

EFFECTO DE LAS TÉCNICAS DE LAVADO Y FERTILIZACIÓN SOBRE LA SALINIDAD EN SUELOS DEL ALTO VALLE DE RÍO NEGRO Y NEUQUÉN, ARGENTINA

Effect of soil leaching techniques and fertilization on the salinity of soils of the upper Río Negro Valley and Neuquén, Argentine

Perla Gili S.^{1*}, Graciela Marando I.¹, Jorge Irisarri E.¹ y Marcelo Sagardoy R.²

ABSTRACT

The objective of this study was to evaluate the effect of soil reclamation by leaching, application of nitrogen fertilizer and inoculation with *Sinorhizobium meliloti* to reduce saline stress in alfalfa (*Medicago sativa* L.) plants sown in five soils affected by salts, in the Upper Río Negro Valley and Neuquén, Argentina. Plant responses to salinity were not only related on salt concentration but also on the type of salts present in the soil. The sodium saline type of salinity was the most harmful. In the Typic Torrifluvents (Centenario) soil with high content of NaCl and low content of organic matter, alfalfa seeds did not germinate. Soil reclamation by leaching reduced the electric conductivity from 6.1 to 1.6 dS m⁻¹ and produced changes in the relative concentration of salts, favoring the growth of the plants. The application of nitrates and inoculation with effective strains of *S. meliloti* allowed improved development of alfalfa plants, and increased dry matter production 16 and 84%, respectively. The technique of soil reclamation by leaching did not produce significant changes in the number of *S. meliloti* ($P < 0.05$).

Key words: salinity, fertilization, *Medicago sativa*, *Sinorhizobium meliloti*.

RESUMEN

El objetivo de este trabajo fue evaluar el efecto de la rehabilitación de suelos por lavado, la aplicación de fertilizante nitrogenado y la inoculación con *Sinorhizobium meliloti*, para atenuar el estrés salino existente en plantas de alfalfa (*Medicago sativa* L.), sembradas en cinco suelos afectados por sales, pertenecientes al Alto Valle de Río Negro y Neuquén, Argentina. La respuesta de las plantas a las condiciones de salinidad, no sólo depende de la concentración de sales sino también del tipo de sales presentes en el suelo. El tipo de salinidad sódica es la más perjudicial. En los Torrifluvents Típicos (Centenario) con alto contenido de sales de NaCl y bajo tenor de materia orgánica, las semillas de alfalfa no germinaron. El lavado de estos suelos disminuyó la conductividad eléctrica desde 6,1 a 1,6 dS m⁻¹, y produjo cambios en la concentración relativa de las sales, favoreciendo el crecimiento de las plantas. La aplicación de nitrato y la inoculación con cepas efectivas de *S. meliloti* permitió un mejor desarrollo de las plantas de alfalfa, y aumentó la producción de materia seca 16 y 84%, respectivamente. La técnica de rehabilitación de suelo no produjo cambios significativos en el número de *S. meliloti* ($P < 0,05$).

Palabras clave: salinidad, fertilización, *Medicago sativa*, *Sinorhizobium meliloti*.

¹ Universidad Nacional del Comahue (UNC), Facultad de Ciencias Agrarias, CP 8303, Cinco Saltos, Río Negro, Argentina.
E-mail: pgili@neunet.com.ar

² Universidad Nacional del Sur (UNS), Departamento de Agronomía, Bahía Blanca, Argentina.
E-mail: sagardoy@criba.edu.ar

*Autor para correspondencia.

Recibido: 22 de febrero de 2003. Aceptado: 13 de junio de 2003.

INTRODUCCIÓN

La salinidad en los suelos es un problema para la agricultura del mundo, siendo el factor que más limita la productividad de los cultivos (Gouia *et al.*, 1994). Las sales tienen efectos adversos sobre las propiedades físicas y químicas, y sobre los procesos microbiológicos del suelo. Los suelos afectados por sales representan cerca del 15% de las tierras áridas y semiáridas del mundo, y además representan 40% de las tierras irrigadas (Hoffman *et al.*, 1980; Shannon, 1984; Serrano y Gaxiola, 1994).

De acuerdo con el informe del Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA, 1986), las zonas bajo riego en Argentina afectadas por sales totalizan unas 500.000 ha, y aproximadamente 10% de éstas corresponden a suelos que forman parte del Alto Valle de Río Negro y Neuquén. Esta región tiene un clima árido y la producción de los cultivos depende enteramente de la irrigación; se observa un alto nivel de la napa freática, usualmente entre 0,3 y 2 m de profundidad. La salinidad es el resultado del ascenso capilar y la concentración de electrolitos en la napa. Según Skogerboe (1986), la fuente de sales provendría de un ascenso desde la formación geológica de apoyo a los sedimentos aluviales.

