

PERFIL SALINO-SODICO DE UN MOLLISOL REGADO CON AGUAS SUBTERRÁNEAS Y RESIDUALES NO DEPURADAS EN LA CUENCA DEL LAGO DE VALENCIA, VENEZUELA

F. J. MÉNDEZ

UCV. FAGRO. Instituto de Ingeniería agrícola. Maracay. Venezuela. franky@cantv.net

Resumen. Se estudió el contenido de sales y sodio en dos parcelas experimentales (MOLLIC USTIFLUVENTICS, FRANCOsa CARBONATICA MIXTA ISOHIPERtermICA) cultivadas con caña de azúcar. La primera parcela (T1) fue regada durante más de más de 10 años con aguas residuales no depuradas (R1) y la segunda (T2) con aguas subterráneas (S1). Durante el periodo de estudio (julio de 1997 a junio de 1998) se analizaron 200 muestras de suelo procedentes de cada parcela, 4 puntos de muestreo por parcela y cinco profundidades. Las fuentes de agua usadas para riego presentaron valores medios de EC_r de 2,1 dS m^{-1} y 3,0 dS m^{-1} y de RAS° de 10,8 y 6,9, respectivamente. Los suelos de ambas parcelas presentaron valores medios de EC_e de 1,0 dS m^{-1} y 2,0 dS m^{-1} , de PSI de 5,9 y 2,3 y de RAS de 5,1 y 2,4, respectivamente. Los suelos de ambas parcelas no manifestaron en el tiempo de estudio riesgos por salinización ni sodificación en el perfil del suelo considerado. El análisis estadístico manifestó diferencias significativas de la EC_e y la RAS entre los dos tratamientos (T1 y T2), siendo significativa la interacción tratamiento x profundidad sólo para la EC_e . En ningún caso los rendimientos de ambas parcelas se ha visto afectado, al contrario, la producción de 175 t ha^{-1} y 162 t ha^{-1} obtenidas en T1 y T2 respectivamente, superan los rendimientos medios para la zona.

Palabras clave: Salinidad, sodicidad, aguas residuales, Lago de Valencia, caña de azúcar.

Abstract. The salts and sodium contents in two experimental plots (MOLLIC USTIFLUVENTICS, FRANCOsa CARBONATICA MIXTA ISOHIPERtermICA) cultivated with sugar cane were studied. The first plot (T1) was irrigated for more than 10 years with non-treated wastewaters (R1) and the second plot (T2) with groundwater (S1). During the study period (from July 1997 to June 1998) 200 soil samples were taken by means of a systematic soil survey in each experimental plot, corresponding to 4 sampling points and 5 depths. The two irrigation water sources showed average values of EC_r of 2,1 dS m^{-1} and 3,0 dS m^{-1} , and SAR° of 10,8 and 6,9, respectively. The soils of the experimental plots showed average values of EC_e of 1,0 dS m^{-1} and 2,0 dS m^{-1} , ESP of 5,9 and 2,3; and SAR of 5,1 and 2,4, respectively. Neither study soil showed risks of salinization and sodification during the research period. Statistical analysis showed significant differences in EC_e and SAR between the two treatments (T1 and T2), and the interaction factor treatment x depth was only significant for EC_e . Crop yields of the two plots (T1 and T2) were not affected, moreover the yields obtained (175 t ha^{-1} and 162 t ha^{-1} , respectively) were greater than average yields of the region.

Key words: salinity, sodicity, wastewaters, Valencia Lake, sugar cane.

INTRODUCCION

Las características físicas, químicas y biológicas de los suelos regados con las aguas residuales no depuradas son de sumo interés, pues influyen en la calidad del agua que percola a través del perfil del suelo y la posible contaminación de las aguas subterráneas (Méndez, 1998). El concepto de calidad del agua se refiere a las características que pueden afectar su adecuación a un uso específico, es decir, a la relación entre la calidad del agua y las necesidades del usuario (Ayers y Westcot, 1985). Es notorio destacar que en el ámbito internacional se sigue investigando sobre el uso de las aguas residuales para riego, incluso desde el siglo pasado. La reutilización de las aguas residuales para riego, bien sea con tratamientos previos o no, pasa a tener, dentro del ámbito científico y tecnológico, un papel de suma importancia (Juwarkar y Subrahmanyam, 1987; Jiménez, 1995; Tanji, 1997). La composición salina del agua de riego y las características del suelo son factores determinantes en la sodicidad de los suelos, ya que aguas con altos contenidos de carbonatos de sodio, carbonatos de calcio y magnesio presentan elevado riesgo de generar sodicidad (Eaton, 1950; Pla y Dappo, 1977; Rhoades, 1992).

