0.35	1.15
UCA 121	30.10	20.45	22.00	14.53	0.93	0.84
<i>A. microphylla</i>						
UCA 168	40.07	17.48	24.92	31.90	0.56	1.09
<i>A. rubra</i>						
UCA 162	56.54	41.32	65.92	18.58	0.18	0.30
No identificada						
UCA 148	20.63	33.79	34.96	21.86	0.21	0.29
UCA 149	29.57	18.90	31.28	16.63	0.13	1.04
Media	23.81	26.91	32.94	17.29	0.46	0.79

(Cont. Cuadro 7)

Especie/ecótipo	Julio	Agosto	Set.	Oct.	Nov.	Dic.
kg N/ha/15 días						
<i>A. pinnata</i>						
UCA 170	0.44	0.75	0.81	10.16	15.06	19.37
UCA 153	0.46	0.60	1.06	14.06	19.35	33.04
UCA 166						
UCA 179						
<i>A. mexicana</i>						
UCA 118	0.00	0.78	0.77	8.87	13.60	29.30
UCA 109	0.00	0.00	0.66	15.11	19.27	31.94
<i>A. filiculoides</i>						
UCA 131	0.65	1.10	1.08	18.16	18.01	26.57
UCA 144	0.42	0.81	1.11	15.83	13.13	12.35
UCA 3	0.57	0.75	0.97	19.15	20.37	20.56
UCA 6	0.47	0.00	1.04	20.97	21.55	30.97
<i>A. caroliniana</i>						
UCA 101	0.57	0.97	1.18	18.99	19.78	22.70
UCA 121	0.53		0.62	7.32	13.02	22.12
<i>A. microphylla</i>						
UCA 168	0.49	0.92	1.28	18.94	17.26	20.62
<i>A. rubra</i>						
UCA 162	0.00	0.67	0.99	20.21	28.98	41.75
No identificada						
UCA 148	0.00	0.58	0.60	6.40	15.56	25.93
UCA 149	0.00	0.56	0.80	11.47	15.24	22.52
Media	0.33	0.71	0.93	14.69	17.87	25.70

Cuadro 8. Nitrógeno fijado (kg/ha) en la temporada 1989-1990 en diferentes especies y ecótipos de *Azolla* con 15 días de crecimiento en diferentes épocas del año (media de tres repeticiones).

Especie/ecótipo	Junio	Julio	Agosto	Set.	Oct.	Nov.
kg/ha/15 d						
<i>A. pinnata</i>						
UCA 145	0.68	0.40	0.72	0.67	5.98	9.71
UCA 153	0.45	0.30	0.48	0.58	6.54	10.06
<i>A. mexicana</i>						
UCA 110	0.59	0.49	0.52	0.51	8.06	25.55
UCA 114	0.39	0.07	0.17	0.74	5.47	10.78

(Cont. Cuadro 8)

Especie/ecótipo	Junio	Julio	Agosto	Set.	Oct.	Nov.
kg/ha/15 d						
UCA 128	0.54	0.24	0.57	0.42	3.86	12.53
UCA 177	0.76	0.38	0.64	1.34	7.24	11.64
<i>A. filiculoides</i>						
UCA 102	0.76	0.35	0.54	1.54	8.37	25.34
UCA 106	0.44	0.47	0.54	0.89	11.32	27.77
UCA 129	0.68	0.45	0.66	0.58	8.45	20.75
UCA 133	0.85	0.58	0.69	1.35	8.87	16.37
UCA 160	0.53	0.50	0.63	0.69	8.24	13.36
UCA 178	0.72	0.36	0.89	1.41	6.83	12.64
UCA 5	0.75	0.19	0.82	1.53	7.05	12.29
UCA 7	0.69	0.14	0.63	1.57	7.82	14.37
UCA 8	0.71	0.14	0.51	1.15	7.24	12.27
UCA 11	0.67	0.29	0.51	1.21	8.84	17.10
UCA 14	0.73	0.46	0.80	1.33	7.81	17.16
UCA 16	0.62	0.33	0.78	1.15	6.35	18.73
<i>A. caroliniana</i>						
UCA 103	0.49	0.64	0.66	0.46	4.74	14.18
UCA 105	1.01	0.67	0.85	1.48	8.43	16.15
UCA 108	0.77	0.63	0.74	1.24	7.32	14.31
UCA 119	0.47	0.69	0.61	0.47	5.23	11.16
UCA 120	0.47	0.65	0.55	0.55	6.16	18.51
UCA 150	0.68	0.68	0.86	1.31	8.77	12.76
UCA 156	0.52	0.48	0.34	0.68	11.03	19.82
UCA 172	0.44	0.25	0.60	0.62	5.08	11.84
<i>A. microphylla</i>						
UCA 130	0.55	0.33	0.46	0.57	7.01	22.57
UCA 132	0.88	0.52	0.73	1.21	8.42	16.39
UCA 165	0.37	0.30	0.39	0.43	6.80	11.06
UCA 173	0.41	0.24	0.54	0.51	6.69	8.25
UCA 174	0.33	0.15	0.40	0.72	6.79	11.90
UCA 1	0.58	0.20	0.41	0.48	7.85	5.87
<i>A. rubra</i>						
UCA 162	0.40	0.13	0.30	0.52	9.80	42.64
No identificadas						
UCA 115	0.91	0.66	0.86	1.42	7.59	20.58
UCA 146	0.62	0.23	0.50	0.73	6.21	5.22
UCA 154	0.61	0.58	0.72	0.90	8.29	8.41
Media	0.61	0.39	0.60	0.92	7.38	15.56
Especie/ecótipo	Dic.	Enero	Feb.	Marzo	Abril	
kg/ha/15 d						
<i>A. pinnata</i>						
UCA 145	6.68	8.70	3.25	1.90	1.40	
UCA 153	8.67	7.92	4.85	3.28	1.98	

(Cont. Cuadro 8)

Especie/ecótipo	Dic.	Enero	Feb.	Marzo	Abril
	kg/ha/15 d				
<i>A. mexicana</i>					
UCA 110	12.42	10.49		3.72	2.44
UCA 114	4.09	2.42	2.64	1.26	0.72
UCA 128	10.02	6.13	4.57	3.38	2.05
UCA 177	5.07	4.37	5.82	2.55	1.78
<i>A. filiculoides</i>					
UCA 102	13.20	7.63	6.80	3.45	1.86
UCA 106	11.68	11.68	5.05	4.15	1.58
UCA 129	12.63	12.37	5.36	4.49	1.87
UCA 133	11.75	8.01	6.30	3.75	2.25
UCA 160	9.33	5.58	5.07	2.64	1.47
UCA 178	5.75	3.14	6.57	2.73	1.62
UCA 5	5.18	3.91	7.23	2.61	1.40
UCA 7	5.70	4.10	5.61	2.89	1.82
UCA 8	6.11	3.49	6.44	2.88	1.54
UCA 11	5.82	3.93	5.68	2.68	1.36
UCA 14	5.66	2.85	5.33	2.83	1.38
UCA 16	6.79	2.83	4.88	2.44	1.34
<i>A. caroliniana</i>					
UCA 103	8.41	5.96	3.24	2.54	1.32
UCA 105	8.34	4.77	4.36	4.12	2.35
UCA 108	9.22	5.40	2.92	2.23	
UCA 119	9.08	8.33	3.42	3.05	1.61
UCA 120	9.76	6.23	3.08	2.58	1.58
UCA 150	9.90	7.12	5.95	3.17	2.03
UCA 156	11.65	10.35	6.36	4.43	1.76
UCA 172	10.10	7.88	4.15	3.56	1.38
<i>A. microphylla</i>					
UCA 130	13.81	8.60	6.04	3.71	1.99
UCA 132	9.93	7.28	4.93	3.84	2.05
UCA 165	10.21	9.26	4.90	2.96	1.60
UCA 173	7.60	9.26	4.48	2.34	1.02
UCA 174	9.44	9.75	5.16	3.29	1.98
UCA I	10.04	9.45	5.60	3.42	1.54
<i>A. rubra</i>					
UCA 162	8.81	5.09	3.88	3.61	1.58
No identificadas					
UCA 115	10.35	5.52	4.52	3.59	2.29
UCA 146	6.96	6.64	4.08	2.26	1.40
UCA 154	9.56	9.45	5.36	3.15	1.53
Promedio 8.88	6.83	5.03	3.12	1.70	

De acuerdo a lo expuesto precedentemente, se infiere que la utilización práctica de este helecho como aporte de N a suelos arroceros, sería posible bajo las condiciones climáticas del presente estudio y con el crecimiento simultáneo de *Azolla* y arroz, puesto que en Chile estas dos especies son coincidentes en su período de desarrollo. En efecto, la inoculación previa del helecho y su posterior incorporación al suelo del arrozal no serían factibles, pues el arroz se siembra en el mes de octubre y en ese período la fijación de N de *Azolla* no es significativa. Así, el efecto benéfico del helecho como aporte de N y materia orgánica actuaría fundamentalmente sobre los cultivos siguientes en la rotación y mejoraría el nivel de fertilidad del suelo y sus propiedades físicas.

CONCLUSIONES

De acuerdo con los resultados obtenidos en este estudio se puede concluir lo siguiente:

- El mayor crecimiento de las especies de *Azolla* bajo las condiciones edafoclimáticas de la zona arrocera de Chile (36°34' lat S y 72°06' long. O) ocurre en el período de octubre a marzo. Por el contrario, entre abril y setiembre el desarrollo es insignificante.
- Los máximos niveles de producción de biomasa se produjeron en la primera temporada, durante el mes de febrero, cuando se alcanzaron valores de 130 g m.s./m²/15 días. El tiempo de duplicación fue de 2 a 3 d y la fijación de N, para los mejores ecótipos, fue de 50 kg/ha - 60 kg/ha en ese período.
- El desarrollo de *Azolla* fue inhibido notablemente por las temperaturas medias mensuales inferiores a 14°C y la radiación solar inferior a los 400 ly por día.
- Los ecótipos que destacaron por su potencial de fijación fueron UCA 162 (*A. rubra*, Nueva Zelanda) con valores de 66 kg y 43 kg de N/ha en períodos de 15 d en la primera y segunda temporada, respectivamente. Otros fueron UCA 153 (*A. pinnata*, Francia), UCA 6 (*A. filiculoides*, Chile) y UCA 109 (*A. mexicana*, Bra.) con fijaciones de 40 kg a 60 kg de N/ha en 15 días. De las especies evaluadas en la temporada 1989-1990 fueron más eficientes UCA 106 (*A. filiculoides*, Bra.), UCA 110 (*A. mexicana*, EE.UU.) y UCA 102

(*A. filiculoides*, Filipinas), con fijaciones máximas entre 25 kg a 30 kg de N/ha en 15 días.