Los efectos de la salinidad sobre la relación del agua en la planta, el desbalance nutricional, y la toxicidad de los iones, son responsables de la inhibición de su crecimiento y como consecuencia de la disminución de la productividad (McKenzie y Leshen, 1994). Las sales reducen el crecimiento de las plantas, la fotosíntesis y la demanda de nitrógeno (Sprent y Zahran, 1988).

La simbiosis *Rhizobium*-leguminosa es importante por la incorporación de N_2 en los suelos. El fracaso en la inoculación bajo condiciones salinas puede ser causado por una disminución en la sobrevivencia y proliferación de cepas de rizobios introducidas en el suelo y en la rizósfera debido a la salinidad (Singleton *et al.*, 1982). Un incremento de la concentración de nitrato en el medio o la fijación simbiótica de N, pueden favorecer el crecimiento de las plantas tratadas con NaCl (Munns y Termaat, 1986).

Una tecnología para remover las sales del suelo es el lavado con agua de buena calidad (Zahran, 1991; Serrano y Gaxiola, 1994). La cantidad de lavado requerido se relaciona con la concentración inicial de salinidad del suelo, la concentración final deseada, y la profundidad del suelo a rehabilitar. La práctica del lavado disminuye los valores de conductividad eléctrica del extracto acuoso (Rhoades y Loveday, 1990).

Los objetivos de este trabajo fueron disminuir el efecto del estrés salino en plantas de alfalfa (*Medicago sativa* L.) mediante la inoculación con cepas de *Sinorhizobium meliloti* o con la fertilización nitrogenada; y reducir el contenido de sales de la solución del suelo utilizando la técnica de lavado, determinando la influencia del contenido de sales sobre la producción de materia seca de alfalfa.

MATERIALES Y MÉTODOS

El área estudiada corresponde al sector centro-oeste del Alto Valle de Río Negro y Neuquén, Argentina, ubicado a lo largo del paralelo 39° y entre los meridianos 67°40' al este y 68°10' al oeste.

El estudio se realizó con los distintos tipos de suelos, clasificados según el Soil Survey Staff (1994) como: Haplocambides Típicos, Torrifluentes Típicos (Cinco Saltos), Torrifluentes Típicos (Centenario), Natrargides Cálcidos y Aquicambides Típicos, los cuales se seleccionaron por la importancia de su distribución geográfica regional y por los niveles de salinidad, de acuerdo a la conductividad eléctrica (CE) del extracto acuoso. Los Torrifluentes Típicos (Centenario) y Aquicambides Típicos, ambos salinos, se diferencian en la distribución vertical de las sales, siendo salino desde la superficie el primer suelo mencionado y a partir de los 30 cm el segundo.

Los análisis químicos de los suelos se realizaron según las técnicas descritas por Jackson (1982), y la evaluación del tipo de sales presentes y su clasificación de acuerdo con el contenido de iones y sales tóxicas según Kaúrichev *et al.* (1984)

(Cuadro 1). Cada suelo fue sometido a la práctica de lavado y controlado por la concentración salina evaluada de acuerdo con los valores de CE del extracto acuoso (Rhoades, 1980). Las evaluaciones químicas y biológicas se realizaron seis meses después del lavado, excepto en los Torrifuventes Típicos (Centenario), en el cual la evaluación se efectuó a los 24 meses.

Para realizar los análisis biológicos cada superficie muestreada comprendió aproximadamente 2.500 m², y en cada una de ellas se tomaron 50 submuestras de suelo a una profundidad de 1 a 15 cm. Las muestras antes de ser estudiadas, se mezclaron y se pasaron por un tamiz estéril de 2 mm (Weaver y Frederick, 1972).

El número de *S. meliloti* se determinó según la técnica del número más probable (NMP) en tubos utilizando alfalfa cv. Cuf 101 como planta hospedera (Vincent, 1970) y el medio de Jensen agarificado al 8‰ para el desarrollo de las plántulas.

