

EFFECTO DE VEINTISIETE AÑOS DE FERTILIZACION EN LAS CARACTERISTICAS QUIMICAS DE UN SUELO MOLLISOL ALUVIAL REGADO POR EL RIO MAIPO, CHILE¹

Effect of twenty seven years of fertilization on chemical characteristics of an alluvial Mollisol soil irrigated by Maipo river, Chile

Angélica Sadzawka R.², Rafael Novoa S-A.² y Elías Letelier A.²

SUMMARY

In order to evaluate the effects of long-term fertilization on the chemical characteristics of an alluvial Mollisol soil irrigated by Maipo river waters, soil samples under maize monoculture, fertilized during 27 years with sodium nitrate, triple superphosphate and potassium sulphate, were analyzed. Long-term fertilization increases available P, but it does not affect pH, electrical conductivity, available nitrogen, exchangeable sodium and potassium, sodium saturation and sodium adsorption ratio (SAR). These results were attributed to the combined effects of calcium carbonate present in soil and higher concentration of calcium, in irrigation water, related to sodium and bicarbonate, which prevent either exchangeable complex adsorption of fertilizer and water sodium and soil alcalinization.

Key words: soil, long-term fertilization, chemical characteristics, irrigation water elements supplies.

INTRODUCCION

El uso continuado de salitre puede producir variaciones en las características químicas del suelo, atribuibles esencialmente al sodio presente en este fertilizante. El nitrato de sodio es muy soluble en agua y cuando se agrega al suelo, el ión nitrato puede ser rápidamente adsorbido por las raíces de las plantas, dejando un exceso de ión sodio en el suelo, el cual puede generar incrementos del pH, del sodio intercambiable y, por consiguiente, de la saturación de sodio del complejo de intercambio. Sin embargo, las características químicas del suelo y la calidad del agua de riego influyen significativamente en el efecto que un fertilizante produce en el suelo. Los resultados de las investigaciones realizadas con el uso prolongado de nitrato de sodio, han sido variables y dependientes de las condiciones existentes en cada lugar (Martínez y Letelier, 1978; Razeto y Rojas, 1987; Fernández, 1989; Sierra, 1989).

El objetivo de este trabajo fue evaluar el efecto de la fertilización prolongada con salitre, superfosfato triple y sulfato de potasio sobre las características químicas del suelo Mollisol, serie Santiago, regado por el río Maipo.

MATERIALES Y METODOS

El estudio se realizó en un ensayo de monocultivo de maíz, iniciado en 1963 en el suelo aluvial Santiago ubicado en la Estación Experimental La Platina, del Instituto de Investigaciones Agropecuarias (INIA). El ensayo consistió en cuatro dosis de fertilizantes: 0-0-0, 64-10-13, 128-20-25 y 192-40-50 kg/ha de N-P-K aplicados anualmente, y que constituyeron los tratamientos 1, 2, 3 y 4, respectivamente. El N se agregó como salitre sódico, el P como superfosfato triple (SFT) y el K como sulfato de potasio. El diseño experimental fue de bloques completos al azar con cinco repeticiones. En el período comprendido entre el 19.10.89 y el 23.03.90 se aplicaron 16 riegos con agua proveniente del río Maipo. Para este estudio se seleccionaron las parcelas correspondientes a tres repeticiones de cada uno de los tratamientos 1, 3 y 4. En cada parcela se tomaron muestras de suelos a 0-17, 17-34 y 34-50 cm de profundidad y en las fechas 23.09.89, 22.11.89, 10.01.90 y 08.05.90. En las muestras secas al aire y tamizadas por 2 mm, se realizaron los análisis de pH-H₂O, relación 1:2,5; materia orgánica por digestión con

¹Recepción de originales: 24 de abril de 1991.

Trabajo presentado en el VI Congreso Nacional de las Ciencias del Suelo, Temuco, Chile, 14 al 16 de noviembre de 1990.

Parte de este trabajo fue financiado por la Sociedad Química Minera de Chile (SOQUIMICH).

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

dicromato ácido y colorimetría; CaCO_3 equivalente por tratamiento con HCl y manometría; conductividad eléctrica (C.E.) del extracto de saturación; N extraíble con KCl 2 M y destilación con MgO y aleación Devarda; P extraíble con NaHCO_3 0,5 M a pH 8,5 y colorimetría; K extraíble con NH_4Ac 1 M a pH 7,0; Cl por saturación con NaAc 1 M a pH 8,2; Na y K intercambiables por extracción con NH_4Ac 1 M a pH 7,0 y corregidos por Na y K solubles; Ca, Mg, Na, K, HCO_3^- , Cl, SO_4 y NO_3^- solubles en el extracto de saturación. La relación de adsorción de sodio (RAS) se calculó según la fórmula:

$$\text{RAS} = \text{Na} / [(\text{Ca} + \text{Mg}) / 2]^{0,5}$$

donde Na, Ca y Mg corresponden a las concentraciones en el extracto de saturación expresadas en $\text{mmol}(+)/\text{L}$.

