
Efecto del contenido de sodio en el agua de riego sobre las propiedades de dos suelos de la depresión del lago de Valencia

Effects of sodium concentration in the irrigation water on properties of two Valencia lake basin soils

Lester León¹; Zenaida Lozano P.¹ y Roberto Villafañe²

¹) Instituto de Edafología, Facultad de Agronomía –UCV - Maracay. E-mail: lozanoz@agr.ucv.ve.

²) Instituto de Ingeniería Agrícola, Facultad de Agronomía –UCV - Maracay.

RESUMEN

Con el objetivo de evaluar el efecto de la aplicación de aguas de riego de contenidos de sodio bajo, medio y alto, medidos como relación de adsorción de sodio (RAS), sobre las características en dos suelos de la depresión del Lago de Valencia, se instaló un ensayo en condiciones controladas de invernadero considerado dos suelos (Aluvial y Lacustrino) y tres niveles de RAS (1, 5 y 10), resultando los siguientes tratamientos: A1, A5, A10, L1, L5 y L10. Se utilizó pasto Bermuda (*Cynodon dactylon*) como cultivo indicador. El ensayo se llevó por 170 días y en ese período se tomaron muestras del agua de drenaje en tres oportunidades. Finalizado el período se cosechó el cultivo y se tomaron muestras de suelo disgregadas y no alteradas a dos profundidades (0 a 10 y 10 a 20 cm). Se evaluó: pH, conductividad eléctrica (CE), contenido de sodio (Na) y cloruro (Cl), densidad aparente (Da), porosidad total (PT), conductividad hidráulica saturada (Ksat), módulo de ruptura (MR), biomasa acumulada y absorción de nutrientes. Los resultados indican que se produjeron diferencias entre los dos suelos para todas las variables evaluadas, dadas sus características físico-químicas diferentes. Con el aumento del RAS en el agua de riego, se encontraron diferencias significativas en Ksat, pH, CE, Na y Cl, en el agua y el suelo, pero no se evidenció un efecto sobre Da, PT y MR. También se detectó una ligera disminución en la biomasa acumulada del pasto Bermuda.

Palabras claves: Relación de adsorción de sodio (RAS), salinidad, propiedades físicas, suelo aluvial, suelo lacustrino.

ABSTRACT

With the objective of evaluating the effects of the application of the irrigation water with low, medium and high sodium content, measured as Sodium Adsorption Relation (SAR) on characteristic of Valencia lake basin soils, a test on controlled conditions was installed, considering two soils (Alluvial and Lacustrine) and three SAR levels (1, 5 and 10) resulting the following treatments: A1, A5, A10, L1, L5, L10 and using Bermuda grass (*Cynodon dactylon*) as an indicator. The test was conducted for 125 days period and in that, drain water samples in three different opportunities, and after that soil samples at different depths (0 to 10 and 10 to 20 cm), were taken. pH, electric conductivity (EC), sodium (Na) and chloride (Cl) contents, bulk density (Bd), total porosity (TP), modulus of rupture, saturated hydraulic conductivity (Ksat), biomass and nutrient content, were evaluated. The results indicate that, differences for all variables evaluated were produced between both soils, due to their physical-chemical different characteristics. With relation to the SAR treatment, significative differences were produced on Ksat, pH, EC, Na, and Cl in the soil and water, but not on Bd, TP, MR. A light decrease on the accumulated biomass of the Bermudas grass was also produced.

Key words: Sodium Adsorption Relation (SAR), salinity, physical properties, alluvial soil, lacustrine soil.

INTRODUCCIÓN

Los suelos de la depresión del lago de Valencia están considerados entre los mejores del país. Corresponden a un relleno aluvio-coluial y lacustrino de una fosa tectónica formada a finales del terciario y principios del cuaternario. En los bordes predominan terrazas de materiales de carácter aluvio-coluial, con suelos bastante evolucionados mineralógicamente, de baja saturación de bases y texturas de medias a finas. La zona central está dominada por sedimentos fluviales de origen reciente, con suelos principalmente de texturas medias (franco limosa y franco arenosa fina), bien drenados, con lavado de carbonatos en los horizontes superficiales, mediana acumulación de materia orgánica en superficie y un desarrollo estructural de medio a bajo, correspondiendo principalmente a Inceptisoles (Mogollón y Comerma, 1994). Alrededor del Lago de Valencia se distribuyen una serie de terrazas concéntricas con relación al lago y escalonadas desde la altura actual del espejo de agua, hasta la cota 427 msnm. Alrededor del Lago se identifican cinco niveles sucesivos como consecuencia de fases consecutivas de estacionamiento del espejo de agua del Lago durante su regresión Holocénica. Esta regresión hizo aflorar unas 17.000 has de sedimentos lacustrinos. Debido a la naturaleza de su material de origen, los suelos desarrollados a partir de dichos sedimentos presentan una serie de características específicas, que permiten individualizarlos fácilmente (Zinck *et al.*, 1979).

El material lacustrino es generalmente espeso y continuo de más de 2 m de profundidad, constituido por un material pulverulento, muy friable, no adhesivo y no plástico, que se comporta en las pruebas de plasticidad como areno francoso fino y por su adsorción de agua adopta una consistencia esponjosa; sus niveles de pH van desde neutros a moderadamente alcalinos, frecuentemente presentan problemas de afectación por sales y contenidos de CaCO_3 entre el 40 a 50 % (Zinck *et al.*, 1979). Por su parte los suelos aluviales son de desarrollo pedogenético incipiente, su textura varía desde franca a arcillosa muy fina, pero pueden aparecer estratos delgados lenticulares de texturas gruesas; su estructura es de desarrollo débil a fuerte, su capacidad de retención de agua es de moderadamente baja a ligeramente baja, su permeabilidad es de rápida a moderadamente rápida, la reacción es de neutra a alcalina y su fertilidad es moderada (Celis *et al.*, 1976).

El desarrollo urbano e industrial experimentado a partir de 1950 produjo un descenso progresivo en el nivel del lago de Valencia, hasta el año 1979 cuando el trasvase de agua de la cuenca del Pao, revirtió la situación. Hoy los aportes adicionales procedentes de la ampliación del Acueducto Regional del Centro están creando serios problemas de inundación en las áreas urbanas e industriales cercanas al Lago, por elevación de su nivel (Villafañe, 1997). Por otra parte, el crecimiento de la población de la Cuenca ha llevado al uso de los ríos como colectores cloacales, y por ser una cuenca cerrada, el Lago se convierte en el receptor final de las aguas servidas (Cotugno, 1996; Villafañe, 1997). De allí que la contaminación orgánica, las sales principalmente de sodio y algunos oligoelementos sean cada vez mayores en él (Villafañe, 1997). A pesar de que organismos de carácter nacional y municipal han demostrado preocupación por el problema, y que en la búsqueda de soluciones al mismo, se han establecido leyes como la Ley Orgánica del Ambiente, la degradación ambiental en la zona es cada vez más acentuada, hasta el punto de estar convertido el lago hoy en día, en una especie de pozo séptico abierto, donde descargan todo tipo de desechos tanto de origen urbano como industrial. El Programa de Saneamiento Ambiental Integral del Lago de Valencia, definido por el Gobierno de Venezuela como de alta prioridad en el sector de Saneamiento Ambiental, prevé eliminar el 90% de la contaminación de las aguas del Lago (AVISA, 1996).