Para evaluar los tratamientos y la efectividad simbiótica, las plantas de alfalfa se desarrollaron en potes de 10 cm de diámetro y 10 cm de altura, que contenían 600 g de suelo humedecido a capacidad de campo (CC). Se sembraron diez semillas por pote a 5 mm de profundidad, y cinco días después de la germinación se realizó el raleo de las plántulas. Dos días después del raleo, las cinco plántulas de cada pote se inocularon con 12 µL de una suspensión de 10⁸ bacterias mL⁻¹ de *S. meliloti* (Athar y Johnson, 1996). Las cepas utilizadas, *S. meliloti* 75, *S. meliloti* 98, aisladas y seleccionadas de suelos salinos de la región, fueron desarrolladas en caldo extracto de levadura-manitol. Un control sin inocular (T), un control nitrogenado (N) (N como KNO₃, equivalente a 100 kg N ha⁻¹) y una cepa de colección INTA Castelar (*S. meliloti* 399) fueron incluidos para comparación. La pérdida de agua del suelo por evapotranspiración se controló diariamente pesando los potes, siendo reaprovisionadas las pérdidas con agua desmineralizada estéril. Los potes se colocaron en cámara controlada manteniendo un fotoperíodo de 16:8 (luz:oscuridad). Las plántulas se cosecha-

ron 63 días después de la siembra para determinar el peso seco de la parte aérea y de las raíces.

La actividad biológica global de los suelos se determinó por la actividad respiratoria de los microorganismos del suelo, midiendo la variación del CO₂ en sistemas cerrados. La medición del CO₂ total liberado se realizó a los 7 y 14 días de incubación a 28°C, según el método propuesto por Anderson (1982). En un frasco de 1 L se colocaron 100 g de suelo humedecido a CC. El CO₂ liberado reaccionó con NaOH 1N y se cuantificó por titulación del exceso de alcali con HCl 1N, previo agregado de BaCl₂ al 2% y dos o tres gotas de fenolftaleína.

El diseño experimental usado fue completamente aleatorizado. El análisis estadístico comprendió ANDEVA y pruebas de comparación de medias según Tukey (Montgomery, 1991).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En los Haplocambides Típicos la fertilización con KNO₃ y la inoculación con la cepa *S. meliloti* 98 incrementó la productividad de alfalfa Cuf 101 en un 30% en comparación con el control sin inocular (T); sin embargo, estas diferencias no fueron significativas, presumiblemente debido a que el control (T) también noduló (Cuadro 2). Estos resultados coinciden con los estudios realizados por Rao y Sharma (1995), quienes encontraron que la inoculación con cepas de *Rhizobium* y/o con el suplemento de nitrato disminuyeron el estrés salino en garbanzo (*Cicer arietinum* L.). De acuerdo con Velagaletti y Marsh (1989), el éxito en la asociación simbiótica para la fijación de N₂ está determinada por la tolerancia de la planta huésped; en el presente estudio la inoculación con cepas tolerantes a la salinidad mejoró el crecimiento de las plantas de alfalfa.

El tipo de salinidad cálcico sódica de estos suelos, muestra que el estrés salino inducido por el NaCl disminuyó por el contenido de Ca²⁺ (Cuadro 1). La homeostasis del Ca²⁺ es un factor crítico para mantener la integridad de las membranas celulares y el desplazamiento del Ca²⁺ por el Na⁺ desde el plasmalema de las células de la raíz (Cramer *et*

Cuadro 1. Algunas características químicas de los horizontes A y tipo de salinidad de los suelos estudiados en el Valle de Río Negro (Provincias de Río Negro y Neuquén), Argentina.

Table 1. Some chemical characteristics of the A horizons and type of salinity in soils of Río Negro Valley (Provinces of Río Negro and Neuquén), Argentine.

Suelo	pH	CE dS m ⁻¹	MO g kg ⁻¹	Na ⁺	K ⁺	Ca ⁺⁺	Mg	Cl ⁻	SO ₄ ⁼	CO ₃ H ⁻	Tipo de salinidad según la composición*	
											Aniones	Cationes
Haplocambides Típicos (NL)	7,9	14,0	34	84,7	8,9	45,2	19,8	78,0	25,8	35,3	de cloruro	cálcico sódica
Haplocambides Típicos (L)	7,8	4,6	23	22,0	8,2	13,4	6,6	27,4	8,9	10,1	de cloruro	cálcico sódica
Torrifluventes Típicos (NL) (Cinco Saltos)	6,8	11,1	49	37,6	17,8	20,5	40,9	78,2	27,7	9,1	de cloruro	sódico magnésica
Torrifluventes Típicos (L) (Cinco Saltos)	7,3	3,1	20	8,0	2,8	3,9	14,8	16,3	4,7	8,5	de cloruro	sódico magnésica
Natrargides Típicos (NL)	7,6	5,5	33	23,5	0,7	28,5	8,8	15,6	13,8	24,0	de sulfato de cloruro	sódico cálcica
Natrargides Típicos (L)	7,2	2,7	8	10,0	0,7	12,2	26,7	7,2	8,5	10,1	de sulfato	sódico cálcica
Torrifluventes Típicos (NL) (Centenario)	8,2	6,1	3,0	45,0	0,4	14,1	4,2	44,0	7,0	8,9	de cloruro	sódica
Torrifluventes Típicos (L) (Centenario)	7,3	1,6	10,0	5,5	0,2	10,5	0,3	9,1	1,0	4,1	de cloruro	sódico cálcica
Aquicambides Típicos (NL)	6,6	1,5	44,5	7,1	1,0	6,6	0,5	10,3	0	2,7	I	cálcico sódica
Aquicambides Típicos (L)	7,3	0,6	35,0	1,7	0,2	2,8	0,3	3,9	0	2,4	I	sódico cálcica

*Tomado de Kaúrichev *et al.*, 1984.