Según Dappo (1975) el cultivo de la caña de azúcar comienza a ser afectado por sales en el suelo cuando la CE_e sobrepasa los 6 dS m^{-1} . Contrariamente Maas y Hoffman (1977) señalan que la caña de azúcar puede soportar CE_e de 1,7 dS m^{-1} (salinidad umbral), pero a partir de allí declina su rendimiento en un 5,9 % por cada unidad de incremento de la conductividad eléctrica. Méndez (1998) indica que las propuestas anteriores reflejan hoy por hoy una realidad de ámbito muy general y sirven únicamente de guía, ya que los avances en tecnologías científicas, como la mejora genética y prácticas agrícolas certificadas, hacen que sea posible conseguir mejores rendimientos aun con CE_e más altas a las propuestas por

Dappo (1975) y Mass y Hoffman (1977). En este sentido, el presente trabajo tiene como objetivo determinar si las aguas residuales no depuradas de un sector de la ciudad de Guacara, utilizadas para riego durante más de una década, han salinizado o sodificado el perfil de los suelos e influido en el rendimiento del cultivo de la caña de azúcar.

MATERIAL Y METODOS

La Cuenca del Lago de Valencia forma parte de los estados Aragua y Carabobo. Esta cuenca posee la particularidad de ser endorréica, es decir no posee salida natural de sus aguas, el Lago de Valencia (10°05' a 10°16' Norte y 67°35' a 67°52' oeste) constituye su cuerpo de agua receptor final (altitud 408 msnm). La cuenca posee una superficie de 3140 km² de los cuales el 53% son áreas planas, 35% áreas montañosas y 12% de superficie de agua (Lago de Valencia 350 Km² y embalses Zuata y Tagüaigüay 12 Km²). El clima de la cuenca, tropical húmedo, está caracterizado por la alternancia de una estación seca (noviembre - abril) y de una estación húmeda (mayo - octubre). Las precipitaciones anuales varían de 800 mm en los alrededores del Lago hasta 1800 mm en la cadena montañosa costera. La temperatura es relativamente uniforme, con una media anual de 24,6 °C. La evaporación media anual es de 2200 mm. Los suelos dominantes pertenecen a los órdenes de Entisoles y Mollisoles, donde se desarrollan cultivos de caña de azúcar, bananos, maíz y hortalizas.

En el sector Las Palmeras (Fig.1) se seleccionaron dos parcelas experimentales cultivadas con caña de azúcar y con las siguientes características: T1, regada durante más de 10 años con aguas residuales (R1) procedentes de un colector de drenaje de aguas residuales urbanas e industriales de la ciudad de Guacara, pendiente del 0,1% en el sentido del riego, área 2,4 ha, rendimiento medio de 175 t.ha⁻¹ y T2, regada con aguas

subterráneas (S1) de un pozo profundo ubicado en la parcela, pendiente del 0,1% en el sentido del riego, área de 2,8 ha, rendimiento medio de 162 t.ha⁻¹. En cada parcela se tomaron 200 muestras de suelo correspondientes a cuatro puntos de muestreo, cinco profundidades (cada 20 cm) y 10 muestreos realizados desde Julio de 1997 hasta Junio de 1998. En los suelos se determinó: conductividad hidráulica, mediante el empleo de un permeámetro de carga constante; análisis granulométrico, según el método de Boyoucos; la salinidad, mediante la determinación de la conductividad eléctrica en el extracto de saturación (CE_e) corregida a 25°C (USDA, 1954); porcentaje de sodio intercambiable (PSI) y la relación de adsorción de sodio (RAS), calculado a partir de las ecuaciones propuestas por

