

EQUILIBRIO P-K-Ca EN LEGUMINOSAS

E. ESTEBAN, M. GOMEZ y A. CORDERO

Ars Pharm. XII, 103 (1971).

INTRODUCCION

La nutrición de las leguminosas, descansa sobre el equilibrio de los elementos P, K, Ca que puede ser alterado en suelos con alto contenido en carbonato cálcico. Ha sido descrito el antagonismo K-Ca (LEHMAN, 1964) y el sinergismo P-K (KUKRESH, 1965) y la importancia de la relación P/K en la asimilación del nitrógeno (GOLYAKIN y col. 1964). Sin embargo, es poco lo que se conoce acerca de las interacciones de estos elementos cuando los niveles en suelo o en planta alcanzan valores de cierta magnitud.

Hemos considerado que la producción y la calidad de la cosecha de algunas leguminosas, cultivadas para alimento humano o del ganado, puede venir influenciada por dos factores: proporción en el suministro de los fertilizantes fosfóricos y potásicos (MOSOLOV, 1965) y cantidad total de elementos suministrados por unidad de superficie; existe pues un factor de calidad o proporción en el que el Ca del suelo no puede ser excluido (ARAROV, 1966) y otro de intensidad o cantidad.

La metodología de las variantes sistemáticas de Homés (1966), con ciertas limitaciones, cuando se emplean iones de diferente naturaleza, al estudio de las relaciones entre elementos y al cálculo de las proporciones óptimas por lo que, en principio, la hemos adoptado como base en el presente trabajo.

MATERIAL Y METODO

Las experiencias han sido realizadas en invernadero utilizando macetas Mitscherlich conteniendo 4 Kg. de suelo seco al aire, en el que la fracción superior a 2 mm. ha sido eliminada, mezclado con 2 Kg. de arena de cuarzo de un tamaño de partícula de 1,5 a 2 mm. aproximadamente. La tierra empleada procede de la capa arable de un suelo tipo pardo-calizo.

Se han empleado dos tipos de plantas: garbanzo (*Cicer arietinum*) y haba (*Vicia faba*) que fueron vernalizadas durante 30 días a 20°C a inoculadas en el momento de la siembra con 20 ml. de suspensión de *Rhizobium*, aislados de nódulos de garbanzo, con una densidad de cien millones de gérmenes por ml. El número de plantas por macetas, fue de 4 en el primer caso y de 5 en el segundo.

En el primer ensayo (garbanzo) los elementos nutritivos empleados lo fueron a las formas de superfosfato comercial (15 por ciento de P_2O_5) y sulfato

potásico (50 por ciento de K_2O) con una dosis total de P más K de 40 meq/maceta. En el segundo se utilizaron los reactivos PO_4H_2K , PO_4H_2Na y ClK a una dosis total de P más K de 200 meq/maceta.

Los tratamientos estuvieron constituidos por la distinta proporción de los elementos P y K dentro de una suma constante: (0-100 por ciento; 12,5-87,5 por ciento; 25-75 por ciento; 37,5-62,5 por ciento; 50-50 por ciento; 62,5-37,5 por ciento; 75-25

tribuidos según un diseño de bloques de parcelas al azar con 4 repeticiones.

Las condiciones de cultivo se adaptaron a aquéllas en las que la planta normalmente vive: iluminación, 12-14 horas; temperatura diurna: 20-30°C, humedad, capacidad de campo.

Las plantas fueron recolectadas al iniciarse la floración pesándose la parte aérea

Han sido determinados en el total de la parte aérea los 6 elementos principales o macronutrientes por los métodos descritos por LACHICA y cols., (1965).

Los datos analíticos obtenidos han sido analizados estadísticamente de acuerdo con el siguiente esquema:

- 1.º—Análisis de la varianza considerando los tratamientos y repeticiones.
- 2.º—Correlación y regresión entre elemento suministrado al suelo y nivel encontrado en planta.
- 3.º—Correlación y regresión entre el contenido en planta de P, K y Ca.

