

FERTILIZACION DE ALFALFA CON FOSFORO, POTASIO Y AZUFRE¹

Phosphorus, potassium and sulphur application on alfalfa

Hernán Acuña P.², Patricio Soto O.², Agustín Vidal V.³ y Germán Martínez R.²

SUMMARY

Phosphorus, potassium and sulphur were applied on a lucerne sward, cv. Huinca, grown in volcanic soil on Humán series (Typic distrandept). The treatments (21) were selected from all combinations of four rates of P (0, 33, 66 and 132 kg/ha per year), four rates of K (0, 42, 84 and 168 kg/ha per year), and four rates of S (0, 30, 60 and 120 kg/ha per year). The experiment was conducted during four growing seasons (1985/86 to 1988/89). A randomized block design, with four replications, and 2.5 x 4 m plots was used. Dry matter (D.M) production was measured by cutting, four to five times per growing season. The total herbage harvested was analyzed to determine N, P, K, Ca and Mg uptake. Extractable P and K in soil at 0-10 cm depth was measured before, in the meantime and at the end of the experimental period. Extractable P at different layers, up to 80 cm depth, was measured after the last cut in 1989.

Annual D.M. yield increased by 10%, as average of the four growing seasons (16.9 to 18.7 t/ha with 0 and 132 kg/ha of P, respectively). The response was constant between 0 and 132 kg/ha of P and reached 18 kg of D.M. per kg of P applied, in 1987/88. The response of K was also low and it was present since the third growing season. Dry matter production was not affected by S application. The extractable P in soil (0-10 cm depth) tended to decrease, between 1986 and 1989, in the plots without P application; but, when 132 kg/ha per year of P were applied the extractable P reached 29 and 37 ppm in the 0-10 and 0-5 cm layers, respectively. Extractable K in soil decreased from around 150 ppm, in 1986, to 26, in 1989, when 66 or 132 kg/ha of P was applied, or when K rates were 84 or less kg/ha per year. The N yield and the P, K Ca and Mg uptake are discussed.

Key words: alfalfa; lucerne; P, K and S applications; nitrogen yield; P, K, Ca, Mg uptake.

INTRODUCCION

La superficie sembrada con alfalfa en la VIII Región del país sobrepasa las 10.000 hectáreas. Anualmente se está sembrando alrededor de 1.000 hectáreas, especialmente en la provincia del Biobío. Los suelos profundos con textura media o levemente arenosa y sin problemas de drenaje o nivel freático alto, son aptos para esta especie, que ha demostrado persistir con altas producciones, por 5 o más años. El uso preferente ha sido la producción de heno de alta calidad y secundariamente, forraje verde para vacas de lechería suministrado directamente como pastoreo. Las ventajas de esta especie sobre trébol rosado, tradicionalmente usado en la zona con los objetivos antes mencionados, son su mayor rendimiento, calidad, persistencia y consecuentemente su menor costo, aun cuando el establecimiento es más caro.

El componente más importante en los costos de producción de un alfarer establecido es la fertilización anual. Ella debe considerar en primer lugar la fertilización fosfatada, dado la alta extracción de P de esta forrajera y los bajos niveles de este elemento en la mayoría de los suelos de la zona y del país además de la capacidad de retención de P de muchos de ellos. Del mismo modo, las plantas extraen K en gran cantidad, y cuando se produce heno es necesario retornar al suelo este elemento, como fertilizante químico, a fin de asegurar una producción sostenida. Otro elemento, que aunque se extrae en baja cantidad, puede resultar deficitario en los suelos alfareros de la zona en el S; su deficiencia tiene un efecto negativo en los rendimientos como ha sido demostrado en otros países (Meyer, 1984).

González y otros (1973) estudiaron la concentración de nutrientes en hojas y tallos de alfalfa y Correa, Zemelman y Longeri (1981) estudiaron la influencia de la fertilización fosfórica, en el crecimiento y contenido de N de esta especie, en un experimento en macetas en un suelo trumao.

¹Recepción de originales: 13 de noviembre de 1989.

²Estación Experimental Quilamapu (INIA), Casilla 426, Chillán, Chile.

³Subestación Experimental Humán (INIA), Casilla 287, Los Angeles, Chile.

Pese a ello, en la zona, se desconoce el efecto de estos elementos en la producción de alfalfa en condiciones de campo, aún cuando, se supone que P es de gran importancia por su probado efecto positivo en el establecimiento. La alta extracción de K puede agotar las reservas del suelo en un corto plazo. Lo anterior determinó llevar a cabo el presente experimento con el objetivo de determinar la respuesta a P, K y S en producción de m.s. y medir la extracción de los elementos mayores, incluyendo N, al mismo tiempo que estudiar la influencia de la fertilización con P, K y S en el contenido de P y K disponible en el suelo. Para ello, se escogió uno de los tipos de suelo más representativos del área sembrada con alfalfa en la región.

