

REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA**EL MÉTODO DEL CULTIVO INTENSIVO EN MACETAS PARA EL ESTUDIO DE LA FERTILIDAD DE SUELOS**

TOMEI, Carlos E.; HACK, Claudina M.; PORTA, Miriam

Instituto Agrotécnico "Pedro M. Fuentes Godo", Fac. de Ciencias Agrarias, UNNE

INTRODUCCIÓN

Los estudios sobre las relaciones planta-suelo, especialmente los referentes a la nutrición mineral, utilizan desde mediados del siglo pasado, la metodología del cultivo en macetas bajo invernadero. Tanto en el caso de gramíneas como de leguminosas subtropicales y templadas, se han realizado ensayos empleando diferentes metodologías como la del cultivo intensivo de Chaminade (1965) u otras en las que no se busca el agotamiento del suelo en breve tiempo (Reynaert y Carámbula, 1961). Los resultados logrados con estos ensayos en invernadero no tienen un valor absoluto por sí mismos, pero ofrecen una aproximación al conocimiento del estado nutricional del suelo en relación a la planta indicadora utilizada.

La técnica del cultivo intensivo en macetas para el estudio de las respuestas de leguminosas y gramíneas al agregado de nutrientes minerales hace posible relevar numerosos tipos de suelos ubicados en lugares distantes del centro de investigación (Tomei et al, 2006). Otra ventaja es que permite poner en evidencia las carencias nutritivas minerales de los suelos en un tiempo corto y se pueden precisar a bajo costo los nutrientes que se deberán estudiar en ensayos a campo limitando el número de tratamientos.

Los ensayos de invernadero tienen carácter cualitativo y pueden dar información acerca de la importancia y la jerarquía de las carencias minerales (Chaminade, 1965). De ninguna manera sustituyen a los ensayos de campo, los complementan.

Fertilidad actual y potencial.

El método del cultivo intensivo en macetas distingue la fertilidad actual de la potencial. La primera se evalúa por las cosechas que da el suelo en su estado actual, mientras que la segunda se obtiene cuando los factores modificables por el hombre se llevan al óptimo. Chaminade (1968) considera que la fertilidad potencial es una característica propia del suelo e independiente de las plantas que allí se cultivan. Otros autores opinan que esta definición de fertilidad poten-

cial no es clara, porque se estudia con una única especie, a la cual se considera indicadora, admitiendo que estos resultados serían válidos para otras (Fridman, 1968). Resultados de ensayos en macetas con distintas especies de leguminosas forrajeras invernales con el mismo o diferentes suelos coinciden con esta opinión (Tomei et al, 1988). Hay que considerar que no solo las características físico químicas edáficas son responsables de la respuesta de las plantas a la fertilización en condiciones de invernadero y menos aún a campo. De cualquier manera, la fertilidad actual por sí sola no permite conocer la fertilidad potencial de un suelo. La vía para adquirir ese conocimiento es la experimentación, cuyos objetivos son:

a) Conocer cuales son las carencias nutricionales para el crecimiento de una especie en un suelo determinado.

b) Definir la importancia de esas carencias, su jerarquía.

DESCRIPCIÓN DEL MÉTODO

Para los experimentos intensivos en macetas, se emplean 500 g (Tomei et al, 1995) a 1.000 g (Chaminade, 1965) de suelo por maceta. La explotación intensiva del suelo se logra cultivando gran número de plantas en cada maceta para lograr el agotamiento del suelo en un corto tiempo. Se siembran por ejemplo 1000 espiguillas de *Lolium perenne* y de 50 a 100 semillas de *T. repens*. Otros autores no utilizan técnicas tan intensivas (Reynaert y Carámbula, 1961), sembrando 5 semillas pregerminadas por maceta que contienen 1000 g de suelo. Tergas (1977) utiliza macetas con capacidad de 500g de arena seca y siembra 5 semillas, dejando solo tres plantas para las evaluaciones. Otros autores han utilizado cantidades mayores de suelo por maceta tanto en estudios de respuesta a la fertilización (Schwenke y Kerridge, 2000; Paulino et al, 1994) como en estudios sobre competencia interespecífica (Lemus y Toledo, 1986).