Se tomaron muestras de agua en cada uno de los 16 riegos aplicados y se realizaron los análisis de C.E. y de Ca, Mg, Na, K, HCO_3^- , Cl, SO_4 y NO_3^- solubles. Se calculó el RAS según la fórmula anterior

y el RAS corregido (RAS^c) por sustitución del Ca en la fórmula por el Ca^c , que es el contenido de Ca en el agua de riego corregido por la salinidad, por la relación entre el contenido de bicarbonato y calcio y por la presión de dióxido de carbono ejercida en los primeros milímetros de suelo (Ayers y Westcot, 1987). En todos los casos, se determinó Ca y Mg por espectrofotometría de absorción atómica, Na y K por espectrofotometría de emisión de llama, HCO_3^- y Cl por titulación potenciométrica, SO_4 y NO_3^- por colorimetría. La metodología usada está descrita en Sadzawka (1990).

RESULTADOS Y DISCUSION

Las características del suelo muestreado antes de sembrar (Cuadro 1), muestran el efecto de 26 años de fertilización con salitre sódico, SFT y sulfato de potasio. El tratamiento 1 no tuvo fertilización en este período, mientras que los tratamientos 3 y 4 recibieron 3.328 y 4.992; 520 y 1.040; 650 y 1.300; 5.460 y 8.190; 364 y 728; 286 y 572 kg/ha de N, P, K, Na, Ca y S, respectivamente.

CUADRO 1. Características químicas del suelo muestreado antes de sembrar (23.09.89)

TABLE 1. Chemical characteristics of the soil sampled before sowing (23.09.89)

Profundidad (cm)	0 - 17			17 - 34			34 - 50		
	1	3	4	1	3	4	1	3	4
Tratamiento ¹									
pH	8,4a ²	8,4a	8,3a	8,4a	8,5a	8,5a	8,4a	8,2a	8,3a
Materia orgánica (%)	2,0a	2,3a	2,3a	1,6a	1,7a	1,6a	1,4a	1,3a	1,3a
CaCO_3 equivalente (%)	4,8a	4,7a	4,8a	4,0a	4,8a	4,1a	1,8a	0,9b	0,6b
Conductividad eléctrica (ds/m)	0,50a	0,57a	0,53a	0,53a	0,40a	0,40a	0,47a	0,50a	0,43a
N-KCl (mg/kg)	10a	11a	11a	7a	9a	7a	5a	7a	5a
P- NaHCO_3 (mg/kg)	5,3c	13,3b	28,7a	2,0b	2,7b	4,7a	2,7a	3,3a	3,0a
K- NH_4AC (mg/kg)	193a	252a	234a	120a	133a	135a	99a	108a	114a
ClC (cmol (+)/kg)	14,51a	13,51a	14,43a	13,58a	12,93a	12,93a	13,56a	14,48a	13,25a
Na intercambiable (cmol(+)/kg)	1,10a	0,88a	0,90a	1,40a	1,28a	1,18a	1,31a	1,23a	1,22a
K intercambiable (cmol (+)/kg)	0,50a	0,65a	0,60a	0,31a	0,34a	0,35a	0,26a	0,28a	0,30a
Saturación de Na (%)	7,7a	6,5a	6,3a	10,3a	9,9a	9,2a	9,6a	8,6a	9,2a
Ca soluble (mmol(+)/L)	3,24a	4,53a	4,37a	3,29a	2,41a	2,70a	3,12a	3,28a	2,54a
Mg soluble (mmol(+)/L)	0,63b	0,88a	0,83a	0,58a	0,44a	0,48a	0,50a	0,54a	0,50a
Na soluble (mmol(+)/L)	1,73a	1,55a	1,44a	2,36a	1,79a	1,73a	2,16a	2,33a	2,03a
K soluble (mmol(+)/L)	0,20b	0,37a	0,36a	0,10a	0,10a	0,10a	0,06a	0,07a	0,06a
Suma de cationes (mmol(+)/L)	5,80	7,33	7,00	6,33	4,74	5,01	5,84	6,22	5,13
HCO_3^- soluble (mmol(-)/L)	5,17a	6,07a	6,60a	3,83a	3,70a	3,90a	2,97a	3,37a	3,03a
Cl soluble (mmol(-)/L)	0,33a	1,10a	0,53a	0,50a	0,43a	0,67a	0,63a	0,70a	0,77a
SO_4 soluble (mmol(-)/L)	1,47a	0,92a	0,71a	1,99a	1,17a	1,04a	2,61a	2,40a	2,16a
NO_3^- soluble (mmol(-)/L)	0,03	0,05	0,05	0,03	0,03	0,03	0,02	0,02	0,02
Suma de aniones (mmol(-)/L)	7,00	8,14	7,89	6,35	5,33	5,64	6,23	6,49	5,98
RAS	1,3a	1,0a	0,9a	1,7a	1,5a	1,3a	1,6a	1,7a	1,6a

¹ Tratamiento 1: N-P-K = 0-0-0 kg/ha de N, P y K, respectivamente.