MATERIALES Y METODOS

El experimento se llevó a cabo en la Subestación Experimental Humán (INIA, Los Angeles), durante cuatro temporadas (1985/86 a 1988/89). Se utilizó un potrero de alfalfa cv. Huinca sembrada en la primavera de 1984 con una fertilización básica de 52 kg/ha de P, como superfosfato triple, y 100 kg/ha de CaCO_3 , en líneas a 20 cm. Previo a la siembra se incorporó con rastra 2 ton de fango de cal IANSA y después de la emergencia de las plantas, en septiembre, se aplicó 84 kg/ha de K como sulfato de potasio. El suelo es un "trumao" profundo (Typic distrandept) de la serie Humán, cuyas principales características químicas se presentan en el Cuadro 1.

CUADRO 1. Características químicas del suelo en abril de 1985

TABLE 1. Soil chemical characteristics in april 1985

Estrato cm	pH	N ppm	P ppm	K ppm	m.o. %
0 - 10	6,45	18,4	15,8	351	5,4
10 - 20	6,35	10,1	10,3	234	5,4

Los tratamientos (21) se seleccionaron entre las 64 combinaciones de un arreglo factorial de 4 dosis de P (0, 33, 66 y 132 kg/ha), 4 dosis de K (0, 42, 84 y 168 kg/ha) y 4 dosis de S (0, 30, 60 y 120 kg/ha). Se usó un diseño de bloques al azar con 4 repeticiones. Los fertilizantes usados fueron superfosfato triple como fuente de P, sulfato de potasio y cloruro de potasio como fuentes de K, y sulfato de potasio y sulfato de Na como fuentes de S. Este último fue aplicado de preferencia como sulfato de K. El P se aplicó anualmente en otoño (marzo-abril) y K y S en primavera

(septiembre-octubre). Las parcelas fueron de 2,5 x 4 m y los cortes fueron hechos a 2-3 cm de altura entre inicio y 1/3 de floración, durante primavera y verano, más un corte final en abril-mayo. Las parcelas se regaron por tendido cada tres semanas aproximadamente, desde octubre a marzo.

Se midió producción de m.s. de la especie pura por parcela en cuatro o cinco cortes al año (se perdió un corte en 1985/86 por ingreso de animales). Se analizó el follaje cosechado para determinar N (macro Kjeldahl), y P (colorimetría), K (fotometría de llama), Ca y Mg (absorción atómica) en una misma solución obtenida después de una calcinación seca del material. Las determinaciones de N fueron hechas por corte y las de los otros elementos por temporada, utilizando una muestra formada por submuestras obtenidas de cada corte en proporción a su rendimiento. Lo anterior permitió calcular la extracción de estos elementos por temporada. Se midió los contenidos de P disponible en el suelo (Olsen y Dean, 1965) y K disponible (Chapman y Pratt, 1973) de 0-10 cm de profundidad, al iniciar el experimento (abril 1985) y en agosto de 1986, mayo de 1988 y abril de 1989, por tratamiento. Al final del experimento se determinó P disponible en el suelo en los estratos de 0-20, 20-40, 40-60 y 60-80 cm de profundidad, por parcela.

Se hizo análisis de variancia para estudiar la respuesta a P, K y S, separadamente, considerando los cuatro niveles de cada elemento con las dosis medias de los otros dos, por temporada. Se analizó la extracción de N, P, K, Ca y Mg por temporada y los contenidos finales de P en el suelo.

RESULTADOS Y DISCUSION

Se presentará en primer lugar la respuesta de la alfalfa, en producción de m. s., a P, K y S. Luego se analizará la extracción total de nutrientes, las variaciones del contenido de P y K en el suelo y finalmente se hará un balance de P y K extraído por las plantas versus P y K aplicado al suelo.

Producción de materia seca por temporada

En la Figura 1A se presenta el efecto de la aplicación de P en dosis crecientes con los niveles medios de K y S (84 y 60 kg/ha al año, respectivamente). Se puede observar que el incremento de la producción de m. s. por efecto de P es bajo, siendo el promedio de las cuatro temporadas de solo 10% al comparar los niveles de cero con 132 kg/ha de P al año. Al hacer una regresión entre niveles de P (x) y rendimiento de m. s. (Y) por temporada, ésta fue significativa sólo en las temporadas 1986/87 y 1987/88 ($Y = 17,403 + 0,0158x$, $r^2 = 0,46$, $P \leq 0,05$; $Y = 17,983 + 0,0180x$, $r^2 = 0,95$, $P \leq 0,01$, respectivamente). La explicación de por qué