NL: no lavado; L: lavado; I: Indeterminado, los valores de sulfato son iguales a cero; CE: conductividad eléctrica; MO: materia orgánica.

al., 1985) y también de las células de la pared (Gillet *et al.*, 1994). Se encontró que el efecto deletéreo del Na⁺ puede ser disminuido por incrementos en la concentración externa de Ca²⁺ (Rengel, 1992). En los suelos estudiados y no lavados, el alto contenido en sales limitó su fertilidad, como pudo observarse en el suelo control (T).

Cuando los suelos fueron lavados, la disminución de la concentración de Na y de la CE permitió que la producción de MS del tratamiento control (T) se incrementara 1,5 veces respecto al suelo no lavado. Resultados similares fueron observados en ensayos utilizando macetas con suelos de California, donde la máxima producción de MS fue obtenida con valores de CE de 3 dS m⁻¹, cuando estos valores oscilaron entre 5 y 11 dS m⁻¹, el peso seco de la alfalfa disminuyó entre un 10 y un 50% (Bower *et al.*, 1969).

La correlación entre la producción de MS y el número de nódulos fue significativa (P < 0,01). Las cepas incorporadas no compitieron efectivamente con los rizobios nativos del suelo, el número de nódulos fue menor y como consecuencia, se redujo la fijación de N, el crecimiento y la producción de alfalfa. Resultados similares fueron obtenidos por Bromfield *et al.* (1986) y Streeter (1994), confirmando esos datos la importancia de las cepas naturalizadas de *Sinorhizobium* sp. en el éxito o fracaso de una inoculación de semillas de leguminosas en los suelos investigados.

La actividad biológica de los Haplocambides Típicos a los 14 días de incubación fue significativamente superior con respecto al suelo no lavado (Cuadro 3). El mejoramiento de los suelos por riego y drenaje afecta la flora y la fauna y particularmente los microorganismos, los cuales cambian en suelos salinos mejorados (Szabolcs, 1991).

En los Torrifluventes Típicos (Cinco Saltos) con una CE de 11,1 dS m⁻¹, la fertilización con KNO₃ aumentó significativamente la producción de biomasa de alfalfa (32%) respecto al suelo control (T). El efecto de la inoculación no fue significativo, no obstante la producción de MS de la alfalfa se incrementó en un 17% cuando se inoculó con la

cepa 98 (Cuadro 2). Contrariamente a lo esperado, la producción de MS de la alfalfa en el suelo lavado disminuyó significativamente (P < 0,01) en relación al suelo no lavado. La utilización de la técnica de rehabilitación también ocasionó una disminución significativa en la evolución del CO₂ (Cuadro 3). De acuerdo con Naidu *et al.* (1995), la materia orgánica lábil es el factor limitante de la proliferación microbiana luego de la lixiviación de las sales tóxicas, en consecuencia, es posible obtener estos resultados debido a una disminución de compuestos carbonados solubles con la consecuente pérdida de elementos nutritivos (Cuadro 1).

Todas las plantas presentaron nódulos. En los suelos no lavados los nódulos tenían forma de dedos de guantes, rosados y de gran tamaño, principalmente en el control nitrogenado (N) (Cuadro 2). A pesar de las características de eficiencia de los nódulos, no existió una correlación entre el número de nódulos y la producción de MS. En los suelos lavados el número de nódulos se correlacionó (P < 0,01) con la producción de MS de la parte aérea de alfalfa. La mayoría de los nódulos presentaban forma de bastones, las raíces y los tallos eran de escaso grosor. La disminución de la salinidad aumentó diez veces la población nativa de *Sinorhizobium*, pero no favoreció la infección y la fijación de N₂ (Cuadro 3). Los resultados demuestran que los rizobios pueden ser capaces de multiplicarse bajo severo estrés salino, su habilidad simbiótica puede ser reducida. Según Singleton *et al.* (1982), la salinidad puede afectar la simbiosis *Rhizobium*-leguminosa afectando la función del nódulo.

En los Natrargides Cálculos con CE de 5,5 dS m⁻¹, la inoculación con la cepa *S. meliloti* 75 incrementó la biomasa en un 43% respecto al suelo control (T) (Cuadro 2).

