

Aprovechamiento y mejoramiento de un suelo salino mediante el cultivo de pastos forrajeros

Exploitation and improvement of saline soils through the establishment of forage grasses

Ernesto Ruiz Cerda^a, Rogelio A. Aldaco Nuncio^a, J. Alfredo Montemayor Trejo^a, Manuel Fortis Hernández^a, Jesús Olague Ramírez^a, Julio Cesar Villagómez Gamboa^a

RESUMEN

La salinidad de los suelos es uno de los factores que limita actualmente la agricultura en grandes extensiones de tierra. A nivel mundial una superficie de aproximadamente 897 millones de hectáreas presenta algún grado de salinidad. En México se considera que un 10 % del área irrigada está afectada por salinidad y de ésta el 64 % se localiza en el norte del país. Con el propósito de plantear una alternativa para el mejoramiento y cobertura vegetal de los suelos salinos, en el presente estudio se evaluó la salinidad en un suelo cultivado con algunas especies como el zacate Sudán, ballico italiano o ryegrass y zacate bermuda, las cuales poseen propiedades excretoras de sal, como un mecanismo fisiológico de tolerancia a este factor. Así mismo, se evaluó el efecto de dos densidades de población de plantas correspondientes a 1×10^6 y 2×10^6 plantas ha^{-1} , respectivamente en el balance de sales solubles totales, cationes y aniones en suelo y cationes en planta. Los resultados del estudio mostraron una clara tendencia de reducción de sales en el suelo por efecto del cultivo de las tres especies, expresada tanto en reducción de la conductividad eléctrica del extracto de saturación del suelo, como en reducción de la concentración de cationes y aniones formadores de sales. El zacate bermuda ocasionó una mayor reducción en la salinidad del suelo y no se observó efecto significativo de la densidad de población de plantas en el balance de sales en suelo y planta.

PALABRAS CLAVE: Salinidad, Fitorremediación, Pastos, *Sorghum sudanense*, *Lolium perenne*, *Cynodon dactylon*.

ABSTRACT

Soil salinity is one of the factors that limit agricultural production in vast land areas. Worldwide, some 897 million hectares show a certain degree of salinity. In Mexico, 10 % of the irrigated area is considered as affected by salinity and approximately two thirds of this is to be found in the northern part of the country. With the purpose of offering a viable alternative for improving saline soils and their vegetable cover, in the present study the effect of planting ryegrass, Sudan grass and bermuda grass, that can excrete salt and also possess physiological tolerance, was evaluated. Besides, the effect of two plant densities (1×10^6 and 2×10^6 pl ha^{-1}) on soil total soluble salts equilibrium, cations and anions and cations in plants were also assessed. Results obtained showed a clear trend of salt content reduction in soils, as seen in a drop in electrical conductivity in saturated soil extract and also in cation and anion concentration. Bermuda grass caused a greater fall in soil salinity and no significant effects were found for plant density in soil and plant salt balance.

KEY WORDS: Salinity, Phytoremediation, Grasses, *Sorghum sudanense*, *Lolium perenne*, *Cynodon dactylon*.

INTRODUCCIÓN

La salinidad de los suelos es un problema mundial, nacional en México y regional en el centro y norte del país. El problema se agudiza en las zonas áridas

INTRODUCTION

Soil salinity is a worldwide problem, a national problem in Mexico and regional problem in the Centre and North of the country. The problem

Recibido el 6 de julio de 2005 y aceptado para su publicación el 4 de abril de 2006.