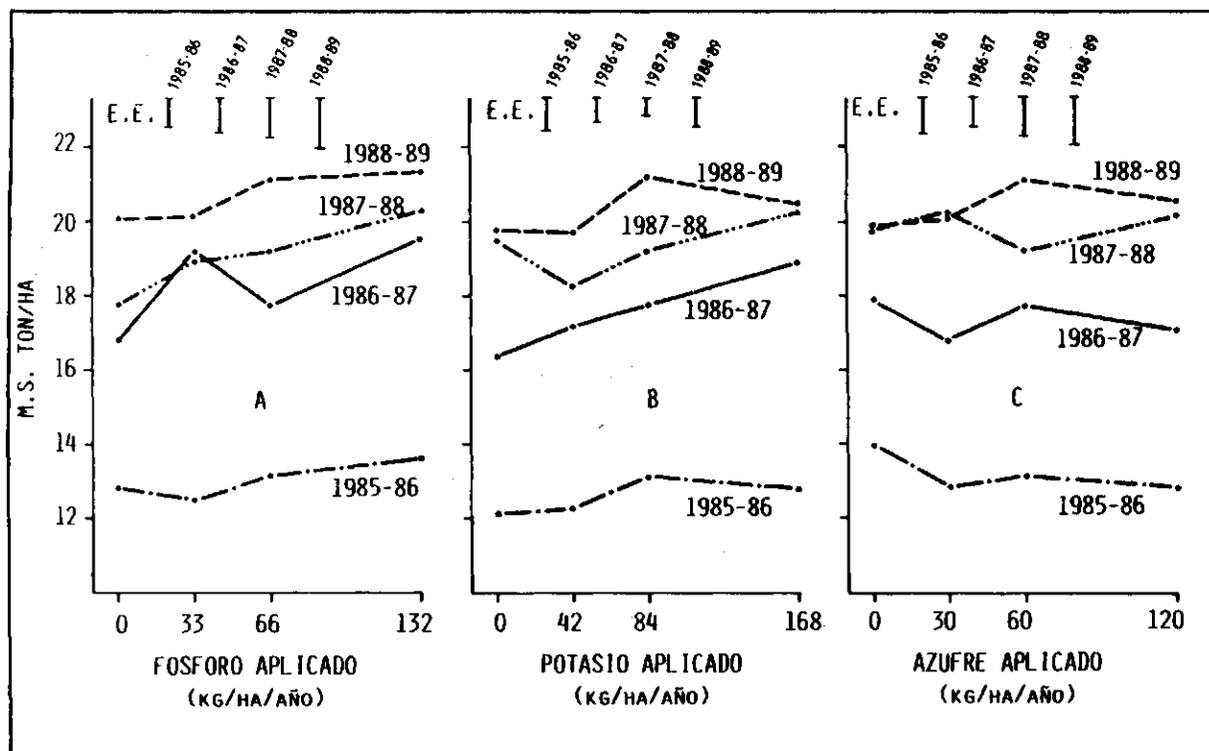


FIGURA 1. Efecto de P, K y S en la producción de m.s. de alfalfa por temporada.

FIGURE 1. Effect of P, K and S on the lucerne D.M. production per growing season.

la respuesta tiende a ser constante de 0 a 132 kg/ha de P, estaría relacionada con la acumulación de este elemento en los primeros 5 cm del suelo (Figura 2) y con el sistema radical de esta especie, que en las condiciones del ensayo, alcanzó más de 1,2 m de profundidad. La planta obtendría sólo una parte del P total que extrae de los 5 primeros cm, por lo tanto, con dosis tan altas como 132 kg/ha (600 kg/ha de superfosfato triple al año) no se logra quebrar la curva de respuesta. Si se asume que las plantas aumentan su extracción de P, debido a un aumento de la fertilización, sólo en el estrato superficial del suelo, y mantienen un mismo nivel de extracción de las capas más profundas, entonces, en la temporada de 1987/88, por ejemplo, cuando la extracción en el tratamiento sin fertilización fosfatada fue 37,3 kg/ha de P (Cuadro 2) el aumento de la extracción en la capa superficial con 33, 66 y 132 kg/ha de P aplicado al año, sería 6,2; 8,7 y 13,4 kg/ha, respectivamente. Lo anterior corresponde a una mayor extracción por efecto del P aplicado de 14,0; 18,9 y 26,4% en los tratamientos con 33, 66 y 132 kg/ha de P, con respecto a cero P. Por otro lado, los resultados de Correa, Zemelman y Longeri (1981), obtenidos en macetas, muestran que no hubo respuesta a P hasta una dosis equivalente a 136 kg/ha, pero luego los rendimientos de m. s. aumentaron en forma constante