USDA (1954); la CIC y bases intercambiables, según Pla (1969); pH en una relación suelo:agua de 1:2,5; carbono orgánico, determinado por la versión modificada del procedimiento de Walkey-Black (Jackson, 1970). En las aguas se determinó, la conductividad eléctrica corregida a 25 °C (CE_r) y la Relación de Adsorción de sodio corregida (RAS^o) por cálculo según Suárez (1981); el sodio se determinó por fotometría de llama y el calcio y la dureza total mediante valoración con EDTA. Se realizó un análisis de varianza para cada muestreo en el tiempo empleando el programa BMDP4M (1983) y considerando como factores el tratamiento (T1 y T2), la profundidad de muestreo y la interacción entre ambos.

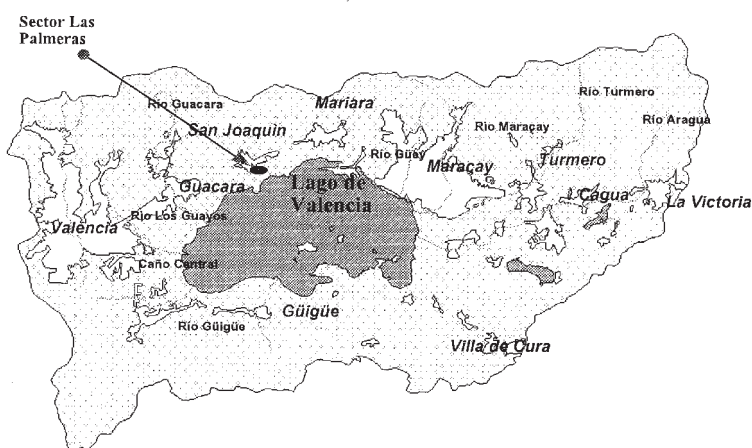


FIGURA 1. Ubicación del área experimental (Sector Las Palmeras) en la cuenca del Lago de Valencia

RESULTADOS Y DISCUSION

El suelo característico de las parcelas experimentales se clasifica como Mollic Ustifluventics, francosa Carbonática Mixta Isohipertérmica (USDA, 1999). Las características físicas y químicas (Tabla 1) reflejan una elevada CIC, contenidos de materia orgá-

nica de medianos a bajos (Brito et al, 1990), pH entre ligeramente alcalino y alcalino, complejo de cambio saturado en bases, texturas ligeras, baja densidad aparente y elevado incremento de la conductividad hidráulica con la profundidad del suelo. Estas características le confieren a ambas parcelas propiedades no restrictivas para la producción sos-

tenida del cultivo de la caña de azúcar mediante el riego con aguas residuales (Méndez, 1998).

La salinidad de las dos fuentes de agua R1 y S1 presentan valores medios de 2,1 dSm⁻¹ y 3,0 dS m⁻¹, respectivamente, y

aumenta ligeramente con el tiempo (Fig.2); su uso como aguas de riego puede inducir, por tanto, ligero a moderado riesgo de salinización del suelo (Ayers y Westcot, 1985; Rhoades, 1992).

TABLA 1. Características físicas y químicas (valores medios) de los suelos de las parcelas experimentales (T1 y T2).