Tratamiento 3: N-P-K = 128-20-25 kg/ha de N, P y K, respectivamente.

Tratamientos 4: N-P-K = 192-40-50 kg/ha de N, P y K, respectivamente.

² Filas, dentro de cada profundidad, con letras distintas difieren estadísticamente a un nivel de 5%.

La fertilización prolongada con nitrato de sodio no afectó los valores de pH del suelo (cuadros 1 al 4 y Figura 1). Esto se explica porque el complejo de intercambio está saturado de cationes básicos, especialmente Ca, debido a la presencia de CaCO_3 en el suelo (Cuadro 1); por lo tanto, un aporte de sodio, que es fácilmente lavable, no altera significativamente el amplio predominio de cationes básicos, sobre los cationes ácidos, en la solución de suelo. Un aumento de pH también puede deberse al incremento en el HCO_3^- en la solución de suelo. Sin embargo, en este caso, el alto contenido de Ca en relación al de HCO_3^- en el agua de riego (Cuadro 5), favorece la precipitación de CaCO_3 , con lo cual se mantienen los valores de HCO_3^- en la solución de suelo en rangos que no provocan problemas de alcalinización. Los valores de pH determinados en las distintas épocas de muestreo muestran variación estacional, lo cual es normal para esta característica del suelo.

La C.E. del suelo, muestreada antes de sembrar (23.09.89) es de alrededor de 0,5 ds/m y no se observa efecto de la fertilización previa (Cuadro 1 y Figura 2). En los muestreos posteriores, la C.E. aumentó considerablemente, debido a la incorporación de las sales que transporta el agua de riego y que son concentradas transitoriamente en el suelo por la evapotranspiración durante el período de cultivo (Figura 2). Posteriormente, es probable que

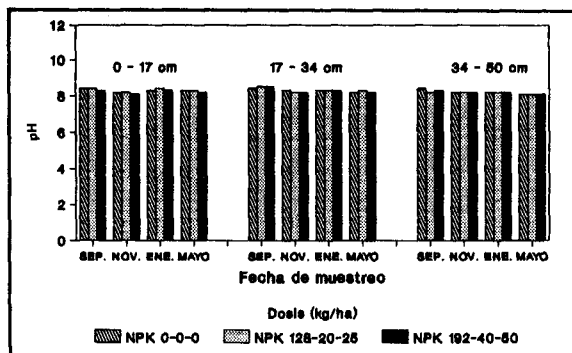


FIGURA 1. Valores de pH de las muestras de suelo.

FIGURE 1. pH values of soil samples.

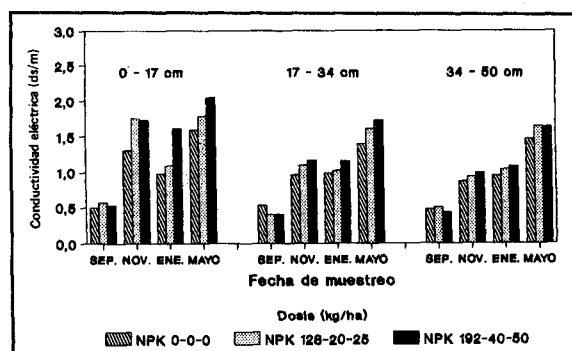


FIGURA 2. Conductividad eléctrica de las muestras de suelo.

FIGURE 2. Electrical conductivity of soil samples.

CUADRO 2. Características químicas del suelo muestreado después del primer riego (22.11.89)

TABLE 2. Chemical characteristics of the soil sampled after first irrigation (22.11.89)