Las técnicas utilizadas para determinar las carencias pueden ser aditivas o sustractivas. En la técnica aditiva se cuenta con un tratamiento testigo, sin incorporación de nutrientes y se añaden sucesivamente los nutrientes a evaluar. La técnica sustractiva es la utilizada por Chaminade (1965a), parte de un tratamiento que incluye todos los nutrientes en forma simultánea (tratamiento completo) y se sustrae un nutriente por vez. Chaminade sostiene que la producción de MS del testigo, sin ningún fertilizante, representa la fertilidad actual del suelo, en tanto que la producción del tratamiento completo es expresión de la fertilidad potencial del mismo. En función de esto todos los tratamientos se consideran como porcentajes del tratamiento completo, conformando un Índice de Rendimiento. Con ambas técnicas se evalúan tan.

ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE DATOS

Para el procesamiento de datos se efectúan análisis de variancia y en algunos casos de regresión (Carámbula, 1962; Tomei y Fuentes Godo, 1974; Jones, 1974; Partridge y Wright, 1993; Ferreira et al, 2000; Tomei et al, 2001). De la comparación de las medias surgen las deficiencias y la importancia o jerarquía de las mismas. Cuando se emplean técnicas aditivas las comparaciones se realizan con respecto a un testigo absoluto, aunque también es frecuente hacerlo con el tratamiento que incluye a todos los nutrientes en estudio.

En los experimentos sustractivos los diferentes tratamientos se comparan con el tratamiento completo. Chaminade (1964) que utilizó esta técnica consideró que si los rendimientos parciales de un tratamiento fueran menores o iguales al 40 % del correspondiente a la fertilización completa, la deficiencia sería grave. Si se ubicaran entre 40 y 70 %, se trataría de una deficiencia neta que necesitaría de la fertilización. Un aspecto a tener en cuenta con el experimento sustractivo es que por interacciones entre nutrientes, como Ca y K, los rendimientos del tratamiento completo pueden ser menores que aquellos donde se sustrajo uno de los mismos.

Killian y Velly (1964) empleando los rendimientos del primer corte establecieron una escala provisoria de deficiencia:

Índice de Rendimiento	Deficiencia
Menor de 40 %	Muy grave
Entre 40 – 70 %	Grave
Mayor de 70 %	Problemas de asimilabilidad (Ca) o de mineralización (S)

Posteriormente Chaminade (1965b) aplicó esta clasificación a los índices de rendimiento de las

producciones de cada corte y a la suma de los mismos.

Roche, Velly y Celton (1966) reformularon la escala proponiendo el uso de los promedios de los cuatro cortes y la siguiente terminología:

Índice de Rendimiento (%)	Categoría
Menor de 30	Deficiencia mayor
Entre 30 – 60	Deficiencia menor
Más de 60	Sin deficiencia

No hubo acuerdo sobre la escala más adecuada y se han propuesto otras formas de evaluar los resultados aplicando el análisis de la variancia y estudiando las diferencias entre medias con pruebas de Duncan (Reynaert y Carámbula, 1961) o de Tukey (Tomei y Fuentes Godo, 1974).

Schenkel *et al.* (1974) propusieron graficar los índices de rendimiento de los tratamientos con respecto al rendimiento del tratamiento completo en forma semilogarítmica, obteniendo lo que denominaron líneas de fertilidad. Distinguen dos etapas en el estudio de los suelos con el método de las macetas: una primer etapa de detección de deficiencias y otra posterior para su corrección. Tomei *et al.* (1995) siguen esta idea de las dos etapas de estudio en invernadero y proponen denominar a las deficiencias que se manifiestan desde el primer corte como deficiencias primarias y a las que se presentan desde el segundo corte deficiencias secundarias. Siempre utilizando el análisis de la variancia, comparando diferencias entre medias y definiendo el efecto significativo o no, con pruebas estadísticas.