El tratamiento que se prevé realizar a las aguas, eliminará sus contaminantes orgánicos, pero no las sales presentes. Por otro lado, no se han tomado en cuenta los posibles efectos que puedan tener estas aguas sobre las características de los suelos y la producción de los cultivos de las zonas a regar. La acción de las aguas salinas sobre el suelo reviste aún mayor gravedad que la que ejercen sobre la planta; ya que la acción continuada sobre el suelo puede llegar a hacerlo totalmente improductivo (Domínguez, 1971). Para una mejor comprensión se suelen individualizar tres efectos debidos a la afectación por sales que, en muchos casos actúan simultáneamente y pueden resultar difíciles de identificar de forma separada en la práctica: a) Efectos osmóticos: las sales hacen disminuir el potencial osmótico

del agua del suelo, siendo su valor absoluto cada vez mayor (Domínguez, 1971). También se inhibe el crecimiento y puede haber paso de agua de la planta al suelo (plasmólisis) (Porta *et al*, 1994); b) Efectos ión-específico: el aumento de la concentración de algunos iones que afectan a la fisiología de la planta, por resultar tóxicos o provocar desequilibrios en el metabolismo de los nutrientes y c) efecto del sodio de cambio: la acción dispersante del sodio sobre las arcillas y solubilización de la materia orgánica afecta a las propiedades físicas del suelo, los agregados son poco estables, y el medio es menos apto para el crecimiento de las raíces de las plantas. Se puede favorecer el encostramiento y sellado del suelo disminuyendo la conductividad hidráulica (Porta *et al*, 1994).

La evaluación de la calidad del agua con fines de riego, se basa en tres aspectos generales: a) La concentración total de sales; b) La presencia de determinados iones que resultan tóxicos a los cultivos o producen interacciones que dificultan la absorción de otros y c) la presencia de algunos iones que producen modificaciones en las propiedades físicas del suelo, como es el caso del sodio que reduce la permeabilidad del suelo y la penetración del agua. La relación de adsorción de sodio (RAS), es la principal herramienta usada para evaluar el riesgo de sodicidad de las aguas para riego (Curtin *et al*, 1995). Se ha observado que valores altos de RAS en el agua de riego, tienen efectos perjudiciales sobre las propiedades del suelo (Fassbender y Bornemisza, 1987).

La acción dispersante del sodio es causada por la menor fuerza de adsorción a que es sometido este ión con respecto al potasio y a los cationes polivalentes y por su mayor radio de hidratación, lo que determina una mayor expansión de la doble capa difusa y, en consecuencia, una mayor presión de hinchamiento entre las pequeñas láminas de arcilla. De allí que las arcillas expansibles sean más sensibles al sodio (Villafañe, 1998). Aunque la modicidad es considerada como una propiedad intrínseca de la fracción arcilla de un perfil afectado, su impacto puede ser revelado a través de interacciones con procesos biológicos, resultado de varias formas de degradación ambiental (Fitzpatrick *et al*., 1994).

Los suelos con mucho sodio intercambiable se defloculan fácilmente. Son también difíciles de trabajar, porque se hacen lodosos con contenidos de humedad bajo (Thorne y Peterson, 1969). El alto contenido de sodio causa severos problemas de permeabilidad al dispersar los coloides del suelo, además de problemas de aireación germinación, control de malezas (Grassi, 1988). Dentro de un dado nivel de salinidad, el peso de las raíces aumenta con el decrecimiento de la relación Na/Ca, indicando el papel del calcio en el desarrollo radical (Muhammed *et al*, 1987).

El objetivo de este trabajo consistió en evaluar el efecto de la aplicación de aguas de riego con diferentes contenidos de sodio, sobre la concentración de sales en el agua de drenaje y el suelo, sobre las propiedades físicas y sobre el rendimiento y la absorción de nutrientes por el cultivo, utilizando Pasto Bermuda (*Cynodon dactylon*), como cultivo indicador.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se seleccionaron dos suelos de la depresión del Lago de Valencia, uno de origen aluvial (A) y otro de origen lacustrino (L). El suelo lacustrino fue colectado en la finca Las Cocuizas, ubicada en la localidad de Mariara en el estado Carabobo, y el aluvial fue colectado en el lote E, del campo experimental del Instituto de Agronomía (Facultad de Agronomía - Universidad Central de Venezuela). En cada suelo se tomaron muestras compuestas a una profundidad entre 0 a 20 cm. Antes de la instalación del ensayo las muestras de suelo fueron analizadas en el Laboratorio General del Instituto de Edafología, evaluando: clase textural, pH y conductividad eléctrica (CE) en relación suelo:agua 1:2, contenido de carbono orgánico (CO), capacidad de intercambio catiónico (CIC), fósforo disponible (P); calcio (Ca), magnesio (Mg), potasio (K); y sodio (Na) intercambiables (UCV, 1993), tal y como se aprecia en el Cuadro 1. Se utilizaron tres concentraciones de sodio en el agua de riego, consideradas como baja, media y alta con base en los valores de Relación de Adsorción de Sodio (RAS): 1, 5 y 10. El agua de riego se preparó a nivel de laboratorio con las siguientes sales: CaCl_2 , MgSO_4 y NaCl . El análisis de las aguas utilizadas para riego se presenta en el Cuadro 2. De la combinación de suelos y aguas resultaron los siguientes tratamientos: A1(suelo aluvial, RAS = 1); A5 (suelo aluvial, RAS = 5); A10 (suelo aluvial, RAS = 10); L1 (suelo lacustrino, RAS = 1); L5 (suelo lacustrino, RAS = 5); L10 (suelo lacustrino, RAS = 10).

Se instaló el ensayo bajo condiciones controladas en columnas de suelo, las cuales fueron preparadas con las muestras de suelo superficial (0 - 20 cm) previamente pasado por un tamiz de 8 mm. Las columnas se prepararon en cilindros de plástico PVC, de 20 cm de alto por 20 cm de diámetro en cuyo fondo se colocó un filtro de grava de 1,5 cm de espesor

Cuadro 1. Caracterización inicial de los suelos

SUELO	ALUVIAL	LACUSTRINO
Clase textural	FA	F
Humedad retenida a CC (% p.p ⁻¹)	24,96	42,57
pH (1:2)	6,67	7,63
CE.(1:2) (Ms cm ⁻¹)	0,137	0,811
CO (%)	0,46	1,09
CIC (cmol kg ⁻¹)	8,60	18,40
Fósforo (mg kg ⁻¹)	18,48	34,58
Calcio (cmol kg ⁻¹)	2,22	ND
Magnesio (cmol kg ⁻¹)	2,20	4,74
Potasio (cmol kg ⁻¹)	0,19	1,18
Sodio (cmol kg ⁻¹)	0,19	5,15

CC: Capacidad de Campo; CE: Conductividad eléctrica; CO: Carbono orgánico; CIC: Capacidad de intercambio catiónico; FA: franco arcilloso; F: franco; ND: No determinado

Cuadro 2. Características del agua utilizada para riego en los diferentes tratamientos¹⁾

RAS Teórico	pH	CE (mS cm ⁻¹)	HCO ₃ ⁻ (me L ⁻¹)	Cl ⁻ (me L ⁻¹)	SO ₄ ⁼ (me L ⁻¹)	Ca ⁺⁺ (me L ⁻¹)	Mg ⁺⁺ (me L ⁻¹)	Na ⁺ (me L ⁻¹)	K ⁺ (me L ⁻¹)	RAS Real
1	6,30	1,38	1,30	11,60	2,15	7,60	3,50	1,75	0,23	0,74
5	6,10	2,52	1,40	27,00	2,05	8,60	5,00	11,82	0,28	4,53
10	6,30	3,73	1,60	37,80	2,15	7,00	6,60	21,91	0,33	8,40

RAS: Relación de adsorción de sodio; CE: Conductividad eléctrica; HCO₃⁻: Bicarbonato; Cl⁻: Cloruro; SO₄⁼: Sulfato; Ca⁺⁺: Calcio; Mg⁺⁺: Magnesio; Na⁺: Sodio; K⁺: Potasio.

