

Evaluación de los niveles relativos de P y K en un suelo para el cultivo de *Trifolium subterraneum*

J. L. MARTÍN POLO y J. M. GÓMEZ GUTIÉRREZ

Centro de Edafología y Biología Aplicada.
(C.S.I.C.). Salamanca

RESUMEN

Se ha realizado un estudio de la deficiencia relativa de fósforo (P) y potasio (K) en un suelo (lehm granítico) para el cultivo de Trifolium subterraneum. El experimento fue montado según el método de HOMES, con once tratamientos y cuatro niveles. Dadas las características de pobreza extrema del suelo utilizado, los dos últimos niveles no cumplen la ley del citado autor, por haber dejado de comportarse como responsables de la producción los elementos ensayados como variables; un tercer factor ha pasado a ser limitante.

Se estiman las proporciones óptimas de P y K para los dos primeros niveles, sin que pueda llegarse a verificar la ley de HOMES, por interferencia de un tercer factor limitante que sería necesario investigar en nuevos experimentos.

INTRODUCCIÓN

Son tantos los factores determinantes de la fertilidad de un suelo, que es muy difícil, cuando no imposible, llegar a acotar de primer intento los responsables del fracaso de un cultivo.

El método más racional a nuestro alcance, para llegar a conocer tanto los factores limitantes como la gradación de los deficientes, es el de los estudios parciales, que definen el estado de un suelo respecto a un número concreto y limitado de factores.

El ensayo cuyos resultados se muestran a continuación fue montado con el fin de conocer la deficiencia de fósforo (P) y potasio (K) en un suelo para el cultivo de *Trifolium subterraneum* Tallarook.

Aun sospechando la pobreza de otros factores, entre todos los elementos nutritivos, seleccionamos fósforo y potasio por ser los que arrojaron respuestas porcentuales más elevadas en un ensayo previo. Esta sospecha se confirmó al llegar al nivel crítico de dichos elementos antes de lo previsto, pasando a ser limitante otro factor distinto, aceptando que los elementos nutritivos se adicionaron en cantidad aparentemente suficiente, como abonado de fondo.

El experimento se montó con la normativa del método de HOMES (8), (9), (10), por ser uno de los más útiles para conocer el estado de fertilidad de un suelo para varios elementos nutritivos y para una planta concreta. Los trabajos de este autor con los de MITSCHERLICH (14), (12), han alcanzado el grado de auténticas leyes sobre la fertilización. Del método de HOMES se deduce el de variantes sistemáticas (9), (10), de gran utilidad en aplicaciones agronómicas. La difusión del método no ha sido todo lo rápida que cabía esperar, particularmente en los países de lengua inglesa (2). Ha sido estudiado por: BUSSLER (3), en Alemania; DAGNELIE (6), FOROUGIT (7), etc., en Francia; CHISCI (4), en Italia; CONTREIRAS (5), en Portugal; BARBEIRA (1), en Argentina, etc.

Este método permite conocer tanto el estado de fertilidad como la proporción adecuada entre los elementos ensayados. Sólo es aplicable para elementos deficientes que pasan a ser limitantes por adición de los demás elementos nutritivos. Cuando otro factor distinto a los ensayados pasa a ser limitante, la ley no se cumple y el método no es utilizable, cual es el caso de los dos últimos niveles de este ensayo.

Del suelo que se utiliza en este estudio fueron el P y K los que se mostraron en mínimo, entre todos los elementos nutritivos responsables de ese aspecto de la fertilidad. Sin embargo, la respuesta no fue alta, por lo que se sospechó la pobreza en otro factor, que pronto se convierte en limitante.

Respecto a la acción microbiana (efectos de la presencia o ausencia de la bacteria radicícola simbiótica, proveedora de nitrógeno, *Rhizobium trifolii*) se descartó su posible influencia inoculando las plantas, que mostraron nodulación eficiente.

EXPERIMENTAL

El ensayo se montó en invernadero, pero sin control de factores ambientales, es decir, en jaula de cristal con dispositivos de aireación y sistema eficaz para el mantenimiento de la humedad.