La práctica del lavado del suelo tuvo un efecto benéfico sobre la producción de MS de la alfalfa, prácticamente duplicando el crecimiento del cultivo en el suelo control (T), y un aumento del 38% en el control nitrogenado (N) respecto al suelo no lavado (Cuadro 2), a pesar de los bajos valores de

Cuadro 2. Influencia del tratamiento de lavado de suelos salinos del Valle de Río Negro (Argentina) y de los tratamientos de fertilización química e inoculación con tres cepas de *Sinorhizobium meliloti* sobre la producción de materia seca en alfalfa cv. Cuf 101¹.
Table 2. Influence of leaching saline soils of the Río Negro Valley (Argentina) and the treatment with chemical fertilization and inoculation with three strains of *Sinorhizobium meliloti* on the production of alfalfa cv. Cuf 101¹.

Suelo	T		N		<i>S. meliloti</i> 98		<i>S. meliloti</i> 75		<i>S. meliloti</i> i399	
	MS mg pl ⁻¹	N ^o nod pl ⁻¹	MS mg pl ⁻¹	N ^o nod pl ⁻¹	MS mg pl ⁻¹	N ^o nod pl ⁻¹	MS mg pl ⁻¹	N ^o nod pl ⁻¹	MS mg pl ⁻¹	N ^o nod pl ⁻¹
Haplocambides Típicos (NL)	281,2 a	10,5	365,1 a	14,7	363,6 a	13,1	334,7 a	11,2	303,7 a	11,4
Haplocambides Típicos (L)	402,0 a	24,2	362,1 a	32,0	262,5 a	16,1	283,8 a	22,5	284,4 a	22,1
Torrifluentes Típicos (NL) (Cinco Saltos)	270,9 b	16,1	357,1 a	14,6	317,2 ab	20,1	284,6 ab	19,3	310,0 ab	15,4
Torrifluentes Típicos (L) (Cinco Saltos)	149,6 a	14,1	193,4 a	16,9	165,5 a	14,8	155,5 a	13,2	156,6 a	14,0
Natrargides Típicos (NL)	182,8 a	12,8	165,1 a	14,4	200,4 a	14,9	261,8 a	19,4	236,2 a	25,1
Natrargides Típicos (L)	352,1 a	28,1	227,9 a	29,0	240,9 a	36,5	284,9 a	36,1	236,7 a	26,5
Torrifluentes Típicos (NL) (Centenario)	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG
Torrifluentes Típicos (L) (Centenario)	130,3	13,5	150,9	29,5	146,7	16,4	213,8	15,5	144,8	11,5
Aquicambides Típicos (NL)	339,6a	27,0	357,8a	25,9	352,6a	24,0	310,0a	30,5	363,8 a	16,2
Aquicambides Típicos (L)	261,4b	23,7	272,7a	15,9	270,2b	29,5	269,4b	23,9	302,8 a	32,8

¹Valores en una fila en cada tipo de suelo con letras iguales no son significativamente diferentes, según prueba de Tukey (P<0,05).
 NL: no lavado; L: lavado; T: control sin inocular; N: control nitrogenado; MS: materia seca; NG: no germinaron las semillas de alfalfa cv. Cuf 101.

materia orgánica. Estos resultados coinciden con lo demostrado por Naidu *et al.* (1993) en suelos sódicos con bajo tenor de materia orgánica, de Australia.

De acuerdo al número de nódulos (Cuadro 2), el lavado favoreció la nodulación de las plantas de alfalfa por *Sinorhizobium*, pero no existió una correlación con la producción de MS.

Los valores de la actividad microbiana obtenidos en el curso del tiempo fueron bajos y prácticamente no variaron por el lavado (Cuadro 3), esto indicó que las interacciones microbianas en el ambiente estudiado son complejas y variables.

En los Torrifluventes Típicos (Centenario) no germinaron las semillas de alfalfa sembradas en los potes que contenían las muestras de suelo húmedo. Estos resultados parecen indicar que la combinación de características tales como altos contenidos de sales dominadas por cloruro de sodio y bajos tenores de materia orgánica (3 g kg⁻¹) (Cuadro 1), no permitieron la germinación de las semillas. Estos resultados coinciden con los trabajos realizados por Robinson *et al.* (1986), que demostraron que la alfalfa es más sensible al

estrés salino durante la germinación, y con los estudios de Chang (1961) y Zhou *et al.* (1992), quienes observaron que esta sensibilidad se manifestaba más en estadios tempranos de desarrollo que durante los estadios tardíos. Una CE de 5 dS m⁻¹ o más es suficiente para intervenir en la actividad microbiana y la fertilidad del suelo (Sarig *et al.*, 1993), y también en el crecimiento de la planta (Zahran, 1989).

