

CALIDAD DEL AGUA DE RIEGO Y AFECTACIÓN DE LOS SUELOS POR SALES EN LA PENÍNSULA DE PARAGUANÁ, VENEZUELA

WATER QUALITY AND ITS AFFECT SOILS BY SALTS IN THE PARAGUANÁ PENINSULA, VENEZUELA

Ana Fernández*, Roberto Villafañe** y Ruperto Hernández***

*Investigadora. Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas. Departamento de Producción Vegetal. Apdo. 4101. Coro, estado Falcón, Venezuela. **Profesor Titular. Universidad Central de Venezuela. Facultad de Agronomía. Instituto de Ingeniería Agrícola. Apdo. 4509. Maracay 2101, Estado Aragua. Venezuela. ***Profesor Agregado. Universidad Nacional Experimental Francisco de Miranda. Facultad de Agronomía. Apdo. 4101. Coro, estado Falcón, Venezuela.
Correo electrónico: afernandez@inia.gob.ve

RESUMEN

Se realizó una investigación diagnóstica en doce unidades de producción de la península de Paraguaná, estado Falcón, Venezuela, con el objetivo de relacionar la afectación de los suelos por sales con la condición de uso del suelo, la profundidad de muestreo, el porcentaje de humedad de la pasta (%H) y la calidad del agua de riego. Se colectaron muestras de agua y de suelo en tres condiciones de uso: vegetación nativa (VN), cultivo (C) y en descanso (D), a 20, 40 y 60 cm de profundidad. Con los datos de conductividad eléctrica del extracto de la pasta del suelo a 25 °C (CEe) se analizó el efecto de la condición de uso y la profundidad de muestreo, colocando en un cuadro de doble entrada el número de muestras con valores de salinidad igual o superior a 2 dS m⁻¹ en cada combinación de estas variables categóricas, encontrando en los suelos bajo cultivo el mayor número de muestras con salinidad igual o superior al valor preestablecido. El efecto del %H sobre la CEe se evaluó en un análisis de correlación, obteniéndose un valor bajo ($r = 0,426$ $P = 0,0000$). El efecto de la calidad del agua sobre la afectación de los suelos por sales se llevó a cabo con dos calificaciones predictivas: Ayers y Westcot (1985) y Villafañe (2011). Las aguas de riego califican con restricciones fuertes por salinidad. Las predicciones fueron acertadas, aunque los suelos mostraron valores de CEe y relación de adsorción de sodio, inferiores a los esperados; quizás por la textura, en su mayoría arenosa.

Palabras Clave: composición salina; condición de uso del suelo; conductividad eléctrica; relación de adsorción de sodio; textura del suelo.

SUMMARY

A diagnostic research was done to assess the relationship between the affectation of soils by salts and soil use, sample depth, saturated pasta percentage (H), and irrigation water quality. Samples of water and soil were collected from twelve farms in the Paraguaná Peninsula, north of Falcón state, Venezuela. Soil samples were taken under three soil use conditions: under native vegetation (VN), under cultivation (C) and fallow (D). Each of those samples were taken at three different depths: 0-20, 20-40 and 40-60 cm. Using data from the soil electrical conductivity of a saturation extract at 25 °C (ECe) the effects of soil use and sample depth were analyzed by placing in a table of double entrance the number of samples with $ECe \geq 2$ dS m⁻¹ in each combination of these categorical variables, finding that soils under cultivation (C) had the highest number of samples with $ECe \geq 2$ dS m⁻¹. The effect of the saturation percentage (H) was evaluated through a correlation between H and the ECe, obtaining low correlation ($r=0.426$ $P= 0.0000$). Ayers and Westcot (1985) and Villafañe (2011) procedures for assessing the effect of salts of irrigation water on soils (irrigation water quality) were used. Results indicated strong restrictions that may limit irrigation water utilization due the effect of NaCl of irrigation water on soil. Nevertheless, the sampled soils showed lower values of the ECe and sodium adsorption ratio which may be due to the sandy texture in most of sampled soils.