^a Instituto Tecnológico de Torreón. Pensamiento No. 1703 Col. Residencial Los Nogales 66417, San Nicolás de los Garza, N. L. Tel. (81) 83130093. ernesto_ruce@yahoo.com.mx. Correspondencia al primer autor.

y semiáridas, donde los suelos presentan drenaje deficiente y alta evaporación. La superficie afectada a nivel mundial es de 8.97 millones de km²(1). En México un 10 % del área irrigada está afectada por salinidad, y de ésta, aproximadamente el 64 % se localiza en la parte norte del país(2). La conservación de los suelos, así como su recuperación cuando están afectados por sales, son de gran importancia para la producción agrícola, y su atención está relacionada con las causas del ensalitramiento de los mismos, que pueden ser: su origen, manejo y utilización, así como las fuentes y calidad del agua de riego, factores que intervienen en las propiedades físicas y químicas de los suelos(3). Algunos investigadores han estudiado estos aspectos utilizando métodos físicos, eléctricos, hidrotécnicos y químicos. En la práctica, regularmente los métodos de mayor uso son los químicos, como es la aplicación de ácido sulfúrico (H₂SO₄) y yeso agrícola (CaSO₄ · 2H₂O); sin embargo, estos métodos aplicados en amplias extensiones resultan costosos, tanto por las cantidades de material que se utilizan, como por la aplicación de los mismos, ya que en algunos casos se requiere de equipo especializado.

El uso de algunos cultivos forrajeros en el mejoramiento de suelos salinos sódicos, representa una alternativa económica y sustentable, ya que además de reducir la salinidad pueden ser aprovechados como cultivos de amplia cobertura en grandes extensiones de suelo, para la disminución de la erosión y la producción de forraje para el ganado(4).

El objetivo del estudio, consistió en evaluar el balance de sales solubles totales, así como cationes y aniones en suelo y cationes en planta, en un suelo salino cultivado con tres especies de zacate en dos densidades de población de plantas.

MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se llevó a cabo en el Campo Experimental del Instituto Tecnológico Agropecuario de Torreón en la Comarca Lagunera, ubicado en el Ejido Ana de Torreón, Coahuila, durante el ciclo agrícola otoño-invierno 2001-2002. Se utilizó germoplasma

worsens in arid and semiarid areas, in soils with insufficient drainage and high evaporation. Worldwide, soils subject to this problem total some 8.97 million square kilometres(1). In Mexico, 10 % of irrigated land is affected by salinity and nearly two thirds of this area lies in the northern part of the country(2). Soil conservation and recovery, are two items of great importance in agricultural production, and should be focused to its causes, origin, management and use, water source and quality, and other factors which affect soil chemical and physical properties(3). Some researchers have studied these aspects through physical, electric, hydrotechnical and chemical methods. In practice, the most used are the chemical, by applying sulphuric acid and gypsum, however, these methods when used in big areas is costly, both in materials and application, because in most instances, specialized equipment is required.

Use of certain forage species to improve sodic saline soils is a sustainable and economic alternative, because these species, besides reducing salinity produce forage for cattle and provide good soil coverage, which also reduces erosion(4).

The object of the present study was to assess a total soluble salt balance, as well as cations and anions in plants, in a saline soil planted with three grass species in two densities.

MATERIALS AND METHODS

This study was carried out in the Experiment Station of the Instituto Tecnológico de Torreón in the Comarca Lagunera, located in Ejido Ana, Torreón, Coahuila, in the 2001-02 fall-winter season. Germplasm of Sudan grass (*Sorghum sudanense*), ryegrass (*Lolium perenne*) and bermuda grass (*Cynodon dactylon*) was used. These species were broadcast seeded in rows spaced at 10 cm, and later thinned after emergence, leaving plants spaced within rows at 5 and 10 cm distance. Soils in the experimental area show a > 4 dSm⁻¹ salt concentration. Factors and study levels were set by the three grass species and the two planting densities: D1= 1 x 10⁶ and D2= 2 x 10⁶ plants ha⁻¹. Levels combinations for both factors shaped the treatments' design in a 3 x 2 factorial. Two soil