Profundidad (cm)	0 - 17			17 - 34			34 - 50		
	1	3	4	1	3	4	1	3	4
pH	8,2a ²	8,2a	8,1a	8,3a	8,2a	8,2a	8,2a	8,2a	8,2a
Conductividad eléctrica (ds/m)	1,31a	1,75a	1,73a	0,96a	1,10a	1,17a	0,87a	0,93a	0,99a
N-KCl (mg/kg)	13a	35a	31a	9b	16a	20a	7b	11a	14a
Na intercambiable (cmol(+)/kg)	0,72b	0,95a	0,88a	0,69a	0,79a	0,81a	0,68a	0,77a	0,78a
K intercambiable (cmol(+)/kg)	0,49b	0,56ab	0,64a	0,38a	0,35a	0,36a	0,28a	0,28a	0,28a
Saturación de Na (%)	5,0a	7,0a	6,1a	5,1a	6,1a	6,3a	5,0a	5,3a	5,9a
Ca soluble (mmol(+)/L)	8,07a	9,67a	9,67a	5,77a	5,97a	6,20a	4,83a	4,93a	4,77a
Mg soluble (mmol(+)/L)	1,22a	1,38a	1,49a	0,83a	0,86a	0,89a	0,66a	0,70a	0,77a
Na soluble (mmol(+)/L)	2,97a	5,20a	4,03a	2,40a	2,47a	2,50a	2,83a	2,57a	2,83a
K soluble (mmol(+)/L)	0,27a	0,40a	0,38a	0,17a	0,16a	0,17a	0,09a	0,09a	0,10a
Suma de cationes (mmol(+)/L)	12,53	16,65	15,57	9,17	9,46	9,76	8,41	8,29	8,47
HCO ₃ soluble (mmol(-)/L)	4,00a	4,67a	5,00a	3,67a	4,00a	4,17a	3,17a	3,83a	3,50a
Cl soluble (mmol(-)/L)	3,37a	3,60a	3,20a	2,50a	2,47a	2,20a	2,40a	1,80a	2,00a
SO ₄ soluble (mmol(-)/L)	6,42a	6,75a	7,80a	4,09a	3,29a	3,94a	3,62a	2,65a	3,42a
Suma de aniones (mmol(-)/L)	13,79	15,02	16,00	10,26	9,76	10,31	9,19	8,28	8,92
RAS	1,4b	2,3a	1,7b	1,3a	1,4a	1,3a	1,7a	1,5a	1,7a

¹Tratamiento 1: N-P-K = 0-0-0 kg/ha de N, P y K, respectivamente.

Tratamiento 3: N-P-K = 128-20-25 kg/ha de N, P y K, respectivamente.

Tratamientos 4: N-P-K = 192-40-50 kg/ha de N, P y K, respectivamente.

²Filas, dentro de cada profundidad, con letras distintas difieren estadísticamente a un nivel de 5%.

las lluvias de invierno disminuyeran la C.E. hasta los valores iniciales. Sin embargo, los valores máximos alcanzados de C.E., en el período de cultivo, no sobrepasan el límite establecido de 1,8 ds/m, para un rendimiento de maíz de 100% del potencial productivo (Ayers y Westcot, 1987). La fertilización no afectó significativamente la C.E. (cuadros 2 al 4).

El N disponible (N-KCl), antes de la siembra, no mostró efecto de la fertilización previa (Cuadro 1), lo cual era de esperarse por la facilidad con que el nitrato se lixivia, absorbe o inmoviliza. El efecto de la fertilización se observa sólo en los muestreos efectuados inmediatamente después de la adición de salitre, sin embargo las diferencias no fueron significativas (cuadros 2 y 3).

El P disponible (P-NaHCO₃), aumentó de 5,3 a 28,7 mg/kg por la fertilización sostenida con SFT y este efecto se observó incluso en la estrata de 17-34 cm con la dosis más alta de fertilizantes fosfatado (Cuadro 1). En los suelos calcáreos, la adición de P provoca inicialmente una reacción de adsorción sobre la calcita y luego la formación de fosfatos de calcio amorfos que se transforman subsecuentemente en fosfatos de calcio cristalinos (Kissel, Sanders y Ellis, 1985). Sin embargo, las reacciones descritas dan cuenta de sólo una parte de la capacidad de sorción de P de los suelos

calcáreos, ya que la mayor parte de la adsorción de P se debe a los óxidos hidratados presentes en el suelo (Sample, Soper y Racz, 1980; Tisdale, Nelson y Beaton, 1985). Dado los varios mecanismos de sorción a que está expuesto, el P es un elemento poco móvil en los suelos. Sin embargo, en este estudio se observa un movimiento descendente del P en el perfil con la dosis más alta de P aplicado (Cuadro 1). Este transporte de P podría deberse a la acción de las raíces, las cuales, en las primeras etapas de desarrollo, absorben P desde la superficie, luego crecen y profundizan en el suelo, y posteriormente, cuando se descomponen, liberan el P en una estrata más profunda del suelo (Tisdale y otros, 1985).

El Na de intercambio y la saturación de sodio no aumentaron por efecto de la fertilización previa (Cuadro 1), ni tampoco por el agua de riego en la temporada de cultivo (testigos de las figuras 3 y 4), a pesar de que la cantidad total de Na agregado por el agua de riego fue de 638 kg/ha (Cuadro 6). Esto se explica por la presencia de CaCO₃ en el suelo (Cuadro 1) y por la alta proporción de Ca en relación a Na del agua de riego (Cuadro 5), que impide que se adsorba el Na en el complejo de intercambio del suelo. La fertilización produjo un aumento transitorio del Na intercambiable y, por lo tanto, de la saturación de Na (Figura 3), pero sin

CUADRO 3. Características químicas del suelo muestreado 75 días después de la siembra (10.01.90)

TABLE 3. Chemical characteristics of the soil sampled 75 days after sowing (10.01.90)