¹⁾ Los valores corresponden al promedio de las aguas utilizadas en los 24 riegos.

El llenado de las columnas se realizó por capas de 10 cm de espesor, compactadas una por una hasta lograr una densidad similar a la de campo (suelos aluvial = 1,24 Mg/m³ y suelos lacustrino = 0,88 Mg/m³). Como cultivo indicador se utilizó el pasto Bermuda (*Cynodon dactylon*), por ser una gramínea resistente a la salinidad. Las columnas fueron colocadas en el Invernadero de la Sección Suelo-Agua-Planta del Instituto de Edafología, en un diseño completamente aleatorizado con tres repeticiones y 2 columnas como unidad experimental. Posteriormente fueron regadas con las aguas de RAS 1, 5 y 10, manteniendo el suelo aproximadamente a un 70% de su Capacidad de Campo, según lo sugerido por Villafaña (1988). La humedad del suelo durante el período del ensayo fue para el suelo aluvial de 17,47 % y para el suelo lacustrino de 29,80 %, regando cuando fuera necesario en base a diferencias en peso.

La capacidad máxima de retención de humedad se obtuvo, saturando las muestras de suelo en las columnas y dejándolas drenar libremente por un período de 48 horas, impidiendo la evaporación, luego de lo cual se determinó humedad gravimétricamente (Pla, 1983). Durante el ensayo se realizaron 24 riegos, con una lámina total aplicada de 567,45; 560,29; 539,79; 645,82; 633,77 y 608,61 mm para los tratamientos A1, A5, A10, L1, L5 y L10, respectivamente. En tres de los riegos se aplicó una lámina en exceso para coleccionar muestras del agua de drenaje. Estos riegos correspondieron con los 24, 136 y 170 días después de la siembra (dds).

En las muestras de agua de drenaje se realizaron las siguientes determinaciones: pH, conductividad eléctrica, contenido de sodio (Na^+) y cloruro (Cl^-) por la metodología sugerida por Pla (1969). Finalizado el ensayo, en cada columna de suelo se tomaron muestras disgregadas a dos profundidades: 0 a 10 cm (A) y 10 a 20 cm (B). Estas muestras fueron secadas al aire y pasadas por un tamiz de 2 mm. Con estas 72 muestras se preparó una suspensión suelo:agua (1:2) y al filtrado resultante se le realizaron los mismos análisis que a las muestras de agua de drenaje. De igual forma se seleccionaron dos muestras por tratamiento (una de cada profundidad), para realizar los mismos análisis en el extracto de pasta saturada (Pla, 1969). Al pasto sembrado en cada unidad experimental se le realizó un corte, a una altura de 8 cm, a los 84 días después de la siembra y se determinó el rendimiento de materia húmeda y materia seca y contenido de nutrientes (N, P, K, Ca, Mg y Na) en cada tratamiento.

En cada columna de suelo se tomaron muestras no alteradas con una toma muestra tipo Uhland a la profundidad de 5 a 15 cm, evaluándose a nivel de laboratorio: densidad aparente, porosidad total, conductividad hidráulica saturada en un permeámetro de carga variable y módulo de ruptura, por la metodología sugerida por Pla (1983).

Con los resultados se realizó el análisis de varianza para un diseño completamente aleatorizado, con el programa SAS (SAS Institute Inc, 1995), utilizando la prueba de Duncan para detectar las diferencias entre las medias.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Variación en el pH y la CE de las aguas de drenaje y suelos evaluados.

Para la discusión de este punto se utilizaron los resultados de los análisis de pH y CE de las aguas de drenaje colectadas en las tres evaluaciones de cada tratamiento y del extracto de pasta saturada de ambos suelos, tomando en cuenta la composición de las aguas utilizadas para el riego. Como se puede apreciar en la Figura 1, el pH del agua de drenaje de la primera evaluación aumentó en todos los tratamientos en relación con los valores de las aguas de riego, debido posiblemente al lavado de las sales acumuladas en los riegos previos, siendo mayores en los tratamientos L1, L5 y L10 (suelo lacustrino). Posteriormente, en las siguientes evaluaciones se produjo en los tratamientos A1, A5 y A10 (suelo aluvial), una disminución del pH a valores similares a los del agua de riego, permaneciendo el suelo lacustrino con valores de pH alrededor de 7,5. En relación con la conductividad eléctrica en el agua de drenaje (Figura 2), se produce un incremento de la misma con el aumento del contenido de sodio en el agua de riego a lo largo de las tres evaluaciones, más marcado en los tratamientos A1, A5 y A10, en las evaluaciones de los 136 y 170 días después de la siembra. Estos resultados pudieran indicar una mayor retención de las sales (CaCl_2 , MgSO_4 y NaCl) aplicadas con el riego en el suelo lacustrino, mientras que en el suelo aluvial, las sales tienden a ser eliminadas con el agua de drenaje (Figura 1). Para el agua de drenaje se evidenciaron diferencias en la prueba de medias (Cuadro 3), donde se detectaron diferencias significativas a un 95 % de probabilidad tanto en el pH como en la CE para ambos suelos. El aumento del sodio en el agua de riego, no afectó al pH pero sí a la CE. Estas diferencias en el comportamiento están relacionadas con su composición química de los suelos (Medina, 1988).

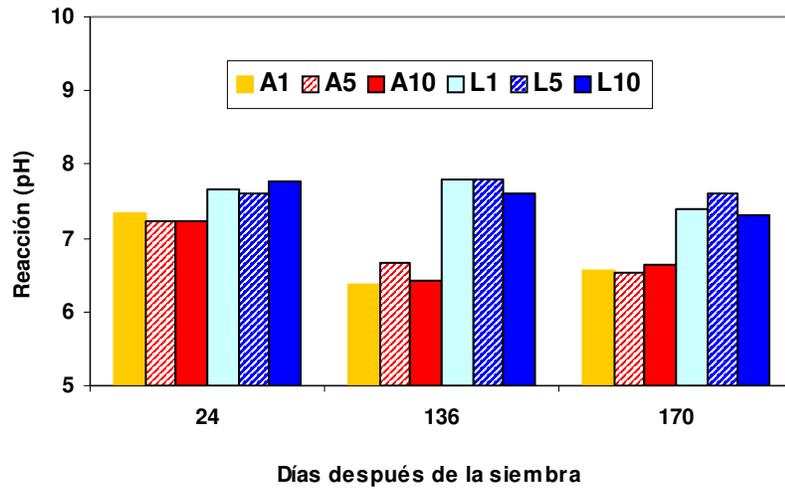


Figura 1. Variación del pH en el agua de drenaje por efecto del RAS del agua de riego en los suelos Aluvial (A) y Lacustrino (L), a lo largo del período de evaluación.