Parcela experimental	Profundidad (cm)	Cationes intercambiables (cmol kg ⁻¹)				PSB	Materia orgánica (%)	N (%)	P (mg k ⁻¹)	pH en agua 1:2,5	Espacio Poroso (%)	Densidad Aparente (g c ⁻³)	Conductividad Hidráulica cm h ⁻¹	textura	Nivel freático en m	
		CIC (cmol kg ⁻¹)	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	Na ⁺											K ⁺
T1	0-20	38,3	34,4	2,7	0,93	0,27	100	2,70	0,55	25	7,89	34,6	1,03	2,03	F	5
	20-40	37,4	33,9	2,4	0,96	0,14	100	0,70	0,28	16	8,40	34,3	1,00	10,70	Fa	
	40-60	46,6	42,9	2,3	1,30	0,10	100	0,45	0,17	21	8,80	45,2	0,78	30,80	Fa	
	60-80	74,0	70,5	2,3	1,10	0,10	100	0,23	0,16	21	9,00	40,9	0,88	39,10	Fa	
	80-100	76,9	73,9	2,1	0,86	0,04	100	0,40	0,10	15	9,00	54,3	0,56	37,10	Fa	
T2	0-20	38,3	34,4	2,7	1,10	0,1	100	0,60	0,11	32	8,34	32,6	1,04	1,79	Fa	5
	20-40	37,4	33,9	2,2	1,22	0,08	100	0,90	0,14	23	8,31	50,0	0,62	3,62	Fa	
	40-60	48,6	44,8	2,0	1,7	0,1	100	0,31	0,08	23	8,23	50,0	0,56	8,10	aF	
	60-80	74,0	70,5	2,0	1,42	0,08	100	0,25	0,02	21	7,85	48,9	0,59	14,9	aF	
	80-100	76,9	73,7	1,8	1,33	0,07	100	0,10	0,04	23	7,84	50,0	0,59	14,8	aF	

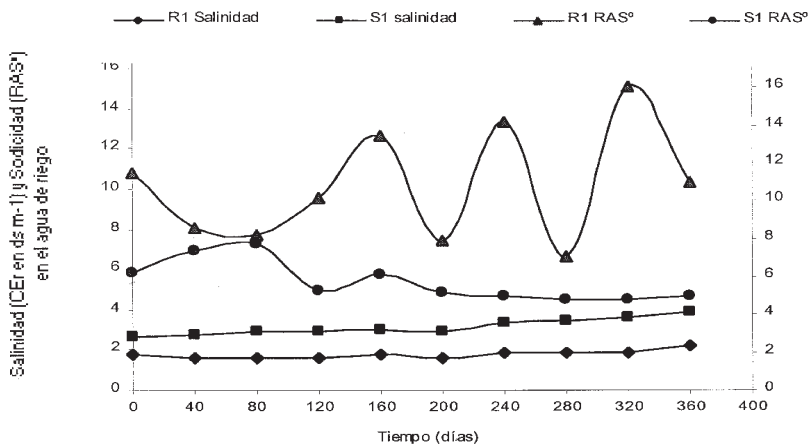


FIGURA 2. Evolución temporal de la salinidad (CER) y de la sodicidad (RASr) en las fuentes de agua usadas para riego (R1 y S1).

La sodicidad, manifestada por la RAS° , oscila entre 7,2 y 16,0 para R1 y entre 4,9 y 7,3 para S1 con variaciones temporales diferentes según la fuente de agua. En R1 hay una variación errática a lo largo del tiempo, atribuible a los vertidos industriales de una empresa papelera que emplea hiposulfito de sodio en su proceso industrial y, con un aporte de más del 50 % del volumen total de aguas que drenan al colector de aguas residuales. El uso de estas fuentes de agua para riego no debe generar en el suelo problemas de infiltración de agua como consecuencia de la dispersión que pueda generar el ion sodio en los suelos según Ayers y Wescot (1985); es decir, no hay riesgos potenciales de sodificación en ninguna de las parcelas experimentales. Sin embargo, de acuerdo a las características hidrogeológicas de los suelos evaluados y con un nivel freático sobre los 5 m de profundidad, es muy probable que las aguas residuales alcancen las aguas freáticas muy rápidamente.

La salinidad en el suelo representada por la CE_e (Fig 3), presentó en T1 ligeras variaciones en el tiempo y tendencia a disminuir con la profundidad hasta alcanzar valores medios de 0,65 dS m^{-1} . En T2 presentó un comportamiento ascendente en el tiempo, excepto a los 200 días de iniciada la evaluación donde se interrumpe este comportamiento, para posteriormente continuar su ritmo ascendente. Así mismo, la salinidad en T2 presenta un notable incremento con la profundidad del perfil del suelo evaluado. De acuerdo a lo propuesto por Dappo (1975) la salinidad en T1 y T2, con valores medios de 1,0 dS m^{-1} y 2,0 dS m^{-1} , respectivamente, en todo el perfil del suelo, no representa riesgo de disminución de los rendimientos relativos. Sin embargo, según Mass y Hoffman (1977), en T2 debió de presentarse una disminución del rendimiento relativo de al menos 5,9 %, lo que no se evidenció en los rendimientos de ninguna de las dos parcelas experimentales, que, en todo caso, manifestaron durante ese

ciclo de producción los rendimientos medios más elevados de la zona, con 175 t ha^{-1} y 162 t ha^{-1} , respectivamente. Por tanto, las propuestas de Dappo (1975) y Mass y Hoffman (1977) deben ser consideradas únicamente como una guía y no como una propuesta de resultado definitiva (Méndez, 1998).