Se utilizaron macetas con capacidad para 4 Kg., con suelo soporte de lehm granítico, cuyo análisis arrojó los siguientes resultados:

pH	} CIK	3,7	Arena fina	27,2 %
		} H ₂ O	4,5	Arena gruesa	...	42,5 %
N	0,067 %	Limo	15,5 %
CaO	...	...	...	500 mg./100 g.	Arcilla	...	...	12,2 %
P ₂ O ₅	...	...	...	2 mg./100 g.				
K ₂ O	...	...	...	6 mg./100 g.				
M.O.	...	...	...	0,9 %				

En cada maceta se sembraron 4 plantas de *Trifolium subterraneum* Tallarook, procedentes de un cultivo en arena lavada, establecido a manera de vi-

vero. Las plantas fueron inoculadas y en el trasplante la nodulación era ya evidente.

Cada tratamiento se realizó con cuatro repeticiones.

Se ensayaron dos variables —P y K— con cuatro niveles: P + K = 0,25; 0,50; 1,00; 2,00 g/maceta, con la distribución de tratamientos y dosis que figuran en la tabla I, manteniendo la suma P + K constante.

Fechas de abonado: la primera (mitad de las dosis) 10 días después del trasplante realizado el 10-IV-72; la segunda (resto de las dosis), 20 días después.

El P fue adicionado como fosfato amónico, potásico o sódico; el K como cloruro o fosfato, para mantener el balance aniónico y catiónico constante; el resto de los elementos mayores y los oligoelementos se pusieron como abonado de fondo utilizando los productos y dosis que se indican a continuación:

NO ₃ NH ₄	0,50 g.	MoO ₃	0,003 g.
Cl ₂ Ca	2,50 g.	BO ₃ H ₃	0,171 g.
SO ₄ Na ₂	1,00 g.	SO ₄ Cu. 5H ₂ O	0,123 g.
CL ₂ Mg. 6H ₂ O	1,50 g.	SO ₄ Mn. H ₂ O	0,6912 g.
		SO ₄ Fe 7H ₂ O	3,840 g.

Hay que advertir que las cantidades de estas sustancias de abonado de fondo fueron a veces cambiadas con el objeto de mantener el balance aniónico y catiónico.

Para las regresiones se ensayaron las ecuaciones:

$$q \quad Y = a x^2 + b x + c$$

$$\#_1 \quad Y = \frac{(x + m) (1 - x + n)}{a x + b}$$

$$\#_2 \quad Y = \frac{(x + m) (1 - x + n)}{a x^2 + b x + c}$$

TABLA I

NIVELES Y TRATAMIENTOS DE ABONADO UTILIZADOS

Trata- miento	Nivel a		Nivel b		Nivel c		Nivel d	
	0,25 g./maceta P	K	0,50 g./maceta P	K	1,00 g./maceta P	K	2,00 g./maceta P	K
A	0,000	0,250	0,000	0,500	0,000	1,000	0,000	2,000
B	0,025	0,225	0,050	0,450	0,100	0,900	0,200	1,800
C	0,050	0,200	0,100	0,400	0,200	0,800	0,400	1,600
D	0,075	0,175	0,150	0,350	0,300	0,700	0,600	1,400
E	0,100	0,150	0,200	0,300	0,400	0,600	0,800	1,200
F	0,125	0,125	0,250	0,250	0,500	0,500	1,000	1,000
G	0,150	0,100	0,300	0,200	0,600	0,400	1,200	0,800
H	0,175	0,075	0,350	0,150	0,700	0,300	1,400	0,600
I	0,200	0,050	0,400	0,100	0,800	0,200	1,600	0,400
J	0,225	0,025	0,450	0,050	0,900	0,100	1,800	0,200
K	0,250	0,000	0,500	0,000	1,000	0,000	2,000	0,000

TABLA II

RENDIMIENTOS OBTENIDOS EXPRESADOS COMO GRAMOS DE MATERIA SECA POR MACETA

TRATAMIENTOS	RENDIMIENTOS g./m.			
	Nivel a	Nivel b	Nivel c	Nivel d
A	3,5	3,5	7,3	7,0
B	5,0	5,5	7,5	6,0
C	5,8	6,3	7,0	7,6
D	6,4	7,8	8,0	6,8
F	7,3	8,5	7,8	8,0
F	7,9	9,0	8,0	7,4
G	7,8 *	10,0	8,3	8,5
H	7,5	11,0 *	8,5	8,0
I	7,5 *	11,5	8,3	6,4
J	9,0	10,0 *	7,5	8,3
K	8,5	9,8	6,0	8,0

Testigo = 4,3 g./maceta (M.S.).