Key Words: saline composition; land use; soil texture; sodium adsorption ratio; soil electrical conductivity.

INTRODUCCIÓN

La península de Paraguaná estado Falcón, Venezuela, ha incrementado su superficie agrícola bajo riego en los últimos 20 años. Este incremento se debe a que en el año 1988 la zona fue declarada libre de la mosca de la fruta, permitiendo la producción de frutos como melón y patilla para la exportación hacia las Antillas y los Estados Unidos. Actualmente en los sistemas de producción se utiliza el riego por goteo con tecnología de acolchado, prevaleciendo la siembra de hortalizas como melón, patilla, pimentón y cebolla, con agua de riego subterránea pero sin previo análisis de suelo y agua. Sembrando dos ciclos al año y dejando en descanso (D) los suelos durante el período de lluvia, específicamente en los meses de septiembre a diciembre y la preparación de las tierras a partir de enero.

Los rendimientos de los cultivos han permitido que se incremente la actividad agrícola en la zona. El aumento de la superficie agrícola bajo riego y la escasez del recurso hídrico forzó la adopción de tecnologías de riego más eficientes, tales como la de goteo, pero el agua disponible, además de ser escasa es salina, lo que aumenta los riesgos de afectación de los suelos (Ayers y Westcot, 1985; Ragab *et al.*, 2008); de allí que la sustentabilidad de la agricultura en la zona dependerá necesariamente del manejo adecuado de los balances de agua y sales, para lo cual es necesario conocer las características de las aguas y los suelos, el manejo de los sistemas de producción y el comportamiento de la precipitación pluvial (Rhoades *et al.*, 1992; Villafañe y Pla, 1994).

La acumulación de sales en los suelos está determinada por el desbalance entre los aportes y las salidas en el perfil, influyendo en ello la composición y concentración iónica de las aguas de riego, las prácticas de fertilización y enmendado, la efectividad de las lluvias en el lavado, las propiedades hidráulicas del perfil y el manejo del riego (USSLS, 1954; Shalhevet, 1974; Pla, 1971; Rhoades, 1982; Ayers y Westcot, 1987; Villafañe, 1993). La calidad del agua de riego ha sido discutida en muchos trabajos (Ayers y Westcot, 1987; Rhoades, 1983; Pla, 1983; Shainberg y Letey, 1984; Villafañe, 1999). La calidad del agua para el riego no solo depende de su composición y concentración salina, también depende del tipo de suelo (textura y mineralogía) y del cultivo.

Existen diferentes interpretaciones para calificar las aguas de riego. Pla y Dappo (1974) proponen un modelo basado en un balance independiente de los iones más comunes en las aguas de riego y en la solución del suelo, de acuerdo

con la fracción efectiva de lavado y las solubilidades máximas de las sales bajo diferentes condiciones.

Ese sistema, al no asumir condiciones particulares para su uso, no tiene restricciones para el diagnóstico de problemas potenciales de salinización bajo las condiciones de clima, suelo, cultivos y manejo del riego. Ayers y Westcot (1987) sugieren unas directrices técnicas para interpretar la calidad de las aguas para el riego. Villafañe (2011) propone un procedimiento de evaluación basado en la magnitud del requerimiento de lavado (RL) y la cantidad de enmienda necesaria. La magnitud del requerimiento califica el riesgo de salinización y la cantidad de enmienda califica el riesgo de sodificación.

Se realizó este estudio con la finalidad de identificar la afectación de suelos regados con agua salinas, el diagnóstico efectuado en doce unidades de producción representativas de la península de Paraguaná para determinar la relación de la composición y concentración salina del agua de riego con las condiciones texturales del perfil, manejo del riego y manejo de los suelos.

MATERIALES Y MÉTODOS

Ubicación geográfica del estudio

El estudio se llevó a cabo en doce unidades de producción de la península de Paraguaná, localizadas en los municipios Falcón, Carirubana y Los Taques, donde están las zonas agrícolas más importantes de la península. El clima de la zona es semiárido con un promedio anual de precipitación entre 200 mm en Los Taques y 500 mm en los otros dos municipios.