RESULTADOS OBTENIDOS Y DISCUSION

Tanto los datos de cosecha como los analíticos y algunos de los cálculos efectuados en la determinación de los equilibrios iónicos están recogidos en la Tabla I.

Cosecha.—Se produce un incremento de cosecha a medida que las proporciones de P y K alcanzan su nivel óptimo. En garbanzos se obtiene un máximo a partir del tratamiento núm. 5 (50 por ciento de $PO_4^{=}$ - 50 por ciento K^+) que se mantiene descendiendo ligeramente en el 9 (100 por ciento de $PO_4^{=}$). En habas el incremento de cosecha es más fuerte iniciándose el máximo en el tratamiento 6

mente en el 9 (100 por ciento de $PO_4^{=}$). Este distinto comportamiento posiblemente es debido a las diferentes cantidades globales añadidas a uno y otro cultivo (40 meq. y 200 meq. respectivamente).

El cálculo de las proporciones óptimas de elementos según la técnica de Homés (1966) nos da las siguientes para cada una de las plantas empleadas:

Tratamientos	Garbanzos	Habas
1-9	P = 58,5 % K = 41,5 %	P = 55,7 % K = 44,3 %
2-8	P = 61,3 % K = 38,7 %	P = 62,5 % K = 37,5 %
3-7	P = 64,1 % K = 35,9 %	P = 65,5 % K = 34,5 %
	Error de la proporción óptima ± 2,8 %.	Error de la proporción óptima ± 5,5 %.

Los errores obtenidos sobre la proporción óptima carecen de importancia desde el punto de vista práctico.