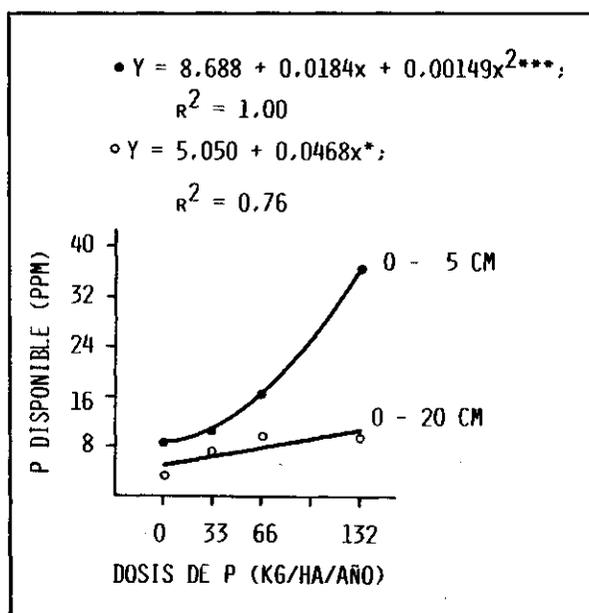


FIGURA 2. Fósforo disponible en el suelo al final del experimento a dos profundidades en el estrato superficial.

FIGURE 2. Extractable phosphorus in soil at the end of the experiment at two depth in the upper layer.

CUADRO 2. Efecto de la aplicación de fósforo en la extracción anual de nitrógeno, fósforo, potasio, calcio y magnesio (kg/ha)

TABLE 2. Effect of phosphorus application on the annual uptake of nitrogen, phosphorus, potassium, calcium, and magnesium (kg/ha)

Temporada	Dosis de P (kg/ha/año)				EE	Media
	0	33	66	132		
			Nitrógeno			
1985/86	354,3 (3,06)	405,8 (3,36)	398,0 (3,22)	449,3 (3,36)	± 25,57	401,8
1986/87	516,3 (3,10)	578,8 (3,01)	579,3 (3,29)	568,0 (2,92)	± 15,29	560,4
1987/88	538,3 (3,00)	632,0 (3,36)	611,5 (3,15)	590,5 (3,04)	± 21,71	593,1
1988/89	655,8 (3,29)	675,3 (3,39)	738,0 (3,40)	701,0 (3,33)	± 23,25	692,5
			Fósforo			
1985/86	26,9 (0,21)	28,7 (0,23)	30,2 (0,23)	31,3 (0,23)	± 0,87	29,3
1986/87	40,3 (0,24)	44,3 (0,23)	44,2 (0,25)	46,9 (0,24)	± 1,66	43,4
1987/88	37,3 (0,21)	43,5 (0,23)	46,0 (0,24)	50,7 (0,25)	± 1,19	44,4
1988/89	42,2 (0,21)	48,3 (0,24)	52,9 (0,25)	55,6 (0,26)	± 1,71	49,7
			Potasio			
1985/86	225,4 (1,76)	219,5 (1,76)	248,2 (1,89)	269,6 (1,98)	± 7,42	240,7
1986/87	317,2 (1,89)	344,6 (1,79)	316,7 (1,79)	402,5 (2,06)	± 13,01	340,8
1987/88	298,1 (1,68)	264,7 (1,40)	273,9 (1,43)	352,9 (1,78)	± 8,20	297,4
1988/89	307,2 (1,53)	301,8 (1,50)	312,9 (1,48)	342,1 (1,60)	± 10,57	316,0
			Calcio			
1985/86	179,3 (1,4)	162,1 (1,3)	183,8 (1,4)	177,0 (1,3)	± 5,11	175,6
1986/87	218,2 (1,3)	250,3 (1,3)	212,3 (1,2)	254,0 (1,3)	± 8,91	234,4
1987/88	195,2 (1,1)	226,8 (1,2)	229,8 (1,2)	243,4 (1,2)	± 6,03	223,8
1988/89	321,3 (1,6)	261,6 (1,3)	338,3 (1,6)	320,7 (1,5)	± 10,12	310,5
			Magnesio			
1985/86	32,1 (0,18)	22,5 (0,18)	23,6 (0,18)	21,8 (0,16)	± 0,64	22,7
1986/87	33,6 (0,20)	36,6 (0,19)	35,4 (0,20)	37,1 (0,19)	± 1,35	35,2
1987/88	31,9 (0,18)	39,7 (0,21)	38,3 (0,20)	42,6 (0,21)	± 1,03	38,1
1988/89	54,2 (0,27)	44,3 (0,22)	57,1 (0,27)	55,6 (0,26)	± 1,73	52,8

Entre paréntesis concentración (%) del elemento en la m.s. total.

con dosis de 430 a 4.300 kg/ha. Estos autores, tampoco encontraron respuesta a P en trébol subterráneo con dosis iguales o inferiores a 136 kg/ha, lo cual no ocurre así en condiciones de campo, donde la respuesta es máxima hasta alrededor de 40 kg/ha de P al año y las curvas muestran una caída con más de 100 kg/ha (Acuña y otros, 1990), en suelos volcánicos de la precordillera andina.

