

# EFFECTO DE LA FERTILIZACION FOSFATADA SOBRE UN SUELO CON CARGA VARIABLE, BAJO PRADERA EN PASTOREO<sup>1</sup>

Effect of phosphate fertilization on a variable charge soil, under a pasture  
subjected to grazing

Angélica Sadzawka R.<sup>2</sup> y René Bernier V.<sup>3</sup>

## SUMMARY

To study this effect, samples were taken from an Osorno soil (Typic Dystrandept), at 0–5, 5–10, 10–20, 20–30, and 30–40 cm depths, in plots that had been broadcasted with triple superphosphate, at the rates of 0, 37, and 137 kg P/ha/year, during a nine years period. In each sample, total P, organic P, NaHCO<sub>3</sub>-P, P retention, P sorption capacity, organic C, pH and effective CEC were determined.

Phosphate fertilization increased total P only in the upper 5 cm and NaHCO<sub>3</sub>-P in the upper 10 cm. From the added P, at a rate of 37 kg P/ha/year, only 33% was accumulated, as organic P; at a rate of 131 kg P/ha/year, 56% was accumulated, of which 17% was as organic P and 39% as inorganic P.

Phosphate fertilization did not produce changes in soil pH, nor in organic C content, but produced variations in the P sorption capacity and tended to diminish the effective CEC.

Results suggest that P retention was mainly produced by adsorption mechanisms, through Al, Fe-humus complexes of the soil.

## INTRODUCCION

Los suelos de carga variable, en su estado natural, generalmente son deficientes en P. Uno de los factores claves para aumentar la producción de praderas establecidas en este tipo de suelos, ha sido el uso de dosis altas de fosfato. Numerosas investigaciones han demostrado que solamente una pequeña proporción del P agregado es utilizado por las plantas, en el corto plazo. La mayor parte es retenido en formas poco solubles, por reacciones de precipitación y de adsorción por los componentes orgánicos e inorgánicos del suelo, a través de grupos Al, Fe-OH, OH<sub>2</sub><sup>+</sup> superficiales.

Generalmente, el P orgánico del suelo se ha considerado de escasa importancia, debido principalmente a que se ha asumido que, en los suelos minerales, la mayor parte del P absorbido por las plantas proviene de formas inorgánicas. Sin embargo, estudios realizados en Australia, señalan que los suelos bajo pradera, pueden contener del 50 al 84% del P total en forma orgánica (Dalal, 1976), la que al mineralizarse, participa en forma importante en la nutrición fosfatada (Blair, Till y Smith, 1976). Las aplicaciones de P inorgánico pueden contribuir considerablemente al aumento del P orgánico. Por ejemplo, Rixon (1966) encontró que entre el 82 y 100% del fertilizante agregado, en una dosis de 172 kg P/ha, fue transformado en P orgánico, en pradera bajo riego. Blair y otros (1976), usando trazadores radioactivos, observaron que el 28% del P aplicado como superfosfato, a un suelo bajo pradera, era recuperado en formas orgánicas, después de 7 días, y 40%, después de 28 días.

La fertilización fosfatada, además de los efectos sobre las formas de P, puede provocar cambios en otras propiedades del suelo. Así por ejemplo, puede dismi-

<sup>1</sup> Recepción de originales: 22 de julio de 1985.

Estudio perteneciente al Proyecto "Suelos Volcánicos", MINAGRI-INIA. Parte de este trabajo fue presentado en las XXXV Jornadas Agronómicas, Santiago, 1984. Los autores agradecen la colaboración de la Srta. Lisette Porte O.

<sup>2</sup> Estación Experimental La Platina (INIA), Casilla 439, Correo 3, Santiago, Chile.

<sup>3</sup> Estación Experimental Remehue (INIA), Casilla 1110, Osorno, Chile.

nir la capacidad de sorción de P (Fox, Plucknett y Whitney, 1968; Fox y Kamprath, 1970; Fox, 1980), aumentar la capacidad de intercambio de cationes (Mekaru y Uehara, 1972; Schalscha, Pratt y Soto, 1974), aumentar el pH y el contenido de materia orgánica (Sánchez y Uehara, 1980).