TABLA I

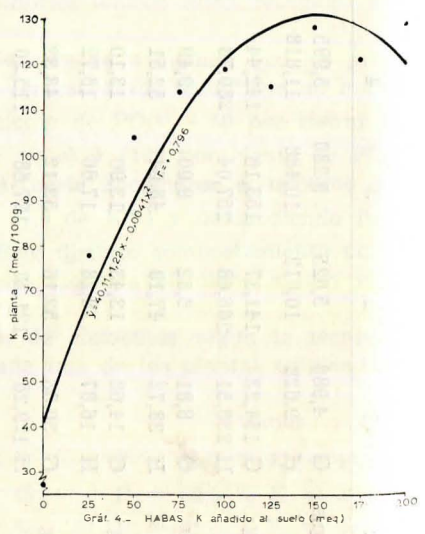
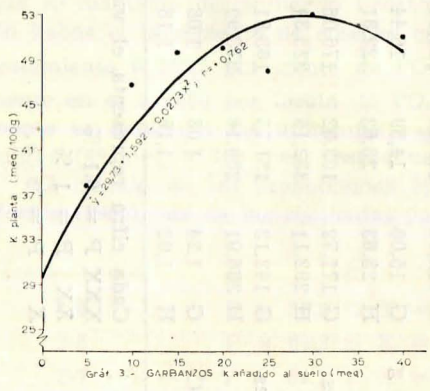
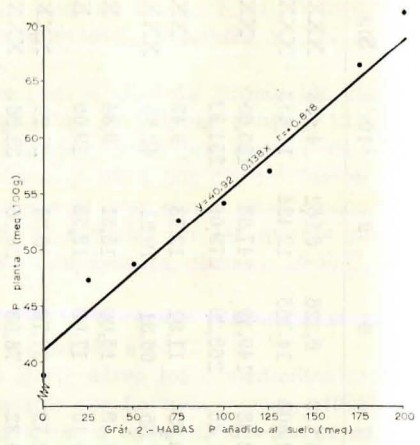
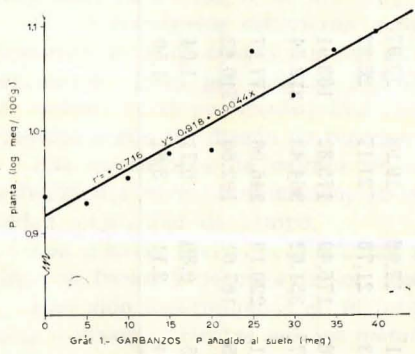
Tratamiento:		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Sig.
Cosecha gr. p.s.	G	4,986	5,025	5,280	5,995	6,214	6,164	6,259	6,228	6,162	4,413	XXX
	H	9,628	10,013	10,488	11,818	12,508	14,053	13,808	14,205	12,494	11,453	XXX
N meq/100 g	G	154,23	141,37	153,16	142,44	136,91	152,80	138,88	149,59	147,98	165,65	XX
	H	236,51	266,68	257,04	280,78	259,36	268,64	261,86	268,29	279,00	251,33	
P meq/100 g	G	8,81	8,52	9,00	9,49	9,53	12,31	10,79	11,91	12,53	8,47	XX
	H	38,72	47,19	48,64	52,51	53,97	56,87	57,35	66,31	70,91	42,35	XXX
S meq/100 g	G	14,68	13,43	13,90	13,10	13,75	14,68	13,59	15,00	15,31	9,84	X
	H	16,87	18,28	17,66	16,72	15,47	16,56	20,16	17,03	19,53	19,06	X
K meq/100 g	G	50,88	52,16	53,12	48,32	49,92	49,60	46,72	37,76	26,88	27,20	XXX
	H	129,28	121,28	127,68	115,20	119,36	114,56	104,32	78,08	26,56	32,96	XXX
Ca meq/100 g	G	77,25	85,00	94,25	93,00	100,25	133,00	130,38	165,38	198,75	136,00	XXX
	H	134,00	135,25	123,50	116,12	102,12	85,00	91,50	67,75	54,87	154,25	XXX
Mg meq/100 g	G	15,00	14,59	16,44	12,41	14,58	12,95	15,41	17,06	19,93	13,97	
	H	23,63	23,63	22,81	22,60	24,04	23,02	23,63	21,78	21,17	23,22	
S. de aniones (N P S)	G	177,72	163,32	176,06	165,05	160,19	179,79	163,26	176,49	175,82	183,91	X
	H	292,11	332,15	323,34	350,01	328,79	342,07	339,37	351,62	364,43	312,74	XXX
S de cationes (K Ca Mg)	G	143,13	151,75	163,81	153,85	164,76	195,55	192,51	220,19	246,06	177,17	XXX
	H	286,91	280,16	273,99	253,93	245,53	222,58	219,45	167,61	102,60	210,43	XXX
Relación A/C	G	1,24	1,08	1,08	1,07	0,97	0,92	0,85	0,80	0,71	1,04	XXX
	H	1,02	1,19	1,18	1,38	1,34	1,54	1,54	2,11	3,61	1,50	XXX

Cada cifra representa el valor medio de 4 repeticiones.

XXX P = 0,1 %

XX P = 1 %

X P = 5 %.



Elementos minerales.—En general la cantidad global de elementos nutritivos varía ampliamente de uno a otro cultivo como corresponde a las distintas cantidades suministradas. Los que alcanzan mayor significación y se afectan de una manera más directa por los tratamientos, son el P, K y Ca.

La concentración de P en planta aumenta a medida que se incrementan las cantidades de $\text{PO}_4^{=}$ puestas en el suelo existiendo una correlación positiva y altamente significativa. Las ecuaciones de regresión entre el fertilizante fosfórico añadido al suelo y el incremento de concentración de P en planta responde a diferente tipo, pues mientras en garbanzos es semilogarítmica (gráfica núm. 1), en habas es lineal (gráfica núm. 2). Esta expresión matemática del fenómeno nos lleva a una conclusión interesante, ya que estos resultados nos inducen a suponer que no existe una limitación en la absorción del P.

En los dos cultivos que estamos considerando el K presenta un efecto cuadrático perfectamente definido y muy significativo ($P = 0,1$ por ciento). Existe una estrecha correlación con el K añadido al suelo ajustándose los incrementos en concentración a una ecuación cuadrática representada por un polinomio de segundo grado (gráficas 3 y 4). La zona más elevada de estas curvas coincide en los dos casos estudiados con las máximas cosechas que parecen depender de la concentración de este elemento en planta.