A partir de la Relación de adsorción de sodio en el extracto de saturación (RAS_e), que representa el comportamiento del ion sodio en la matriz del suelo, se puede apreciar (Fig.4) que la sodicidad en las dos parcelas experimentales presenta un comportamiento definido por las fuentes de agua empleadas para riego, es decir, los suelos T1 regados con las aguas R1 de mayores valores de RAS_r , presentan los mayores valores de RAS_e , aunque no se aprecie para un comportamiento definido en el tiempo. Los valores medios de la RAS_e en el tiempo y en la profundidad, con 5,1 y 2,4 en T1 y T2, respectivamente, no representan un riesgo de sodificación del suelo (Rhoades, 1992; Pizarro, 1990; Ayers y Westcot, 1985; USDA, 1954). Igualmente, el uso del Porcentaje de Sodio Intercambiable (PSI) como un indicador de riesgos de sodificación en el suelo (Pizarro, 1985) nos permite señalar la ausencia de riesgos en las dos parcelas experimentales, ya que los valores medios de PSI obtenidos han sido de 5,9 y 2,3 para T1 y T2, respectivamente.

El análisis de varianza para la salinidad (Tabla 2) reportó diferencias significativas al 5% entre tratamientos y entre la interacción tratamiento X profundidad, es decir, la salinidad se comporta de manera diferente dependiendo de la fuente de agua empleada para riego y en la profundidad del suelo para cada parcela experimental.

El análisis de varianza para la sodicidad (Tabla 3) mostró diferencias significativas al 5% entre tratamientos, es decir, la sodicidad se comporta de manera diferente dependiendo de las fuentes de agua usadas para riego en cada parcela experimental. La interacción tratamiento X profundidad no manifestó ningun-