(*) Los valores marcados con asterisco no se han tenido en cuenta al hacer las regresiones con las ecuaciones U_1 y U_2 .

además de la de la recta $Y = a x + b$.

x = nutriente adicionado.

m y n = nutriente que aporte el suelo, de la misma naturaleza que el adicionado.

RESULTADOS OBTENIDOS Y DISCUSIÓN

Los rendimientos figuran en la tabla II, y las curvas y rectas de regresión, en la figura 1.

En principio se hizo la regresión por las ecuaciones q , u_1 y u_2 , teniendo en cuenta todos los valores, pero para u_1 y u_2 aparecieron asíntotas en el intervalo, por lo que fue necesario eliminar los valores indicados en la tabla II. Al tomar esta medida, ambas ecuaciones se transforman en ecuaciones tipo q , para los niveles 0,25 y 0,50 g/maceta de abonado. El hecho es lógico, pues si se observa la representación gráfica (fig. 1, niveles a y b) se aprecia que la disposición de los puntos es de tipo parabólico y con muy poca pendiente, por lo que al hacer la regresión con u_1 y u_2 se transforman en la de tipo q , dando la misma ecuación para u_1 que para u_2 en cada uno de los dos niveles indicados.

En los niveles de 1 y 2 g/maceta (c y d , fig. 1), la regresión se ha realizado con la ecuación de la recta.

Como quiera que sea, los resultados obtenidos figuran en la tabla III, mostrando una distribución correcta respecto a su significación experimental. El método seguido para conocer la significación del ajuste es el que figura en SNEDECOR (13). No obstante, hay que advertir que al no tener en cuenta ciertos valores para hacer la regresión, la desviación del valor de la proporción

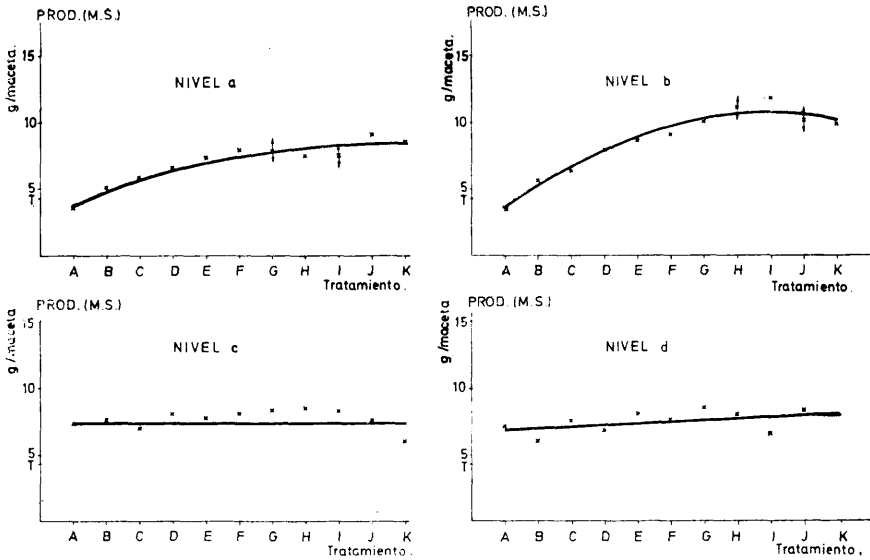


Fig. 1

TABLA III

ECUACIONES RESULTANTES DE HACER LA REGRESION EN LOS DIFERENTES NIVELES CON q , U_1 , U_2 y R (recta)

Nivel	Ecuación	F	Significación
0,25	$Y_q = 3,8731 + 9,8871 P - 5,4371 P^2 \dots \dots \dots$	49,691	***
	$Y_{u_1} = 3,7016 + 42,6269 P - 93,3050 P^2 \dots \dots \dots$	61,500	***
	$Y_{u_2} = 3,7016 + 42,6269 P - 93,3050 P^2 \dots \dots \dots$	61,500	***
0,5	$Y_q = 3,4633 + 17,7008 P - 11,0781 P^2 \dots \dots \dots$	109,636	***
	$Y_{u_1} = 3,5242 + 34,0695 P - 41,2355 P^2 \dots \dots \dots$	94,093	***
	$Y_{u_2} = 3,5242 + 34,0695 P - 41,2355 P^2 \dots \dots \dots$	94,093	***
1,0	$Y_q = 6,8164 + 5,6783 P - 5,7693 P^2 \dots \dots \dots$	5,257	**
	$Y_{u_1} = 7,6545$		
	$Y_{u_2} = 7,6545$		
2,0	$Y_{q_2} = 6,5860 + 2,8887 P - 1,6841 P^2 \dots \dots \dots$	1,526	*
	$Y_R = 6,8408 + 0,6136 P \dots \dots \dots \dots \dots$	3,026	*
	$Y_R = 6,8408 + 0,6136 P \dots \dots \dots \dots \dots$	3,026	*