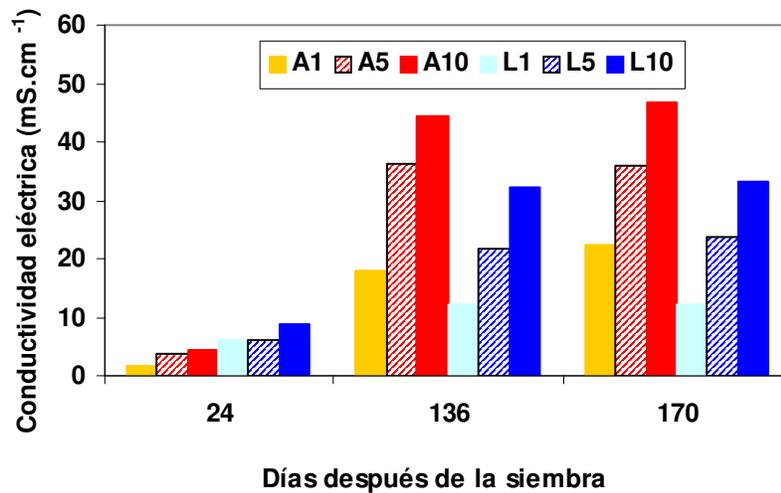


Figura 2. Variación de la Conductividad Eléctrica en el agua de drenaje por efecto del RAS del agua de riego en los suelos Aluvial (A) y Lacustrino (L), a lo largo del período de evaluación.

Cuadro 3. Prueba de medias para el pH y la conductividad eléctrica (CE) en el agua de drenaje de los tratamientos evaluados.

Fuente de Variación	pH			CE (mS cm ⁻¹)		
	Evaluaciones			Evaluaciones		
	1	2	3	1	2	3
SUELO	*	*	*	*	*	*
ALUVIAL	7,26 b ¹⁾	6,48 b	6,56 b	7,00 a	32,86 a	35,04 a
LACUSTRINO	7,68 a	7,73 a	7,43 a	3,21 b	21,95 b	23,00 b
RAS	ns	ns	ns	*	*	*
1	7,49 a	7,08 a	6,97 a	3,99 b	14,98 c	17,35 c
5	7,41 a	7,23 a	7,05 a	4,86 b	28,93 b	29,76 b
10	7,50 a	7,01 a	6,96 a	6,47 a	38,30 a	39,95 a

¹⁾ Letras diferentes en la misma columna indican diferencias significativas según la prueba de Duncan, a un nivel del probabilidad del 95 %.

ns Diferencias no significativas.

* Diferencias significativas a una probabilidad del 95 % (Duncan)

En las Figuras 3 y 4, se presentan los resultados de pH y conductividad eléctrica (CE) de los extractos de pasta saturada, en las muestras colectadas al final del ensayo. Las muestras corresponden a dos profundidades (0 a 10 y 10 a 20 cm). En relación con el pH, se observan valores más elevados en el suelo lacustrino cercanos a los que tenía el suelo antes del establecimiento del ensayo (Cuadro 1), para los tres tratamientos a ambas profundidades. En el suelo aluvial, el pH disminuyó ligeramente con relación a los valores iniciales a la profundidad de 0 a 10 cm en todos los tratamientos, pero a la profundidad de 10 a 20 cm se mantuvieron valores cercanos a los iniciales del suelo. Resultados similares fueron reportados por Villafañe (1988), cuando obtuvo una disminución del pH en los primeros 10 cm de profundidad, trabajando con columnas de un suelo salino sódico. Para la conductividad eléctrica (CE) en el extracto de pasta saturada, se produjo un aumento en todos los tratamientos por efecto del aumento del contenido de sodio en el agua de riego, más evidente en el suelo lacustrino, pero en el suelo aluvial se acumularon más sales a la profundidad de 10 a 20 cm, esto coincide con lo obtenido por Villafañe (1993), mientras que en el lacustrino la acumulación es similar a ambas profundidades. Esto significa que el suelo lacustrino retuvo más sales que el suelo aluvial. Los análisis estadísticos para detectar diferencias significativas entre los tratamientos en el suelo, se realizaron con los resultados de las suspensiones suelo:agua (1:2) realizados a todas las repeticiones. Aunque los valores absolutos son diferentes a los del extracto de pasta, las tendencias son similares. Para diferenciar los efectos del tipo de SUELO y RAS del agua de riego se realizó un análisis de varianza y prueba de medias conjunto que se presenta en el Cuadro 4. En el Cuadro se aprecian diferencias significativas entre los dos suelos tanto para el pH como la CE; pero en relación con el RAS del agua de riego, éste sólo tuvo efecto significativo en el pH, a la profundidad de 0 a 10 cm el suelo aluvial. Para la CE, el RAS tuvo efecto significativo a ambas profundidades.

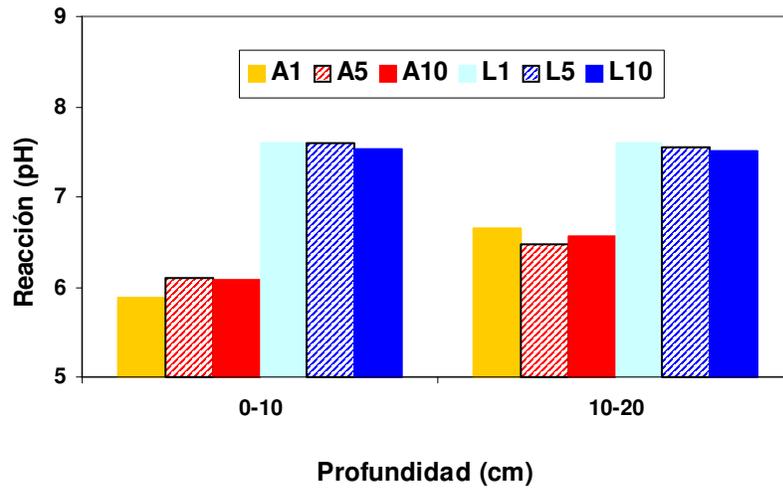


Figura 3. Variación del pH en los suelos Aluvial (A) y Lacustrino (L) por efecto del RAS del agua de riego, a las profundidades consideradas.

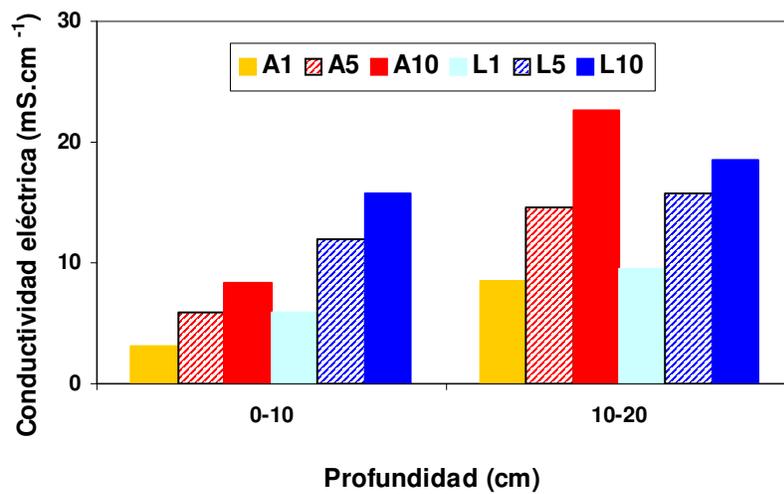


Figura 4. Variación de la Conductividad Eléctrica en los suelos Aluvial (A) y Lacustrino (L) por efecto del RAS del agua de riego, a las profundidades consideradas.