- El ciclo de desarrollo de *Azolla* coincide con el período vegetativo del arroz (octubre a marzo), por lo que el desarrollo de biomasa previo al cultivo de arroz no es factible en Chile.

LITERATURA CITADA

- BECKING, J.H. 1979. Environmental requirements of *Azolla* for use in tropical rice production. In Nitrogen and rice. Los Baños, Philippines, International Rice Research Institute. p. 345-373.
- INSTITUTO NACIONAL DE ESTADISTICA (CHILE). 1991. Estadísticas agropecuarias 1980-1990. Santiago, Chile. 25 p.
- KUMARASINGHE, K.S. et al. 1986. Evaluation of the availability of *Azolla*-N and urea-N to rice using N¹⁵. Plant and Soil 90:293-299.
- LUMPKIN, T.A.; PLUCKNETT, D.L. 1980. *Azolla*: Botany, Physiology, and use as a green manure. Economic Botany 34(2):111-153.
- RUSCHEL, A.P. 1987. Seleção de espécies e ecotipos de *Azolla*. Goiânia, Bra., Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, Centro Nacional de Pesquisa de Arroz e Feijão. Boletín de Pesquisa no. 6. 20 p.
- TUAN, D.T.; THUYET, T.Q. 1979. Use of *Azolla* in rice production in Vietnam. In Nitrogen and rice. Los Baños, Philippines, International Rice Research Institute. p. 395-405.
- VAN HOVE, C. 1989. *Azolla* and its multiple uses, with emphasis on Africa. Rome, FAO. 53 p.
- VIDAL, I.; LONGERI, L. 1990. Prospección de la asociación simbiótica *Azolla filiculoides* - *Anabaena azollae* en arrozales en Chile. Ciencia e Investigación Agraria 17(1-2):27-32.
- VIDAL, I.; LONGERI, L.; LEAL, M. 1992. Efecto de la concentración de P, K, Ca, Mg y Fe sobre el desarrollo y fijación de nitrógeno de *Azolla filiculoides* Lam. Turrialba (En prensa).
- WATANABE, I.; BERJA, N.S.; ALIMAGNO, V.B. 1977. Utilization of the *Azolla-Anabaena* complex as a nitrogen fertilizer for rice. IRRRI. Research Paper Series no 11.
- WETSELAAR, R. 1979. Nitrogen inputs and outputs of an unfertilized paddy soil. In Terrestrial nitrogen cycles: Processes, ecosystem strategies and management impacts. F.E. Clark, T. Rosswal (Eds). Ecology Bulletin 33:585-602.

Determinação de Resíduos do Herbicida Trifluralin em Latossolo Roxo com Soja¹

M.C.S.S. Novo*, H.G. Blanco**, L.A. Ambrósio*,
R.R. Coelho***, R.B.F. Gimenez**, J.B. Arcas****

ABSTRACT

The degradation of trifluralin in a sandy clay loam soil cultivated with soybeans was determined under field conditions at Sumaré, State of São Paulo, Brazil. A split plot design was used with herbicide doses for the main plots and sampling data as subplots. Each main plot and subplot was randomized with four replications. Trifluralin was applied at the rate of 0.5, 0.8 and 1.1 kg/ha with incorporation within 10 cm of the soil surface. To establish the initial concentration of each dosage, samples were collected and analyzed immediately after application. On the initial sampling date and at 56, 84, 112, 168 and 224 days after incorporation, subsamples were taken from each main plot, mixed, and a sample taken. After extraction and cleanup, trifluralin residues were measured by gas chromatography using an electron capture detector with tritium foil. The amount of trifluralin present in the samples was calculated by comparing peak amounts of samples with those of appropriate standards. The results showed that there was a significant relationship between dosage and sampling data. The initial losses in the soil were larger with the application of trifluralin at the rates of 0.5, 0.8 and 1.1 kg/ha, which represents 29.4%, 32.6% and 59.3% respectively. The linear and quadratic effects of data within doses were significant, with minimum estimated residues of 0.034, 0.046 and 0.088 kg/ha at 168, 167 and 163 days after application for doses of 0.5, 0.8 and 1.1 kg/ha, respectively.

Key words: Trifluralin, residues, herbicides, gas chromatography.

RESUMO

A degradação de trifluralin foi determinada em condições de campo, no município de Samaré, Estado de São Paulo, Brasil, em latossolo roxo de textura argilo-arenosa cultivado com soja. O delineamento experimental, com quatro repetições, foi o de blocos ao acaso com parcelas subdivididas, sendo estudados nas parcelas doses de trifluralin e nas subparcelas épocas de amostragem. Trifluralin nas doses 0.5, 0.8 e 1.1 kg/ha foi aplicado e incorporado no solo na camada 0-10 cm. Para estabelecer a concentração inicial no solo de cada dose, foram coletadas amostras logo após a incorporação (0 dias) e para o estudo de degradação foram feitas amostragens aos 56, 84, 112, 126, 168 e 224 dias após a aplicação. Após a extração do trifluralin e purificação das amostras, os resíduos foram detectados em cromatógrafo a gás, com detector de captura eletrônica (fonte de trítio). Observou-se interação significativa entre dose e época de amostragem. As perdas que ocorreram logo após a aplicação para as doses de 0.5, 0.8 e 1.1 kg/ha foram respectivamente de 29.4%, 32.6% e 59.3%. As perdas iniciais no solo foram maiores com o aumento da dose. Os efeitos linear e quadrático de época dentro de dose foram significativas, estimando-se um resíduo mínimo aos 168, 167 e 163 dias após a aplicação no ordem de 0.034, 0.046 e 0.088 kg/ha para as doses 0.5, 0.8 e 1.1 kg/ha, respectivamente.

Palavra chave: Trifluralin, resíduos, herbicida, cromatografia.

INTRODUÇÃO

No Brasil, durante muitos anos, trifluralin foi um dos herbicidas mais aplicado na cultura da soja para o controle de gramíneas, principalmente. Para diminuir perdas devido a sua alta pressão de vapor e sua suscetibilidade à decomposição química, era aplicado em pré-plantio e incorporado. Embora seja degradado no solo, a sua aplicação freqüente nessa cultura, faz com que resíduos persistam por mais de uma estação de crescimento, podendo causar injúria à cultura susceptível plantada em rotação com soja.

1 Recibido para publicação em 4 de outubro de 1991.
Trabalho financiado pela Empresa Brasileira de
Investigação Agropecuária (EMBRAPA) e FAPESP.

* Instituto Agronômico, Caixa Postal 28, 13100,
Campinas, SP, Bra

** Instituto Biológico, Caixa Postal 70, 13100, Campinas,
SP

*** Nortox Agro-Química S.A., Rua João Adolfo, 118, São
Paulo, 01000, SP.

**** ELANCO QUÍMICA LTDA., Estrada Paulínia -
Cosmópolis, km 137, 13150, Cosmópolis, SP.

Blanco *et al.* (1981, 1982 e 1984) estudando por meio de bioensaio a persistência de doses de trifluralin aplicados em solos arenoso, argiloso e barrento, observaram que há maior efeito residual no de textura média mas, esse período nunca foi inferior a 112 dias em nenhum desses solos.

Campanhola *et al.* (1982) observaram que para as condições do Brasil, o trifluralin se movimenta pouco no solo e sua persistência era tal que não promovia acúmulo após repetidas aplicações. Esse estudo porém, foi realizado em área onde não era sistematicamente aplicado esse produto. Parka e Tepe (1969) estudando 107 amostras de solo onde havia sido aplicado trifluralin repetidas vezes, observaram o contrário.

Tem sido observado que a persistência de herbicidas reflete a soma total dos processos físicos, químicos e biológicos que interagem entre si e modificam esses produtos no solo. Burnside (1974) observou que embora trifluralin seja pouco afetado pela lixiviação, adsorção e atividade microbiana, sua fitotoxicidade e persistência são pelo tipo de solo.

McCall *et al.* (1972) estudando a adsorção de trifluralin por resinas mostraram que esse produto era adsorvido, principalmente, por ligações fracas em locais da resina onde não havia força coulombiana. Segundo esses autores o que afetava a fitotoxicidade de herbicidas, de modo geral, era o teor de matéria orgânica, o teor e o tipo de argila mineral, a capacidade de troca catiônica, o pH e a solubilidade do herbicida em água. Desses fatores, a maior eficiência em adsorver e reduzir a fitotoxicidade do trifluralin era devido ao teor de matéria orgânica. Grover (1974) observou que esse produto era fortemente adsorvido por adsorventes hidrofóbicos, principalmente, por celulose triacetato.

Swann e Behrens (1972) observaram que trifluralin pode ser fortemente adsorvido dentro dos espaços das intercâmbias de minerais de argila expansiva e, quando é pulverizado altas doses desse produto, ele pode ser carregado para esses locais de adsorção. Nas condições dos solos do Estado de São Paulo, é pouco provável que isso ocorra pois a maioria das argilas presentes são do tipo caulinita que é pouco expansiva.

Devido a escassez de informações no Brasil, tornou-se importante conhecer o efeito residual de

trifluralin e, determinar as quantidades remanescentes que, eventualmente, permaneçam em níveis fitotóxicos.

O objetivo desse trabalho foi determinar o resíduo de trifluralin remanescente no solo em diferentes épocas, em condições de campo, usando como método de análise a cromatografia gasosa.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi instalado no Sítio Paraíso, Município de Sumaré, Estado de São Paulo, Brasil, em cultura de soja (*Glycine max.* (L.) Merrill 'UFV-1'), em latossolo roxo, unidade Água Vermelha, com as seguintes características: textura argilo-arenosa, com 47% de argila, 5% de silte, 48% de areia; P 44.0 µg/ml, 1.7% de matéria orgânica, pHCaCl₂ 4.8, K⁺ 163 µg/ml T.F.S.A., Ca²⁺ 3.1 emg/100 ml T.F.S.A., Mg²⁺ 0.7 emg/100 ml T.F.S.A., Al³⁺ 0.1 emg/100 ml T.F.S.A.

O delineamento foi em blocos ao acaso, com parcelas subdivididas e, quatro repetições, tendo sido estudado nas parcelas as doses de trifluralin: 0.5 kg/ha, 0.8 kg/ha e 1.1 kg/ha e nas subparcelas, épocas de amostragens. Foram feitas amostragens de solo para análise de resíduo e para determinação da umidade relativa do solo, logo após a aplicação e incorporação do produto, 0 dias, e aos 56, 84, 112, 168 e 224 dias. As parcelas foram formadas por faixas de 45 m de comprimento por 3.6 m de largura, com 7 linhas de soja espaçadas de 0.50 m, considerando-se como subparcelas para as amostragens do solo, divisões de 5.0 x 3.6 m.