La Figura 1B muestra el efecto de K con los niveles medios de P y S (66 y 60 kg/ha, respectivamente). Al igual que para el caso de P, el incremento de los rendimientos al aumentar el K aplicado es bajo. El incremento promedio de las cuatro temporadas, entre cero y 168 kg/ha de K, es solo 7%. En la temporada 1986/87 se produjo una respuesta mayor al promedio de las temporadas y la regresión entre dosis de K (x) y rendimiento de m. s. (Y) fue altamente significativa ($Y = 16,417 + 0,0148x$, $r^2 = 0,99$, $P \leq 0,01$). Ello estaría de acuerdo con los altos valores de extracción de K

observados (Cuadro 2 y 3) puesto que la dosis más alta (164 kg/ha) es notoriamente inferior a la extracción anual.

En la Figura 1C se puede ver que la aplicación de S no afectó en forma significativa la producción de m. s.

Extracción de elementos nutritivos del suelo

La extracción de N, P, K, Ca y Mg, bajo las diferentes dosis de P, se presenta en el Cuadro 2. La extracción de P y K aumentó al incrementar la dosis de P aplicado al suelo. Ello como consecuencia del aumento de los rendimientos de m.s., ya que la concentración de estos elementos en la m.s. cosechada no aumentó significativamente. Nitrógeno, Ca y Mg mostraron solo una leve tendencia a aumentar la extracción al incrementar la dosis de P, pese al aumento de los rendimientos en las temporadas 1987/88 y 1988/89.

CUADRO 3. Efecto de la aplicación de potasio en la extracción anual de nitrógeno, fósforo, potasio, calcio y magnesio (kg/ha)**TABLE 3. Effect of potassium application on the annual uptake of nitrogen, phosphorus, potassium, calcium, and magnesium (kg/ha)**

Temporada	Dosis de K (kg/ha/año)				EE	Media
	0	42	84	168		
	Nitrógeno					
1985/86	413,8 (3,40)	396,8 (3,28)	398,0 (3,22)	415,0 (3,21)	± 15,33	405,9
1986/87	509,0 (3,16)	467,8 (2,76)	579,3 (3,29)	561,5 (3,00)	± 9,43	529,4
1987/88	690,3 (3,76)	547,5 (3,01)	611,5 (3,24)	679,8 (3,39)	± 18,57	632,3
1988/89	631,3 (3,21)	644,0 (3,34)	738,0 (3,51)	666,5 (3,29)	± 12,18	669,9
	Fósforo					
1985/86	28,2 (0,23)	28,2 (0,23)	30,2 (0,23)	29,7 (0,23)	± 1,06	29,0
1986/87	40,8 (0,25)	38,9 (0,23)	44,2 (0,25)	42,5 (0,23)	± 0,70	41,6
1987/88	46,7 (0,24)	43,9 (0,24)	45,8 (0,24)	46,5 (0,23)	± 0,62	45,7
1988/89	53,2 (0,27)	49,4 (0,25)	52,9 (0,25)	49,1 (0,24)	± 0,95	51,1
	Potasio					
1985/86	232,4 (1,91)	220,5 (1,80)	248,2 (1,89)	266,4 (2,06)	± 8,53	241,9
1986/87	326,6 (2,00)	392,3 (2,29)	316,7 (1,79)	432,0 (2,92)	± 6,92	366,9
1987/88	292,1 (1,50)	317,9 (1,74)	273,9 (1,43)	379,8 (1,88)	± 4,80	315,9
1988/89	271,7 (1,38)	335,8 (1,70)	312,9 (1,48)	386,9 (1,89)	± 6,38	326,8
	Calcio					
1985/86	146,0 (1,2)	159,3 (1,3)	183,8 (1,4)	181,0 (1,4)	± 5,89	167,5
1986/87	196,0 (1,2)	205,6 (1,2)	212,3 (1,2)	207,5 (1,1)	± 3,70	205,3
1987/88	253,1 (1,3)	237,5 (1,3)	229,8 (1,2)	242,4 (1,2)	± 3,40	240,7
1988/89	275,6 (1,4)	276,5 (1,4)	338,3 (1,6)	307,1 (1,5)	± 5,63	299,4
	Magnesio					
1985/86	20,7 (0,17)	20,8 (0,17)	23,6 (0,18)	20,7 (0,16)	± 0,79	21,5
1986/87	31,0 (0,19)	29,1 (0,17)	35,4 (0,20)	34,0 (0,18)	± 0,62	32,4
1987/88	44,8 (0,23)	40,2 (0,22)	38,3 (0,20)	40,4 (0,20)	± 0,58	40,9
1988/89	51,2 (0,26)	49,4 (0,25)	57,1 (0,27)	45,0 (0,22)	± 0,94	50,7

Entre paréntesis concentración (%) del elemento en la m.s. total.