PLANTAS INDICADORAS

Las plantas que se utilizan en este tipo de ensayos para detectar las posibles deficiencias minerales, se denominan plantas indicadoras. Si bien una de las más empleadas para este fin es el Rye grass (*Lolium perenne*), también se han utilizado otras especies como *Sorghum vulgare*, *Oriza sativa* (Roche, P., 1967), *Medicago sativa* (Tomei y Fuentes Godo, 1974; Clarke, 1976), *Trifolium repens* (Schenkel et al, 1974; Tomei et al, 1995), *Vicia villosa*, *Medicago hispida*, *Lotus corniculatus* y *Stylosanthes guianensis* (Tomei et al, 1988).

El empleo de gramíneas como plantas indicadoras, simplifica los ensayos al no depender de relaciones simbióticas con otros organismos. Sin embargo, los resultados obtenidos no son extrapolables a especies leguminosas. En estas especies no solo intervienen los requerimientos de las plantas sino también los que corresponden a los microorganismos asociados a ellas.

La escuela de Chaminade considera que la interpretación de los resultados de los ensayos es independiente de la planta utilizada. Esto proba-

blemente pueda aplicarse para las respuestas a la fertilización con P, pero aun con este nutriente hay plantas que no responden incrementando su producción (Partridge y Wright, 1993). Con respecto al molibdeno Schwenke y Kerridge (2000) han determinado una jerarquía en la respuesta de varias leguminosas, las que se presentan como sin respuesta, intermedia o con respuesta. Estos autores coinciden parcialmente con lo propuesto por Bruce (1978). Las diferentes plantas reaccionan de diferente manera ante iguales condiciones de suelo. Varios autores reportan resultados que avalan la idea de que la fertilidad de los suelos debe ser evaluada en función de la planta que se cultivará en cada uno de ellos (Tomei et al, 1988). Las diferencias de respuestas se manifiestan tanto entre distintas especies como entre accesiones de una misma especie (Gibson et al, 1975). También existen diferencias entre especies en cuanto a la habilidad para absorber nutrientes de la solución del suelo (Hamon et al, 1997).

RESULTADOS OBTENIDOS

Letelier y Zamolinski (1974) utilizaron el método de Chaminade para estudiar deficiencias nutritivas minerales para *Medicago sativa* en la Región Pampeana Argentina, buscando una explicación para la disminución de los rendimientos en los cultivos y en el marco de estudios más amplios, encontrando deficiencias de P en varios de los suelos estudiados.

Trabajos realizados en la Provincia de Corrientes ratificaron con este método deficiencias de P en Molisoles, Ultisoles y Entisoles, empleando *L. corniculatus*, *Medicago polymorpha*, *V. villosa* y *M. sativa* como plantas indicadoras (Tomei y Fuentes Godo, 1974 y Tomei et al. 1988). Se encontraron diferencias en la respuesta a la fertilización entre estas especies, en concordancia con su mayor o menor requerimiento de P como lo han demostrado otros autores (Gibson et al, 1975). Con el mismo método de cultivo intensivo pero con una técnica aditiva se hallaron deficiencias de Ca, Mg y Zn para *T. repens* cv Haifa en suelos del este de la Región Chaqueña Argentina (Tomei et al, 1996).