Podemos suponer, de acuerdo con las consideraciones expuestas, que el fósforo es absorbido por la planta del suelo proporcionalmente a la cantidad suministrada mientras que el potasio presenta un máximo a partir del cual tiende a descender; este máximo posiblemente coincide con el punto de equilibrio y es en el que se producen las cosechas máximas.

Correlación y regresión entre los elementos P, K y Ca.—Con objeto de conocer el comportamiento del Ca en relación con el contenido del P o K, se estudia la correlación y regresión entre el contenido en planta de estos elementos. Encontramos, en garbanzos, que la correlación P - Ca es positiva y significativa ($r = + 0,681$; $P = 0,1$ por ciento) ajustándose los datos a una ecuación de regresión lineal ($y = -17 + 13,30 x$). La correlación K-Ca es negativa, tal como cabía esperar ($r = -0,854$; $P = 0,1$ por ciento ($y = 303,89 - 3,99 x$)).

En habas, estas correlaciones siguen un camino completamente diferente, ya que la P-Ca es negativa ($r = -0,781$; $y = 216,58 - 2,11 x$) y la K-Ca es positiva ($r = + 0,719$; $y = 31,52 + 0,669 x$).

Estos efectos opuestos pueden ser consecuencia de la distinta especie de planta o de la cantidad global de nutriente empleado: Es posible que exista un punto de equilibrio en la relación P-K rebasado el cual sea el P el que actúa como antagónico de Ca.

La representación gráfica de estas ecuaciones de regresión se cortan en un punto que coincide con el contenido en planta de P, K y Ca que produce la cosecha máxima. Si tenemos en cuenta que el Ca en el suelo obra como un elemento pasivo cuya cantidad no puede ser modificada, podremos alterar su absorción por la planta dosificando adecuadamente la cantidad y la proporción del P y el K.

Equilibrio P-K-Ca. Relaciones binarias.—Las relaciones binarias han sido calculadas según las indicaciones de Homés (1966). Representan la concentración en % de la suma. Aunque pueden ser deducidas de la Tabla I están ex-

presadas en la Tabla II en la que han sido calculadas a partir de todos los datos experimentales.

Cuando estudiamos la relación P/P+K encontramos que a medida que el % de P aumenta, se incrementa el contenido en Ca de la planta, (Tabla I), pero las mejores cosechas están situadas en valores de esta relación comprendido entre 18-20 por ciento (garbanzos). A valores crecientes de esta relación el contenido de Ca en planta desciende hasta el punto de que la cosecha máxima en habas tiene un valor de 46 por ciento de P. Ignorando la distinta naturaleza de los cultivos empleados, parece ser que la proporción P/P + K y lo mismo las restantes estudiadas, dependen, no ya sólo de un factor cualitativo, sino cuantitativo de manera que éste influye en la absorción de los dos elementos alterando la proporcionalidad entre ellos. Esto explicaría que a bajas concentraciones globales, el K antagoniza la absorción de Ca y a altas concentraciones es el P el que produce este efecto.

Parece ser posible regular la absorción de Ca mediante la alteración de la cantidad global de nutrientes añadidos, sin que por estos se afecte gravemente la producción.

Existe una correlación significativa entre los valores de la relación P/P + K y el contenido en Ca de la planta que en garbanzos resulta positiva ($r = + 0,902$; $y = 4,91 + 6,078 x$) y en habas, negativa ($y = 157,24 - 1,537 x$; $r = -0,758$).

TABLA II

Relaciones binarias, valor medio de 4 repeticiones, entre los elementos P-K-Ca en dos cultivos diferentes: garbanzos y habas.