Para la selección de las unidades de producción se tuvo el apoyo del personal de asistencia técnica de la Fundación Proparaguaná, utilizando como criterios de escogencia la presencia de suelos afectados por sales y el interés del agricultor en implementar correctivos. Antes de realizar los muestreos de agua y suelo se visitaron las unidades de producción para recopilar información sobre el tipo de manejo y observar señales de salinidad en los suelos.

Muestreo de agua y suelo

Las muestras de agua se tomaron en la descarga de los pozos operativos y en lagunas cuando éstas almacenaban tanto agua subterránea como superficial o cuando eran abastecidas por más de un pozo (Figura y Cuadro 1).



FIGURA. Ubicación de las unidades de producción muestreadas (península de Paraguaná, estado Falcón, Venezuela).

CUADRO 1. Coordenadas geográficas (UTM) de los sitios de muestreo de agua.

Nº	Unidad de producción	Fuente de agua	Profundidad de la bomba (m)	Cota terreno (m)	Coordenada Norte	Coordenada Este
1	Santa Bárbara	Subterránea	36	60	1336826	393424
2	San Eugenio	Subterránea	50	25	1334232	397156
3	Terranova	Subterránea	53	30	1333163	397103
4	Cooperativa Cuabana	Subterránea	85	106	1319947	397744
5	El Yesal	Subterránea	84	79	1309706	392214
6	El sueño de mi padre	Subterránea	82	82	1309406	392058
7	Las 5 PM	Subterránea	88	78	1308980	390628
8	La Encantada	Subterránea	89	57	1309244	389468
9	La Productiva	Subterránea	60	60	1302864	400216
10	El Labrador	Mezcla (Laguna)	50	46	1301999	399713
11	Angola	Subterránea	18	16	1298162	376051
12	La Providencia	Subterránea	18	17	1297634	376547

El muestreo de suelo se realizó en tres sitios de cada unidad de producción según las siguientes condiciones de uso del suelo:

- Suelo con vegetación nativa (VN)
- Suelo con cultivo (C)
- Suelo en descanso (D)

Las muestras de suelo se tomaron con barreno y palín según la condición textural y estructural del suelo, manifiestas en el comportamiento del mismo durante el proceso de muestreo.

En cada sitio de muestreo se tomaron muestras a tres profundidades (0-20, 20-40 y 40-60 cm), obteniéndose submuestras por profundidad, que conformaron nueve muestras compuestas representativas por cada unidad de producción. Los mismos fueron georeferenciados y los criterios utilizados para definir las profundidades de muestreo fueron los siguientes:

- La labranza generalmente afecta los primeros 20 cm.
- Las raíces de los cultivos hortícolas que se siembran en la zona pueden llegar hasta los 40 cm.
- Si el riego es suficiente, las sales pueden acumularse entre los 40 y 60 cm.

Para los suelos en descanso que no tenían tiempo suficiente en dicha condición, se tomaron las muestras en el mes de enero de 2009.

Las primeras ocho unidades de producción se localizaron en el municipio Falcón, la unidad nueve y diez en el municipio Carirubana y las dos últimas en el municipio Los Taques.

Sistemas de producción

Los productores realizan dos siembras de hortalizas al año, una en febrero para cosechar en mayo y otra en mayo para cosechar en agosto. Después de la segunda cosecha, se establece o no un cultivo de secano (maíz o sorgo), dejando luego los suelos en descanso durante dos años para que se recuperen de manera natural con la lluvia.

En el Cuadro 2 se indican los cultivos hortícolas que se manejan con riego de alta frecuencia tipo goteo. Estos riegos se realizaron de manera diaria o interdiaria con un tiempo de riego de una a dos horas.

Todos los productores utilizan la técnica del fertirriego contemplada en los programas de fertilización en la aplicación de calcio y microelementos, además de los macroelementos nitrógeno, fósforo y potasio.

De las doce unidades de producción incluidas en el estudio, diez tenían melón al momento del muestreo y dos (unidades de producción sexta y octava) estaban cultivadas con cebolla. Aunque el melón tiene un nivel umbral de salinidad menor al de la cebolla, su rendimiento decae menos con el aumento de la salinidad en el suelo.