El propósito de este trabajo fue estudiar el efecto de la fertilización fosfatada sobre las propiedades de un suelo de carga variable, bajo pradera en pastoreo.

## MATERIALES Y METODOS

El estudio se realizó en un suelo Osorno (Typic Dystrandept), bajo pradera en pastoreo. Se seleccionaron parcelas que habían sido fertilizadas durante nueve años con superfosfato triple (20% P), en dosis de 0, 37 y 131 kg P/ha/año, de las cuales se recolectaron muestras de suelo por estratos, compuestas por 5 submuestras, a 0–5, 5–10, 10–20, 20–30 y 30–40 cm de profundidad. En las muestras secas al aire y tamizadas bajo 2 mm, se realizaron los siguientes análisis: 1) P total, por los métodos del hipobromito (Dick y Tabatabai, 1977) y fusión con Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>, disolviendo el fundido con H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 9N (Jackson, 1958); 2) P orgánico, por extracción con NaOH y ultrasonido y separación de las fracciones húmica y fúlvica, por precipitación con H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> a pH 2 (Steward y Oades, 1972; Borie y Barea, 1983); 3) P extraíble con NaHCO<sub>3</sub> 0,5M a pH 8,5; 4) retención de P (Blakemore, 1978); 5) capacidad de sorción de P, equilibrando durante 6 días 3 g de suelo con 30 ml de una solución de CaCl<sub>2</sub> 0,01M, que contenía una gradiente de concentraciones de KH<sub>2</sub>PO<sub>4</sub>, (Fox y Kamprath, 1970); 6) carbono orgánico, por digestión con dicromato ácido y posterior titulación potenciométrica automática (Soil Survey Staff, 1982); 7) cationes básicos de intercambio, por extracción con NH<sub>4</sub>OAc 1N a pH 7,0, y determinación de Ca y Mg, por espectrofotometría de absorción atómica, y de Na y K, por fotometría de llama; 8) Al intercambiable, por extracción con KCl 1N durante la noche y determinación por espectrofotometría de absorción atómica (Soil Survey Staff, 1972); 9) capacidad de intercambio de cationes (CIC) efectiva, por suma de los cationes básicos de intercambio y Al intercambiable (Soil Survey Staff, 1982); 10) pH (H<sub>2</sub>O) y pH (KCl), en una suspensión con agua y con KCl 1N, respectivamente, en la relación suelo: solución de 1:2,5, 11) pH (NaF), a los 2 minutos de suspender la muestra de suelo en NaF 1M, en la proporción de 1 g y 50 ml (Soil Survey Staff, 1972); 12) Al y Fe extraíbles con pirofosfato 0,1M, ditionitocitrato—bicarbonato (Soil Survey Staff, 1972) y oxalato de amonio ácido (Blakemore, 1983), determinando los contenidos de Al y Fe en los extractos, por espectrofotometría de absorción atómica; 13) Si, en los extractos de oxalato de amonio ácido

por colorimetría (Fey y Le Roux, 1975); 14) contenido de para—alofán, alofán e imogolita (Parfitt, 1983; Sadzawka y Porte, 1985). Los resultados están expresados en base a suelo seco a 105 °C.

## RESULTADOS Y DISCUSION

Las formas de Al activo y Fe del suelo en estudio se encuentran en el Cuadro 1, donde (Al piro) y (Fe piro) representan al Al y Fe unidos al humus, (Al DCB—Al piro) al Al del para—alofán, (Al ox—Al DCB) al Al del alofán y de la imogolita, (Fe ox—Fe piro) al Fe amorfo inorgánico, (Fe DCB—Fe ox) al Fe cristalino y (Al ox) y (Fe DCB) al total extraído de Al y Fe, respectivamente (Sadzawka y Porte, 1985). El Al activo total (Al ox) está constituido principalmente por Al unido al humus (Al piro), en todos los estratos muestreados, seguido por Al proveniente de los componentes para—alofánicos (Al DCB—Al piro). El contenido de Al del alofán e imogolita (Al ox—Al DCB) es bajo, especialmente en los primeros 10 cm del suelo. El Fe total extraído (Fe DCB) es menor que el Al activo total (Al ox) y está formado, en más de un 60% por componentes cristalinos de Fe (Fe DCB—Fe ox), lo cual es propio de suelos volcánicos evolucionados. Los contenidos de aluminosilicatos no—cristalinos y para—cristalinos (para—alofán, alofán e imogolita), del suelo menor de 2 mm, son más bajos que los determinados por Sadzawka y Porte (1985), en otras muestras de este suelo.