Tratamientos		1	2	3	4	5	6	7	8	9
P/P+K	Gar.	14,7	14,0	14,3	16,4	16,0	19,7	18,9	24,0	31,8
	Hab.	22,9	28,0	27,5	31,3	31,1	33,1	35,2	36,3	72,9
P/P+Ca	Gar.	10,2	9,1	8,7	9,3	8,7	8,5	7,6	6,7	5,1
	Hab.	22,7	26,2	28,3	31,2	33,6	40,4	38,1	49,5	56,3
K/K+Ca	Gar.	39,7	38,1	36,0	34,2	33,2	27,2	26,4	18,6	12,0
	Hab.	49,3	47,5	50,8	49,9	54,0	57,7	53,3	53,1	32,6

Relaciones ternarias.—Sobre la base de los elementos que estamos estudiando se ha calculado el % de cada uno de ellos en función de la suma. Los resultados están representados gráficamente en diagramas triangulares. En la figura 1, correspondiente al cultivo de garbanzos

al tratamiento 7 con las siguientes proporciones: P = 6,0 por ciento; K = 24,9 por ciento y Ca = 69,1 por ciento con un contenido total (P+K+Ca) de 183, 89 meq/100 gr. Para habas (Fig. 2) con un contenido total de 212, 138 meq/100 gr. las proporciones óptimas son: P = 31, 3 por ciento; K = 36, 8 por ciento y Ca = 31, 9 por ciento.

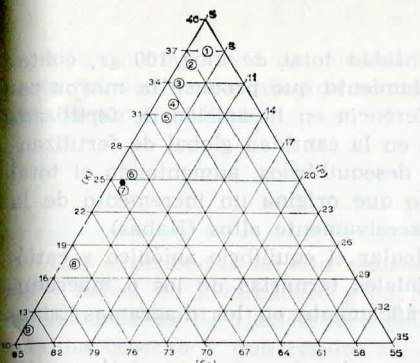


Fig 1 - GARBANZOS (med/100g) (C=)

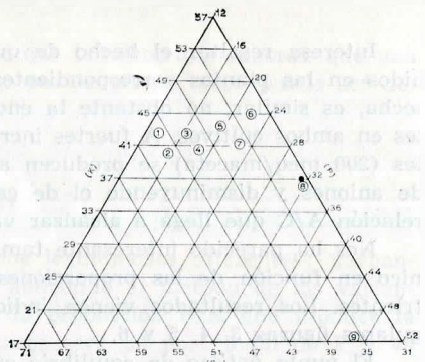


Fig 2 - HABAS (med/100g) (C=)