En un estudio realizado con ocho suelos de la Provincia de Corrientes, en siete se ha determinado deficiencia primaria de P para *T. repens* cv Haifa, en tanto que K, Ca y Mg solo aparecieron como deficiencias primarias en dos de ellos (Tomei et al, 1995). En ese trabajo los autores comunicaron la existencia de deficiencias secundarias de S en tres de los suelos estudiados. Estos resultados coinciden con los obtenidos por Partridge y Wright (1993), quienes en ensayos con macetas en un suelo ácido de Queensland, Australia, encontraron respuestas a la adición de S para *S. guianensis* sin importar la adición o no de P. *Chamaecrista rotundifolia* solo

respondió al P cuando se aplicó S. También Ferreira et al. (2000) encontraron respuesta a la fertilización fosfatada del *S. guianensis* en un latosol en ensayos de invernadero. Por otra parte en algunos suelos también se presentan deficiencias de otros nutrientes aparte del P, como Mo y S, que han sido estudiadas en invernadero (Tomei et al, 2001).

VALIDACIÓN DE LOS RESULTADOS

Algunos autores sostienen que en general hay correspondencia entre los experimentos de invernadero y campo (Sanderson y Elwengen, 1999). La validación a campo de resultados obtenidos en ensayos de invernadero ha mostrado que hay buena concordancia con el fósforo (Tomei et al, 2001), siendo aceptable para deficiencias graves de azufre y muy variable con respecto al potasio (Roche et al, 1964).

Existe una buena correlación entre los resultados obtenidos en ensayos de macetas y a campo con respecto al P, Ca y Mg. Con estos conceptos concuerdan Sanderson y Elwengen (1999) quienes encontraron coincidencia entre los resultados de invernadero en varios suelos y los obtenidos sobre esos mismos suelos en ensayos de campo.

Para el K no se obtiene siempre concordancia entre estos dos tipos de ensayos. Esta diferencia de respuesta puede deberse al rápido agotamiento del K en las macetas a causa de la intensidad de utilización, situación que no se registra a campo. En este caso el mayor volumen de suelo explorado por las raíces y la gradual liberación de este nutriente del complejo de absorción permiten a la planta satisfacer sus necesidades.

En el caso del S las deficiencias se presentan después del segundo corte en los ensayos en macetas. La fuente edáfica más importante de este nutriente es la materia orgánica, por consiguiente una baja velocidad de mineralización se manifestará en deficiencia. Al igual que el K no siempre la deficiencia detectada en maceta se manifiesta en el campo. La calibración del método, con experimentos de campo en una región como la del Nordeste Argentino con una superficie de 300.000 km² no es posible para todos los suelos. Si bien no siempre es posible validar los resultados para cada suelo estudiado en invernadero con ensayos de campo, es necesario hacerlo por lo menos con los suelos más representativos, utilizando las plantas que eventualmente se cultivarán en ellos. Martini (1969) encontró un 90 % de correlación entre ensayos de invernadero y campo para diferentes combinaciones de N, P y K. Ensayos instalados a campo aplicando la técnica de las microparcels podría ser una alternativa de validación. Esta metodología fue utilizada con plantas indicadoras anuales por Hardy (1966) en Costa Rica para el estudio de la respuesta a la fertilización con N, P y K en un factorial 3³ con 27 tra-

tamientos sin repeticiones. Sus resultados fueron aplicados con éxito en la fertilización de cultivos de caña de azúcar de Jamaica. El método recibió inicialmente críticas porque estos autores utilizaban peso verde, cosechaban parcelas de 0,36 m² y no contaban con repeticiones. Martini (1969) hace una modificación del método a fin de incorporar repeticiones, agrandar las parcelas y utilizar peso seco a 80° C. Para ello redujo el número de tratamientos postulando un factorial 2³ de manera que quedan 8 tratamientos con tres repeticiones, resultando un total de 24 parcelas de 1 m².

La técnica de las microparcelas ha sido aplicada por muchos investigadores para el estudio de diversas variables.

CONCLUSIONES

La técnica del cultivo intensivo de plantas indicadoras en macetas es un camino eficaz para conocer el estado nutricional de los suelos.

La técnica debe ser aplicada utilizando la especie forrajera que será cultivada en el suelo del cual provienen las muestras.