O herbicida foi aplicado em 16 de novembro de 1981, com pulverizador tratorizado, com sete bicos do tipo FS 7.5, espaçados em 0.50 m e incorporado ao solo na profundidade de 0.10 m com grade conjugada lisa de 42 discos. O consumo de calda foi de 200 l/ha.

As condições ambientais da região, segundo dados coletados junto a Seção de Climatologia do Instituto Agrônomo, durante condução do experimento estão apresentados no Quadro 1. As umidades relativas do solo nos dias das amostragens foram 9.9, 25.7, 22.3, 22.7, 16.2 e 23.3 respectivamente para 0, 56, 84, 112, 168 e 224 dias após a aplicação do produto.

Quadro 1. Condições ambientais da região durante a condução do experimento.

Meses	Temperatura (°C) média		Precipitação (mm)
	(max.)	(min.)	
Novembro	28.8	18.5	143.9
Dezembro	27.6	18.4	139.9
Janeiro	27.6	17.8	267.6
Fevereiro	30.4	19.4	123.8
Março	27.5	18.9	208.5
Abril	25.8	15.7	68.6
Maió	24.3	13.0	33.4
Junho	24.3	14.3	170.6

Todas as amostras de solo foram coletadas com cilindro de aço de 10.5 cm de diâmetro interno e 10.0 cm de altura, sendo retiradas em pontos diferentes da subparcela correspondente, seis sub-amostras, de modo a se obter uma amostra de solo composta, da camada 0-10 cm.

As amostras foram acondicionadas em caixas de papel, levadas para o laboratório, onde foram secas ao ar, peneiradas e armazenadas a -15°C até serem analisadas.

Antes da aplicação do produto, foram retiradas amostras de solo da camada 0-10 cm, na área experimental, destinadas à fortificações, para determinação da recuperação e limite de detecção do método. Para a recuperação foram preparados padrões de trifluralin em tolueno os quais foram misturados a 50 g de solo para produzir concentrações de 0.005, 0.01 e 0.05 ppm. O método utilizado para a determinação de resíduos de trifluralin no solo foi o de Decker e Griggs (1980).

O resíduo obtido pela extração e purificação da amostra foi dissolvida em tolueno e injetado em cromatógrafo gás líquido, CG - modelo 370, equipado com detector de captura eletrônica (fonte do trítio), com coluna cromatográfica de vidro de 1/8" de diâmetro interno por 6 pés de comprimento, empacotada com 3% de OV-225/cromosorb W silanizada, mantida a 182°C, usando nitrogênio como gás de arraste. As temperaturas do detector e do vaporizador foram, respectivamente, 210°C e 204°C.

Para a quantificação do resíduo de trifluralin na amostra, comparou-se as alturas do pico da amostra com a do padrão. Com o objetivo de se verificar a linearidade da relação entre a altura do pico e a concentração do herbicida foram preparados padrões de trifluralin nas concentrações de 0.01, 0.02, 0.03 e 0.04 µg/ml.

Os resultados obtidos foram submetidos a análise da variância com decomposição do efeito linear e quadrático de épocas de amostragem dentro de dose. Os testes de hipótese "F" e "t" foram aplicados ao nível de 5% de significância.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

No solo tratado em laboratório com 0.005 ppm, 0.01 ppm e 0.05 ppm, as porcentagens médias de recuperação da trifluralin foram, respectivamente, 88%, 90% e 94%. A menor contaminação, 0.005 ppm, foi considerado o limite de detecção do método.

Em condições de campo, nas amostras retiradas logo após a incorporação do produto (Quadro 2 e Fig. 1), nota-se que houve diferença percentual relativa entre as doses aplicadas e as remanescentes no solo. As quantias remanescentes variaram de 0.377 a 0.540 kg/ha, sendo maior na dose 0.801 kg/ha. Em termos percentuais, ocorreu aumento com o aumento da dose. Guenzi e Beard (1974) relataram que ocorre perdas significativas de pesticidas durante a aplicação e que a quantia perdida, é afetada pela

natureza do produto, formulação, condições atmosféricas, método de aplicação e tamanho da gota. No caso de trifluralin, sua alta pressão de vapor, fotodegradabilidade e fraca adsorção pelo solo pode ter contribuído para sua perda relativamente alta.

Quadro 2. Valores médios de resíduos, em kg/ha e em porcentagem relativa das perdas, para três doses de trifluralina aplicadas em latossolo roxo, cultivado com soja.

Epoca	Dose (kg/ha)		
	0.5 (100%)	0.8 (100%)	1.16 (100%)
Dias após a aplicação			
0	0.377 (29.4)	0.540 (32.6)	0.435 (59.3)
56	0.154 (71.2)	0.251 (68.7)	0.256 (76.0)
84	0.083 (84.5)	0.066 (91.8)	0.132 (87.4)
112	0.068 (87.3)	0.163 (79.6)	0.120 (88.8)
168	0.076 (85.8)	0.063 (92.1)	0.101 (90.5)
224	0.039 (92.7)	0.061 (92.4)	0.111 (89.6)

Embora Smith e Wiese (1973) tenham relatado que quando é incorporado, a perda por volatilização é pequena, acredita-se que nesse experimento, a perda ocorrida seja devido, principalmente, a esse fator em decorrência da temperatura do solo no momento da aplicação (24.6°C). Bode *et al.* (1973) notaram que há uma relação exponencial entre temperatura e coeficiente de difusão do trifluralin e este valor aumenta ao máximo quando o solo está com 8% - 15% de umidade. No momento da aplicação o solo estava com 9.9% de umidade. Segundo Hollist e Foy (1971) o aumento no teor de umidade parece bloquear os locais ativos de absorção do herbicida e o produto que em condições de solo seco ficava adsorvido pela matéria orgânica e pela argila, ficaria ligado ao solo com menos intensidade. Quando o solo perdia o excesso de água por evaporação,

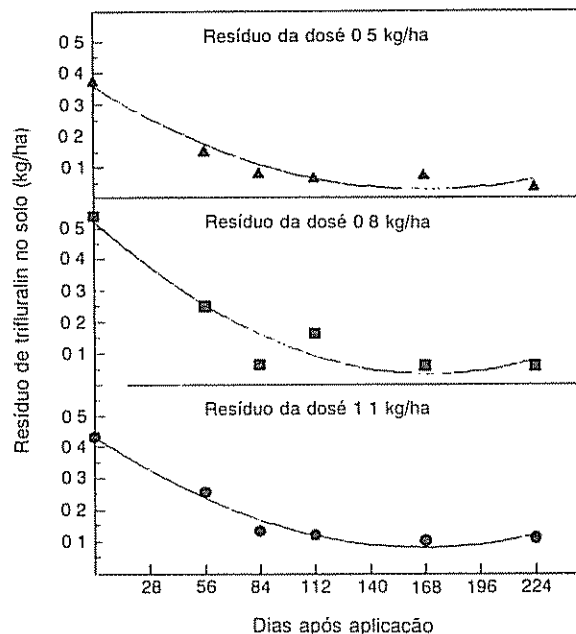


Fig. 1. Resíduo de trifluralin no solo (kg/ha), nas diferentes épocas de amostragem para as três doses aplicadas.

provavelmente, a densidade de vapor de trifluralin aumentava e esse se volatilizava.

Embora Leitis e Crosby (1974) tenham relatado que as dinitroanilinas são muito instáveis sob luz, Messersmith *et al.* (1971) encontraram que em condições de campo, a incorporação do trifluralin minimiza a exposição à luz solar e o produto é pouco dissipado sendo o mesmo confirmado por Smith y Wiese (1973).

Observa-se ainda no a no Quadro 2, uma tendência de redução do resíduo ao longo do tempo até 112 dias, estabilização aos 168 dias e, aos 224 dias, redução do resíduo de 49.28% em relação à amostra anterior.

A maioria dos autores consultados não relatam perda de trifluralin por lixiviação. Campanhola *et al.* (1982) observaram que a lixiviação de trifluralin depende principalmente da dose aplicada, da natureza do solo e do regime de água. Esses autores observaram que para a dose 0.670 kg/ha a lixiviação foi desprezível mas, esta pode ser observada para a dose 1.1 kg/ha. De certa forma, isso explica as maiores perdas relativas para a dose de 1.1 kg/ha como mostra o Quadro 2. As amostragens iniciais

coincideram com maior precipitação na região (referente aos meses de novembro a janeiro).

A análise da variância para os resíduos de trifluralin (Quadro 3) mostrou interação significativa entre a dose aplicada e épocas de amostragem, indicando que os resíduos; pelo menos em uma época, se comportaram de modo diferente em relação às doses aplicadas. Isto justificou o estudo do efeito da época de amostragem dentro de cada dose (Quadro 3).

Quadro 3. Análise da variância do resíduo de trifluralin (kg/ha) em latossolo roxo, cultivado com soja.

Causa da variação	GL	SQ	F
(Modelo)	(26)	(1.4483)	(33.08)*
Dose	2	0.0551	16.35*
Epoca	5	1.2970	154.03*
Bloco	3	0.0152	3.00*
Dose x Bloco	6	0.0146	1.45ns
Dose x Epoca	10	0.0664	3.39*
Resíduo	45	0.0758	
Total	71		
Coefficiente da variação	23.89%		

* = Significativo nível de 5% de probabilidade.

ns = Não significativo ao nível de 5% de probabilidade.

Na decomposição do efeito de épocas dentro de doses em componente linear e quadrático, o teste F foi significativo para todas as doses (Quadro 4).

Nos modelos ajustados, o componente quadrático foi positivo mostrando que os resíduos mínimos de trifluralin foram de 0.034 kg/ha, 0.046, 0.088 kg/ha, para as doses 0.5, 0.8 e 1.1 kg/ha obtidos, respectivamente, aos 165, 167 e 163 dias (Fig. 1).

Probst *et al.* (1967) encontraram aos 43 dias após a aplicação, aproximadamente, 20% da trifluralin aplicado. Neste ensaio, aos 43 dias estima-se que os resíduos foram 39.6%, 38.4% e 25.8%, respectivamente, das doses 0.5, 0.8 e 1.1 kg/ha. Isso estaria indicando que os resíduos remanescentes permaneceram fortemente aderidos às partículas de solo e, portanto, menos sujeito a remoção.

Esse comportamento coincide com os apresentados por Ebeling (1963) que propuseram duas fases para o desaparecimento dos defensivos agrícolas: uma fase de degradação mais acentuada após a aplicação e uma fase de persistência em que os resíduos ligados desaparecem lentamente, estando menos sujeitos a fatores climáticos.

Segundo Schweizer e Holsteiner (1966) os responsáveis pela degradação da trifluralin seriam a volatilização e as decomposições químicas e microbianas. Savage (1971) no entanto, relata que a

Quadro 4. Efeitos lineares e quadráticos de épocas de amostragem (dias) dentro de dose para resíduo de trifluralin.