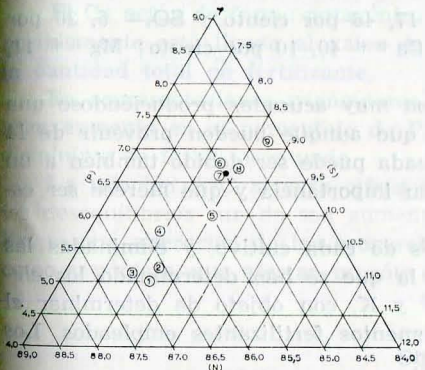


Fig 3 - GARBANZOS

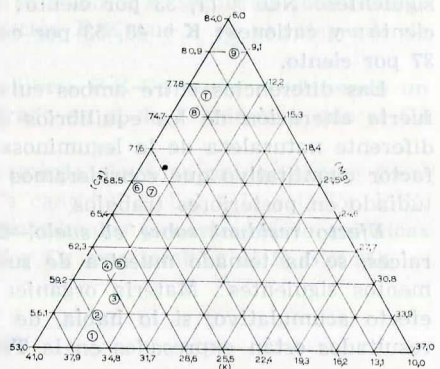


Fig 4 - GARBANZOS

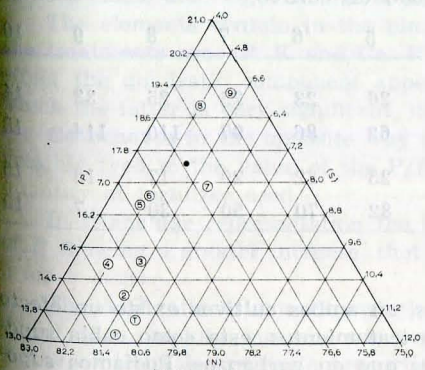


Fig 5 - HABAS

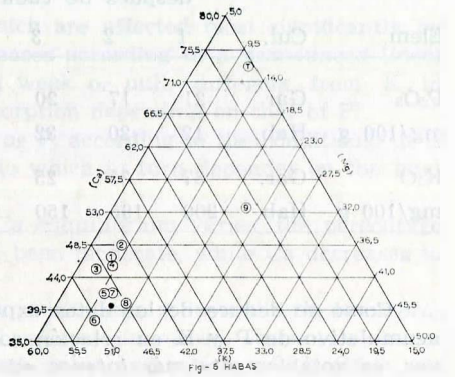


Fig 6 - HABAS

Interesa resaltar el hecho de que la cantidad total de meq/100 gr. contenidos en las plantas correspondientes al tratamiento que produce la mayor cosecha, es similar, no obstante la enorme diferencia en la adición de fertilizantes en ambos cultivos. A fuertes incrementos en la cantidad global de fertilizantes (200 meq/maceta) se producen acusados desequilibrios, aumentando el total de aniones y disminuyendo el de cationes lo que origina un incremento de la relación A/C que llega a alcanzar valores excesivamente altos (Habas).

Nos ha parecido interesante también, calcular el equilibrio aniónico y catiónico en función de las proporciones centesimales ternarias de los 6 macronutrientes. Los resultados vienen indicados gráficamente en los diagramas triangulares figuras 3, 4, 5 y 6.

El punto óptimo de equilibrio en garbanzos, situado en una posición media entre las cosechas obtenidas con los tratamientos 6, 7 y 8 tendría las siguientes proporciones: aniones, NO_3^- 85, 00 por ciento; PO_4^{3-} 6, 65 por ciento; SO_4^{2-} 8, 35 por ciento; cationes, K^+ 22, 26 por ciento; Ca^{++} 70, 28 por ciento y Mg^{++} 7, 46 por ciento. De la misma manera para habas obtendríamos las siguientes: NO_3^- 77, 33 por ciento; PO_4^{3-} 17, 46 por ciento y SO_4^{2-} 5, 20 por ciento; y cationes: K^+ 48, 53 por ciento; Ca^{++} 40, 10 por ciento; Mg^{++} 11, 37 por ciento.

Las diferencias entre ambos cultivos son muy acusadas produciéndose una fuerte alteración de los equilibrios iónicos que aunque pueden provenir de la diferente naturaleza de la leguminosa empleada puede ser debido también a un factor cuantitativo que consideramos de gran importancia y que merece ser estudiado en posteriores trabajos.

Efecto residual sobre el suelo.—Después de cada cultivo, y eliminadas las raíces, se ha tomado muestra de suelo en la que se han determinado los elementos siguientes: Materia orgánica, N, P y K, con objeto de determinar el efecto acumulativo, si lo había, de los elementos fertilizantes empleados. Los resultados están expresados en la Tabla III.

TABLA III

Resultados del análisis de suelo para cada uno de los tratamientos, empleados después de cada período de cultivo.

Elem.	Cul.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
P_2O_5 mg/100 g	Gar.	21	17	20	18	26	23	25	25	33	14
	Hab.	12	20	32	46	63	86	97	110	114	18
K_2O mg/100 g	Gar.	37	35	25	26	25	22	20	17	15	15
	Hab.	200	195	150	112	82	70	50	30	7	10

Como se deduce de los datos expuestos, en ambos cultivos existe un efecto acumulativo de P y K en relación con los tratamientos, este como cabía suponer, es notablemente más intenso en habas que en garbanzos. Podíamos suponer lógico este efecto cuando las cantidades de fertilizantes son elevadas, pero

también ocurre cuando son moderadas por lo que tenemos que suponer que una parte del fertilizante añadido no es extraído por la planta, pero puede ser detectado por el análisis.