### Efecto de la fertilización fosfatada sobre el P del suelo

Los valores de P total obtenidos por los dos métodos empleados, se encuentran en el Cuadro 2. El método del hipobromito extrajo entre un 80 y 93% del P determinado por fusión con Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>, lo que sugiere que este último método sería más adecuado para determinar P total, en este tipo de suelos.

La fertilización fosfatada produjo un aumento de P total, solamente en los primeros 5 cm de suelo. Similarmente, los valores de P—NaHCO<sub>3</sub> indican que, bajo 10 cm, la fertilización fosfatada prácticamente no produjo incremento del P disponible. La escasa movilidad del P agregado, aun con la dosis más alta, es consecuencia de la elevada capacidad de retención de P del suelo (Cuadro 2). Un estudio similar, realizado en el suelo Vilcún, con 3 años de fertilización fosfatada (Schenkel y Baherle, 1983), muestra un aumento del P disponible hasta los 25 cm; lo cual se debe, probablemente, a que la retención de P, en ese suelo, es menor.

Sobre el 50% del P total del suelo sin fertilizar se encuentra como P orgánico, el cual está constituido en más del 80% por P asociado a la fracción húmica

**CUADRO 1. Formas de Al activo y Fe y contenido de componentes no-cristalinos y para-cristalinos del suelo estudiado****TABLE 1. Active Al and Fe forms and non-crystalline and para-crystalline compounds content of the studied soil**

Profundidad cm	Al piro	Al DCB -Al piro	Al ox -Al DCB	Al ox	Fe piro	Fe ox -Fe piro	Fe DCB -Fe ox	Fe DCB	Si ox	Al ox-Al piro		Alofán* o/o
										Si ox		
mmoles/g												
0-5	0,60	0,27	0,05	0,92	0,12	0,10	0,40	0,62	0,25	1,3		5
5-10	0,65	0,28	0,09	1,02	0,12	0,10	0,47	0,69	0,27	1,4		5
10-20	0,56	0,46	0,29	1,31	0,10	0,16	0,52	0,78	0,45	1,7		8
20-30	0,48	0,37	0,30	1,15	0,10	0,17	0,52	0,79	0,40	1,7		7
30-40	0,49	0,45	0,31	1,25	0,10	0,18	0,54	0,82	0,45	1,7		8

\* Incluye para-alofán e imogolita.

**CUADRO 2. P total determinado por los métodos del hipobromito y fusión con Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>, P-NaHCO<sub>3</sub> y retención de P, en el suelo fertilizado durante nueve años****TABLE 2. Total P determined by hipobromite and Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> fusion methods, P-NaHCO<sub>3</sub> and P retention by soil, after nine years of phosphate fertilization**

Dosis de P kg/ha/año	Profundidad cm	Fósforo total		P-NaHCO <sub>3</sub> µg/g	Retención de P o/o
		hipobromito mg/g	fusión o/o*		
0	0-5	2,22	82	2,72	93
	5-10	2,19	84	2,60	94
	10-20	2,06	80	2,57	97
	20-30	1,82	83	2,20	97
	30-40	1,86	86	2,17	98
37	0-5	2,57	86	2,98	95
	5-10	2,22	83	2,69	97
	10-20	2,08	85	2,46	97
	20-30	1,92	86	2,24	98
	30-40	1,81	85	2,13	98
131	0-5	3,96	93	4,27	92
	5-10	2,39	89	2,69	96
	10-20	1,98	87	2,27	97
	20-30	1,68	85	1,98	98
	30-40	1,76	88	2,01	98

\* p extraído con hipobromito, expresado como porcentaje del valor obtenido por fusión.