- *** Muy significativo.
- ** Significativo.
- * No significativo.

En los niveles 1,0 y 2,0 g./maceta la regresión se ha efectuado según la ecuación de una recta.

óptima respecto del observado, en este sentido en concreto, puede ser mayor que el conseguido con la regresión q (con todos los valores observados).

Las proporciones óptimas resultantes de la regresión q son: para el nivel 0,25 (a), $y = 8,37$ g/maceta ($x = 90,9\%$ P, $9,1\%$ K); para el nivel 0,50 (b), $y = 10,53$ g/maceta ($x = 79,9\%$ P, $20,1\%$ K).

Los niveles 1,00 (c) y 2,00 (d) g/maceta muestran que hay respuesta única que permanece invariable sea cual fuere la proporción entre los dos nutrientes ensayados. Los rendimientos obtenidos no llegan a estar por debajo de los del testigo, sino que se mantienen con valores intermedios, por lo que se puede deducir que no se ha llegado a la toxicidad en ninguno de estos niveles. Por otra parte, la ligera tendencia ascendente del nivel 2,00 g/maceta (figura 1 d) parece indicar aún cierta insignificante respuesta al fósforo. El nivel crítico del potasio parece haber sido alcanzado.

En los dos primeros niveles, P y K son los factores responsables de la producción, y esta crece en razón directa del fósforo adicionado, complementado con ligeros aportes de potasio. En el nivel 0,50 g/maceta (fig. 1, b) incluso parece haberse alcanzado el nivel crítico de fósforo y la curva (rendimiento) comienza a descender en los dos últimos tratamientos.

En el nivel 1,00 g/maceta (fig. 1, c) ambos elementos han rebasado las necesidades de la planta para ese suelo y circunstancias. Ambos han dejado de ser limitantes, pasando a ser, posiblemente, deficientes (potencialmente limitantes), en un suelo en que un tercer factor comienza a ser limitante. Ni en este nivel, ni siquiera en el siguiente se alcanza la toxicidad, pero los elementos ensayados ya no son los responsables directos de la producción y la ley de HOMES deja de cumplirse, haciendo que el método carezca ya de eficacia.

Este contratiempo hace que no pueda utilizarse la fórmula que propone el autor del método para calcular el nivel óptimo,

$$Y = K C^p \cdot e^{-mc}, \text{ en la que:}$$

Y = variable dependiente (producción).

K = constante (dependiente de variaciones ecológicas).

C = variable independiente (nivel de abonado).

p,m = parámetros.

pues no hay valores suficientes. Es decir, a partir del nivel 1,00 no es posible aplicar el método de HOMES, porque los elementos adicionados como variables no se comportan como deficientes (fig. 1, c). No obstante, con las proporciones más eficaces resultantes para los niveles 0,25 y 0,50 g/maceta se podría calcular, según HOMES (11) y VAN SCHOOR (15), la proporción óptima de cualquier nivel, pues dicha proporción en suelo real varía con el nivel adicionado; como ejemplo tenemos las diferencias existentes en las proporciones calculadas para los niveles antes mencionados. Así, pues, serían necesarios más valores observados para calcular matemáticamente el nivel óptimo, aunque de la observación de los resultados se deduzca que está próximo a 0,50 g/maceta y, por consiguiente, la proporción más adecuada está también muy próxima a 79 % P y 20,1 % K, con una producción de $Y = 10,53$ g/maceta. Para llegar a definir con certeza matemática nivel y proporciones óptimas había que investigar otros factores responsables de la capacidad de cambio.