Profundidad (cm)	0 - 17			17 - 34			34 - 50		
	1	3	4	1	3	4	1	3	4
Tratamiento ¹									
pH	8,3a ²	8,4a	8,3a	8,3a	8,3a	8,3a	8,2a	8,2a	8,2a
Conductividad eléctrica (ds/m)	0,98a	1,09a	1,61a	0,99a	1,02a	1,16a	0,95a	1,04a	1,08a
N-KCl (mg/kg)	6a	13a	35a	4b	7ab	11a	3b	3b	9a
Na intercambiable (cmol(+)/kg)	0,60b	1,04ab	1,26a	0,69a	0,88a	0,90a	0,64b	0,88a	0,88a
K intercambiable (cmol(+)/kg)	0,44a	0,45a	0,51a	0,31a	0,27a	0,30a	0,23a	0,21a	0,23a
Saturación de Na (%)	4,1b	7,7a	8,8a	5,1b	6,8a	7,0a	4,7a	6,1a	6,6a
Ca soluble (mmol(+)/L)	6,97a	6,50a	7,77a	7,40a	6,77a	7,87a	6,87a	6,93a	7,27a
Mg soluble (mmol(+)/L)	0,83a	0,69a	1,00a	0,81a	0,72a	0,85a	0,81a	0,74a	0,83a
Na soluble (mmol(+)/L)	2,37a	4,00a	7,87a	2,50a	3,10a	3,77a	2,63a	3,20a	3,47a
K soluble (mmol(+)/L)	0,21a	0,24a	0,24a	0,16a	0,11a	0,14a	0,08a	0,06a	0,07a
Suma de cationes (mmol(+)/L)	10,38	11,43	16,88	10,87	10,70	12,63	10,39	10,93	11,64
HCO ₃ soluble (mmol(-)/L)	4,33a	4,50a	6,00a	3,50a	4,33a	4,17a	2,83a	4,00a	4,00a
Cl soluble (mmol(-)/L)	2,13a	2,23a	2,50a	2,53a	1,70a	2,47a	2,30a	2,17a	2,63a
SO ₄ soluble (mmol(-)/L)	4,74a	5,08a	7,12a	4,86a	5,68a	6,79a	5,25a	6,09a	6,33a
Suma de aniones (mmol(-)/L)	11,20	11,81	15,62	10,89	11,71	13,43	10,38	12,26	12,96
RAS	1,2a	2,1a	3,8a	1,2a	1,6a	1,8a	1,3a	1,6a	1,7a

¹ Tratamiento 1: N-P-K = 0-0-0 kg/ha de N, P y K, respectivamente.

Tratamiento 3: N-P-K = 128-20-25 kg/ha de N, P y K, respectivamente.

Tratamientos 4: N-P-K = 192-40-50 kg/ha de N, P y K, respectivamente.

² Filas, dentro de cada profundidad, con letras distintas difieren estadísticamente a un nivel de 5%

CUADRO 4. Características químicas del suelo muestreado después de la cosecha (08.05.90)**TABLE 4. Chemical characteristics of the soil sampled after harvesting (08.05.90)**

Profundidad (cm)	0 - 17			17 - 34			34 - 50		
	1	3	4	1	3	4	1	3	4
Tratamiento ¹									
pH	8,3a ²	8,3a	8,2a	8,2a	8,3a	8,2a	8,1a	8,1a	8,1a
Conductividad eléctrica (ds/m)	1,59a	1,79a	2,05a	1,40c	1,61b	1,73a	1,47a	1,65a	1,64a
N-KCl (mg/kg)	4a	5a	5a	4a	4a	4a	2a	2a	2a
Na intercambiable (cmol(+)/kg)	0,48a	0,56a	0,62a	0,47b	0,55a	0,56a	0,41c	0,52a	0,48b
K intercambiable (cmol(+)/kg)	0,52a	0,53a	0,56a	0,35a	0,32a	0,34a	0,28a	0,25a	0,26a
Saturación de Na (%)	3,3a	4,1a	4,3a	3,5a	4,3a	4,3a	3,0a	3,6a	3,6a
Ca soluble (mmol+)/L)	10,07a	10,23a	11,40a	9,30a	9,43a	11,90a	10,23a	10,40a	10,67a
Mg soluble (mmol+)/L)	1,64a	1,79a	1,84a	1,43a	1,51a	1,67a	1,45a	1,44a	1,43a
Na soluble (mmol+)/L)	4,60b	6,33ab	7,67a	3,37b	5,13a	5,83a	3,70b	5,27a	4,67a
K soluble (mmol+)/L)	0,35a	0,36a	0,43a	0,17a	0,16a	0,20a	0,11a	0,09a	0,09a
Suma de cationes (mmol+)/L)	16,66	18,71	21,34	14,27	16,23	19,60	15,49	17,20	16,86
HCO ₃ soluble (mmol(-)/L)	4,50a	5,33a	5,67a	3,83a	4,00a	3,83a	3,17a	3,17a	3,00a
Cl soluble (mmol(-)/L)	4,17a	6,43a	7,00a	4,67a	5,40a	6,30a	5,00a	6,23a	6,33a
SO ₄ soluble (mmol(-)/L)	8,82a	7,82a	9,43a	7,44a	7,90a	9,15a	7,89a	8,07a	8,31a
Suma de aniones (mmol(-)/L)	17,49	19,58	22,10	15,94	17,30	19,28	16,06	17,47	17,64
RAS	1,9a	2,6a	3,0a	1,4a	2,2a	2,2a	1,5a	2,1a	1,9a