CUADRO 2. Cultivos utilizados en la península de Paraguaná y su tolerancia a la salinidad según Ayers y Westcot (1985).

Cultivo	Comportamiento ante la salinidad del suelo	
	Nivel umbral (dS m ⁻¹)	Decaimiento del rendimiento relativo (%) por unidad de incremento de la salinidad
Sorgo (<i>Sorghum</i> spp.)	6,8	16
Calabacín (<i>Cucurbita pepo</i> L.)	4,9	10,5
Tomate (<i>Lycopersicon esculentum</i> L.)	2,5	9,9
Pepino (<i>Cucumis sativus</i> L.)	2,5	13
Maíz (<i>Zea mays</i> L.)	1,7	11,9
Pimentón (<i>Capsicum annuum</i> L.)	1,5	14
Melón (<i>Cucumis melo</i> L.)	1,0	8,4
Cebolla (<i>Allium cepa</i> L.)	1,2	16
Patilla (<i>Citrullus lanatus</i> L.)	Sensible	-

Por esta razón, para el cálculo de los requerimientos de lavado se consideró como salinidad límite del suelo superficial el valor de conductividad eléctrica que permite el 80% del rendimiento máximo del cultivo, resultando 3,4 dS m⁻¹ para los suelos con melón y 2,5 dS m⁻¹ para los suelos con cebolla.

Procesamiento de las muestras de agua y de suelo

Las muestras de agua y de suelo fueron procesadas y analizadas en el Laboratorio de Suelos y Aguas del Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas (INIA-CENIAP), determinando la conductividad eléctrica y los iones Ca²⁺, Mg²⁺, Na⁺, K⁺, CO₃⁼, HCO₃⁼, Cl⁻ y SO₄⁼ en las aguas y en los extractos de pastas de suelo saturado. El pH se midió con potenciómetro y la conductividad eléctrica con conductímetro, expresando esta última dS m⁻¹ a 25 °C. En las muestras de suelo el pH fue medido en la pasta. Los cationes Ca²⁺, Mg²⁺, Na⁺ y K⁺ se midieron con un equipo de absorción atómica marca Perkin Elmer 1300.

Los aniones CO₃⁼ y HCO₃⁼, se determinaron por titulación utilizando como reactivo ácido sulfúrico 0,01 N, alcanzando los puntos de titulación con un potenciómetro; el Cl⁻ se calculó por titulación utilizando como reactivo titulante nitrato de plata y como indicador cromato de potasio, y el SO₄⁼ se midió en un Spectronic marca Génesis UV, utilizando cloruro de bario como reactivo y una solución ácida acondicionadora contentiva de glicerina para estabilizar la suspensión de sulfato de bario producto de la reacción. En general se siguieron los protocolos sugeridos por United States Salinity Laboratory Staff (USSLS, 1954) y Pla (1969), con las adaptaciones descritas en este párrafo.

Adicionalmente, se evaluó la textura para definir el coeficiente de eficiencia de lavado de sales (Villafañe, 2011); en este caso el método empleado fue el de sedimentación, utilizando un hidrómetro Bouyoucos.

Interpretación de la información

Con los valores de salinidad del suelo medidos en términos de la conductividad eléctrica del extracto a 25 °C (CEe) se elaboró un cuadro de doble entrada considerando la condición de uso del suelo y la profundidad de muestreo, para visualizar el efecto de estas variables categóricas en el comportamiento de la CEe. A los efectos se consideró como muestra salina toda aquella que mostrara un valor de CEe igual o superior a 2 dS m⁻¹, valor reconocido como suelo salino desde el punto de vista agronómico (USSLS, 1954; Abrol *et al.*, 1988; Schleiff, 2006).