La remoción del estrés salino en estos suelos por la técnica de lavado, produjo cambios cuantitativos (disminuyó la CE de 6,1 a 1,6 dS m⁻¹) y cualitativos (salinidad sódica a salinidad sódico cálcica), favoreciendo el crecimiento de las plantas de alfalfa. El incremento en el contenido de materia orgánica observado en el suelo lavado está influenciado por el tiempo transcurrido entre la práctica de lavado y la evaluación final (24 meses).

La reducción del contenido de sales por lavado favoreció la actividad metabólica en los suelos con un aumento de aproximadamente el doble de la cantidad de CO₂ liberado a los 7 y 14 días (Cuadro 3). Las diferencias fueron significativas. Este cambio es importante debido a que la biota

Cuadro 3. Número de *Sinorhizobium meliloti* y actividad respiratoria en suelos del Valle de Río Negro, Argentina.

Table 3. Number of *Sinorhizobium meliloti* and respiration activity of soils from the Río Negro Valley, Argentine.

Suelos	Log N° <i>S. meliloti</i> g ⁻¹ suelo seco	Respiración	
		mg CO ₂ 100 g ⁻¹	
		7 d	14 d
Haplocambides Típicos (NL)	3,93	60,4 a ¹	95,5 b
Haplocambides Típicos (L)	3,46	65,5 a	122,4 a
Torrifluventes Típicos (NL) (Cinco Saltos)	1,93	80,0 a	121,0 a
Torrifluventes Típicos (L) (Cinco Saltos)	2,93	55,9 b	88,4 b
Natrargides Cálcicos (NL)	1,93	34,8 a	60,6 a
Natrargides Cálcicos (L)	1,93	30,3 a	56,2 a
Torrifluventes Típicos (NL) (Centenario)	3,46	43,2 b	84,7 b
Torrifluventes Típicos (L) (Centenario)	3,93	90,4 a	159,6 a
Aquicambides Típicos (NL)	1,93	125,1 a	195,1 a
Aquicambides Típicos (L)	1,47	22,9 b	35,5 b

¹Valores con letras iguales, en una columna en cada tipo de suelo, no son significativamente diferentes según el test de Tukey (P < 0,05). L: lavado; NL: no lavado.

determina la productividad de los suelos y la sustentabilidad de las tierras cultivables (Szabolcs, 1991).

No se produjeron cambios en las densidades de la población de rizobios naturalizados, indicando que la salinidad en estos suelos afectó más a la planta que a la bacteria. Esto podría ser debido a que las bacterias, en general, han desarrollado dos estrategias para crecer en ambientes con concentraciones de NaCl (Lowe *et al.*, 1993). La concentración de las sales puede ser mantenida a niveles comparables con los del ambiente, o el microorganismo puede excluir activamente el NaCl produciendo osmorreguladores orgánicos compatibles (Trüper y Galinski, 1986). La inoculación con la cepa *S. meliloti* 75 incrementó la biomasa de alfalfa en un 64% con respecto al suelo control (T) (Cuadro 2).

En los Aquicambides Típicos la mayor concentración de sales se presentó en los horizontes inferiores, por debajo de BW (B cámbico) a 30 cm de profundidad. La CE baja (Cuadro 1) en superficie de los suelos no lavados, permitió un desarrollo de la planta apropiado y similar en todos los tratamientos. Comparando todos los suelos no lavados estudiados, éstos presentaron la mayor actividad biológica a los 7 y 14 días de incubación (Cuadro 3), indicando una multiplicación y desarrollo adecuado de los microorganismos. Este comportamiento podría ser atribuido al bajo contenido de sales en superficie.

Cuando se aplicó la técnica de lavado, la producción de MS de la alfalfa disminuyó significativamente en el suelo control (T) y en los suelos inoculados con las cepas *S. meliloti* 98 y *S. meliloti* 75, comparados con los suelos no lavados (Cuadro 2). La actividad de las comunidades microbianas, medida a través del CO₂ liberado, fue 5,5 veces menor. Este fenómeno se debe a una declinación significativa de la actividad de los

microorganismos, posiblemente debido a una disminución de elementos nutritivos como consecuencia del efecto del lavado y a la pérdida de carbono soluble, el cual es el principal nutriente de los microorganismos (Cuadro 1).

Todas las plantas desarrolladas en los Aquicambides Típicos presentaron nódulos, con forma de dedos de guantes, rosados y de gran tamaño. No existió una correlación entre el número de nódulos y la producción de MS de alfalfa.