Cuadro 4. Prueba de medias para el pH y la conductividad eléctrica (CE) en el suelo, para los tratamientos evaluados.

Fuente de Variación	pH		CE (mS cm ⁻¹)	
	Profundidad (cm)		Profundidad (cm)	
	0 – 10	10 - 20	0 – 10	10 - 20
SUELO	*	*	*	*
ALUVIAL	6,14 b ¹⁾	5,77 b	1,11 b	2,77 b
LACUSTRINO	6,56 a	6,36 a	4,20 a	6,37 a
RAS	*	ns	*	*
1	6,15 b	6,01 a	1,38 c	2,54 c
5	6,36 ab	6,06 a	2,69 b	4,82 b
10	6,54 a	6,11 a	3,90 a	6,36 a

¹⁾ Letras diferentes en la misma columna indican diferencias significativas según la prueba de Duncan, a un nivel de probabilidad del 95 %.

ns Diferencias no significativas.

* Diferencias significativas a una probabilidad del 95 % (Duncan)

Contenido de sodio (Na⁺) y cloruro (Cl⁻) en las aguas de drenaje.

Como se aprecia en la figura 5, los contenidos de Na⁺ en aguas de drenaje muestran que, aun cuando el agua de riego presentaba cantidades crecientes de sodio para los diferentes RAS (RAS 1 = 1.75, RAS 5 = 11.82 y RAS 10 = 21.91 me/L), en la primera evaluación (24 días después de la siembra); los valores en el agua de drenaje son menores que los del agua de riego en todos los tratamientos, lo que indica cierta tendencia a acumularse el catión en el suelo.

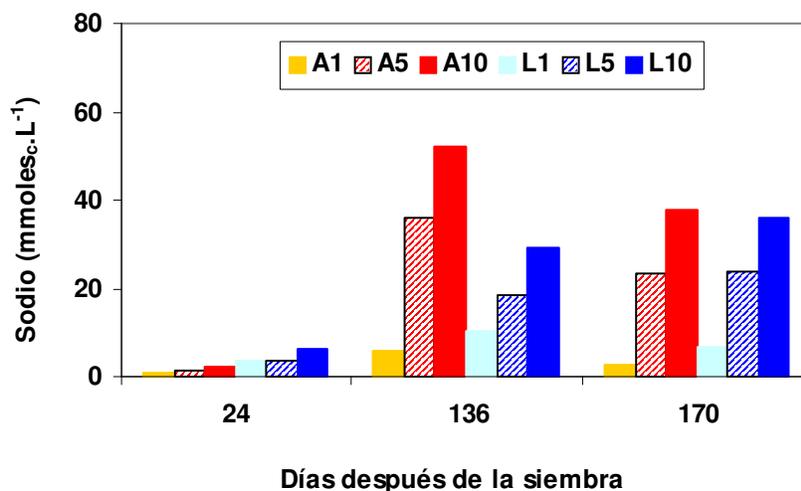


Figura 5. Contenido de Sodio en el agua de drenaje por efecto del RAS del agua de riego en los suelos Aluvial (A) y Lacustrino (L), a lo largo del período de evaluación.

En la segunda evaluación aumentan los valores producto de un lavado del sodio acumulado de los riegos previos, en mayor proporción para el suelo aluvial y disminuyendo posteriormente a valores alrededor del doble de la concentración de sodio del agua de riego en este suelo. Para el suelo lacustrino, el aumento fue progresivo en las tres evaluaciones y a mayor RAS en el agua de riego; consiguiéndose valores similares en ambos suelos en la última evaluación.

A lo largo de las tres evaluaciones para todos los tratamientos, la concentración de cloruro en el agua de drenaje tiende a aumentar (Figura 6), con mayores diferencias entre la primera y segunda evaluación, posiblemente debido al mayor lapso de tiempo entre las mismas (112 días) con relación a la segunda y tercera (34 días). En la tercera evaluación se alcanzaron valores entre 247,5 a 501 me/L en los tratamientos con el suelo aluvial y entre 96,15 a 304,76 me/L en los tratamientos con el suelo lacustrino. Al analizar la influencia del aumento de la proporción de sodio, se nota un incremento en la concentración de cloruro en el agua de drenaje al aumentar el RAS, en todas las evaluaciones y en ambos suelos. Esto era de esperarse debido a las diferencias en concentración de Cl^- de las aguas utilizadas para riego (RAS 1 = 11,6; RAS 5 = 27 y RAS 10 = 37,8 me/L). El aumento en la concentración de Cl^- en el agua de drenaje fue mayor en el suelo aluvial, esto refleja una mayor retención del anión en el suelo lacustrino en relación con el aluvial, posiblemente debido a la formación en el suelo Lacustrino de sales de Cl^- de menor solubilidad (cloruros de calcio o magnesio). En el Cuadro 5, se aprecian diferencias significativas entre los suelos para el ión cloruro en la segunda y tercera evaluación y para el ión sodio en la primera y segunda evaluación. Con relación a la proporción de sodio en el agua de riego (RAS), se presentaron diferencias significativas para los dos iones en todas las evaluaciones.

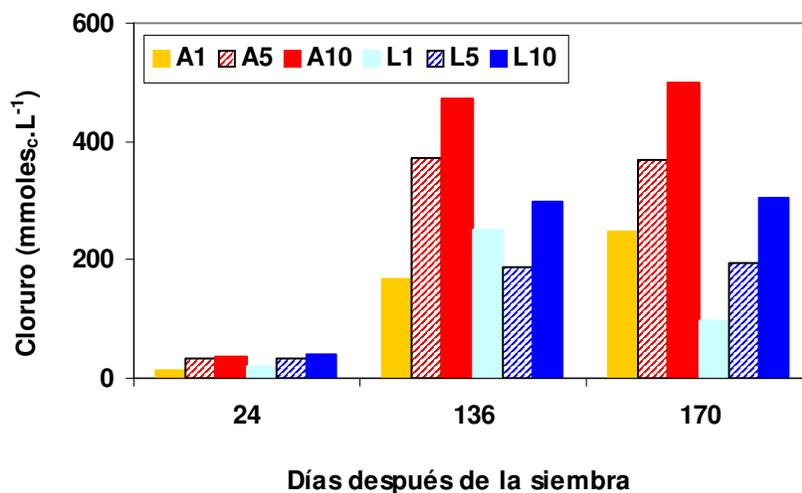


Figura 6. Contenido de Cloruro en el agua de drenaje por efecto del RAS del agua de riego en los suelos Aluvial (A) y Lacustrino (L), a lo largo del período de evaluación.

Cuadro 5. Prueba de medias para los contenidos de sodio (Na) y cloruro (Cl) en el agua de drenaje de los tratamientos evaluados.