¹Tratamiento 1: N-P-K = 0-0-0 kg/ha de N, P y K, respectivamente.

Tratamiento 3: N-P-K = 128-20-25 kg/ha de N, P y K, respectivamente.

Tratamientos 4: N-P-K = 192-40-50 kg/ha de N, P y K, respectivamente.

²Filas, dentro de cada profundidad, con letras distintas difieren estadísticamente a un nivel de 5%.

CUADRO 5. Cantidades aplicadas y composición química del agua del río Maipo en los 16 riegos**TABLE 5. Amounts used and chemical composition of water from river Maipo corresponding to the 16 irrigations**

Fecha	19.10.89	23.11.89	11.12.89	23.12.89	28.12.89	04.01.90	11.01.90	19.01.90	23.01.90
Agua aplicada (ML/ha)	0,308	0,573	0,340	0,389	0,343	1,038	0,817	0,834	0,863
Conductividad eléctrica (ds/m)	0,84	0,65	0,80	0,77	0,86	0,91	0,87	0,94	0,94
Calcio (mmol+)/L)	5,50	4,40	6,50	7,00	7,50	7,00	7,00	7,00	6,50
Magnesio (mmol+)/L)	0,90	0,60	0,80	0,90	1,00	0,90	1,00	1,10	1,00
Sodio (mmol+)/L)	3,70	1,90	1,90	2,00	1,80	2,00	2,00	3,00	2,80
Potasio (mmol+)/L)	0,06	0,06	0,10	0,08	0,11	0,07	0,12	0,09	0,08
Suma de cationes (mmol+)/L)	10,16	6,96	9,30	9,98	10,41	9,97	10,12	11,19	10,38
Bicarbonato (mmol(-)/L)	1,70	1,10	1,30	1,20	1,80	1,50	1,30	1,40	1,60
Cloruro (mmol(-)/L)	3,21	1,38	2,03	1,80	1,95	2,03	2,26	2,85	2,59
Sulfato (mmol(-)/L)	4,41	4,21	5,56	5,62	5,89	6,41	5,58	6,43	5,39
Nitrato (mmol(-)/L)									
Suma de aniones (mmol(-)/L)	9,32	6,69	8,89	8,62	9,64	9,94	9,14	10,68	9,58
RAS	2,1	1,2	1,0	1,0	0,9	1,0	1,0	1,5	1,4
RAS ^o	2,3	1,1	1,0	1,0	1,0	1,1	1,1	1,6	1,6
Sodio porcentual (%)	36	27	20	20	17	20	20	27	27
Calcio (kg/ha)	34	50	44	54	51	145	114	117	112
Magnesio (kg/ha)	3,4	4,2	3,3	4,3	4,2	11,4	9,9	11,2	10,5
Sodio (kg/ha)	26	25	15	18	14	48	38	58	56
Potasio (kg/ha)	0,7	1,3	1,3	1,2	1,5	2,8	3,8	2,9	2,7
Azufre (kg/ha)	22	39	30	35	32	106	73	86	74
Sales totales (kg/ha)	196	263	206	236	230	696	515	601	568

Continuación Cuadro 5. Cantidades aplicadas y composición química...