(Cuadro 3). La fertilización fosfatada produjo un aumento del P orgánico, especialmente en los primeros 5 cm de suelo, debido fundamentalmente al incremento del P-húmico.

Teóricamente, los 333 y 1179 kg P/ha agregados a un suelo de densidad aparente de 0,85 g cm<sup>-3</sup>, deberían producir un aumento del P total de 0,78 y 2,77 mg P/g, respectivamente, en la capa de 5 cm. Sin embargo, el aumento determinado fue de sólo 0,26 y 1,55 mg P/g (33 y 56%), lo que corresponde a 111 y 659 kg P/ha respectivamente (Cuadro 4). De estos cálculos, se deduce que, del P agregado, hubo un aprovechamiento por las plantas de 222 y 520 kg P/ha (67 y 44%), en los nueve años de fertilización. El aprovechamiento

de P, así estimado, corresponde a la suma de: a) P consumido por los animales en el forraje y no devuelto al suelo, b) P en material no consumido y c) P presente en las raíces de las plantas.

El aumento de P total observado en las parcelas fertilizadas con 37 kg P/ha/año, se reflejó exclusivamente en el P orgánico (Cuadro 4). En las parcelas fertilizadas con 131 kg P/ha/año, del 56% de P acumulado, 17% correspondió a P orgánico y 39% a P inorgánico.

El bajo contenido de aluminosilicatos no-cristalinos y para-cristalinos (para-alofán, alofán e imogolita), la alta proporción de Al-humus (Cuadro 1) y los re-

**CUADRO 3. P orgánico asociado a las fracciones húmicas y fúlvicas en el suelo, después de nueve años de fertilización fosfatada**

**TABLE 3. Organic-P associated with humic and fulvic fractions in the soil, after nine years of phosphate fertilization**

Dosis de P kg/ha/año	Profundidad cm	P orgánico		P—húmico		P—fúlvico	
		mg/g	% del P total	mg/g	% del P org.	mg/g	% del P org.
0	0— 5	1,52	56	1,22	80	0,30	20
	5—10	1,36	52	1,11	82	0,25	18
	10—20	1,32	51	1,12	85	0,20	15
	20—30	1,09	50	0,90	83	0,19	17
	30—40	1,09	50	0,91	84	0,18	17
37	0— 5	1,78	60	1,46	82	0,32	18
	5—10	1,51	56	1,21	80	0,30	20
	10—20	1,43	58	1,24	87	0,19	13
	20—30	1,25	56	1,09	87	0,16	13
	30—40	1,09	51	0,94	86	0,15	14
131	0— 5	2,00	47	1,69	84	0,31	16
	5—10	1,44	54	1,21	84	0,23	16
	10—20	1,15	51	0,97	84	0,18	16
	20—30	1,03	52	0,92	89	0,11	11
	30—40	0,85	42	0,75	88	0,10	12

**CUADRO 4. Acumulación de P en los primeros 5 cm del suelo, luego de nueve años de fertilización fosfatada**

**TABLE 4. P accumulation in the upper 5 cm of the soil, after nine years of phosphate fertilization**

Dosis de P kg/ha/año	P total agregado como superfosfato		P en el suelo al final del experimento			% del P agregado acumulado como		
	kg/ha	mg/g*	P total mg/g	P org. mg/g	P inorg. mg/g	P total %	P org. %	P inorg. %
0	0	0,00	2,72	1,52	1,20	—	—	—
37	333	0,78	2,98	1,78	1,20	33	33	0
131	1179	2,77	4,27	2,00	2,27	56	17	39

\* Para el cálculo se consideró una densidad aparente de 0,85 g/cm<sup>3</sup> y una profundidad de 5 cm.

sultados obtenidos, sugieren que, en este suelo, el P es retenido preferentemente por los complejos Al, Fe—humus y, una vez saturadas estas posiciones, es adsorbido por los componentes inorgánicos del suelo, o bien precipitado, formando compuestos poco solubles.