Fuente de Variación	Na (mmoles _c .L ⁻¹)			Cl (mmoles _c .L ⁻¹)		
	Evaluaciones			Evaluaciones		
	1	2	3	1	2	3
SUELO	*	*	ns	Ns	*	*
ALUVIAL	1,42 b ¹⁾	31,40 a	21,28 a	27,72 a	337,95 a	372,60 a
LACUSTRINO	4,45 a	19,46 b	22,17 a	31,56 a	198,20 b	198,19 b
RAS	*	*	*	*	*	*
1	2,30 b	8,20 c	4,72 c	17,17 b	138,53 c	171,83 c
5	2,35 b	27,28 b	23,56 b	32,70 a	280,80 b	281,47 b
10	4,16 a	40,80 a	36,89 a	39,04 a	384,90 a	402,88 a

Letras diferentes en la misma columna indican diferencias significativas según la prueba de Duncan, a un nivel de probabilidad del 95 %.

Ns Diferencias no significativas.

* Diferencias significativas a una probabilidad del 95 % (Duncan)

Contenido de sodio (Na⁺) y cloruro (Cl⁻) en los suelos evaluados

En el comportamiento del catión Na⁺ en los suelos, se puede apreciar la mayor tendencia a acumularse el elemento a ambas profundidades en el suelo lacustrino, especialmente en L5 y L10; alcanzando valores entre 2,60 y 24,03 me/L en la profundidad de 0 a 10 cm y de 6,50 y 33,13 me/L en la profundidad de 10 a 20 cm (Figura 7); mientras que en el suelo aluvial, se acumuló en mayor proporción en la profundidad de 10 a 20 cm, alcanzando un valor máximo de 34,43 me/L en el tratamiento con RAS 10.

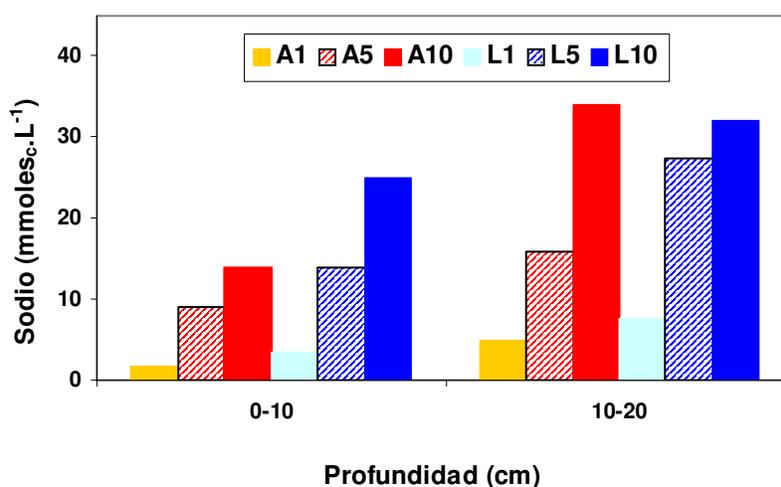


Figura 7. Contenido de Sodio (Na) en los suelos Aluvial (A) y Lacustrino (L) por efecto del RAS del agua de riego, a las profundidades consideradas.

Los valores del Na^+ en el agua de riego eran de 1,75; 11,82 y 21,91 me/L para las aguas de RAS 1, 5 y 10, respectivamente, por lo cual era de esperarse que en ambos suelos se produjese un aumento en la concentración de sodio por el aumento del RAS en los tratamientos; sin embargo, las diferencias en la retención del sodio entre ambos suelos pueden deberse a la composición química de los mismos, lo que produce para una misma concentración de sales en el agua un diferente balance de sales en el suelo.

Para el Cl^- , se observa que en el suelo lacustrino hay una mayor tendencia a su acumulación a ambas profundidades, mientras que en el suelo aluvial, los mayores contenidos se presentan a la profundidad de 10 a 20 cm (Figura 8).

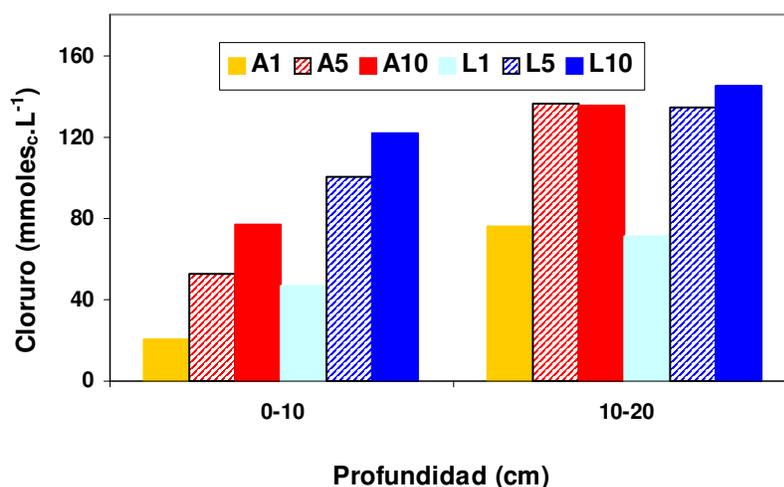


Figura 8. Contenido de Cloruro en los suelos Aluvial (A) y Lacustrino (L) por efecto del RAS del agua de riego, a las profundidades consideradas.

En la profundidad de 0 a 10 cm los valores de cloruro están entre 20,79 y 75,33 me/L en el suelo aluvial y en el lacustrino se encuentran entre 45,90 y 121,50 me/L; mientras que en la profundidad de 10 a 20 cm los valores varían entre 64 y 132 me/l para ambos suelos. Esto concuerda con lo explicado anteriormente con relación a la mayor concentración del ión en el agua de drenaje del suelo aluvial. El aporte de este anión por el agua de riego era de 11,6; 27,0 y 37,8 me/L para las aguas de RAS 1, 5 y 10, respectivamente; por lo que se esperaba un aumento del Cl^- en el suelo en la medida que se incrementó el RAS en los tratamientos.

En el Cuadro 6; se presentan las pruebas de medias para los iones Na^+ y Cl^- ; en el mismo se presentan diferencias significativas entre los dos suelos y los diferentes tratamientos de RAS, a las dos profundidades consideradas.

Efecto de la proporción de sodio en el agua de riego sobre las propiedades físicas de los suelos.

Las propiedades físicas dependen en gran medida del tipo de suelo, así como de la calidad del agua utilizada para el riego (Barzegar *et al*, 1994). En este experimento se trató de evaluar si la proporción de sodio en el agua de riego producía algún efecto detrimental sobre algunas propiedades físicas de los suelos. Los resultados se presentan en el Cuadro 7.

Cuadro 6. Prueba de medias para los contenidos de sodio (Na) y cloruro (Cl) en el suelo, para los tratamientos evaluados.

FUENTE DE VARIACIÓN	Na (mmoles _c L ⁻¹)		Cl (mmoles _c L ⁻¹)	
	Profundidad (cm)		Profundidad (cm)	
	0 – 10	10 – 20	0 – 10	10 – 20
SUELO	*	*	*	*
ALUVIAL	10,15 b ¹⁾	25,13 b	25,13 b	4,44 b
LACUSTRINO	28,58 a	33,86 a	33,86 a	7,14 a
RAS	*	*	*	*
1	6,61 c	6,91 c	6,91 c	1,70 c
5	17,27 b	29,30 b	29,30 b	6,46 b
10	34,23 a	49,29 a	49,29 a	9,22 a

Letras diferentes en la misma columna indican diferencias significativas según la prueba de Duncan, a un nivel del probabilidad del 95 %.

ns Diferencias no significativas.