MEJORAMIENTO DE SUELO SALINO MEDIANTE EL CULTIVO DE PASTOS

de las especies de zacate Sudán (*Sorghum sudanense*), ryegrass (*Lolium perenne*) y bermuda (*Cynodon dactylon*), las cuales se establecieron por siembra directa a chorrillo ralo en hileras espaciadas a 10 cm, con un aclareo después de la emergencia para dejar plantas espaciadas dentro de hileras a 10 y 5 cm en el sitio de estudio, cuyo suelo posee una concentración salina mayor a 4 dSm⁻¹. Los factores y niveles de estudio quedaron definidos por las tres especies de zacate y dos densidades de población de plantas: D1 = 1 x 10⁶ y D2 = 2 x 10⁶ plantas ha⁻¹. Las combinaciones de los niveles de los factores conformaron el diseño de tratamientos en un factorial (3 x 2). Se realizaron dos muestreos de suelo por unidad experimental, con barrena en el estrato de 0 a 30 cm de profundidad, el primero al inicio del cultivo y el segundo en la primera cosecha cinco meses después de la siembra.

Las muestras de suelo fueron procesadas en laboratorio, siguiendo la metodología correspondiente en cuanto a las etapas de secado al aire, tamizado y obtención del extracto de saturación, para realizar los análisis químicos inicial y final de las variables en estudio, que fueron: conductividad eléctrica, concentración de cationes (Ca⁺⁺, Mg⁺⁺, Na⁺ y K⁺) y aniones (CO₃⁻, HCO₃⁻, SO₄⁼ y Cl⁻) en el suelo, y los mismos cationes en muestras procesadas para análisis de planta al final del experimento. Se utilizó un diseño experimental en bloques al azar con cuatro repeticiones, con un total de 24 unidades experimentales rectangulares, cuyo tamaño fue de 3 x 3.5 m, tomando como parcela útil un metro cuadrado en el centro.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los valores de conductividad del muestreo final presentan una marcada tendencia de disminución de la salinidad en el suelo para las tres especies de zacate (Cuadro 1), con valores diferenciales promedio respecto al muestreo inicial de 7.0, 5.10 y 3.33 dSm⁻¹ para los zacates bermuda, Sudán y ryegrass respectivamente. La especie que expresó la mayor reducción de sales fue al zacate bermuda. Al respecto, se ha encontrado que un mecanismo de tolerancia a la salinidad de los pastos C4, está

samplings were carried out in each experimental unit, with a drill in the 0-30 cm stratum, one at planting and the second in the first harvest, 5 mo later.

Soil samples were processed in a laboratory, in accordance with the corresponding methodology of air drying, sifting and securing an extract of saturation for the initial and final chemical analyses for the variables being studied: electrical conductivity, cation concentration (Ca⁺⁺, Mg⁺⁺, Na⁺ and K⁺) and anion concentration (CO₃⁼, HCO₃⁻, SO₄⁼ and Cl⁻) in soil and the same cations in processed samples for plant analysis at the end of the experiment. A completely randomised block design with four replications was used, totalling 24 3 x 3.5 m rectangular experimental units, being the useful plot 1 square meter at the centre of each experimental unit.

RESULTS AND DISCUSSION

Conductivity values at the end of the experiment show a definite trend of soil salinity lessening for the three grass species (Table 1), showing average

Cuadro 1. Conductividad eléctrica (dS m⁻¹) inicial (I) final (F) y diferencial (D) del suelo cultivado con tres especies de zacate en dos densidades de población

Table 1. Electrical conductivity (dS m⁻¹) initial (I) final (F) and differential(D) in a soil planted with three grass species in two plant densities

Species	Sample	Plant density		Average
		D1	D2	
Sudangrass	I	10.91	10.92	
	F	5.03	6.60	
	D	5.88	4.32	5.10 ^b
Ryegrass	I	8.66	9.84	
	F	5.45	6.38	
	D	3.22	3.45	3.33 ^b
Bermuda	I	11.99	11.55	
	F	5.17	4.37	
	D	6.82	7.18	7.00 ^a

D1 = 1*10⁶ plants ha⁻¹; D2 = 2*10⁶ plants ha⁻¹.

ab Values with different letters show significant differences (P<0.05).

relacionada con secreciones de sal a través de glándulas de las hojas de los pastos de las subfamilia Chloridoideae, a la que pertenece el zacate bermuda⁽⁵⁾.