La aceptable correspondencia entre resultados de macetas y de campo permitirían pasar directamente a la etapa de corrección de las deficiencias. Sin embargo sería conveniente validar los resultados obtenidos en macetas con ensayos de campo utilizando la técnica de las microparcelas.

BIBLIOGRAFÍA

Bruce, R.C. 1978. A review of the trace element nutrition of tropical pasture legumes in northern Australia. *Tropical Grasslands*, 12 : 170-183.

Carámbula, M. 1962. Deficiencias en suelos. *An. Soc. Mej. Prad. Uruguay* 6: 93-102.

Chaminade, R. 1964. Diagnostic des carences minerales du sol par l'experimentation en petits vases de végétation. *Science du Sol*, s.p., Deuxieme Semestre.

Chaminade, R. 1965a. Recherche sur la fertilité et la fertilisation des sols tropicaux. Principes de base et techniques *L'Agronomie Tropical*. 20(10): 1014 –1017.

Chaminade, R. 1965b. Bilan de trois années d'experimentation en petits vases de vegetation. *L'Agronomie Tropical*. 20(11): 1101 –1162.

Chaminade, R. 1968. Theories Scientifiques de la fertilisation des sols. Conclusions. *L'Agronomie Tropicale* 23(2): 195-196.

Clarke, M.R. 1976. El vigor de la alfalfa en relación al contenido de macroelementos en los suelos Serie Pergamino: Rafaela, Roldan (Oliveros y Roca (Marcos Juarez). I.- Metodología usada y antecedentes sobre el tema. *IDIA N° 33*: 220 – 224.

Ferreira, R.; Cardoso Pinto, J.; Siquiera, J.O.; Cun, M. Y Ramalho de Morais, A. 2000. Influencia

de micorriza e fósforo sobre o rendimento de materia seca e qualidade de *Andropogon gayanus* e *Stylosanthes guianensis* cultivados em um latossolo. *Past. Trop.* 22 (2): 34-41.

Fridman, M. 1968. Compt renrus des debats. D.- La fertilité potentielle. *L'Agronomie Tropicale* 23(2): 186.

Gibson, D.I.; Hayes, P. and Laidlaw, A.S. 1975. The influence of phosphate and lime on the growth and N fixation of *Lotus uliginosus* and *Trifolium repens* under greenhouse conditions. *Journal of the British Grassland Society*, 30: 295 – 301.

Hamon, R.; Wundke, M.; McLaughlin y Naidu, R. 1997. Availability of zinc and cadmium to different plant species. *Australian Journal of Soil Research* 35 (6): 1267 – 1278.

Hardy, F. y Bazán, R. 1966. The maize microplot method of soil testing. *Turrialba* 16 (3):267-270

Jones, R.M. 1974. A study of the phosphorus responses of a wide range of accessions from the genus *Stylosanthes*. *Australian Journal of agricultural research*, 25, 847-862.

Killian, J. y Velly, J. 1964. Diagnostic des carences minerales en vases de végétation sur quelques sols de Madagascar. *L'Agronomie Tropicale* 19(5): 413 – 443.

Lemus, R.A. y Toledo, J.M. 1986. Competencia entre *Andropogon gayanus* y plántulas en desarrollo de *Stylosanthes capitata*. *Pasturas Tropicales* 8 (3): 9 – 13.

Letelier, E. y Zamolinski, A. 1974. Exploración de deficiencias nutritivas en alfalfa por medio de ensayos en macetas en suelos de la Pampa Subhúmeda. II Reunión de Fertilidad y Fertilizantes. *Soc.Cient.Arg.* p.p. 304 – 311.

Martini, J.A. 1969. La microparcela de campo como un método biológico rápido para evaluar la fertilidad del suelo. *Turrialba* 19 (2): 261 – 266.

Partridge, I.J. and Wright, J.W. 1993. Sulphur responses by legumes on soils derived from granodiorite in south east Queensland. *Tropical Grasslands* 27(1): 48-52.