#### Efecto de la fertilización fosfatada sobre la capacidad de sorción de P.

La capacidad de sorción de P ha sido estimada por una gran variedad de métodos, que usan condiciones muy diversas. En este estudio, se ha preferido el método propuesto por Fox y Kamprath (1970), porque utiliza un tiempo de contacto entre el suelo y la solu-

ción de 6 días, lo que permite obtener niveles razonablemente estables de P en la solución; además, porque usa una solución de CaCl<sub>2</sub> 0,01M que, aun cuando puede ser diferente a la concentración de la solución de un suelo ácido, se estima una aproximación adecuada desde el punto de vista analítico (Rajan y Fox, 1972). La diferencia entre la cantidad agregada y la remanente en la solución, se considera como el P sorbido, el cual es graficado en la ordenada y el log del P remanente en la solución, en la abscisa. Fox y Kamprath (1970) estiman que la cantidad de P sorbido que da una concentración en la solución de 0,2 mg/lit, es una estimación agronómica de la retención de P, y la denominan requerimiento externo de P.

La capacidad de sorción de P de los primeros 5 cm de las parcelas estudiadas, se encuentra graficada en la Figura 1. Se observa un aumento de la pendiente de las curvas con las concentraciones más altas de P en la solución, lo que indicaría un reordenamiento de las partículas del suelo, que resulta en una retención adicional, a mayores concentraciones de P agregado (Rajan y Fox, 1972).

Contrariamente a lo que podría esperarse, la fertilización con la dosis de 37 kg P/ha/año produjo un aumento de la capacidad de sorción de P, con respecto al suelo sin fertilizar. Podrían existir dos explicaciones para el efecto observado: a) si el P en este suelo se retuvo a través de complejos Al, Fe-humus, los componentes formados tendrían una mayor capacidad de retención de P; o b) podría deberse a que el método empleado no considera al P orgánico (Fox, 1980), que es la forma en que se ha acumulado el P agregado a este suelo.

Con la dosis de 131 kg P/ha/año se observó una disminución de la capacidad de sorción de P (Figura 1). El requerimiento externo para alcanzar una concentración en la solución de 0,2 mg/lit, sería de un 20% menor que en el suelo no fertilizado. Probablemente, si se to-

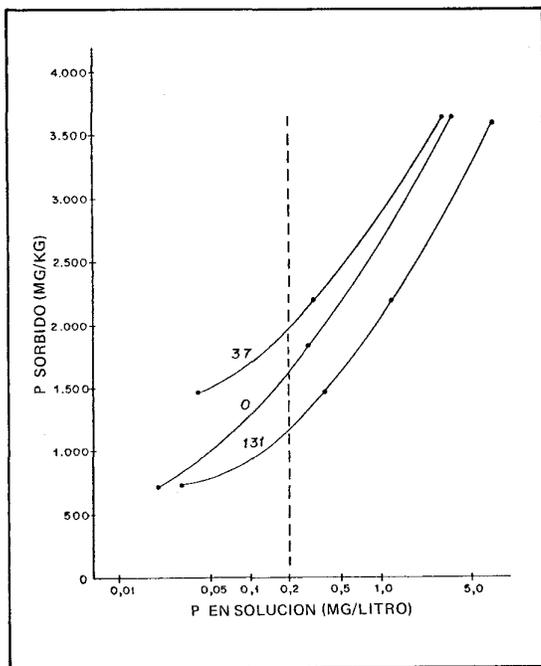


FIGURA 1. Capacidad de sorción de P del estrato superficial (0-5 cm) del suelo fertilizado con 0, 37 y 131 kg P/ha/año, durante 9 años.

FIGURE 1. P-Sorption capacity of the surface strata (0-5 cm) of the soil, after nine years of phosphate fertilization, with 0, 37 and 131 kg P/ha/year.

ma en cuenta el P orgánico, el requerimiento externo estimado disminuiría más aún.