El efecto de la fertilización potásica sobre la extracción de nutrientes (Cuadro 3) fue muy bajo. Nitrógeno, P, Ca y Mg no mostraron tendencias claras, y K aumentó levemente los niveles de extracción al aumentar la dosis anual. Esto no coincidiría con lo observado por Oohara y otros (1981), en el sentido que la aplicación de potasio aumentaría la extracción de nutrientes. Las bajas dosis anuales usadas en este experimento explicarían esta diferencia.

La concentración de P en el forraje, en el tratamiento sin fertilización, no decreció durante los cuatro años del experimento como ocurrió en el experimento de Oohara y otros (1981), donde ésta decreció con el tiempo y alcanzó niveles críticos después de 10 años (inferiores a 0,2%). Ello podría indicar que el P no fue en este experimento una fuerte restricción para el crecimiento.

Fósforo y potasio disponibles en el suelo

El contenido de P en el suelo, de 0 a 10 cm de profundidad (Cuadro 4), aumentó al subir las dosis de P, desde la primera temporada. Al observar las variaciones producidas a través de los años, dentro de cada tratamiento, se puede ver que en el control el contenido de P decreció entre 1986 y 1989; que en el tratamiento con 33 kg/ha de P al año, el contenido de P en el suelo se mantuvo constante a través de los años y que, en los tratamientos con dosis más altas de P, hubo un aumento de P en el suelo. Esto concuerda con el balance presentado en el Cuadro 7, donde puede observarse un fuerte déficit en el tratamiento control, un leve déficit (-8 kg/ha al año) en el tratamiento con 33 kg/ha de P al año y un superávit en las dosis altas. La fertilización con K y S no afectó los contenidos de P en el suelo en ninguna temporada (Cuadro 4).

CUADRO 4. Fósforo disponible en el suelo (ppm) a 0-10 cm de profundidad, para las cuatro dosis de fósforo, potasio y azufre (kg/ha/año), a los niveles medios de los otros dos elementos

TABLE 4. Extractable phosphorus in soil (ppm) at 0-10 cm depth, with the four rates of phosphorus, potassium and sulphur (kg/ha/year), at medium levels of the others two elements

Fecha	Dosis de P			
	0	33	66	132
Agosto 1986	7	7	9	13
Mayo 1988	8	8	9	17
Abril 1989	5	8	12	29

Fecha	Dosis de K			
	0	42	84	168
Agosto 1986	9	9	9	10
Mayo 1988	13	11	9	10
Abril 1989	14	14	12	13

Fecha	Dosis de S			
	0	30	60	120
Agosto 1986	9	8	9	8
Mayo 1988	8	12	9	10
Abril 1989	13	11	12	20

Niveles medios de P, 66; K, 84; S, 60.

Los contenidos de K disponible en el suelo (Cuadro 5) decrecieron fuertemente con los años, alcanzando los niveles más bajos en 1989, cuando no se aplicó K o se aplicó dosis de 42 ó 81 kg/ha al año, o cuando las dosis de P al suelo fueron 66 ó 132 kg/ha al año. Estos niveles corresponden a un 7% del contenido al inicio del experimento. Cuando se aplicó 168 kg/ha de K al año, la disminución de K disponible fue también muy alta, llegando a 15% del valor inicial, lo cual confirma que las dosis de K usadas fueron bajas.

El aumento del P disponible en el estrato superficial del suelo al aumentar la dosis de P (Figura 2), podría corresponder a una acumulación de este elemento, por su escasa movilidad en el suelo, o a una menor retención, debida al mayor contenido de materia orgánica (Urbina, 1965) que en los estratos más profundos. Ello significó una mayor invasión de trébol blanco en las dosis altas de P. Al término de la cuarta temporada experimental, los contenidos de P disponibles en los estratos de 0-20 y 0-40 cm de profundidad (Cuadro 6), fueron significativamente más altos en las dosis de 66 y 132 kg/ha, con respecto al control sin P, pero, sin embargo, sólo están en un nivel

CUADRO 5. Potasio disponible en el suelo (ppm) a 0-10 cm de profundidad, para las cuatro dosis de fósforo, potasio y azufre (kg/ha/año), a los niveles medios de los otros dos elementos

TABLE 5. Extractable potassium in soil (ppm) at 0-10 cm depth, with the four rates of phosphorus, potassium and sulphur (kg/ha/year), at medium levels of the others two elements

Fecha	Dosis de P			
	0	33	66	132
Agosto 1986	191	191	156	234
Mayo 1988	71	54	78	78
Abril 1989	44	33	26	26

Fecha	Dosis de K			
	0	42	84	168
Agosto 1986	137	187	156	207
Mayo 1988	86	86	78	136
Abril 1989	26	26	26	54

Fecha	Dosis de S			
	0	30	60	120
Agosto 1986	168	156	156	164
Mayo 1988	57	100	78	93
Abril 1989	44	33	26	33

Niveles medios de P, 66; K, 84; S, 60.