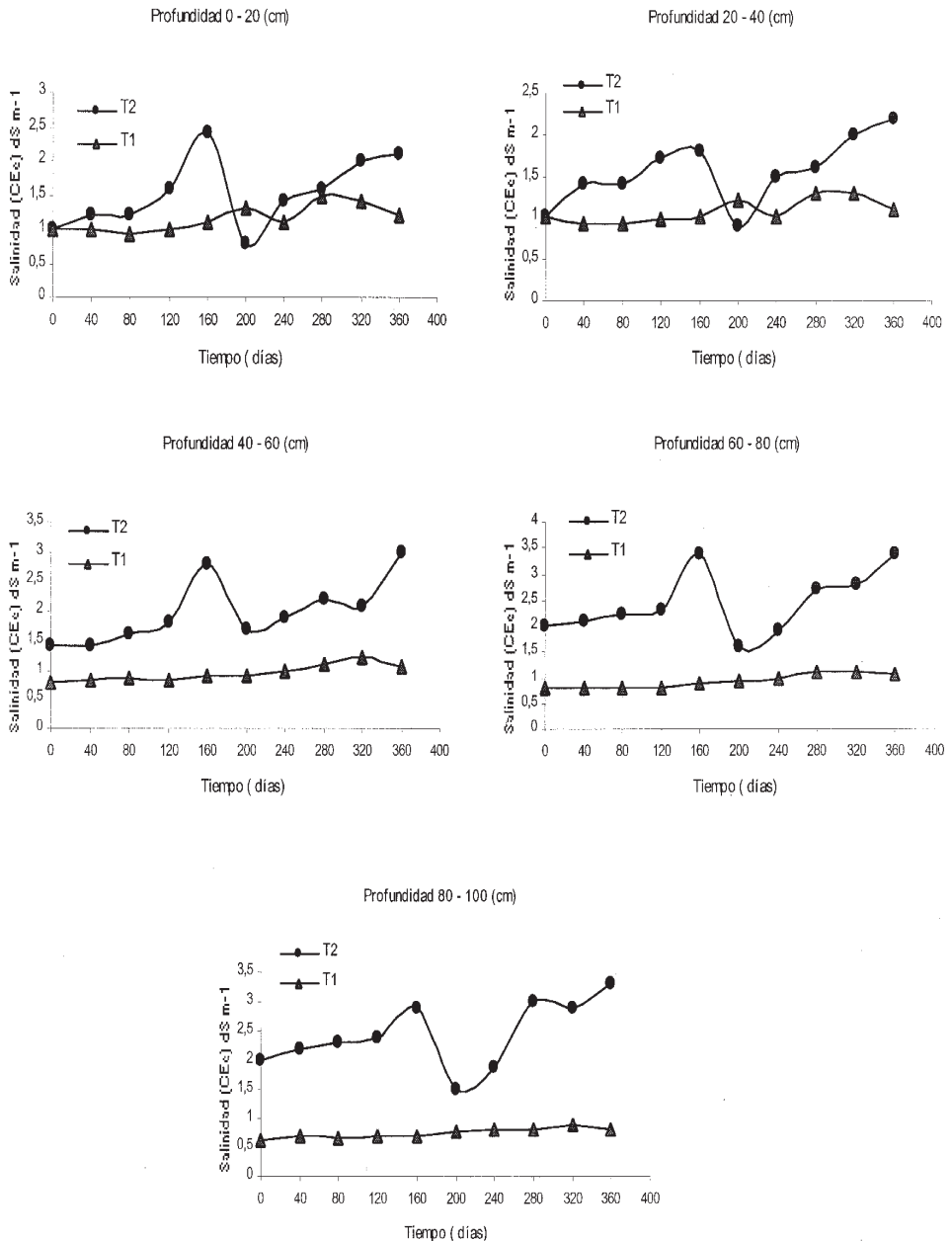


FIGURA 3. Evolución temporal de la salinidad del suelo (CEe dS m^{-1}) en cada profundidad para los dos tratamientos evaluados (T1 y T2).