En el Cuadro 2 se observa que algunos de los iones que ocasionan problemas de sal en el suelo (Na⁺, Ca⁺⁺, Cl⁻), presentaron tendencias de reducción, de acuerdo con su concentración diferencial, estimada a partir de las concentraciones al inicio y final del cultivo. Respecto a las densidades de población de plantas, solamente para Na⁺ los diferenciales de concentración tendieron a ser más altos en D2, respecto a D1 para los zacates Sudán y ryegrass. Diferenciales negativos en Mg⁺⁺, SO₄⁼ y CO₃⁼ evidenciaron una tendencia de incremento en su concentración a la cosecha.

En cuanto a la concentración de cationes en planta, para Na⁺ puede observarse mayor concentración promedio en zacate ryegrass (Cuadro 3). Respecto a K⁺ y Mg⁺⁺, el zacate bermuda presentó los porcentajes promedio más bajos en relación con Sudán y ryegrass. Al respecto, en un estudio realizado con zacate bermuda a distintas concentraciones de NaCl y KCl se encontró que la

differential values with the first readings of 7.0, 5.10 and 3.33 dSm⁻¹ for bermuda, Sudan and rye grass respectively. The specie which showed a greater salt reduction was bermuda grass. In this sense, a salinity tolerance mechanism has been found in C4 grasses, related to salt excretions through leaf glands in grasses of the Chloridoideae subfamily, of which *Cynodon dactylon* is a member⁽⁵⁾.

As seen in Table 2, several ions which were a source of problems of salt in soils (Na⁺, Ca⁺⁺, Cl⁻) showed a diminishing trend from its initial concentration, seen at the end of the experiment. In relation to plant density, only for Na⁺ differences in concentration were greater in D2 than in D1 in Sudangrass and ryegrass. Negative differences in Mg⁺, SO₄⁼ and CO₃⁼ showed an incremental trend in their concentration at harvest time.

With reference to cation concentration in plants, Na⁺ shows a higher average in ryegrass (Table 3), and for Mg⁺⁺ and K⁺, bermuda grass showed lower averages than Sudan and ryegrass. In this sense, a study carried out on bermuda grass at different NaCl and KCl concentrations found that

Cuadro 2. Diferenciales de cationes y aniones (meq L⁻¹) de un suelo cultivado con tres especies de zacate en dos densidades de población

Table 2. Differentials in cations and anions (meq L⁻¹) in a soil planted with three grass species in two plant densities

Cations and anions	Sudangrass		Ryegrass		Bermuda	
	D1	D2	D1	D2	D1	D2
Na ⁺	62.7	74.7	24.8	29.3	89.4	52.1
K ⁺	1.5	1.6	1.2	1.1	3.0	2.5
Ca ⁺⁺	114.7	97.2	62.2	80.9	129.2	107.2
Mg ⁺⁺	2.9	-18.7	-7.0	-8.9	0.3	3.4
Cl ⁻	15.3	16.8	10.9	9.5	17.9	9.5
SO ₄ ⁼	-34.6	-41.5	-32.9	-33.5	-31.9	-29.7
CO ₃ ⁼	-7.4	-6.0	-6.0	-2.0	-3.4	-4.7
HCO ₃ ⁼	11.4	3.7	8.9	9.4	10.1	8.7

D1 = 1*10⁶ plants ha⁻¹; D2 = 2*10⁶ plants ha⁻¹.

Cuadro 3. Concentración de cationes en planta para tres especies de zacate en dos densidades de población de plantas (%)

Table 3. Cation concentration in three grass species and two plant densities (%)

Species	Plant density	C a t i o n s			
		Na ⁺	K ⁺	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺
Sudangrass	D1	0.17	2.49	4.11	1.99
	D2	0.24	3.41	4.81	2.01
	X	0.21 ^b	2.95 ^a	4.46	2.00 ^a
Ryegrass	D1	0.63	1.98	4.57	1.85
	D2	0.53	2.26	4.82	1.99
	X	0.58 ^a	2.12 ^b	4.69	1.92 ^a
Bermuda	D1	0.23	1.82	4.64	1.42
	D2	0.36	2.04	5.12	1.70
	X	0.29 ^b	1.93 ^b	4.88	1.56 ^b

D1 = 1*10⁶ plants ha⁻¹; D2 = 2*10⁶ plants ha⁻¹.

ab Different letters in columns show significant differences (P<0.05).