CUADRO 6. Fósforo disponible en el suelo (ppm), en diferentes estratos, al final del experimento

TABLE 6. Extractable phosphorus in soil (ppm), for different layers, at the end of the experiment

Estrato (cm de prof.)	Dosis de P (kg/ha/año)				EE	Media
	0	33	66	132		
0 - 20	3,5	7,8	9,5	10,3	± 1,83	7,8
20 - 40	2,8	3,3	5,0	4,0	± 0,58	3,8
40 - 60	3,3	2,8	3,8	3,0	± 0,74	3,2
60 - 80	3,0	4,0	2,8	2,0	± 0,64	3,0

que se considera medio para la mayoría de los cultivos. En los estratos de 40-60 y 60-80 cm, no hubo diferencias significativas entre los tratamientos, lo cual refuerza lo expuesto anteriormente, en el sentido que la mayor extracción de los tratamientos fertilizados con P, en relación con el control, provendría de los estratos superficiales.

Balance de fósforo y potasio

El balance de P, presentado en el Cuadro 7, demuestra que la alfalfa puede extraer grandes cantidades de este elemento en suelos con niveles disponibles muy bajos, debido, probablemente, a su especial sistema radical, y, que la aplicación de grandes cantidades de P al suelo, las cuales superan lejos la extracción, no incrementan los contenidos de P disponibles en forma proporcional, debido, probablemente, a la alta capacidad de retención del suelo. Si se toma como referencia la producción total de m.s. en la temporada 1987/88, se puede ver que, por cada kg de P agregado se obtuvo 18 kg de m. s. adicional, con un costo de \$ 27 por kg (\$ 96.500/ton de superfosfato triple). Ello no

CUADRO 7. Balance de fósforo y potasio (kg/ha) en las cuatro temporadas

TABLE 7. Balance of phosphorus and potassium (kg/ha) for the four experimental seasons

	Dosis de P (kg/ha/año)			
	0	33	66	132
P agregado 1985-1989	0	132	264	528
P extraído 1985-1989	146,7	164,8	173,3	184,5
Balance	-146,7	-32,8	+90,7	+343,5
	Dosis de K (kg/ha/año)			
	0	42	84	168
K agregado 1985-1989	0	168	336	672
K extraído 1985-1989	1.122	1.167	1.152	1.465
Balance	-1.122	-999	-816	-793

parece atractivo desde el punto de vista económico. Sin embargo, dado el problema del P en estos suelos, parece razonable devolver, anualmente, la extracción de las plantas, a fin de hacer un manejo de conservación de la fertilidad del suelo, pensando especialmente, que los cultivos que sucedan a alfalfa en la rotación, necesitan altos niveles de P disponible. De acuerdo a los datos aquí presentados, una dosis de 41,2 kg/ha de P al año (187 kg de superfosfato triple) sería suficiente. Ello permitiría obtener sólo 741,6 kg/ha de m.s. adicional, es decir, alrededor de un 4% más de producción. Por otro lado, si se tiene en cuenta que el P total de estos suelos sería del orden de los 4.000 a 6.000 kg/ha en la estrata de 0-20 cm de profundidad (Borie y Barea, 1983), probablemente no sería alarmante extraer 37 kg/ha anualmente desde 0-120 cm. La escasa información existente en Chile sobre la desorción de fosfato de los suelos volcánicos (Sadzawka y Carrasco, 1985), que seguramente es un fenómeno que está haciendo disponible cantidades importantes de P del suelo, hace evidente la necesidad de intensificar este tipo de estudios, para contar con información que permita interpretar mejor los resultados de experimentos de respuesta a la fertilización en pastos.

En el caso del balance de K (Cuadro 7), se puede concluir que es necesario agregar este elemento en cantidades muy superiores a las dosis máxima usada en el presente experimento. La fuerte caída de su disponibilidad en el suelo (Cuadro 5), se explica por los altos valores negativos del balance. Al igual que en el caso del P, llama la atención la alta extracción de K por las plantas en un suelo con niveles disponibles tan bajos como 26 ppm. Las parcelas de este experimento serán usadas para hacer nuevos estudios de fertilización con K.