Doses de trifluralin (kg/ha)	Coeficientes de regressão			R ² de F	Valor
	Constante	linear	quadrático		
	(nível de sig. do teste t)				
0.5	0.359173 (1%)	-0.003950 (1%)	0.000012 (1%)	84.9	59.16*
0.8	0.520211 (1%)	-0.005676 (1%)	0.000017 (1%)	85.9	63.91*
1.1	0.433592 (1%)	-0.004239 (1%)	0.000013 (1%)	90.3	97.70*

* = Significativo ao nível de 5% de probabilidade.

degradação por microrganismos é da ordem de 3% - 5% e portanto não seria o principal fator de dissipação.

CONCLUSOES

- As perdas iniciais de trifluralin após a aplicação são elevadas e foram influenciadas pela dose, aumentando com a mesma.
- O resíduo de trifluralin remanescente no solo apresenta comportamento conforme curva quadrática em relação às épocas de amostragem, tendendo para um mínimo aos 165, 167 e 163 dias após a aplicação para as doses 0.5, 0.8 e 1.1 kg/ha.
- Na amostragem realizada aos 224 dias ainda restava 10% do produto aplicado.

LITERATURA CITADA

- BARDSLEY, C. E.; SAVAGE, K. E.; WALKER, J. C. 1968. Trifluralin behaviour in soil. II. Volatilization as influenced by concentration, time, soil moisture content, and placement. *Agronomy Journal* 60:89-92.
- BLANCO, H. G.; NOVO, M. C. S. S.; COELHO, R. R.; OLIVEIRA, D. A. 1982. Comportamento do herbicida trifluralin em solos. III. Persistencia em solo arenoso cultivado com soja, na região de Pirassununga, estado do São Paulo. *Biológico* 48:217-221.
- BLANCO, H. G.; NOVO, M. C. S. S.; COELHO, R. R.; OLIVEIRA, D. A. 1981. Comportamento do herbicida trifluralin em solos. II. Persistencia em solo barrento cultivado com soja nas condições de Pirassununga, estado de São Paulo. *Biológico* 47:339-345.
- BLANCO, H. G.; NOVO, M. C. S. S.; COELHO, R. R.; CHIOBA, S. 1984. Comportamento do herbicida trifluralin em solos. IV. Persistencia em latossolo roxo cultivado com soja. In *Seminário Nacional de Pesquisa de Soja* (3., 1984, Campinas, SP, Bra.). Anais. Londrina, PR. EMBRAPA/Centro Nacional de Pesquisa de Soja. p. 599-606.
- BODE, L. E.; DAY, C. L.; GEBHARDT, M. R.; GOERING, C. E. 1973. Production of trifluralin diffusion coefficients. *Weed Science* 21(5):489.
- CAMPANHOLA, C.; BROMILOW, R. H.; LORD, K. A.; RÜEGG, E. F. 1982. Comportamento de metribuzin e trifluralina no solo e sua absorção por soja. *Pesquisa Agropecuária Brasileira* 17(4):565-571.
- DECKER, O. D.; GRIGGS, R. D. 1980. Determination of trifluralin in agricultural crops and soils. Greenfield, Lilly Research Laboratories, 7 p. (Datilografado).
- EBELING, W. 1963. Analyses of the basic processes involved in the deposition, degradation, persistence and effectiveness of pesticides. *Residue Review* 3:35-163.
- GUENZI, W. D.; BEARD, W. E. 1974. Volatilization of pesticides. In *Pesticides in soil and water*. W. D. Guenzi (Ed.) Soil Science Society of America. p. 107-122.
- GROVER, R. 1974. Adsorption and desorption of trifluralin, triallate and diallate by various adsorbents. *Weed Science* 22:405-408.
- HOLLIST, R. L.; FOY, C. L. 1971. Trifluralin interactions with soil constituents. *Weed Science* 19:11-16.
- LEITIS, E.; CROSBY, D. G. 1974. Photodecomposition of trifluralin. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 22(5):842-848.
- McMALL, H. G.; BORRY, R. W.; McCULLY, M. G.; MERKLE, M. G. 1972. Adsorption and desorption of picloram, trifluralin and paraquat by ionic and nonionic exchange resins. *Weed Science* 20:285-290.
- MESSERSMITH, C. G.; BURNSIDE, O. C.; LAVY, T. L. 1971. Biological and non-biological dissipation of trifluralin from soil. *Weed Science* 19(3):285-290.
- PARKA, S. J.; TEPE, J. B. 1969. The disappearance of trifluralin from field soils. *Weed Science* 17:119-123.
- PROBST, G. W.; GOLAB, T.; HERBERG, R. J.; HOLZER, F. J.; PARKA, S. J.; CHANS, C. VAN DER; TEPE, J. B. 1967. Fate of trifluralin in soils and plants. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 15(2):592-599.
- SAVAGE, K. E. 1971. Nitratin and trifluralin persistence in soil. *Weed Science* 19(3):285-290.
- SCHWEIZER, E. E.; HOLSTEIN, JR., J. T. 1966. Persistence of five cotton herbicides in four southern soils. *Weed* 14(1):22-26.
- SMITH, D. T.; WIESE, A. F. 1973. Delayed incorporation of trifluralin and nitratin. *Weed Science* 21(1):163-169.

Cambios en la Porosidad de un Suelo por Efecto de su Uso¹

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

ABSTRACT

Volumetric changes of soil components in undisturbed samples were determined in layers from 10 cm to 75 cm deep in Hapludand soils in southern Chile with different kinds of management. A settling was detected immediately after elimination of native forest, but with further use of the soil, the volume was not affected significantly. In addition to these changes in pore space, modifications were detected in pore size distribution between winter and summer. These changes depended more on pedological environment than on soil use. Nevertheless, the magnitude of these changes in pore size distribution depended on soil use. When soil management permitted intense soil dryness, such as in pastures, the changes from winter to summer, that is, from fine pores to large pores, increased.

INTRODUCCION

El desarrollo vegetal se afecta por los cambios en la distribución del espacio poroso, al modificarse la relación aire-agua-suelo. La degradación de la estructura del suelo, que influye en esta relación, se asocia con el aumento de la densidad aparente y con el cambio en la distribución por tamaño de los poros. Estas últimas variaciones pueden ser causadas por procesos naturales como el impacto de la lluvia y la contracción interna del volumen del suelo por la tensión del agua retenida. Frecuentemente se observa una contracción e hinchamiento del material edáfico en suelos de textura fina y en aque-

RESUMEN

Al sur de Chile, en suelos Hapludand con distintas intensidades de uso se determinó la distribución volumétrica de sus componentes en muestras no alteradas por estratas de 10 cm y hasta 75 cm de profundidad. El perfil se asentó una vez eliminado el bosque nativo. Con el ulterior uso prolongado del suelo, no se modificó sustancialmente el volumen del mismo. Además de cambiar la porosidad total del suelo, se alteró la distribución por tamaño del espacio poroso, de invierno a verano. Estas alteraciones son provocadas por procesos pedogenéticos que por el uso del suelo. En cambio, la magnitud de estas alteraciones depende del manejo a que es sometido el suelo. Los usos que causan mayor secado del suelo, como por ejemplo el manejo pratense, provocaron los cambios más intensos de porosidad fina a gruesa desde el invierno hasta el verano.

Palabras clave: Porosidad, tamaño de poros, uso del suelo, compactación.

llos con desarrollo incipiente sobre sedimentos. Estos cambios naturales en la distribución por tamaño de los poros modifican, principalmente, la porosidad gruesa. Una consolidación antropogénica es producida por el tráfico, el pisoteo y el laboreo inoportunos del suelo. La magnitud de esta consolidación depende de la intensidad, oportunidad y frecuencia de carga que soporta el suelo (Sommer 1979).

Las investigaciones sobre estructura del suelo tienen un interés creciente por la producción agrícola. El complejo de interrogantes sobre la compactación de suelo debido a su uso, tiene en muchos casos una respuesta subjetiva, por no poder establecer con claridad las causales del estado actual del suelo. La evaluación de los cambios estructurales del suelo se dificulta porque, aun con un aumento de la densidad aparente, los cultivos pueden mantener rendimientos aceptables (Ericksson 1986). La compactación reduce la cantidad de poros secundarios del suelo, pero el efecto sobre el crecimiento vegetal depende también de las condiciones meteorológicas imperantes.

¹ Recibido para publicación el 2 de diciembre de 1992. Fondo de Ciencia y Tecnología (FONDECYT) 91-916 y Dirección de Investigación y Desarrollo (DID) S-91-17, Universidad Austral de Chile.

* Universidad Austral Casilla 567, Valdivia, Chile.

En suelos no intervenidos, debería existir una relación lineal indirecta entre la porosidad y la profundidad. La gradiente de esta relación se modifica según la intensidad de las bio- y crioperturbaciones. Un aumento en la pendiente de esta curva de consolidación debe entenderse como una compactación y, por ende, como un cambio en la estructura del suelo. En suelos no intervenidos, el grado de consolidación y la distribución por tamaño de sus poros están en equilibrio con su propio peso. En un material isotrópico, la densidad aparente aumenta y disminuye la porosidad gruesa a medida que se profundiza en el suelo. Pero, los suelos agrícolas son anisotrópicos; por eso sólo un suelo virgen bajo una vegetación natural puede servir como base de referencia para evaluar el grado de consolidación del perfil, sujeto a una actividad agropecuaria (Ellies y Hartge 1990).

La hipótesis de este trabajo es que las modificaciones de la estructura del suelo dependen del tiempo y de la intensidad de uso. En este trabajo se cuantifican esas variables a partir de la caracterización del espacio poroso en un Typic Hapludand. El patrón de referencia será el mismo tipo de suelo, sin uso, bajo bosque nativo.

MATERIALES Y METODOS

Las investigaciones se realizaron a fines de los períodos invernal de 1991 y estival de 1992, en un suelo Medial, Mesic, Typic Hapludand (Serie Pelchuquín), en San José de la Mariquina, en el centro-sur de Chile. Las mediciones se efectuaron en potreros, con diversos historiales de uso conocidos. En las condiciones húmedo-templadas imperantes en la zona, el bosque nativo de roble-laurel-lingue (*Nothofagus-Persea lingue*) corresponde a la situación original y, al comparar las propiedades del espacio poroso de su suelo con aquellos que han tenido distintos usos, se pueden determinar los cambios sufridos por esos suelos.

Se seleccionaron cinco sitios con distintos usos desde su incorporación a la actividad agropecuaria. Un sexto lugar lo constituyó el bosque nativo, que sirvió de patrón de comparación. Los sitios estaban próximos entre sí, con menos de 500 m de separación. En el Cuadro 1 se detalla el sistema de incorporación y tipo de uso de cada sitio.