RESUMEN

Las experiencias se han realizado en dos leguminosas diferentes: garbanzos y habas, en invernadero y en macetas, aplicando el método de las variantes sistemáticas de Homés para determinar la proporción P/K que produce la máxima cosecha y que resultó en ambos casos ser: 60 por ciento de P y 40 por ciento de K

Los elementos contenidos en la planta más significativamente afectados por los tratamientos son: P, K y Ca. El P aumenta según un marcado efecto lineal apareciendo débil o nulo el componente cuadrático a diferencia del K que es muy significativo, dependiendo su absorción de la del P.

El Ca actúa de forma antagónica con el K o con el P, según las condiciones; posiblemente está ligado al valor de la relación P/K que a su vez depende de la cantidad total de fertilizante.

En representaciones triangulares el equilibrio P-K-Ca varía produciendo un gran aumento en el porcentaje de P, moderado en el de K mientras que el Ca disminuye de forma acentuada.

La relación A/C alcanza cifras excesivamente elevadas produciéndose fuertes desequilibrios cuando son aumentadas la cantidad global y la relación P/K. Existe una alteración de las proporciones centesimales ternarias, tanto aniónicas como catiónicas, que afectan no sólo al P, K y Ca sino también al N, S y Mg.

SUMMARY

Experiments had been carried out with two different leguminous: chick-peas and broad-beans in plots in a greenhouse using the systematic variant method Homés to study the P/K proportion which produce the maxime yield and which, in both cases, are: 60 % P and K 40 %.

The elements contain in the plant which are affected most significantly by the treatments are: P, K and Ca. P increases according to a pronounced lineal effect the quadratic component appearing weak or null, differing from K in which the latter is very significant, its absorption depending on that of P.

Ca behaves in the opposite way to K or P, according to the conditions; it is possibly tyed to the value of the P/K ratio which in turn dependes on the total quantity of fertilizer used.

In triangular representation the P-K-Ca equilibrium varies, the percentage of P showing a greater increase, that of K been moderate, while Ca decreases to a mark degree.

The A/C ratio attains excessively high values strong desequilibria been produced when the total quantity and the P/K ratio are increased. There is a change in the centesimales tertiaria proportion, both anion and cation, which affect not only P, K and Ca but N, S and Mg.

BIBLIOGRAFIA

- ALCORN, G. B. (1966).—Experimental methods for extensión workers.—Univ. Calif. Agr. Ext. Serv.
- ARAROV, K. L. K. (196 for soybean and bean plant. *Agrokhimiya*. (C. A. 65, 2963 g).
- GOLYAKIN, I. V. et al. (1964).—The influence of phosphorus and potasium on the yield of the beans used for feed and the acumulation of N by them. (C. A. 64, 2707h).
- HOMES, M. V. L. (1961).—L'alimentation sur milieux depourvus de fertilité naturelle. *Universa-Wetteren* (Belgique).
- HOMES, M. V. L. and Van SHOOR, G. M. J. (1966).—Alimentation minerale equilibré des vegetaux. Vol. II. *Universa-Wetteren* (Belgique).
- HOMES, M. V. L. (1966).—Sulfur requirement in fertilizers as determined by the method of systematic variations.—*Soil Sci.* 101, 294.
- KUKRESH, N. P. (196 of the legume and its uptake of N, P and K. (C. A. 64, 3704g).
- LACHICA, M., ESTEBAN, E. y RECALDE, L. (1965).—Análisis foliar, Métodos analíticos utilizados en la E. E. del Z.—*Anal. Edafol. y Agrobiol.* XXIV, (9-10) 589-610.
- LEHMANN, K. et al. (1964).—Calcium nutrition of some cultivated plants. (C. A. 61, 243
- MOSOLOV, V. I. (1965).—Effect of phosphorus-potash fertilizer on metabolism yield and quality of beans. (C. A. 63, 6271h).

SUMMARY