RESUMEN

En una pradera de alfalfa, cv. Huinca, de segundo año, sembrada en un suelo trumao de la serie Humán (Typic distrandep), se estudió el efecto de la aplicación de P, K y S, durante cuatro temporadas (1985/86 a 1988/89). Los tratamientos (21) se seleccionaron entre las 64 combinaciones de cuatro dosis de P (0, 33, 66 y 132 kg/ha), cuatro dosis de K (0, 42, 84 y 168 kg/ha), y cuatro dosis de S (0, 30, 60 y 120 kg/ha). Se usó un diseño de bloques (4) al azar en parcelas de 2,5 x 4 m. Se midió producción de m.s. en cuatro o cinco cortes por temporada. Se analizó el forraje cosechado para determinar extracción de N, P, K, Ca y Mg. Se midió el contenido de P y K disponible en el suelo de 0 a 10 cm de profundidad al inicio, durante y al final del período experimental, y se determinó P disponible por estratos

hasta 80 cm de profundidad al término de la cuarta temporada.

El P aumentó la producción anual de m.s. en 10%, como promedio de las cuatro temporadas (16,9 a 18,7 ton/ha con 0 y 132 kg/ha de P, respectivamente). La respuesta fue constante entre 0 y 132 kg/ha de P y alcanzó a 18 kg de m.s. por kg de P aplicado, en 1987/88. La respuesta a K también fue baja y apareció en la tercera y cuarta temporada. El S no afectó la producción de m.s. El P disponible del suelo tendió a bajar, entre 1986 y 1989, en las parcelas sin aplicación de P y alcanzó, en 1989, a 29 ppm en las parcelas con 132 kg/ha al año, en la estrata de 0-10 cm; de 0-5 cm el P disponible llegó a 37 ppm. La disponibilidad de K en el

suelo, entre 1986 y 1989, bajó de alrededor de 150 a 26 ppm cuando se aplicó 66 ó 132 kg/ha de P o cuando la dosis de K fue igual o inferior a 84 kg/ha. Se analiza los rendimientos de N y la extracción de P, K, Ca y Mg.

Palabras claves: Alfalfa, aplicación de P, K, S, rendimiento de nitrógeno, absorción de P, K, Ca y Mg.

LITERATURA CITADA

- ACUÑA P., HERNAN, SOTO O., PATRICIO, KLEE G., GERMAN, RODRIGUEZ S., NICASIO, OVALLE M., CARLOS y MARTINEZ R., GERMAN. 1990. Dosis de fósforo y potasio en trébol subterráneo en la precordillera Andina de la región del Biobío. *Agricultura Técnica (Chile)* 50: 7-16.
- BORIE B., FERNANDO, y BAREA N., JOSE MIGUEL. 1983. Fósforo orgánico en suelos volcánicos de Chile. *Agricultura Técnica (Chile)* 43: 239-248.
- CORREA C., MARCOS, ZEMELMAN Z., RAUL y LONGERI S., LUIS. 1981. Influencia de la fertilización fosfórica en el crecimiento y en el contenido de nitrógeno de cuatro especies de leguminosas forrajeras inoculadas con *Rhizobium*. *Agricultura Técnica (Chile)* 41: 79-82.
- CHAPMAN, N.D. y PRATT, P.A. 1973. *Métodos de análisis para suelos, plantas y agua*. Editorial Trillas, México. 195 p.
- GONZALEZ O., CESAR, VALDES F., ALBERTO, ASTUDILLO V., WALTERIO y MADRID A., MANUEL. 1973. Estudio del estado nutritivo en cultivos de alfalfa (*Medicago sativa*) variedades Moapa y Ligüén. *Agricultura Técnica (Chile)* 33: 165-173.
- MEYER, R.D. 1984. Investing wisely in fertilizers for alfalfa. Fourteenth California Alfalfa Symposium. Visalia California. p.: 1-4.
- OLSEN, S.R. y DEAN, L.A. 1965. Phosphorus. En: Black, C.A. (ed.). *Methods of Soil Analysis. Part. 2. American Society of Agronomy*. p.: 1.035-1.049.
- OOHARA, H., YOSHIDA, N., FUKUNAGA, K., COLBY, W.G., DRAKE, M., MEDIN, W.F., KEMMLER, G., UKEKULL, H.R. and HASEGAWA, M. 1981. Impact of phosphorus and potassium fertilization on maintaining alfalfa-orchardgrass swards in Hokkaido, Japan. *Proceedings of the XIV International Grassland Congress, Lexington, Kentucky, U.S.A.* J. Allan Smith and Virgil W. Hays (ed.). Westview Press/Boulder, Colorado. p.: 309-311
- SADZAWKA R., M. ANGELICA y CARRASCO R., M. ADRIANA. 1985. Fósforo. En: J. Tosso (ed.). *Suelos Volcánicos de Chile*. Instituto de Investigaciones Agropecuarias (INIA). Ministerio de Agricultura, Santiago, Chile. p.: 373-405.
- URBINA C., ANGELA. 1965. Relaciones entre algunas propiedades físicas y químicas de suelos derivados de cenizas volcánicas. *Agricultura Técnica (Chile)* 25: 9-18.