Se extrajeron muestras no alteradas de suelo, con cilindros metálicos grandes de 88 mm de diámetro y

Cuadro 1. Historial del uso y manejo de los suelos.

Fecha inicio del uso	Sistema de eliminación del bosque	Uso histórico
Sin uso		Bosque nativo secundario desde 1926 (Bosque nativo) *
1988	Bueyes	Pradera recién establecida (Pradera reciente)
1980	Parcial con bueyes y maquinaria	Pradera con bosque (Silvopastoreo)
1940	Mecánica	Pradera de permanente de lechería (Pradera lechería)
1910	Fuego	Pradera con tránsito continuo de animales (Corredor ganado)
1850	Fuego	Pradera en rotación (Rotación cultivos)

* Entre paréntesis se indican las abreviaturas usadas en las figuras

60 mm de altura y pequeños de 50 mm de diámetro por 25 mm de altura, por estratas de 10 cm de grosor, hasta una profundidad de 75 centímetros. Los cilindros se saturaron durante 10 d, para garantizar una tensión de agua < 1 kPa. Posteriormente, los cilindros mayores fueron llevados a un equilibrio de tensión de 6 kPa y 33 kPa y los menores, a 1500 kPa (Richards 1949). Los equilibrios de las muestras se alcanzaron entre los 12 d y 15 d para las tensiones de 6 kPa a 33 kPa y a los 5 d para la tensión de 1500 kPa. Luego se determinaron los contenidos de humedad y las densidades aparentes.

RESULTADOS

En la Fig. 1 se presentan las curvas de preconsolidación natural o *in situ* del suelo sujeto a distintos usos. El peso acumulativo de la columna del suelo se calculó a partir de la densidad aparente y al peso de cada estrata se sumó el peso del material sobreyacente hasta la superficie. Este peso acumulativo del suelo, referido a una superficie unitaria, equivale a la presión acumulativa que ejerce la masa del suelo en distintas profundidades. Las curvas de la Fig. 1 corresponden a la situación invernal o húmeda, y se presentan hasta una profundidad de 50 centímetros. En las estratas más profundas se observó una gran similitud entre los diferentes suelos y no se percibieron los efectos del manejo, por lo cual no se han representado en la Fig. 1. Las propiedades físico-mecánicas en esa profundidad son dependientes del tipo de material parental.

La estimación de la disminución del grosor (o profundidad) para los distintos manejos, en relación con el grosor del bosque, se presenta en la Fig. 2. Esa

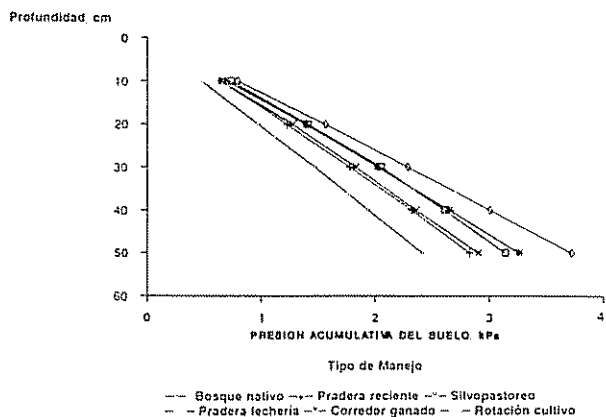


Fig. 1. Curvas de consolidación natural de un Hapludand sujeto a distintos manejos.

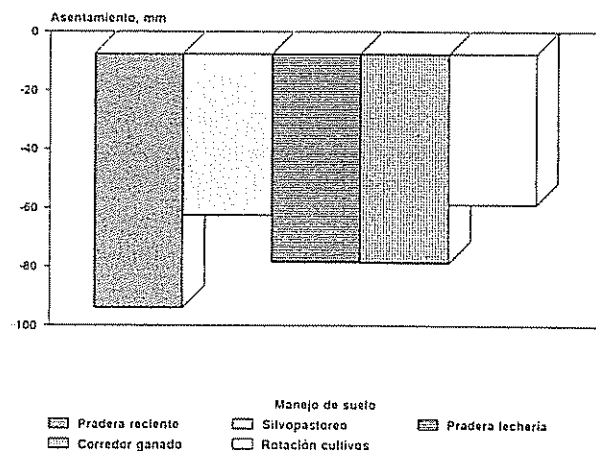


Fig. 2. Grado de asentamiento de un Hapludand sometido a distintos manejos en relación al sitio no intervenido.

disminución corresponde al asentamiento que experimentó el suelo. Se estimó nula la erosión debido a la topografía plana en todos los sitios. La magnitud del asentamiento (o grosor del suelo) se calculó sobre la diferencia del volumen poroso que ocupa una columna de suelo de 75 cm por sitio en comparación con la misma columna bajo bosque nativo.

Las figuras 3 y 4 presentan la distribución por tamaño del espacio poroso; en ellas los valores corresponden a la media de los primeros 30 cm de profundidad. A mayores profundidades no se determinaron diferencias entre los distintos manejos. Los poros grandes presentaron un diámetro superior a 10 µm; los medios, entre 10 µm y 0.2 µm, y los finos, fueron menores que 0.2 milimicras

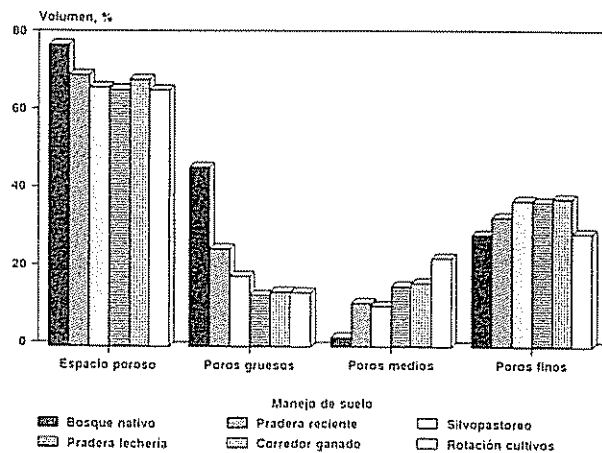


Fig. 3. Caracterización del espacio poroso superficial durante el invierno de un Hapludand sujeto a distintos manejos.

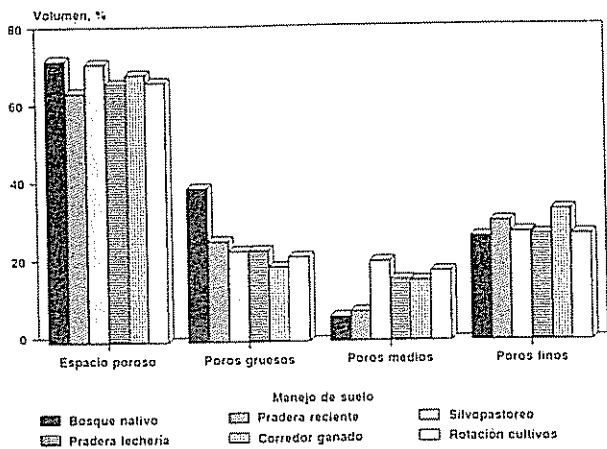


Fig. 4. Caracterización del espacio poroso superficial durante el verano de un Hapludand sujeto a distintos manejos.

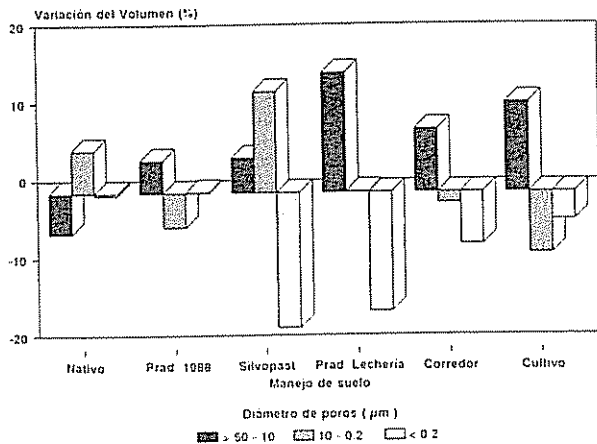


Fig. 5. Variación estacional relativa del tipo de poros en un Hapludand sometido a distintos manejos.

La variación relativa que experimentaron las fracciones de poros de invierno a verano se representan en la Fig. 5.

DISCUSION

La columna de suelo del sitio con bosque nativo, históricamente con menor intervención, mostró el menor peso acumulativo, y el sitio sujeto a rotaciones con cultivos, el mayor peso acumulativo (Fig. 1) El aumento del peso de la columna de un suelo, originalmente suelto, se debe a un asentamiento o consolidación. Un mayor peso y/o presión de la columna de suelo corresponde a un incremento en la densi-

dad aparente, producto del tráfico y/o tránsito de maquinarias y animales. En los sitios, con pastoreo e incremento en la frecuencia y el tiempo de uso, no se observó un aumento en el peso de la columna de suelo. Probablemente, el peso de la columna de suelo no sólo fue producto de su manejo actual, sino que en algunos sitios se podrían mantener aún los efectos de las presiones sufridas durante la eliminación del bosque o los de la actividad biológica en los que experimentan un proceso de regeneración.

La magnitud del asentamiento y/o el aumento en la densidad aparente que afecta a un mismo suelo sujeto a varios manejos, se debe también a la contracción que sufre con las distintas intensidades de secado. Los sitios que mantienen un mayor grado de humedad, como sucede con el sometido a silvopastoreo, pueden tener un estado contraído cuando existe la oportunidad de un secado intenso y en el corredor, el que sufre un amasado permanente por las múltiples pisadas de animales, y pasa constantemente por fases de contracción e hinchamiento.

La pérdida de grosor del suelo es inmediata a la eliminación del dosel arbóreo (Fig 2). La pradera establecida en 1988 exhibe el mayor asentamiento si se toma como referencia el bosque nativo. Es posible que los efectos del destronque, ocurran el arrastre de trozas y el arranque de raíces. En los otros sitios, la disminución del grosor del suelo es menor, pero tiende a incrementarse a medida que la intensidad o duración del pisoteo aumentan.

El desarrollo radicular de las especies pratenses permite frenar el asentamiento; incluso por efecto de bioturbaciones puede existir una recuperación volumétrica del mismo. Las pérdidas de grosor del suelo en el sitio con rotaciones culturales son menores, ya que las sucesivas labores le permiten una recuperación volumétrica.