* Diferencias significativas a una probabilidad del 95 % (Duncan)

Cuadro 7. Características físicas de los suelos en los tratamientos evaluados.

Tratamiento	Densidad aparente (Mg.m ⁻³)	Porosidad total (%)	Módulo de ruptura (kPa)	Conductividad hidráulica (mm.h ⁻¹)	Percolación (%)
A1	1,52	47,93	48,43	0,49	9,9
A5	1,49	46,29	49,59	0,16	12,6
A10	1,49	49,54	47,63	0,16	14,2
L1	0,94	63,52	36,66	0,59	20,5
L5	0,92	60,62	43,45	0,12	20,2
L10	0,97	64,88	43,25	0,18	24,8

A1: Suelo aluvial RAS 1; A5: Suelo aluvial RAS 5; A10: Suelo aluvial RAS 10; L1: Suelo lacustrino RAS 1; L5: Suelo lacustrino RAS 5; L10: Suelo lacustrino RAS 10.

Como se puede apreciar, la proporción de sodio en el agua de riego no tuvo efecto sobre la densidad aparente (Da) en ninguno de los dos suelos y el aumento de los valores con relación a los iniciales (aluvial = 1,24 Mg.m⁻³ y lacustrino = 0,88 Mg.m⁻³), se debe a una reconsolidación natural o asentamiento del suelo por efecto del riego. Sólo en el tratamiento L10, se produjo un valor ligeramente más alto en la Da. En relación con la porosidad total, ésta tampoco se afectó por la proporción de sodio en el agua de riego (RAS); se presentaron valores entre 46,29 y 49,54 % en el suelo aluvial y entre 60,62 y 64,88 % en el suelo lacustrino.

El módulo de ruptura (MR) presentó valores muy bajos, cercanos a 50 kPa, en todos los casos inferiores al valor de 300 kPa reportado por Pla (1983) como limitante para la penetración de raíces. Las diferencias en el MR están asociadas a las propiedades del suelo como textura, estructura y cohesión. El suelo lacustrino presenta condiciones de estructura y textura más favorables que el suelo lacustrino; sin embargo, esto no se refleja en los valores de módulo de ruptura, los cuales son muy similares entre ambos suelos y no presentan limitaciones para la penetración de las raíces (Pla, 1983). Los valores de conductividad hidráulica son muy bajos, según los límites señalados por Pla (1983), posiblemente debido a un efecto de sellado de las muestras a nivel de laboratorio; sin embargo, presentan una ligera tendencia a la disminución en la medida que aumenta el RAS en el agua de riego (Chirinos, 1999) desde 0,49 a 0,16 mm/h en el suelo aluvial y de 0,59 a 0,18 mm/h en el suelo lacustrino. Como se indicó anteriormente, en el último riego fuerte se midió la lámina de agua percolada como índice de la penetración de agua en los tratamientos. La lámina de agua aplicada a las columnas fue de 55,22 mm, la cual penetró en los suelos en un período variable de 24 a 48 horas; de esta lámina aplicada, en el Cuadro 7, se presentan los porcentajes de percolación los cuales varían entre 9,9 a 14,2 % en el suelo aluvial y de 20,2 a 24,8% en el lacustrino. Estos valores son similares dentro del mismo suelo, pero su tendencia es contraria a lo que refleja la conductividad hidráulica, ya que aumentó el porcentaje de agua infiltrada al aumentar el RAS en los tratamientos de ambos suelos. Esto puede deberse a una penetración desuniforme del agua en las columnas, por la presencia de grietas en los tratamientos donde se aplicó el agua de mayor RAS, lo que pudiera indicar un deterioro estructural.

Efecto de la proporción de sodio en el agua de riego sobre la acumulación de biomasa y contenido de nutrientes en el Pasto Bermuda

La producción de biomasa vegetal en cualquier suelo dependerá de las características tanto físicas como químicas que presente el mismo, y se sabe que dichas características son un fiel reflejo del tratamiento al que se le someta (Ayala, 1991). La calidad del agua utilizada para riego puede ser la diferencia entre un buen rendimiento y una pobre producción de biomasa. Observando los niveles de producción de biomasa a los 84 días después de la siembra, expresado en gramos (Cuadro 8), puede apreciarse cómo su producción declina en los tratamientos de ambos suelos conforme aumenta la concentración de Na^+ (RAS del agua de riego).

Las diferencias entre tratamientos de RAS, probablemente sean por efecto del sodio al cultivo ya sea por toxicidad o por efecto osmótico (Iglesias y Olivares, 1993). También se produjeron diferencias en el contenido de algunos nutrientes (K y Mg) en el tejido del Pasto Bermuda (*Cynodon dactylon*), entre los dos suelos evaluados. La mayor acumulación de biomasa se produjo en el suelo lacustrino (alrededor de 45 % más), posiblemente debido a una mayor fertilidad natural, lo que se evidencia en una mayor absorción de K y Mg por el cultivo en este suelo. Resumiendo, con el aumento del RAS en el agua de riego, se produce una ligera disminución de la biomasa acumulada en ambos suelos con el aumento del mismo (significativa para la biomasa húmeda); una disminución en la absorción de K y Ca y aumento en la absorción de Na (significativa para Ca). Los contenidos de N, P y Mg en el tejido, no se vieron mayormente afectados por el aumento de RAS en el agua de riego.

Cuadro 8. Análisis de tejido del pasto Bermuda (*Cynodon dactylon*), en cada uno de los tratamientos evaluados.

Tratamiento	Biomasa		N	P	K	Ca	Mg	Na
	(g MS) ¹⁾	(g MH) ²⁾						
A1	23,7	59,6	1,01	0,22	0,96	1,28	0,12	0,13
A5	22,4	53,3	1,04	0,19	0,89	1,06	0,09	0,18
A10	19,7	47,6	1,02	0,20	0,88	1,04	0,10	0,18
L1	32,7	85,1	1,11	0,21	1,32	1,21	0,13	0,17
L5	31,8	83,5	1,14	0,18	1,21	1,07	0,13	0,22
L10	31,1	75,4	1,03	0,18	1,05	1,05	0,13	0,26
Análisis de varianza								
SUELO	*	*	ns	ns	*	ns	*	ns
RAS	ns	*	ns	ns	ns	*	ns	ns

MS = Materia Seca en gramos por columna; MH = Materia Húmeda en gramos por columna; ns = Diferencias no significativas; * Diferencias significativas a una probabilidad del 95 % (Duncan).

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Los tratamientos produjeron diferencias estadísticas significativas ($p < 0,05$) en los parámetros evaluados, tanto los relacionados con el agua de drenaje (pH, CE, contenidos de Na^+ y Cl^-), como en las características de los suelos (pH, CE, contenidos de Na^+ y Cl^- , Da, Ksat, PT y MR). En el cultivo solo se produjeron diferencias estadísticas significativas ($p < 0,05$) en la biomasa acumulada y en la acumulación de K y Mg por efecto del tipo de suelo y de Ca por efecto del RAS del agua de riego.