#### Efecto de la fertilización fosfatada sobre el pH y el contenido de C orgánico.

Los valores de pH (H<sub>2</sub>O) y pH (KCl) (Cuadro 5) están acordes con el alto contenido de C orgánico y la presencia de Al intercambiable, en todas las muestras (Cuadro 6). El pH (NaF) es una medida del Al activo del suelo. Un valor mayor de 9,4 es una indicación de la presencia dominante de material amorfo en el complejo de intercambio del suelo (Soil Survey Staff, 1975). Según este criterio, el suelo analizado es predominantemente amorfo, con abundante cantidad de Al activo, como se observa en el Cuadro 1. La fertilización fosfatada no produjo un efecto significativo sobre los valores de pH.

La fosfatación masiva puede producir un aumento en el contenido de materia orgánica del suelo, debido a una mayor descomposición vegetal, resultante del incremento en la producción (Sánchez y Uehara, 1980). Sin embargo, tal efecto no se observó en este estudio (Cuadro 5).

#### Efecto de la fertilización fosfatada sobre las características de intercambio.

Uno de los efectos que, generalmente, produce la abundante fosfatación de los suelos con carga variable, es el aumento de la CIC efectiva, debido a una disminución del punto de carga cero, con aumento de la carga negativa (Mekaru y Uehara, 1972; Schalscha y otros, 1974). Sin embargo, en este estudio, no solamente no se observó aumento de la CIC efectiva, sino que incluso tendió a disminuir, a expensas del Ca intercambiable (Cuadro 6). Estos resultados, según Sánchez y Uehara (1980), indicarían que, en la retención de P, habrá un predominio de los mecanismos de precipitación sobre los de adsorción. Tal criterio, sin embargo, parece no ser razonable, especialmente en el suelo fertilizado con 37 kg P/ha/año, ya que la totalidad del P acumulado se encontró como P orgánico. La disminución en el Ca intercambiable con la fertilización, probablemente se debe a un incremento en la extracción resultante de la mayor producción. Llama la atención la tendencia a aumentar del Al intercambiable con la fertilización, lo cual indicaría que la adición de fosfato produjo una liberación de Al de los componentes del suelo.

#### CONCLUSIONES

Los efectos de nueve años de fertilización con superfosfato triple sobre el suelo Osorno, bajo pradera en pastoreo, fueron los siguientes:

**CUADRO 5. C orgánico y valores de pH del suelo, luego de nueve años de fertilización fosfatada**

**TABLE 5. Organic C and pH values of the soil, after nine years of phosphate fertilization**

Dosis de P kg/ha/año	Profundidad cm	C o/o	pH (H <sub>2</sub> O)	pH (KCl)	pH (NaF)
0	0- 5	11,7	5,6	4,5	10,1
	5-10	9,6	5,6	4,4	10,4
	10-20	6,2	5,7	4,6	10,7
	20-30	4,6	5,7	4,5	10,6
	30-40	4,8	5,8	4,7	10,6
37	0- 5	11,8	5,6	4,6	10,4
	5-10	9,8	5,6	4,4	10,7
	10-20	7,7	5,6	4,5	10,7
	20-30	5,5	5,8	4,6	10,7
	30-40	4,8	5,9	4,7	10,7
131	0- 5	11,0	5,5	4,5	10,4
	5-10	8,6	5,4	4,4	10,7
	10-20	6,6	5,5	4,5	10,7
	20-30	4,7	5,7	4,6	10,8
	30-40	4,9	6,0	4,8	10,8