Más importante que la pérdida cuantitativa del espacio poroso es la variación cualitativa del mismo con un cambio en la distribución por tamaño de los poros por el uso (Figs 3 y 4), pues la utilización intensiva del suelo reduce la porosidad gruesa, efecto que se compensa con un aumento en la porosidad media (de agua útil) y fina. Este cambio puede considerarse como una pérdida efectiva de calidad del sitio. Un estado menos estructurado en este tipo de suelos se asocia con una porosidad muy fina. El balance es un incremento en la capacidad de almacena-

miento de agua útil a expensas de una menor aireación e infiltración del agua. En relación al bosque, el sitio bajo rotaciones culturales mantiene la porosidad muy fina; en cambio, en aquellos sometidos a pastoreo, aumentó. Aparentemente, el laboreo frecuente del suelo, aun cuando no recupera la porosidad muy gruesa, incrementa la media, probablemente a expensas de la porosidad inútil o muy fina.

La diferencia en la distribución por tamaño de poros entre muestras tomadas a fines del verano y al final del invierno, se debe a causas no atribuibles al manejo del suelo. De invierno a verano aumenta el volumen de los poros gruesos y disminuye en los finos. Esto indica que los Hapludand experimentan fenómenos de contracción e hinchamiento, que, además de cambiar el volumen total del suelo, hacen variar la distribución interna del espacio poroso. Estos cambios cíclicos de la porosidad de húmedo a seco señalan un desarrollo pedogenético incipiente de la estructura del suelo.

La magnitud de los cambios en la distribución de los poros por tamaño sí depende del manejo del suelo (Fig. 5). Bajo un bosque nativo, el cambio entre invierno y verano en los de poros finos a gruesos fue despreciable. El dosel arbóreo evitó el secado del suelo y, con ello, la contracción se redujo. En un suelo recientemente intervenido, como la pradera establecida en 1988, se observó, entre invierno y verano, sólo un ligero incremento en la porosidad gruesa, a costas de la fina. En la pradera de lechería y en el

corredor de ganado las modificaciones en la distribución del espacio poroso fueron mayores. Estos lugares abiertos permiten un secado más acentuado del suelo, especialmente cuando la cubierta vegetal y la evapotranspiración aumentan.

En el sitio bajo rotaciones de cultivo, los cambios en la distribución de poros fueron menores, posiblemente ante una menor demanda evaporativa del cultivo. Los cambios en la porosidad de tamaño fino a medio fueron fuertes en el sitio bajo silvopastoreo. Este sitio en invierno llegó a la saturación; por eso, con su posterior secado, los fenómenos de contracción se acentuaron.

LITERATURA CITADA

- ELLIES, A., HARTGE, K. H. 1990. Erfassung der Gefügeveränderung infolge von Inkulturnahme von Boden des Sekindarwaldes in Sudchile durch Multivarianzanalyse. Zeitschrift für Kulturtechnik und Landentwicklung 31:380-388.
- ERIKSSON, J. 1986. Influence of extremely heavy traffic on clay soil. Grundforbatting 27(1):33-51.
- RICHARDS, L. 1949. Methods of measuring soil moisture tension. Soil Science 68:95-112.
- SOMMER, C. 1979. Bodenverdichtung und ihre Beurteilung. Zeitschrift für Kulturtechnik und Flurbereinigung 20:257-268.

Variación en la Resistencia del Suelo por Efecto de su Uso¹

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

ABSTRACT

In a Hapludand soil with different kinds of management, situated in San Jose de la Mariquina in southern Chile, with different kinds of management, vertical, horizontal and torsion resistance changes were evaluated at the end of winter and summer, in 10 cm layers to a depth of 75 cm. Soil use involves increments of tension strength, principally in the upper soil layers. These changes are associated more with the manner than the time of soil use. A greater soil resistance and torsion correspond to sites with higher intensities of pastures. With agricultural use, firmness increases less than under grassland. Greater resistance in wet conditions in relation to dry conditions involves a increase of soil cohesion. The coefficient of horizontal to vertical resistance and torsion showed maximum values during winter. In this season, tendencies were observed to increase in conformity with time of soil use.

RESUMEN

En el centro-sur de Chile, en San José de la Mariquina, en un Hapludand sujeto a distintas modalidades de manejo, se registraron, a fines de los períodos invernal y estival, modificaciones en la resistencia a la penetración, deformación y rotura, en sentido vertical como horizontal en estratos de 10 cm hasta 75 cm de profundidad. El uso del suelo incrementó principalmente las tensiones de los estratos superficiales. Las modificaciones se asociaron más al tipo de suelo que al tiempo de uso. La resistencia a la deformación, la penetración y la rotura se incrementaron con la intensidad y el tiempo de uso prátense del suelo. Con rotaciones culturales, la firmeza del suelo también aumentó pero en menor grado que bajo uso prátense. La mayor resistencia del suelo se presentó en condiciones húmedas, ya que, en condiciones secas, tiene una menor cohesión. Los coeficientes de descanso alcanzaron valores máximos durante el invierno, con una tendencia al incremento a medida que aumentó el tiempo de uso del suelo.

Palabras clave: Resistencia a la penetración, torsión y deformación del suelo.

INTRODUCCION

Los factores edáficos que afectan el crecimiento de los cultivos no sólo se explican por el estado nutrimental sino también por la relación aire-agua-suelo. Esta relación puede experimentar cambios con los tipos de manejo que alteran la estructura del suelo. Para la evaluación del estado estructural de un suelo es necesario utilizar conceptos que integren sus propiedades físicas o mecánicas (Eriksson 1986).

En la evaluación físico-mecánica del estado estructural del suelo en terreno, se utilizan mediciones relacionadas con la resistencia a la deformación con la penetración y la torsión. En un material isomórfico, estas variables deberían incrementarse con la profundidad (Kezdi 1969), pero los cambios se producen con el tipo de manejo del suelo. Un suelo no incorporado a la actividad silvoagropecuaria y que mantiene aún su cubierta vegetal original, puede servir como referencia para determinar el grado y la dirección de los cambios que experimentan las resistencias, con los distintos manejos de uso del suelo (Ellies y Hartge 1990).

Con el uso del suelo aumenta su consolidación y, con ello, las tensiones internas que pueden modificar su estructura. Un estado más tenso promueve una mayor firmeza, la que permite más resistencia a la penetración. Estas mediciones ayudan a determinar si el suelo es arraigable, o si los poros son expansi-

¹ Recibido para publicación el 2 de diciembre de 1992
Fondo de Ciencia y Tecnología (FONDECYT) 91-916 y
Dirección de Investigación y Desarrollo (DID) S-91-17.
Universidad Austral de Chile.

* Universidad Austral, Casilla 567. Valdivia, Arg.

vos, cuando la fuerza que une a las partículas es menor que la presión axial ejercida por las raíces (Becher 1978; Horn 1984).

Al aplicar una presión sobre el suelo, éste se desplaza aumentando el número de puntos y la superficie de contacto entre las partículas. La distancia de acercamiento entre las partículas determina la magnitud de la cohesión según el grado de encaje y unión de las mismas. El estado estructural del suelo puede evaluarse mediante la resistencia a la torsión (Hartge y Bohne 1983).

En un material isotrópico y granular, las tensiones verticales y horizontales se incrementan linealmente con la profundidad. Las tensiones horizontales son siempre menores que las verticales y entre ambas existe proporcionalidad. Al presionar el suelo se incrementan las tensiones vertical y horizontal. Cuando se elimina la carga, la tensión vertical vuelve a su valor original, pero la horizontal se mantiene si la presión ejercida supera la capacidad de soporte. Por eso, un aumento en las tensiones horizontales del suelo en relación con las verticales indica que ha sido consolidado previamente en forma secundaria (Kezdi 1969). La relación entre la resistencia hori-

zontal y la vertical corresponden al coeficiente de descanso, que en suelos con consolidación primaria oscila entre 0.2 y 0.7 (Terzaghi 1983).

En los suelos estructurados, los coeficientes de descanso son superiores a los de un material isotrópico. De allí que los cambios estructurales que experimenta un suelo por efecto de su uso sólo se pueden evaluar al comparar su coeficiente de descanso con el obtenido de un perfil patrón (Hartge *et al.* 1978; Hartge y Ellies 1990).

El objetivo de esta investigación fue determinar los cambios estacionales que experimentan la firmeza y los coeficientes de descanso de un suelo sujeto a diferentes tipos de uso; con ese fin se utilizó como patrón de referencia el mismo suelo bajo bosque nativo.

MATERIALES Y METODOS

Las investigaciones se llevaron a cabo al final de los periodos invernal de 1991 y estival de 1992, en un suelo Typic Hapludand (Serie Pelchuquín), ubicado en San José de la Mariquina (provincia de Valdi-

Cuadro 1. Historial del uso y manejo de los suelos.

Fecha inicio del uso	Sistema de eliminación del bosque	Uso histórico
Sin uso		Bosque nativo secundario desde 1926 (Bosque nativo)*
1988	Bueyes	Pradera recién establecida (Pradera reciente)
1980	Parcial con bueyes y maquinaria	Pradera con bosque (Silvopastoreo)
1940	Mecánica	Pradera de permanente de lechería (Pradera lechería)
1910	Fuego	Pradera con tránsito continuo de animales (Corredor ganado)
1850	Fuego	Pradera en rotación (Rotación cultivos)

* Entre paréntesis se indican las abreviaturas usadas en las figuras

via), en el centro-sur de Chile. Las mediciones se efectuaron en un mismo suelo con diversos historiales de uso.

En las condiciones húmedas imperantes en la zona, el bosque nativo parcialmente caducifolio de roble-laurel-lingue (*Nothofagus-Persea lingue*) presenta una situación original, y al comparar las propiedades mecánicas de su suelo con aquellos que han tenido distintos usos, se pueden determinar los cambios producidos con dicha intervención.

Se seleccionaron cinco sitios, en los que el suelo estuvo sujeto a distintos usos desde que se incorporó a la actividad agropecuaria. Un sexto sitio fue el bosque que sirve de patrón de comparación. Los sitios estaban próximos entre sí (con menos de 500 m de separación). En el Cuadro 1 se detalla el sistema de incorporación y tipo de uso de cada sitio.

Para seleccionar los lugares de muestreo representativo de las distintas condiciones de uso, se efectuaron medidas penetrométricas previas. En cada sitio seleccionado, se confeccionó una calicata de 3 m x 3 m y 1 m de profundidad. La evaluación de la firmeza del suelo se efectuó con la medición de las resistencias a la torsión con una veleta y a la penetración con penetrometros de cono y plano, tanto en sentido vertical como horizontal. Las mediciones se efectuaron en estratos de 10 cm hasta una profundidad de 75 centímetros. Todas las mediciones se hicieron con 15 repeticiones.

RESULTADOS

En la Fig. 1 se representan los valores medios de la resistencia a la penetración vertical, determinados con el penetrometro de punta cónica, obtenidos a fines de invierno y verano y que corresponden a valores medios de los primeros 30 cm de profundidad. En profundidades mayores, los distintos usos del suelo no presentan valores diferenciados.