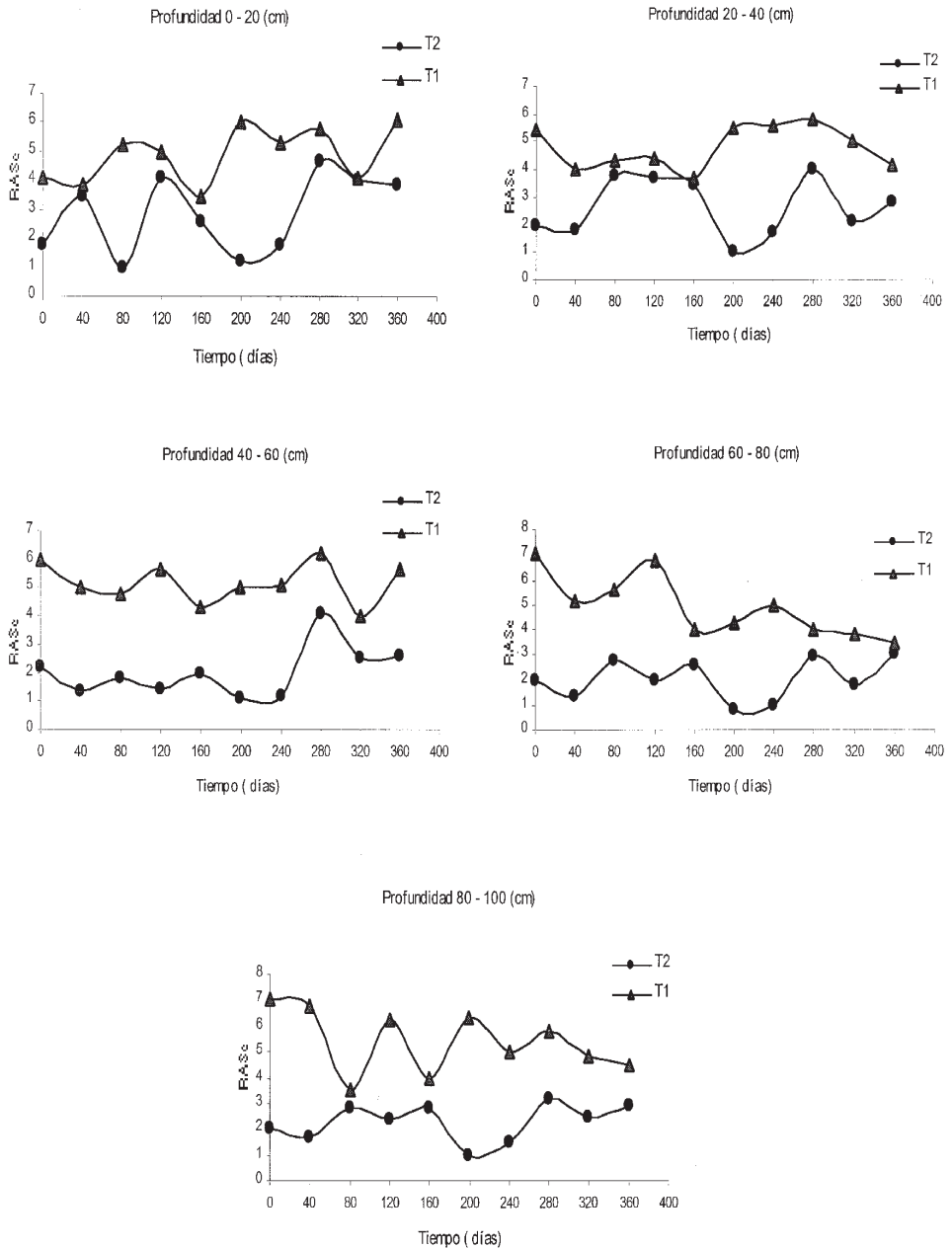


Figura 4. Evolución temporal de la Relación de Adsorción de sodio (RASe) en cada profundidad para los dos tratamientos evaluados (T1 y T2)

TABLA 2. Análisis de varianza de la salinidad del suelo (CEe en dS m⁻¹) para cada tiempo y fuente de variación.

Fuente de Variación (FV)	0	40	80	120	Tiempo (días) 160	200	240	280	320	360
Tratamiento	49.3*	111.8*	47.6*	148.5*	247.3*	24.6*	5.0*	41.4*	4.7*	129.3*
Profundidad	2.3	2.4	1.40	2.1	2.3	2.1	0.4	2.3	1.3	2.2
Trat. X Prof.	8.9*	10.1*	4.3*	4.2*	5.5*	18.9*	3.6*	4.1*	3.8*	3.5*

* Valores de F (P < 0,05)

TABLA 3. Análisis de varianza de la RASE para cada tiempo y fuente de variación.

Fuente de Variación (FV)	0	40	80	120	Tiempo (días) 160	200	240	280	320	360
Tratamiento	180.2*	24.6*	40.1*	25.73*	15.63*	73.68*	62.53*	7.57*	13.96*	4.95*
Profundidad	1.77	1.36	1.32	0.40	0.41	0.73	0.70	1.08	0.65	1.29
Trat. X Prof.	2.08	2.67	2.76	2.16	0.29	0.57	0.11	0.11	1.88	0.93

* Valores de F (P < 0,05)

na significación, es decir, la sodicidad no expresa contrastes significativos al considerar ambas fuentes de agua usadas para riego y su impacto en la profundidad del suelo en las parcelas experimentales.

Considerando una profundidad de enraizamiento efectiva para la caña de azúcar de 60 cm (Maica, 1997) y los valores de la CE_e obtenidos, se puede decir que no existe riesgo de disminución del rendimiento potencial de este cultivo (Maas y Hoffman, 1977; y Ayers y Westcot, 1985; Rhoades et al, 1992). Estos últimos definen al cultivo de la caña de azúcar como un cultivo de moderado a tolerante a los efectos de la salinidad.