**CUADRO 6. Características de intercambio del suelo, luego de nueve años de fertilización fosfatada**

**TABLE 6. Exchange characteristics of the soil, after nine years of phosphate fertilization**

Dosis de P kg/ha/año	Profundidad cm	Cationes de intercambio					CIC efectiva
		Ca	Mg	K	Na	Al	
meq/100 g							
0	0- 5	11,8	1,6	1,5	0,2	0,2	15,3
	5-10	8,8	1,9	1,0	0,2	0,3	12,2
	10-20	4,6	0,8	0,8	0,2	0,4	6,8
	20-30	4,2	0,7	0,9	0,2	0,5	6,5
	30-40	5,5	1,1	0,6	0,2	0,1	7,5
37	0- 5	9,9	2,1	0,8	0,4	0,3	13,5
	5-10	7,2	1,4	0,4	0,4	0,4	9,8
	10-20	5,6	0,8	0,3	0,3	0,6	7,6
	20-30	3,9	0,5	0,2	0,3	0,3	5,2
	30-40	4,2	0,5	0,2	0,3	0,1	5,3
131	0- 5	8,9	1,7	1,3	0,5	0,5	12,9
	5-10	4,5	0,7	0,6	0,4	0,9	7,1
	10-20	4,2	0,7	0,4	0,4	0,5	6,2
	20-30	3,7	0,7	0,4	0,4	0,1	5,3
	30-40	4,8	1,1	0,3	0,4	0,1	6,7

1. El P total aumentó solamente en los primeros 5 cm del suelo y el P—NaHCO<sub>3</sub>, en los primeros 10 cm.
2. Del P agregado con la dosis de 37 kg P/ha/año, se acumuló un 33% y exclusivamente como P orgánico. Del P agregado con la dosis de 131 kg P/ha/año, se acumuló un 56%, distribuido en 17% como P orgánico y 39% como P inorgánico.
3. Los valores de pH (H<sub>2</sub>O), pH (KCl) y pH (NaF) y los contenidos de C orgánico no fueron significativamente afectados.
4. La CIC efectiva tendió a disminuir, por pérdida de Ca intercambiable.

Los resultados obtenidos, junto al bajo contenido de aluminosilicatos no—cristalinos y para—cristalinos (para—alofán, alofán e imogolita) y a la alta proporción de Al—humus de este suelo, sugieren que el P agregado fue retenido por mecanismos de adsorción, a través de los complejos Al, Fe—humus y, una vez saturadas estas posiciones, fue adsorbido por los componentes inorgánicos del suelo, o bien precipitado formando compuestos poco solubles.

### RESUMEN

Con el propósito de estudiar el efecto de la fertilización fosfatada sobre un suelo de carga variable bajo pradera en pastoreo, se tomaron muestras del suelo Osorno (Typic Dystrandep), a 0—5, 5—10, 10—20, 20—30 y 30—40 cm de profundidad, de parcelas que habrían recibido superfosfato triple en cobertera, durante nueve años, en dosis de 0, 37 y 131 kg P/ha/año. En cada muestra, se determinó P total, P orgánico, P—NaHCO<sub>3</sub>, retención de P, capacidad de sorción de P, C orgánico, pH (H<sub>2</sub>O), pH (KCl), pH (NaF) y CIC efectiva.

La fertilización fosfatada aumentó el P total solamente en los primeros 5 cm del suelo, y el P—NaHCO<sub>3</sub>, en

los primeros 10 cm. Del P agregado con la dosis de 37 kg P/ha/año, se acumuló un 33% y exclusivamente como P orgánico. Del P agregado con la dosis de 131 kg P/ha/año, se acumuló un 56%, distribuido en 17% como P orgánico y 39% como P inorgánico.

La fertilización fosfatada no provocó cambios en los valores de pH ni en el contenido de C orgánico, pero varió la capacidad de retención de P y tendió a disminuir la CIC efectiva.

Los resultados sugieren que la retención de P se produjo principalmente por mecanismos de adsorción, a través de los complejos Al, Fe—humus del suelo.