CONCLUSIONES

La técnica de lavado para rehabilitar los suelos salinos fue beneficiosa en tres de los cinco suelos estudiados, donde la producción de MS de alfalfa fue mayor que en los suelos no lavados.

El lavado produjo una disminución de la CE y en la mayoría de los suelos esta técnica de rehabilitación no modificó el número de *S. meliloti* naturalizados. La simbiosis fue más sensible a la salinidad que las cepas de *S. meliloti* y la planta huésped, probablemente debido a una falla en uno de los procesos involucrados en la fijación simbiótica de N.

Es importante destacar que no sólo la fuerza iónica de un medio salino determina la respuesta de la planta de alfalfa, sino también el tipo de sales que contribuyen a la salinidad. Las sales, cloruro sódica, presente en los Torrifluentes Típicos (Centenario) fueron las más perjudiciales para el crecimiento de la alfalfa, ya que impidieron la germinación de las semillas.

El mejor comportamiento del tratamiento con una fertilización nitrogenada e inoculación con cepas de *S. meliloti* se observó en los suelos con mayor CE, 11 y 14 dS m⁻¹ (Haplocambides Típicos no lavados y Torrifluentes Típicos (Cinco Saltos) no lavado.

LITERATURA CITADA

- Anderson, J.D. 1982. Soil respiration. p. 831-871. *In* A.L. Page, R.H. Miller and D.R. Keeny (eds.). Methods of soil analysis. Agronomy N° 9, part 2. Am. Soc. Agronomy, Soil Sci. Soc. Am., Madison, Wisconsin, USA.
- Athar, M., and D.A. Johnson. 1996. Nodulation, biomass production, and nitrogen fixation in alfalfa under drought. *J. Plant. Nutr.* 19:185-199.
- Bower, C.A., G. Ogata, and J.M. Tucker. 1969. Rootzone salt profiles and alfalfa growth as influenced by irrigation water salinity and leaching fraction. *Agron. J.* 61:783-785.
- Bromfield, E.S.P., I.B. Sinha, and M.S. Wolinetz. 1986. Influence of local host cultivar and inoculation on the competition of naturalized population of *Rhizobium meliloti* in *Medicago sativa* nodules. *Appl. Environ. Microbiol.* 51:1077-1084.
- Chang, C.W. 1961. Effects of saline irrigation water and exchangeable sodium on soil properties and growth of alfalfa. *Soil Sci.* 91:29-37.
- Cramer, G.R., A. Läuchli, and V.S. Polito. 1985. Displacement of Ca²⁺ on the plasmalemma of root cells. A primary response to salt stress? *Plant Physiol.* 79:207-211.
- Gillet, C., C. Labille, and J.B. Nagy. 1994. ²³Na and ⁷Li NMR study of Nitella cell walls before and after an ion-induced loss of the cationic exchange capacity. *J. Exp. Bot.* 45:1077-1084.
- Gouia, H., M.H. Ghorbal, and C.B. Touraine. 1994. Effects of NaCl on flows of N and mineral ions and NO³⁻ reductasa rate within whole plants of salt-sensitive bean and tolerant cotton. *Plant Physiol.* 105:1409-1418.
- Hoffman, G.J., R.S. Ayers, E.J. Doering, and B.L. McNeal. 1980. Salinity in irrigated agriculture. p. 1455-185. *In* Design and operation of farm irrigation systems. American Society of Agricultural Engineering, St. Joseph, Michigan, USA.
- INTA. 1986. Documento básico para el programa de riego y drenaje. Vol. 1. p. 95. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA), Buenos Aires, Argentina.
- Jackson, M.L. 1982. Análisis químicos de suelos. p. 190-232. Ediciones Omega S.A., Barcelona, España.
- Kaúrichev, N.P., M.V. Panov, I.P. Stratonóvich, I.P. Grechin, V.I. Sávich, N.F. Ganzhara, and A.P. Mershin. 1984. Prácticas de Edafología. 288 p. Editorial Mir, Moscú, Rusia.
- Lowe, S.E., M.K. Jain, and J.G. Zeikus. 1993. Biology, ecology and biotechnological application of anaerobic bacteria adapted to environmental stresses in temperature, pH salinity, or substrates. *Microbiol. Rev.* 57:451-502.
- McKenzie, B.D., and Y.A. Leshen. 1994. Stress and stress coping in cultivated plants. 256 p. Kluwer Academic Publisher, London, UK.
- Montgomery, D. 1991. Diseño y análisis de experimentos. 589 p. Ed. Iberoamérica, México.
- Munns, R., and A. Termaat. 1986. Whole plant response to salinity. *Aust. J. Plant Physiol.* 13:143-160.
- Naidu, R., R.H. Merry, G.J. Churchman, M.J. Wright, R.S. Murray, R.W. Fitzpatrick, and B.A. Zarcinas. 1993. Sodcity in South Australia - a review. *Aust. J. Soil Res.* 31:911-929.
- Naidu, R., P. Rengasamy, N.J. de Lacy, and B.A. Zarcinas. 1995. Soil solution composition of some sodic soils. p. 155-161. *In* Naidu, R., Sumner, M.E., and Rengasamy (eds.). Australian sodic soil. CSIRO, Canberra, Australia.
- Rao, D.L.N., and P.C. Sharma. 1995. Alliviation of salinity stress in chickpea by *Rhizobium* inoculation or nitrate supply. *Biol. Plant.* 37:405-410.
- Rengel, Z. 1992. The role of calcium in salt toxicity. *Plant Cell Environ.* 15:625-632.
- Rhoades, J.D. 1980. Determining leaching fraction from field measurements of soil electrical conductivity. *Agric. Water Manage.* 3:205-215.
- Rhoades, J.D., and J. Loveday. 1990. Salinity in irrigated agriculture. p. 1089-1171. *In* Stewart, B.A., and Nielsen, D.R (eds.). Irrigation of agricultural crops. Am. Soc. Agronomy (ASA), Madison, Wisconsin, USA.
- Robinson, D.L., A.K. Dobrenz, and S.E. Smith. 1986. Evaluating the genetic gains for germination salt tolerance in alfalfa using a sodium-chloride gradient. *Agron. J.* 78:1099-1103.
- Sarig, S., E.B. Roberson, and M.K. Firestone. 1993. Microbial activity-soil structure: response to saline water irrigation. *Soil Biol. Biochem.* 5:93-697.
- Serrano, R., and R. Gaxiola. 1994. Microbial model and salt stress tolerance in plants. *Crit. Rev. Plant Sci.* 13:121-138.
- Shannon, M.C. 1984. Salinity tolerance in plants: strategies for crop improvement. p. 231-254. *In* Stalpes, R.C. (ed.). Breeding, selection and the genetics of salt. John Wiley, New York, USA.
- Singleton, P.W., S.A. El Swaify, and B.B. Bohlool. 1982. Effect of salinity on *Rhizobium* growth and survival. *Appl. Environ. Microbiol.* 44:884-890.