Fecha	02.02.90	09.02.90	20.02.90	27.02.90	05.03.90	14.03.90	23.03.90	Total
Agua aplicada (ML/ha)	0,872	0,901	0,586	0,740	0,660	0,637	0,555	10,456
Conductividad eléctrica (ds/m)	0,94	0,91	0,99	1,04	1,05	1,09	1,22	0,94
Calcio (mmol(+)/L)	6,00	6,20	6,50	6,70	7,00	7,00	7,00	6,57
Magnesio (mmol(+)/L)	1,00	0,90	1,00	1,10	1,00	1,00	1,00	0,96
Sodio (mmol(+)/L)	2,40	2,20	2,80	2,90	3,80	4,00	3,50	2,65
Potasio (mmol(+)/L)	0,11	0,08	0,08	0,11	0,07	0,10	0,10	0,09
Suma de cationes (mmol(+)/L)	9,51	9,38	10,38	10,81	11,87	12,10	11,60	10,28
Bicarbonato (mmol(-)/L)	1,50	1,50	1,40	1,60	1,50	1,70	1,50	1,47
Cloruro (mmol(-)/L)	2,59	3,52	3,52	4,06	3,50	3,95	3,95	2,86
Sulfato (mmol(-)/L)	5,98	4,27	5,95	5,50	6,95	5,73	6,04	5,67
Nitrato (mmol(-)/L)			0,04		0,05	0,05	0,05	0,05
Suma de aniones (mmol(-)/L)	10,07	9,29	10,91	11,16	12,00	11,43	11,54	10,05
RAS	1,3	1,2	1,4	1,5	1,9	2,0	1,8	1,4
RAS°	1,4	1,3	1,5	1,6	2,0	2,3	1,9	1,5
Sodio porcentual (%)	25	23	27	27	32	33	30	26
Calcio (kg/ha)	105	112	76	99	92	89	78	1.374
Magnesio (kg/ha)	10,6	9,9	7,1	9,9	8,0	7,7	6,7	122
Sodio (kg/ha)	48	46	38	49	58	59	45	638
Potasio (kg/ha)	3,8	2,8	1,8	3,2	1,8	2,5	2,2	36
Azufre (kg/ha)	83	62	56	65	73	58	54	949
Sales totales (kg/ha)	577	550	415	536	524	490	422	7.026

superar el 15% de saturación de Na, que es el límite sobre el cual se pueden producir problemas de infiltración en los suelos no salinos (Bresler, McNeal y Carter, 1982).

El K de intercambio se encontró en niveles adecuados y no se produjo acumulación por efecto de la fertilización previa (Cuadro 1). Sin embargo, se observó un aumento transitorio, debido a la fertilización de la temporada (Cuadro 2).

En la composición iónica, tanto del extracto de saturación del suelo como la del agua de riego, hubo un predominio de calcio entre los cationes y de sulfato entre los aniones (cuadros 1 al 6). Las concentraciones de cloruro en el agua de riego estuvieron bajo el límite de 4 mmol(-)/L, sobre el

cual pueden producirse problemas de toxicidad (Ayers y Westcot, 1987). La relación de adsorción de sodio corregida (RAS°) del agua de riego, se encontró por debajo de 3, que es el valor sobre el cual podrían empezar a producirse problemas de infiltración en los suelos regados con aguas de C.E. < 1,2 ds/m (Ayers y Westcot, 1987).

CONCLUSIONES

La fertilización durante 27 años con salitre, superfosfato triple y sulfato de potasio de un suelo de origen aluvial (Serie Santiago), regado por el río Maipo, aumentó el P disponible, pero no provocó variaciones en los valores de pH, conductividad eléctrica, sodio intercambiable, saturación de sodio y relación de adsorción de sodio (RAS).

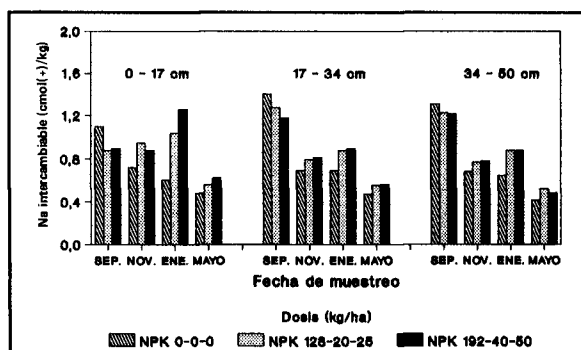


FIGURA 3. Contenidos de sodio intercambiable de las muestras de suelo.

FIGURE 3. Exchangeable sodium contents of soil samples.

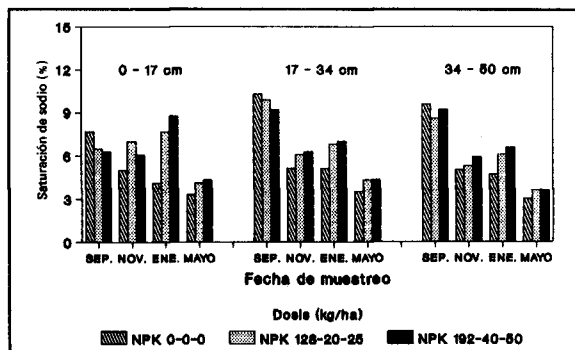


FIGURA 4. Saturación de sodio de las muestras de suelo.

FIGURE 4. Sodium saturation of soil samples.