MEJORAMIENTO DE SUELO SALINO MEDIANTE EL CULTIVO DE PASTOS

secreción de sales en dicha especie fue selectiva para Na^+ y K^+ , por lo cual, es de esperarse menor concentración de estos cationes en su tejido⁽⁶⁾.

Respecto a la variable correspondiente a rendimiento de materia verde, en el Cuadro 4 se presentan los pesos promedio para las tres especies en las dos densidades de población de plantas. Para las densidades de población el análisis estadístico no mostró diferencias significativas, pero se observó una tendencia de incremento en el rendimiento en D2 con relación a D1 en las tres especies. Los rendimientos fluctuaron entre 7.22 t ha^{-1} para zacate bermuda en D1 y 20.72 t ha^{-1} para Sudán en D2, con promedios generales de 19.78, 11.97 y 7.97 t ha^{-1} para Sudán, ryegrass y bermuda, respectivamente. Tomando en consideración los niveles de salinidad del suelo en que se cultivaron, se reafirma el argumento, respecto a que la utilización de especies vegetales resistentes a salinidad no solo puede representar una alternativa en el combate de la desertificación en zonas áridas y semiáridas mediante la reducción de las sales del suelo, sino que también ofrece una alternativa de producción de forraje en suelos salinos⁽⁷⁾.

El zacate Sudán presentó mayores promedios en peso, con 3.46 t ha^{-1} seguido en este orden del ryegrass y el bermuda con 3.10 y 2.25 t ha^{-1} , respectivamente (Cuadro 5). Para las densidades,

Cuadro 4. Producción de materia verde de tres especies de zacate con dos densidades de población de plantas (t ha^{-1})

Table 4. Green matter production in three grass species and two plant densities (t ha^{-1})

Species	Plant density		Average
	D1	D2	
Sudangrass	18.84	20.72	19.78
Ryegrass	10.09	13.84	11.97
Bermuda	7.22	8.72	7.97
Average	12.05	14.43	

D1 = $1 \cdot 10^6$ plants ha^{-1} ; D2 = $2 \cdot 10^6$ plants ha^{-1} .

salt secretion was selective for both Na^+ and K^+ and therefore their concentration in plant tissue should be lower⁽⁶⁾.

With reference to green matter yield, average weigh is shown in Table 4 for the three grass species in the two plant densities. No statistically significant differences were found for plant density, but a yield growth trend in D2 towards D1 was found in the three species. Yields went from 7.22 t ha^{-1} for bermuda grass in D1 to 20.72 t ha^{-1} for Sudangrass in D2, being the general averages 19.78, 11.97 and 7.97 t ha^{-1} for Sudangrass, ryegrass and bermuda grass, respectively. Taking into account soil salinity levels, the hypothesis that the use of salinity resistant species could be an alternative tool to combat desertification in arid and semiarid areas through reduction of salt concentration in soils, gains ground and also that of forage production in saline soils⁽⁷⁾.

With reference to dry matter, sudangrass showed greater average weight (3.46 t ha^{-1}) followed by ryegrass and bermuda grass (3.10 and 2.25 t ha^{-1} , respectively), as shown in Table 5 for plant densities, the trend was greater yield for D2 than for D1. Dry matter percentage based on green matter production fluctuated between 17 and 28 %, higher for bermuda grass, which could be interpreted as a lower water accumulation in plant tissues in this specie due to a lower salt content

Cuadro 5. Producción de materia seca de tres especies de zacate con dos densidades de población de plantas (t ha^{-1})

Table 5. Dry matter production in three grass species and two plant densities (t ha^{-1})