Los valores penetrométricos entre sitios con distinto manejo son comparables en una misma estación. Las mediciones penetrométricas por estación se efectuaron en condiciones similares de humedad de suelo. Durante la medición invernal, la tensión de la humedad del suelo en los sitios oscilaba entre 8 kPa y 15 kPa y a fines del verano, entre 80 kPa y 95 kPa.

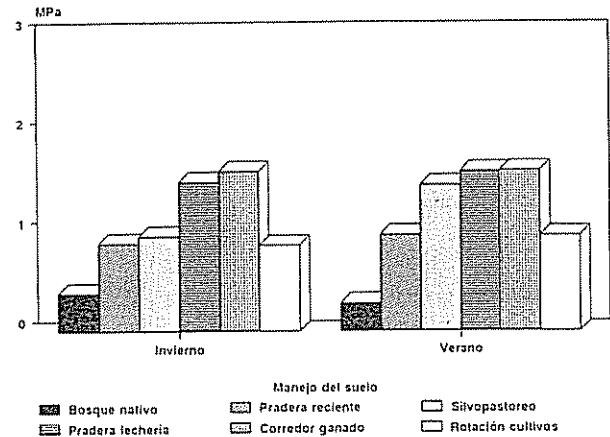


Fig. 1. Resistencia a la penetración vertical de un Hapludand sometido a distintos tipos de manejos (promedio de profundidad 0 cm - 30 cm).

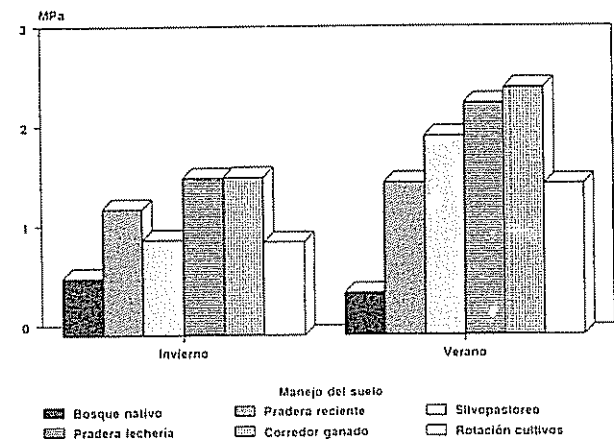


Fig. 2. Resistencia a la deformación de un Hapludand sometido a diferentes tipos de manejo (promedio de profundidad 0 cm - 30 cm).

Los cambios en la resistencia a la deformación vertical del suelo por efecto del manejo, determinados con el penetrometro plano, se representan en la Fig. 2. Esta medición permite inferir la resistencia a la deformación de la masa edáfica. A la penetración del cilindro del instrumento en el suelo se opone el roce producido durante el corte o la deformación, por el deslizamiento de las partículas o agregados de la masa edáfica.

Las variaciones de la resistencia a la torsión vertical por efecto del uso del suelo se representan en la Fig. 3. La veleta de torsión registra los cambios producidos en los agregados, en especial, en su cohesión interna.

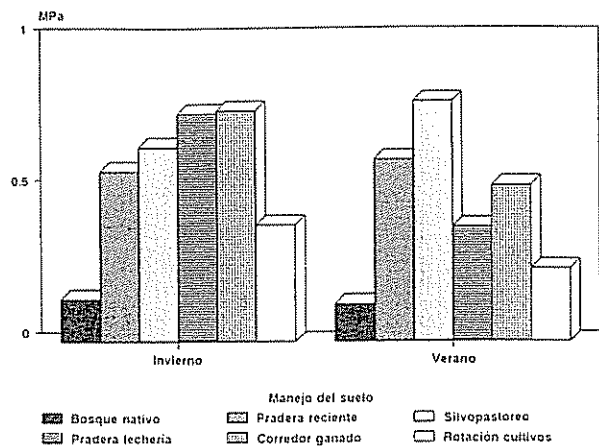


Fig. 3. Resistencia a la torsión vertical de un Hapludand sometido a distintos tipos de manejo (promedio de profundidad 0 cm - 30 cm).

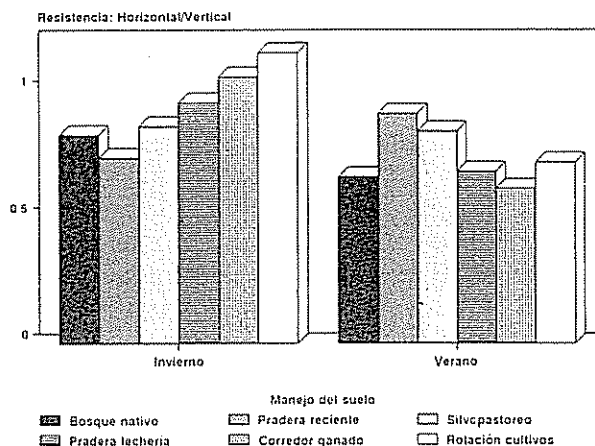


Fig. 5. Relación entre la fuerza horizontal y vertical en la deformación de un Hapludand sometido a distintos tipos de manejo (promedio de profundidad 0 cm - 30 cm).

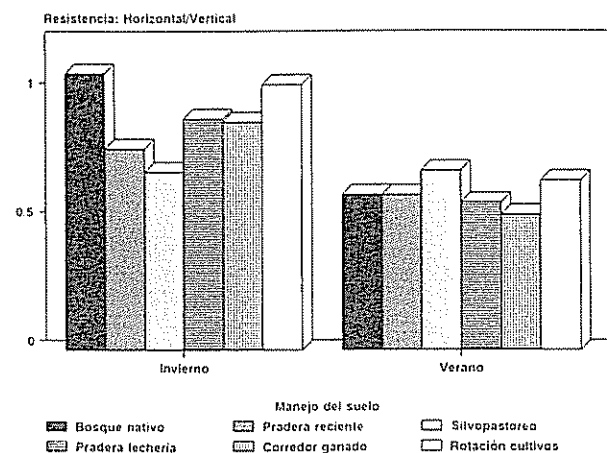


Fig. 4. Relación entre la fuerza horizontal y vertical en la penetración del Hapludand sometido a distintos tipos de manejo (promedio de profundidad 0 cm - 30 cm).

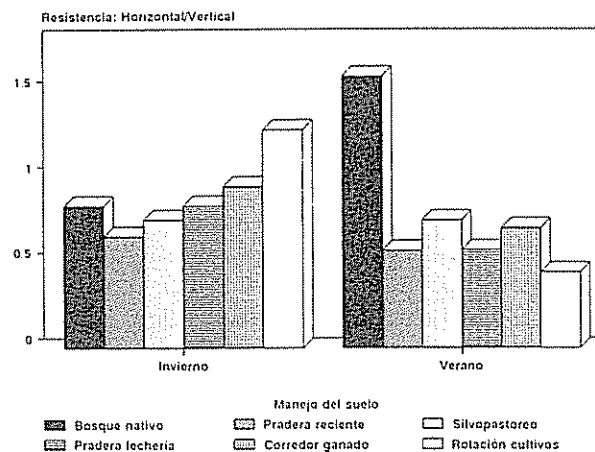


Fig. 6. Relación entre la fuerza horizontal y vertical a la torsión de un Hapludand sometido a diferentes tipos de manejo (promedio de profundidad 0 cm - 30 cm).

La relación resistencia a la penetración horizontal y vertical corresponde al coeficiente de descanso. Los valores medios, obtenidos para los primeros 30 cm del suelo con el penetrómetro de cono, se representan en la Fig. 4.

Los coeficientes de descanso de deformación medios determinados con el penetrómetro plano, para los primeros 30 cm del suelo, se presentan en la Fig. 5.

Los coeficientes de descanso medios determinados con la veleta de torsión para los primeros 30 cm de profundidad se presentan en la Fig. 6.

DISCUSION

La resistencia a la penetración afecta indirectamente la capacidad de arraigamiento. En suelos de textura fina, esta resistencia aumenta a medida que el suelo se seca, debido a un incremento de la cohesión (Mckeyes 1985). Los valores de resistencia a la penetración registrados en este trabajo en suelo seco al final del estío, no difieren mucho de los determinados a fines del invierno en suelo húmedo (Fig. 1). Este aumento se explica por un incremento en la cohesión. En Hapludand la cohesión del suelo húmedo es superior a la de un suelo seco (Ellies 1988). En condiciones secas el suelo tiende a desagregarse, con lo cual la resistencia a la penetración disminuye.

La resistencia a la penetración (o firmeza) aumenta cuando los suelos son sometidos a un uso pecuario más intenso y/o prolongado. Los cambios registrados deben asociarse a un incremento en la cohesión del suelo por efecto del uso debido probablemente a un aumento de la densidad aparente. La resistencia a la penetración es mayor en los sitios sujetos a un pastoreo intenso y prolongado. En el sitio con cultivos, esta resistencia aumenta ligeramente, debido a que el laboreo devuelve la soltura original al suelo. A partir de los antecedentes de la Fig. 1, se infiere que el aumento de la resistencia a la penetración vertical, se debe más al tipo que al tiempo de uso del suelo.

Los valores medios de la resistencia a la deformación determinados a fines del verano superaron a los de invierno (Fig. 2). Esto se explica porque la resistencia está determinada principalmente por el roce, mayor en un material seco que en otro húmedo lubricado con agua.

La secuencia de menor a mayor resistencia por los diferentes tipos de manejo del suelo, coincide con la determinada con el penetrómetro de cono. Sin embargo, contrariamente a lo esperado, la pradera implantada en 1988 (Cuadro 1) presenta una alta resistencia a la deformación, no usual durante el invierno. Esta irregularidad se debe probablemente a que se mantienen aún los efectos del destronque, arrastre de trozas y arranque de raíces. Los registros de esta medición tienen mayor amplitud de lectura que los del penetrómetro de cono. Eso sensibiliza las diferencias entre los distintos usos del suelo.

Al someter los suelos a un uso más intenso, se incrementan la cohesión y la resistencia a la rotura. En los distintos manejos del suelo, la secuencia de los valores de la resistencia a la torsión o rotura al final del invierno es similar a la registrada con los penetrómetros cónico y plano (Fig. 3). Los registros estivales difieren quizá de los invernales, porque el penetrómetro registra el efecto del amarre de las raíces.

Un incremento de la resistencia a la rotura vertical del suelo puede ser también por un secado más intenso, que resulta de la eliminación del dosel arbóreo. La densidad aparente de los estratos profundos de Hapludand bajo bosque nativo es baja. Esto se debe a que el material edáfico no se ha contraído por ausencia de un secado intenso. Una vez eliminada la cubierta vegetal original, aumentan las posibilidades de secado, provocando la contracción y/o consolidación del suelo, en este caso natural.