### LITERATURA CITADA

- BLAIR, G.J.; TILL, A.R.; and SMITH, R.C.G. 1976. The phosphorus cycle —what are the sensitive areas? En: Blair, G.J. (Ed.) Prospects of improving efficiency of phosphorus utilization. Reviews in Rural Science 3, Univ. New England, Armidale, N.S.W., Australia. p: 9—19.
- BLAKEMORE, L.C. 1978. Phosphate retention determination. En: Smith, G.D. A preliminary proposal for reclassification of Andepts and some andic subgroups. Soil Bureau, Dep. Scienc., Ind. Res., Lower Hutt, New Zealand, 10 April 1978.
- BLAKEMORE, L.C. 1983. Acid oxalate—extractable iron, aluminum and silicon. En: Leamy, M.L. Circular letter N° 5. International Committee on the Classification of Andisols (ICOMAND). 26 August 1983.
- BORIE, F. y BAREA, J.M. 1983. Fósforo orgánico en suelos volcánicos de Chile. Agricultura Técnica (Chile) 43 (3): 239—248.
- DALAL, R.C. 1976. The supply of phosphorus from organic sources in soil and possible manipulations. En: Blair, C.G. (Ed.) Prospects for improving efficiency of phosphorus utilization. Reviews in Rural Science 3, Univ. New England, Armidale, N.S.W., Australia. p: 47—51.
- DICK, W.A. and TABATABAI, M.A. 1977. An alkaline oxidation method for determination of total phosphorus in soils. Soil Sci. Soc. Am. J. 41: 511—514.
- FEY, M.V. and LE ROUX, J. 1975. Quantitative determination of allophane in soil clays. Proc. Int. Clay Conf.: 451—463.

- FOX, R.L. 1980. Soils with variable charge: agronomic and fertility aspects. En: Theng, B.K.G. (Ed.) Soils with variable charge. N.Z. Society of Soil Science, Lower Hutt, New Zealand: 195–224.
- FOX, R.L. and KAMPRATH, E.J. 1970. Phosphate sorption isotherms for evaluating the phosphate requirements of soils. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* 34: 902–907.
- FOX, R.L.; PLUCKNETT, D.L. and WHITNEY, A.S. 1968. Phosphate requirements of Hawaiian Latosols and residual effects of fertilizer phosphorus. *Int. Congr. Soil Sci., Trans. 9th (Adelaide) 2*: 301–310.
- JACKSON, M.L. 1958. *Soil Chemical Analysis*. Prentice Hall, Englewood Cliffs, N.J.
- MEKARU, T. and UEHARA, G. 1972. Anion adsorption in ferruginous tropical soils. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* 36: 296–300.
- PARFITT, R.L. 1983. Identification of allophane in Inceptisols and Spodosols. *Soil Taxonomy News* 5: 11–18.
- RAJAN, S.S.S. and FOX, R.L. 1972. Phosphate adsorption by soils. I. Influence of time and ionic environment on phosphate adsorption. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* 3: 493–504.
- RIXON, A.J. 1966. Soil fertility changes in a red–brown earth under irrigated pastures. II. Changes in phosphorus. *Aust. J. Agric. Res.* 17: 317–325.
- SADZAWKA, A. y PORTE, L. 1985. Aluminio activo y hierro en suelos volcánicos. *Agricultura Técnica (Chile)* 45 (4): 329–334.
- SANCHEZ, P.A. and UEHARA, G. 1980. Management considerations for acid soils with high phosphorus fixation capacity. En: *The role of phosphorus in agriculture*. ASA–CSSA–SSSA, Madison, USA, p: 471–514.
- SCHALSCHA, E.; PRATT, P.F.; and SOTO, D. 1974. Effect of phosphate adsorption on the cation exchange capacity of volcanic ash soils. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* 38: 539–540.
- SCHENKEL, G. y BAHERLE, P. 1983. Cambios de fertilidad observados en perfiles de suelos chilenos. II. Con fertilización fosfatada en un suelo Vilcún (Typic Dystrandept) sembrado con alfalfa. *Agricultura Técnica (Chile)* 43 (2): 95–103.
- Soil Survey Staff. 1972. *Soil survey laboratory methods and procedures for collecting soil samples*. Soil Conservation Service, Report Nº 1. USDA.
- Soil Survey Staff. 1975. *Soil taxonomy, a basic system of soil classification for making and interpreting soil surveys*. Soil Conservation Service, USDA.
- Soil Survey Staff. 1982. *Procedures for collecting soil samples and methods of analysis for soil survey*. Soil Conservation Service, USDA.
- STEWART, J.H. and OADES, J.M. 1972. The determination of organic phosphorus in soils. *J. Soil Sci.* 23: 38–49.