- Skogerboe, G.V. 1986. Estudio para el aprovechamiento integral del Río Negro. Riego, drenaje y salinidad. 17 p. Ed. Agua y Energía Eléctrica, Cipolletti, Río Negro, Argentina.
- Soil Survey Staff. 1994. Keys to soil taxonomy. 6th ed. Soil Conservation Service, USDA, Washington D.C., USA.
- Sprent, J.I., and H.H. Zahran. 1988. Infection, development and functioning of nodules under drought and salinity. p. 145-151. *In* D.P. Beck and L.A. Materon (eds.). Nitrogen fixation by legumes in Mediterranean agriculture. Martinus Nijhoff. W. Junk, Dordrecht, The Netherlands.
- Streeter, J. 1994. Failure of inoculant rhizobia to overcome dominance of indigenous strains for nodule formation. *Can. J. Microbiol.* 40:513-522.
- Szabolcs, Y. 1991. Soil salinity and biodiversity. p. 105-116. *In* Hawksworth, D.I (ed.). The biodiversity of microorganisms and invertebrates: Its role in sustainable agriculture. CAB International, Wallingford, England,
- Trüper, H.G., and E.A. Galinski. 1986. Concentrated brines as habitats for microorganisms. *Experientia* 42:1182-1187.
- Velagaletti, R.R., and S. Marsh. 1989. Influence of host cultivars and *Bradyrhizobium* strains on the growth and symbiotic performance of soybean under salt stress. *Plant Soil* 119:133-138.
- Vincent, J.M. 1970. A manual of the practical study of root-nodule bacteria. 164 p. International Biological Program Handbook Nº 15. Blackwell Scientific Publications, Oxford, England.
- Weaver, R.W., and L.R. Frederick. 1972. A new technique for most-probable-number counts of Rhizobia. *Plant Soil* 36:219-222.
- Zahran, H.H. 1991. Conditions for successful *Rhizobium*-legume symbiosis in saline environments. *Biol. Fertil. Soils* 12:73-80.
- Zahran, M.A. 1989. Principles of plant ecology and flora of Egypt. Dar El-Nashr for Egyptian Universities. El-Wafa Library, Cairo, Egypt.
- Zhou, M., T.C. Tucker, M. Pessaraki, and J.A. Cepeda. 1992. Nitrogen fixation by alfalfa with two substrate nitrogen levels under sodium chloride stress. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 56:1500-1504.