Paulino, V.T.; Malavolta, E. e Costa, N de L. 1994. Resposta de *Neonotonia wightii* a calagem e aplicação de micronutrientes. *Pasturas Tropicales*, 16 (2): 23 –33.

Reynaert, E. y Carámbula, M. 1961. Estudios sobre deficiencias nutritivas en algunos suelos por medio de ensayos en macetas. *An.Soc.Mej. Prad.Uruguay* 5: 59-75.

Roche, P.; Dufournet, R; Rabetzano, A.; Rakotondrainibi, Ch. y Velly, J. 1964. Problèmes d'utilisation des engrais minéraux sur les Hauts Plateaux de Madagascar. *L'Agronomie Tropicale* XIX(4): 285 – 317.

- Roche, P.; Velly, J. y Celton, J. 1966. Problemes de generation de fertilité des sols ferralitiques de Madagascar. L'Agronomie Tropical XXI (9): 1054-1079.
- Roche, P. 1967. Contribution a L'étude du statut Phosphorique des sols de Madagascar. Incidence sur les problèmes de fertilité. L'Agronomie Tropical XXII (3): 249-305.
- Sanderson, M. A. And Elwengen, G. F. 1999. Grass species an cultivar effects on establishment of grass – white clover mixtures. Agronomy Journal 91 (6): 889 – 897.
- Schenkel, G.; Baherle, P.; Floody, H. y Gajardo, M. 1974. Exploración de deficiencias nutritivas con suelos en macetas. Macronutrientes, Provincia de Aisen. Agricultura Técnica 34 (4): 189 – 200.
- Schwenke, T.G. y Kerridge, P.C. 2000. Relative responsiveness of some tropical pasture legumes to molybdenum. Tropical Grasslands 34 (2): 91 – 102.
- Tergas, L.E. 1977. Importancia del azufre en la nutrición mineral de leguminosas forrajeras tropicales. Turrialba 27 (1): 63 –69.
- Tomei, C.E. y Fuentes Godo, P.M. 1974. Contribución al conocimiento de las relaciones entre el agregado de fertilizantes y la productividad de diferentes leguminosas en suelos de la Provincia de Corrientes. II .- Rol de diferentes nutrientes en la productividad primaria. II Reunión de Fertilidad y Fertilizantes. Sociedad Científica Argentina, p.p. 254 – 264.
- Tomei, C.E.; Fuentes Godo, P.M. y Guarrochena, A. 1988. Productividad de leguminosas forrajeras en relación a los nutrientes minerales de suelos de la Provincia de Corrientes, Argentina. I.- Comportamiento de *Medicago polymorpha*, *Lotus corniculatus* y *Vicia villosa* con el agregado de fósforo. Publicación Técnica Nro 9, Inst.Agrot. UNNE. 18 p.
- Tomei, C.E.; Castelan, M.E; Poletti, M.M. y Slukwa, M.A. 1995. Respuesta del *Trifolium repens* L al agregado de P, K, Ca, Mg y S en ocho suelos del Nordeste Argentino. Revista de la Facultad de Agronomía; La Plata. Tomo 71(2): 173 – 178.
- Tomei, C.E.; Regonat, P.; Tomei, C.E.(h); Castelan, M.E.y Arce, G.E. 1996. Ensayos exploratorios en macetas sobre fertilidad de suelos del Chaco Oriental Argentino. Agrotecnia 2: 1 – 6.
- Tomei, C. E.; Ciotti, E. M.; Castelán, M. E.; Hack, C. M.; Pomarada, L. 2001. Deficiencias minerales y su corrección para *Trifolium repens* en un Argiustol Acuico. Agrotecnia N° 7: 2 – 8.
- Tomei, C. E.; Hack, C. M.; Porta, M. 2006. Deficiencias de nutrientes minerales em suelos del Nordeste Argentino. Ensayos de invernadero. Agrotecnia N° 16: 14 – 18.