Species	Plant density		Average
	D1	D2	
Sudangrass	3.02	3.91	3.46
Ryegrass	2.82	3.39	3.10
Bermuda grass	1.68	2.82	2.25
Average	2.51	3.37	

D1 = $1 \cdot 10^6$ plants ha^{-1} ; D2 = $2 \cdot 10^6$ plants ha^{-1} .

la tendencia fue de mayor rendimiento en D2 con relación a D1. El porcentaje de materia seca con base en la producción de materia verde, fluctuó en promedio entre 17 y 28 %, con un mayor valor para el zacate bermuda, lo cual podría interpretarse en el sentido de una menor acumulación de agua en los tejidos de esta especie, debido a menor contenido de iones salinos, y en consecuencia menor contenido celular de agua retenida por estos. Porcentajes de materia seca intermedios para el ryegrass y menor para el Sudán evidenciaron un mayor contenido de agua en los tejidos de estas especies, lo cual podría estar relacionado con mayor concentración iónica en los tejidos de los mismos. Esto es análogo a lo que ocurre en las plantas halófitas, las cuales en condiciones de excesiva salinidad en el suelo tienden a acumular más agua, aumentando la turgencia en sus tejidos y reduciendo tanto su rendimiento en materia seca, como su calidad⁽⁸⁾.

CONCLUSIONES E IMPLICACIONES

La reducción en la conductividad eléctrica del suelo, así como de los cationes Na^+ y Ca^{++} y aniones Cl^- y HCO_3^- , expresó una disminución en la salinidad del mismo, por efecto del cultivo de las tres especies de zacates. Mayor liberación de sales, expresada por una menor concentración de cationes y aniones en suelo, así como cationes en planta para zacate bermuda, permitió concluir que esta especie presentó mejor comportamiento en la reducción de sales del suelo.

LITERATURA CITADA

1. Szabolcs I. Prospects of soil salinity for the 21 st century. 15th World Congress of Soil Sci Soc 1994(1):123-141.
2. Umali DL. Irrigation induced salinity technical. World Bank. Washington, DC Paper No. 215. 1993:3-25.

and therefore lower water retention in cells. Intermediate dry matter percentage in ryegrass and lower in Sudangrass are due to higher water content in tissues, which could be related to higher ion content. This is similar to what happens in halophyte plants that in excessive soil salinity, show a trend to accumulate more water, increasing turgency in tissues and reducing both dry matter yield and quality⁽⁸⁾.

CONCLUSIONS AND IMPLICATIONS

A fall in soil electrical conductivity, as well as of cations Na^+ and Ca^{++} and anions Cl^- and HCO_3^- express a reduction of soil salinity due to the action of the three grass species. A greater freeing of salts, expressed through a lower cation and anion concentration in soil, as well as of cations in bermuda grass plants allows concluding that this specie showed better performance in soil salt content reduction.

End of english version

-
3. Laboratorio de Salinidad de los E.U.A. Diagnóstico y rehabilitación de suelos salinos y sódicos. México: Ed. Limusa; 1982.
 4. Gorham J, Wynjones RG, Mc.Donnel E. Some mechanisms of salt tolerance in crop plants. *Plant and Soil* 1985(89):15-40.
 5. Marcum KB. Salinity tolerance mechanisms of grasses in the subfamily chloridoideae. *Crop Sci* 1999(39):1153-1160.
 6. Worku W, Chapman GP. The salt secretion physiology of a chloride grass (*Cynodon dactylon* L. pers) and its implications. *Sinet an Ethiopian J Sci* 1998;21:1-16.
 7. Ashour N, Arafat S, Abdel-Haleem A, Serag M, Mandour S, Mekki B. Growing halophytes in Egipt for forage production and desertification control. Congress of Soil Sci [Summaries symposium]. Montpellier, France. 1998(II):29.
 8. Martins JC, Carmona MA, Hipólito MM, Pego M de R. Rehabilitation of salt affected soils by halophytic vegetables cultivation with brackish irrigation water. Congress of Soil Sci [Summaries symposiums] Montpellier, France. 1998(II):29.