No se produjeron grandes cambios en el pH del agua de drenaje o de los suelos por el aumento del contenido de sodio en el agua de riego, pero sí se produjeron cambios notables en la conductividad eléctrica lo que indica un proceso de acumulación de sales, más marcado en el suelo lacustrino.

Se produjo una mayor acumulación de iones a mayor profundidad en el suelo aluvial, mientras que en el lacustrino la distribución de sales fue más uniforme.

La acumulación de iones en los suelos fue proporcional al tiempo bajo riego con aguas salinas. La aplicación de aguas de diferentes RAS, produjo efectos significativos en la acumulación de biomasa húmeda, pero no en la absorción de nutrientes por parte del cultivo.

No se pudo evidenciar un efecto pronunciado de los tratamientos de RAS evaluados sobre las propiedades físicas de los suelos como densidad aparente, porosidad total y módulo de ruptura de los suelos, pero sí sobre la conductividad hidráulica de los mismos; aunque los valores son bastante bajos, posiblemente debido a la formación de sello a nivel de laboratorio.

Se produjo una ligera disminución en la biomasa acumulada de pasto Bermuda por efecto del aumento de la concentración de sodio en el agua de riego.

Para ensayos similares, se sugiere regar con más frecuencia para evitar el agrietamiento de los suelos dentro de las columnas, realizar evaluaciones de la biomasa del cultivo a diferentes épocas y realizar análisis de tejido a las muestras de planta para evaluar el efecto de los tratamientos sobre la absorción de nutrientes.

RECONOCIMIENTO

Los autores reconocen el apoyo otorgado por FUNDACITE Aragua a través del financiamiento del proyecto 1998-FCF-01-03-06-3 y al CDCH-UCV a través del proyecto PG-01-35-4479-1999.

LITERATURA CITADA

- AVISA.** 1996. Revista de la Asociación Venezolana de Ingeniería Sanitaria. pp 21-26.
- Ayala, M.** 1991. Estudio de la calidad del pasto Pangola (*Digitaria decumbens*) usado en la recuperación de un suelo salino – sódico. Tesis Ing. Agr. Maracay, UCV. Facultad de Agronomía. 69 p.
- Barzegar, A.; M. Oades; P. Rengasamy; L. Giles.** 1994. Effect of sodicity and salinity on disaggregation and tensile strength of on alfisol under different cropping systems. *Soil Till. Res.* 32 (4): 329-345.
- Cotugno, R.** 1996. El Lago de Valencia y su problemática. *Natura. Revista de divulgación científica de la Sociedad de Ciencias Naturales La Salle.* N° 106.
- Celis, V; A. Zinck; J. Pérez y J. Uzcátegui.** 1976. Estudio de suelos semidetallado de la Depresión del Lago de Valencia. Estados Aragua y Carabobo. Bloque de levantamiento N° 23. Palo Negro – Santa Cruz – Turagua (Edo. Aragua). Clasificación de tierras con fines de riego. Ministerio de Obras Públicas, Cagua. 245 p.
- Curtin, D.; F. Selles; H. Steppuhn.** 1995. Sodium-calcium exchange selectivity as influenced by soil properties and method of determination. *Soil Sci.* 159 (3): 176-184.
- Chirinos, I.** 1999. Variación de la conductividad hidráulica en suelos saturados en relación a la concentración de sodio presente en soluciones. *Rev. Fac. Agron.(LUZ).* 4 (16): 433-442.
- Domínguez, F.** 1971. El riego; su implantación y su técnica. Madrid, Dossat, S.A. 389 p.
- Fassbender, H.; E. Bornemisza.** 1987. Química de suelos. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura. San José, Costa Rica. 420 p.
- Fitzpatrick, R.; S. Boucher; R. Naidu.** 1994. Environmental consequences of soil sodicity. *Aust. J. Soil Res.* 32: 1069-93.
- Grassi, C.** 1988. Fundamentos de riego. Centro Interamericano de Desarrollo Integral de Aguas y Tierras (CIDIAT). Mérida, Venezuela. 409 p.
- Iglesias, R.; L. Olivares.** 1993. Recuperación de un suelo salino sódico utilizando yeso y dos fuentes de fosfoyeso y su incidencia sobre el desarrollo inicial de la yuca (*Manihot esculenta* Crantz), bajo condiciones controladas. Trabajo de Grado; Facultad de Agronomía, UCV, Maracay. 69 p.
- Medina, J.** 1988. Riego por goteo. Madrid, Mundi-Prensa. 256 p.
- Mogollón, L.; J. Comerma.** 1994. Suelos de Venezuela. Palmavén, filial de PDVSA. Gerencia Corporativa de Asuntos Públicos. Caracas. 313 p.
- Muhammed, S.; M. Akbar; H. Neue.** 1987. Effect of Na/Ca and Na/K ratios in saline culture solution on the growth and mineral nutrition of rice (*Oriza sativa* L). *Plant and Soil*, 104 (1):57-62
- Pla, I.** 1969. Metodología de laboratorio recomendada para el diagnóstico de salinidad y alcalinidad en suelos, aguas y plantas. Instituto de Edafología. Universidad Central de Venezuela. Maracay. 117 p.
- Pla, I.** 1983. Metodología para la caracterización física con fines de diagnóstico de problemas de manejo y conservación de suelos en condiciones tropicales. Alcance N° 32. Facultad de Agronomía. Universidad Central de Venezuela. Maracay. 93 p.
- Porta, J.; M. López-Acevedo; C. Roquero.** 1994. Edafología para la agricultura y el medio ambiente. Madrid, Mundi-Prensa. 807 p.
- SAS Institute Inc.** 1995. SAS Fundamentals: A programming approach course notes. Cary NC,. USA. 494 p.
- Thorne, D.; H. Peterson.** 1969. Técnicas de riego. México, Editorial Continental S.A. 496 p.

- UCV.** 1993. Métodos de análisis de suelos y plantas utilizados en el Laboratorio General del Instituto de Edafología. Cuadernos de Agronomía. Instituto de Edafología de la Facultad de Agronomía U.C.V. N° 6. 89 p.
- Villafañe, R.** 1988. Evaluación de cuatro gramíneas forrajeras como recuperadoras de un suelo salino-sódico. Tesis de Maestría en Ciencias del Suelo. Facultad de Agronomía. Universidad Central de Venezuela. 148 p.
- Villafañe, R.** 1993. Dinámica de las sales en un suelo arcilloso salino – sódico del sistema de riego Suata – Taiguaiguay, estado Aragua. Post – grado en Ciencia del Suelo (Tesis doctoral). Maracay, UCV. Facultad de Agronomía. 120 p.
- Villafañe, R.** 1997. Prácticas de riego con aguas residuales en la Cuenca del Lago de Valencia, Venezuela. Situación actual y perspectivas. En: Seminario sobre uso de aguas residuales para riego – Problemática del Valle del Mezquital, México. P. 145 – 155.
- Villafañe, R.** 1998. Diseño agronómico de riego. Universidad Central de Venezuela – Fundación Polar. 147 p.
- Zinck, A.; P. García; F. Ovalles.** 1979. Los suelos lacustrinos de la Depresión de Lago de Valencia. Caracterización y problemas de clasificación taxonómica. Boletín Técnico N° 5. SVCS. 22 p.