BIBLIOGRAFIA

- (1) BARREIRA, E.; LÓPEZ DOMÍNGUEZ, H., y VAVSUSKA, F., 1961: *El método de "Variantes sistemáticas" en el diagnóstico de la fertilidad de los suelos*. Revta. Invest. Agric., 15 (3), 487-504.
- (2) BEAUCHAMP, E.G., and HAMILTON, H.A., 1970: *Optimum ratios of nitrogen and phosphorus fertilizers for corn determined by Homés method of systematic variations*. Can. J. Pl. Sci., 50: 141-150.
- (3) BUSSIER, W., 1966: *Erfahrungen mit der "Methode der Systematischen Variationen nach Homés" zur Ermittlung einer optimalen Nährstoffverhältnisses für die Düngung der Pflanzen*. Z. Pf. Ernähr. Düng. Bodeenk., 113: 236-246.
- (4) CHISCI, G., 1962: *Considerazioni sull'impiego delle "Varianti Sistematiche" di M. Homés per la determinazione dei fabbisogni di concimazione delle culture in pieno campo*. Atti del IV Simposio internazionale di Agrochimica (Pisa-Firenze), 6, 531-565.
- (5) CONTREIRAS, J.; BAPTISTA, J.; DE ARRIAGA E CUNHA, J., et PERDIGAO, J., 1956: *Modificação da modalidade original do "Método de Homés"*. Agronomia Lusit., 18, 15-166.
- (6) DAGNELIE, P., 1966: *La détermination et la comparaison des fumures optimales par la méthode des Variantes Systématiques et l'analyse statistique à plusieurs variables*. Bull. des Recherches Agronomiques de Gembloux, 1 (3), 394-409.
- (7) FORONGIT, M., 1966: *Das optimale Verhältnis der sechs Massennährstoffe (N, P, S und K, Ca, Mg) nach der Methode der Systematischen Variationen von Homés für Aspergillus niger*. Zeitsch. für Pflanzenernährung Düngung, ed. Epinger, Berglin, 774-792.
- (8) HOMÉS, M.V.L., 1961: *L'alimentation minérale équilibrée des végétaux*. I. Universa-Wetteren (Belgique).
- (9) HOMÉS, M.V.L., et VAN SCHOOR, G. H. J., 1966: *L'alimentation minérale équilibrée des végétaux*. II. Universa-Wetteren (Belgique).
- (10) HOMÉS, M.V.L., and VAN SCHOOR, G.H., 1969: *La nutrition minérale des végétaux*. Masson et Cie, Editeurs (Paris).
- (11) HOMÉS, M.V.L., et VAN SCHOOR, G.H., 1969: *Estimation de la richesse utile d'un sol à partir des rendements de la végétation en présence ou absence de fumure*. Annls. Physiol. Vég., 14 (1), 1-29.
- (12) MARTÍN POLO, J.L., y DOCOBO, A., 1973: *Aplicación de la ley de Mitscherlich al estudio de tres suelos de la cuenca media del río Tormes*. Anal. Edaf. y Agrob., 32 (5-6), 525-534.
- (13) SNEDECOR, G.W., and COCHRAN, W.G., 1972: *Statistical methods*. Sixth Edition, pp. 385. The Iowa University Press Ames, Iowa, U.S.A.
- (14) VAN DER PAUW, F., 1952: *Critical remarks concerning the validity of the Mitscherlich effect law*. Pl. Soil, 4, 97-106.
- (15) VAN SCHOOR, G.H., 1969: *Détermination de la richesse utile d'un substrat et de la composition de l'engrais additionnel le meilleur en fonction de la dose appliquée*. Annls. Physiol. Vég., 14 (3), 31-62.

EVALUATION OF THE RELATIVE P AND K LEVELS IN A SOIL FOR THE CULTIVATION OF SUBTERRANEUM CLOVER

SUMMARY

A study was made of the relative deficiency of phosphorus (P) and potassium (K) in one type of soil (granitic lehm) for the cultivation of *Trifolium subterraneum*. The experiment was set up according to the HOMES method, with eleven treatments and four levels. Given the characteristics of extreme poverty of the soil used, the last two levels do not obey the law of the said author, for not having behaved as responsible for the production for the elements used as variables; a third factor was limiting.

The optimum proportions of P and K are estimated for the first two levels without being able to verify the HOMES law, because of interference of a third limiting factor which will be necessary to investigate in new experiments.