CONCLUSIONES

Desde el punto de vista de producción vegetal y al riesgo de salinización y sodificación del suelo, se puede decir que las aguas residuales no depuradas con características

similares en este trabajo, pueden ser utilizadas en suelos similares a los aquí presentados, lo que representa una alternativa de gestión de este tipo de aguas. Sin embargo, de mantenerse este sistema de producción sería necesario una adecuada planificación para la evaluación permanente de la calidad de los suelos y de las aguas subterráneas ya que, además de los aspectos aquí considerados se deberá tener en cuenta el contenido de metales pesados presentes en aguas de riego, aguas subterráneas, suelos y la carga biológica contaminante presente en las aguas residuales.

REFERENCIAS

Ayers, R y Westcot, D. (1985): La calidad del agua en la agricultura. Estudio F.A.O. Serie Riego y drenaje N° 29. Italia. 174 p.

- BMDP4M (1983): Statistical software. Printing with additions. University of California Press.
- Brito, J., Rojas, I., Roberti, R. (1990): Análisis de suelos para diagnóstico de fertilidad. Manual de métodos y procedimientos. FONAIAP-CENIAP-MARACAY. 164 p.
- Dappo, Q.F. (1975): La salinidad y su influencia en la agricultura. FUDECO. Barquisimeto. Venezuela. 18 p.
- Eaton, F. (1950): Significance of carbonates in irrigation waters. *Soil Sci* 69,123-133.
- Jackson, M.(1970): Soil Chemistry Analysis. Prentice-Hall, Englewood Cliffs, NY. 662 p.
- Jiménez, C.B. (1995): Wastewater reuse to increase Soil productivity. *Wat. Sci. Tech.* 52, 173-180.
- Juwarkar, S. y Subrahmanyam P. (1987): Impact of pulp and paper mill wastewater on crop and soil. *Wat. Sci. Tech.* 19, 693-700.
- Maas, E. and Hoffmann, G. (1977): Crop Salt Tolerance- current assessment. *A.S.C.E.* 103, 115-134.
- Maica, R. (1997): Aspectos agronómicos de la caña de azúcar (ciclo soca) relacionados con el régimen hídrico al emplear tres niveles de agotamiento de la humedad en el suelo. Tesis de Grado. Ingeniero Agrónomo. UCV. Facultad de Agronomía. 71 p
- Méndez, F. (1998): Contribución al estudio sobre el uso de aguas residuales con fines de riego. Trabajo de ascenso. UCV. Facultad de Agronomía. 128 p
- Pizarro, F. (1985): Drenaje agrícola y recuperación de suelos salinos. Editorial Agrícola Española. Segunda Edición. Madrid, España. 942 p.
- Pizarro, F. (1990): Riego localizado de alta frecuencia. Ediciones mundi-Prensa. Segunda edición. Madrid, España. 471 p.
- Pla, I. (1969): Metodología de laboratorio recomendada para el diagnóstico de salinidad y alcalinidad en suelos, aguas y plantas. U.C.V. Facultad de Agronomía. Maracay 117 p.
- Pla, I. y Dappo, F. (1977): Field-testing of a new system for qualifying irrigation water. Proc. Int. Conf. on managing saline water for irrigation. Texas Tech. Univ. Lubbock Texas, USA. 376-387.
- Rhoades, J. (1992): The use of saline water for crop production. F.A.O. Irrigation and Drainage paper N° 48. Rome, Italy, 133 p.
- Suarez, D. (1981): Relation between pHc and sodium adsorption ratio (SAR) and an alternate method of estimating SAR of soil or drainage waters. *Soil Sci. Amer. J.* 45, 469-475.
- Tanji, K. (1997): Irrigation with marginal quality waters: *A.S.C.E.* 123, 165-168.
- USDA (1954): Diagnosis and improvement of saline and alkali soils. United State Department of Agriculture. Soil Survey Staff.Agriculture Handbook, 60. 170 p.
- USDA (1999): Soil Taxonomy. A Basic of Soil Soil Classification For Making and Interpreting Soil Surveys. United State Department of Agriculture. Soil Survey Staff. Agriculture handbook, 436. 869 p.
- Walkey, A. y Black, J. (1974) A critical examination of rapid method for determining organic carbon in soil. *J. Soil. Sci.* 63,254-254.