CUADRO 6. Composición química promedio del agua del río Maipo y elementos agregados con el agua y los fertilizantes**TABLE 6. Average chemical composition of water from river Maipo and amounts of elements added with water and fertilizer**

Composición química	Agua de riego	Fertilizantes ¹		
		1	3	4
Agua aplicada (ML/ha)	10,456			
Conductividad eléctrica (ds/m)	0,94			
Calcio (mmol(+)/L)	6,57			
Magnesio (mmol(+)/L)	0,96			
Sodio (mmol(+)/L)	2,65			
Potasio (mmol(+)/L)	0,09			
Suma de cationes (mmol(+)/L)	10,28			
Bicarbonato (mmol(-)/L)	1,47			
Cloruro (mmol(-)/L)	2,86			
Sulfato (mmol(-)/L)	5,67			
Nitrato (mmol(-)/L)	0,05			
Suma de aniones (mmol(-)/L)	9,78			
RAS	1,4			
RAS°	1,5			
Sodio porcentual (%)	26			
Calcio (kg/ha)	1.374	0	14	28
Magnesio (kg/ha)	122			
Sodio (kg/ha)	638	0	210	315
Potasio (kg/ha)	36	0	25	50
Azufre (kg/ha)	949	0	11	22
Sales totales (kg/ha)	7.026	0	960	1.520

¹Tratamiento 1: 0-0-0 kg/ha de N, P y K respectivamente.

Tratamiento 3: 128-20-25 kg/ha de N, P y K respectivamente.

Tratamiento 4: 192-40-50 kg/ha de N, P y K respectivamente.

RESUMEN

Con el propósito de evaluar los efectos que la fertilización prolongada tiene sobre las características del suelo Mollisol, Serie Santiago, regado con aguas del río Maipo, se analizaron muestras de suelo de un ensayo de monocultivo de maíz, que ha sido fertilizado durante 27 años con salitre, superfosfato triple y sulfato de potasio. La fertilización prolongada aumentó el P disponible, pero no afectó las características de pH, conductividad eléctrica, nitrógeno disponible, sodio y potasio intercambiables, saturación de sodio y relación de adsorción de sodio (RAS). Los resultados, se

explican por la presencia tanto de carbonato de calcio en el suelo como por el alto contenido de calcio, en relación al de sodio y de bicarbonato, en el agua de riego que impiden, por una parte, que el sodio proveniente del fertilizante y del agua de riego se adsorba en el complejo de intercambio y, por otra parte, que se produzca alcalinización del suelo.

Palabras claves: suelo, fertilización prolongada, características químicas, composición química de aguas de riego.

LITERATURA CITADA

AYERS, R.S. y WESTCOT, D.W. 1987. La calidad del agua en la agricultura. FAO. Estudio FAO Riego y Drenaje 29, Roma, Italia. 174 p.

BRESLER, E., MCNEAL, B.L. and CARTER, D.L. 1982. Saline and sodic soils. Principles-dynamics-modeling. Springer-Verlag, Berlin Heidelberg, New York, Germany. 236 p.

- FERNANDEZ DEL P., MIGUEL. 1989. Uso eficiente de fertilizantes en maíz. In: Baherle V., Pedro y Landon P., Paul (ed.). Seminario impacto de los fertilizantes en la producción agrícola. Instituto de Investigaciones Agropecuarias (Chile), Est. Exp. La Platina (Santiago), Serie La Platina Nº 14. p.: 231-247.
- KISSEL, D.E., SANDER, D.H. and ELLIS, R. 1985. Fertilizer-plant interactions in alkaline soils. In: Engelstad, O.P. (ed.). Fertilizer technology and use. 3d Ed. Soil Sci. Am. Inc., Madison, Wisconsin, USA. p.: 153-196.
- MARTINEZ V., MAXIMILIANO y LETELIER A., ELIAS. 1978. Comparación entre una rotación intensiva de cultivos y una rotación de cultivos con pradera. Agricultura Técnica (Chile) 38: 129-143.
- RAZETO M., BRUNO y ROJAS Z., SILVIA. 1987. Fertilizantes nitrogenados en duraznero. Mundo Agrofrutícola. p.: 69-78.
- SADZAWKA R., ANGELICA. 1990. Métodos de análisis de suelos. Instituto de Investigaciones Agropecuarias (Chile), Est. Exp. La Platina (Santiago), Serie La Platina Nº 16. 130 p.
- SAMPLE, E.C., SOPER, R.J. and RACZ, G.J. 1980. Reactions of phosphate fertilizers in soils. In: Khasawneh, F.E., Sample, E.C. and Kamprath, E.J. (ed.). The role of phosphorus in agriculture. American Society of Agronomy, Madison, Wisconsin, USA. p.: 263-310.
- SIERRAB., CARLOS. 1989. Variación del contenido de nutrientes minerales (Ca + Mg + K) Na y Al de intercambio en una sucesión de cultivos manejada con dos fuentes nitrogenadas, urea y nitrato de sodio. In: Baherle V., Pedro y Landon P., Paul (ed.). Seminario impacto de los fertilizantes en la producción agrícola. Instituto de Investigaciones Agropecuarias (Chile), Est. Exp. La Platina (Santiago), Serie La Platina Nº 4. p.: 14-230.
- TISDALE, S., NELSON, W.L. and BEATON, J.D. 1985. Soil fertility and fertilizers. 4th Ed. Macmillan Publishing Co, Inc., USA. 754 p.