También las tensiones horizontales se modifican con el uso del suelo como se comprueba con el alza del coeficiente de descanso (Fig. 4). El coeficiente de descanso a la penetración no discrimina los sitios con distintos usos, ya que presenta valores similares en los diferentes sitios. No obstante, en invierno son más altos que en verano, lo cual prueba, una vez más, el aumento de la cohesión durante la época invernal y la expansión lateral del suelo por un hinchamiento que favorece el crecimiento de la tensión horizontal.

Los coeficientes de descanso a la deformación medidos con el penetrómetro plano muestran durante el invierno una ordenación ascendente en los sitios, que coinciden con la duración de la intervención antrópica del suelo, desde la eliminación del dosel arbóreo original (Fig. 5). Esta secuencia permite inferir que los sitios más intervenidos aparentemente han sido sometidos a las mayores cargas que deforman el suelo, por eso el aumento de la resistencia horizontal y/o coeficiente de descanso. En verano estos coeficientes muestran una secuencia contraria, pero menos definida; probablemente con el secado estival se producen pequeñas fisuras de orientación vertical que facilitan la deformación lateral del suelo.

Este coeficiente permite caracterizar, en forma indirecta, el sistema poroso del suelo y los efectos del uso sobre su composición. Los valores del penetrómetro de cono dependen de la cantidad y magnitud de los poros gruesos o fisuras, que facilitan la deformación, en especial, cuando los planos de declive son verticales y los resultados son más altos en las mediciones horizontales.

Estos coeficientes medidos con la veleta de torsión arrojan para las mediciones invernales una secuencia similar a la obtenida con el penetrómetro plano (Fig. 6). Al igual que en los otros casos, el sitio bajo cultivo presenta los mayores coeficientes. Eso indica que el aumento proporcional en las tensiones horizontales es producto de las cargas o los pesos históricos, a los que fue sometido el suelo.

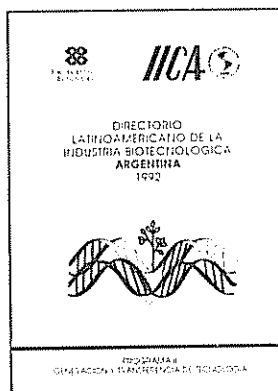
En verano el coeficiente de descanso del suelo del bosque nativo es más alto que el de los otros sitios. En el bosque la agregación del suelo presentaría un predominio del declive vertical. Con la rotura horizontal se rompen los agregados, pero no se mueven como ocurre con una rotura vertical.

En los tres tipos de registros de resistencia, los coeficientes de descanso son superiores a los estimados para suelos no consolidados. Como los suelos estructurados son anisotrópicos, los ejes de los agregados deberían tener una orientación vertical dominante. La penetración vertical desplaza el material hacia los lados. En cambio la horizontal anula la cohesión entre los agregados y, por eso, las fuerzas necesarias para romperlos deben ser mayores. Los suelos menos estructurados son más isotrópicos; por esa razón, la fuerza necesaria para romperlos depende más de las presiones sobreyacentes

LITERATURA CITADA

- BECHER, H.H. 1978. The resistance to penetration of model soils depending on water tension. *Zeitschrift für Pflanzenernährung und Bodenkunde* 141:621-633
- ELLIES, A. 1988. Mechanical consolidation in volcanic ash soils. *Catena Supplement* 11:87-92
- ELLIES, A.; HARTIGE, K.H. 1990. Erfassung der Gefügeveränderung infolge von Inkulturnahme von Böden des Sekundärwaldes in Südchile durch Multivarianzanalyse. *Zeitschrift für Kulturtechnik und Landentwicklung* 31:380-388
- ERIKSSON, J. 1986. Influence of extremely heavy traffic on clay soil. *Grudförbätting* 27(1):33-51.
- HARTIGE, K.H.; ELLIES, A.; MACDONALD, R. 1978. Anisotropy of penetration resistance in four profiles in Chile. *Geoderma* 20:58-61
- HARTIGE, K.H.; BOHNE, H. 1983. Der Einfluß der Gefügegeometrie des Bodens auf Keimung von Roggen. *Zeitschrift für Kulturtechnik und Flurbereinigung* 24:5-10
- HARTIGE, K.H.; ELLIES, A. 1990. Gefügeveränderung bei Andosolen in Südchile als Folge der Nutzung seit der Rodung. *Zeitschrift für Pflanzenernährung und Bodenkunde* 153:389-393.
- HORN, R. 1984. The prediction of the penetration resistance of soils by multiple regression analysis. *Zeitschrift für Kulturtechnik und Flurbereinigung* 25:377-380.
- KEZDI, A. 1969. *Handbuch der Bodenmechanik, I Bodenphysik*. Berlin, VER-Verlag Bauwesen. 500 p.
- MCKEYES, E. 1985. *Soil cutting and tillage*. Amsterdam, Elsevier. *Developments in Agriculture Engineering* 7:212.
- TERZAGHI, K. 1983. *Theoretical soil mechanics*. New York, Wiley. 500 p.

LIBRO RECOMENDADO



US\$5.00

Directorio Latinoamericano de la Industria Biotecnológica: Argentina 1992. San José, C.R., Foro Argentino de Biotecnología e IICA. Programa II. 110 p. Serie Publicaciones Misceláneas (ISSN-0534-5391) A1/SC-93-09.

El IICA, por intermedio de su Programa de Generación y Transferencia de Tecnología, publica este volumen dedicado a la industria biotecnológica argentina, con la intención de fortalecer las capacidades de planificación y de gestión de las nuevas biotecnologías, en los sectores públicos y privados de ALC.

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

RESEÑA DE LIBROS

NUTRIENT MANAGEMENT for crop production in tropical farming systems. 1989. J. van der Heide (Ed). Holanda, Instituto de Fertilidad de Suelos (IB); Indonesia, Malang, Universidad Brawijaya. 394 p.

Este volumen presenta 33 trabajos a aspectos generales y específicos del manejo de nutrimentos, especialmente de nitrógeno. El énfasis de la mayoría de los trabajos es agrícola acerca de los bajos o mínimos recursos en los trópicos y subtrópicos, principalmente del Lejano Oriente. Aproximadamente una tercera parte de los capítulos presentan aspectos generales sobre el aprovechamiento del N y del P, especialmente de fosfato de roca en sistemas del trópico húmedo.

En dos terceras partes de los trabajos se exponen experiencias prácticas con datos útiles sobre los potenciales de producción de los diferentes sistemas probados. Se ha dado importancia considerable a las prácticas agroforestales, como lo indican los seis estudios relacionados con este campo, y a la discusión de enfoques agroforestales en los capítulos generales.

En lo que se refiere a los cultivos, se enfatiza en los cultivos anuales alimentarios, especialmente arroz, aunque la región produce cantidades fuertes de cultivos perennes. Los resultados representan experiencias de 14 países, sobre todo la indonesia y holandesa, aunque este última se refiere a los aspectos

generales examinados y a los trabajos de científicos holandeses en los trópicos.

Todos los capítulos tienen bibliografías adecuadas que permiten profundizar más en los temas discutidos. Desgraciadamente en la mayoría de los capítulos existe solamente una descripción muy general de los suelos donde se realizaron los trabajos, lo que hará difícil trasladar los resultados a otros sitios.

No existe un índice del volumen, que habría facilitado la localización de información útil, a veces no reflejada en los títulos de los trabajos, que constituyen la guía principal para encontrar lo que es de interés.

Otro aspecto, que podría mejorarse, muy común en las investigaciones agrícolas en los trópicos, es la ausencia de datos de economía a la par, que dificulta la evaluación sobre la utilidad de los resultados.

En general, el volumen está bien editado, es claro y contribuye con información valiosa y poco frecuente sobre los métodos posibles de manejo de nutrimentos en los trópicos húmedos. Debido a que se abarca una región donde muchas condiciones y problemas son similares, su utilidad es válida para los investigadores latinoamericanos.

ELEMER BORNEMISZA
UNIVERSIDAD DE COSTA RICA

RESEÑA DE LIBROS

FERGUSON, J.E. 1990. The heavy elements, chemistry, environmental impact and health effects. Oxford, Reino Unido, Pergamon. 614 p.

Este libro presenta un enfoque amplio sobre los aspectos químicos de 10 elementos pesados, que se parecen por su posición similar en la tabla periódica, dentro del bloque caracterizado por electrones "p". Se indican sus propiedades básicas, su papel en la industria y sus formas de contaminación importantes, como el Cd, Hg, Pb, As y Sb, o menos comunes, como el Se, Te, Bi, In y Tl. Todos no constituyen elementos pesados contaminantes, pero por su parecido químico pueden ser estudiados en conjunto.

El libro tiene tres partes principales. El primero, que ocupa una cuarta parte del volumen, trata la química básica y la metodología de análisis referente a estos elementos. Se presenta una evaluación útil de las técnicas analíticas instrumentales que permiten determinar en forma confiable las cantidades, en general pequeñas, de estos elementos.

La segunda parte abarca aproximadamente la mitad del volumen y examina el comportamiento de estos diez elementos en el ambiente. Inicia con una descripción de los ciclos bioquímicos. En algunos casos, la información es amplia, pero, para otros, muy escasa. Examina luego el comportamiento de estos elementos en la atmósfera, en los sistemas acuáticos y en los sedimentos correspondientes, en suelos y plantas.

Esta parte del volumen concluye con un estudio de las diferentes maneras como los elementos pesados llegan a los ecosistemas. Se examina especial-

mente el polvo como fuente importante y muchos productos industriales, con cierto significado.

Otro tópico especial lo conforman los derivados metilados de estos elementos, ya que se producen naturalmente, por biometilación microbiana, e industrialmente.

La última parte del volumen analiza el problema que significan estos elementos pesados para las personas. Se examina su absorción por los humanos, los niveles de concentración en diferentes órganos, los niveles normales y las influencias ambientales sobre la contaminación.

La última parte del volumen estudia la neurotoxicidad del plomo. Abarca amplio material y trata de llegar a conclusiones sobre los mecanismos de la intoxicación.

Todos los capítulos tienen bibliografías extensas, casi exclusivamente en inglés, que permiten profundizar en tópicos deseados. Para facilitar la información cruzada, el volumen posee un adecuado índice de materiales.

Para aprovechar la información, se requieren conocimientos básicos equivalentes a unos dos años universitarios de química. Este volumen es una referencia muy útil para la enseñanza y la investigación de elementos pesados y se recomienda su uso en bibliotecas como por profesionales en este campo.

ELEMER BORNEMISZA
CENTRO DE INVESTIGACIONES AGRONOMICAS