Con los valores porcentuales de arena, limo y arcilla se determinó para cada muestra de suelo el índice textural (IT) ideado por Sillanpää (1982):

$$IT = 1,0 * (\% \text{fracción arcilla}) + 0,3 * (\% \text{fracción limo}) + 0,1 (\% \text{fracción arena})$$

Para sopesar el efecto del porcentaje de saturación de la pasta (H) en el proceso de acumulación de sales se corrió la prueba de correlación de Pearson entre CEe y H. Esta correlación se llevó a cabo debido a la relación que existe entre el porcentaje de saturación de la pasta y la capacidad de retención de agua del suelo (USSLS, 1954).

La calidad de las aguas de riego y su efecto sobre los suelos se analizó utilizando como guías las directrices de Ayers y Westcot (1985) y el programa Sosalriego (Villafañe, 2011). Para la calificación por salinidad se utilizó Ayers y Westcot (1985) por ser adecuada para las condiciones árida y semiárida del lugar y a Villafañe (2011) porque aporta valores de requerimiento de lavado (RL), calculados con información textural del suelo como índice de la eficiencia de lavado, tolerancia del cultivo a las sales y magnitud de la precipitación pluvial.

En cuanto a los riesgos de sodificación del suelo por el agua de riego, en las muestras de agua se determinaron los índices de sodicidad RASr (USSLS, 1954) y RASmod (Villafañe, 2011), equivalente este último a la RASo (Suárez, 1981), mientras que con los valores de Na⁺, Ca²⁺ y Mg²⁺ del extracto de la pasta del suelo saturado se determinó la relación de adsorción de sodio del suelo (RASe) para contrastarlo con la CEe.

De esta manera se evaluó la afectación por sodio, utilizando la propuesta de Villafañe (2011) derivada de valores indicados en las directrices técnicas sugeridas por Ayers y Westcot (1985):

$$\text{Si } RASe > 8,689 * CEe - 4,134 \text{ hay posibilidades de dispersión del suelo por sodio}$$

Valores de RASe por encima de lo indicado en la ecuación anterior se consideran valores de riesgo.

Análisis estadísticos

Con los valores de CEe se realizó un análisis de varianza utilizando un diseño factorial condición* profundidad*CER*IT, para precisar la influencia de tales factores y algunas de sus interacciones en la magnitud de la salinidad en el suelo, complementando con un análisis de regresión múltiple entre la CEe y las variables CER e IT.

Con las fracciones texturales y la humedad de la pasta también se realizaron análisis de regresión múltiple, utilizando el procedimiento de descarte de variables (stepwise).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Salinidad del suelo

Se puede deducir que el perfil más afectado por sales en cada unidad de producción no es el suelo cultivado o en descanso, y no siempre la salinidad es mayor en la superficie de los suelos cultivados y en el fondo de los suelos en descanso (Cuadro 3).

Por otra parte, los suelos de las unidades de producción tres y cinco presentan una salinidad inferior a la del agua de riego (Cuadro 6) en las tres condiciones de uso y la unidad de producción cuatro es la única que presenta una salinidad inferior a 2 dS m^{-1} en el perfil bajo cultivo a pesar de ser regada con un agua de riego algo salina. Posiblemente los productores de estas tres unidades de producción (tres, cuatro y cinco) utilizan otra fuente de agua menos salina no reportada y/o sus suelos, por ser muy arenosos (Cuadro 5), retienen poca agua y en consecuencia pocas sales.

La salinidad encontrada en los dos primeros estratos de los suelos bajo cultivo resultó inferior a los niveles pre-establecidos para los cultivos cebolla y melón ($2,5$ y $3,4 \text{ dS m}^{-1}$, respectivamente), excepto en la unidad de producción seis con cebolla, así como las unidades de producción nueve y once con melón.

Del mismo modo, se visualiza que la mayoría de las muestras colectadas en los suelos bajo cultivo (Cuadro 4) son salinas ($\geq 2 \text{ dS m}^{-1}$) en las tres profundidades seguidas de las muestras de los suelos bajo descanso, evidenciando la incidencia del manejo bajo riego en el proceso de salinización.

La afectación por sales en suelos con vegetación nativa de las unidades de producción cuatro, siete, ocho, nueve, diez y once (50% de las unidades de producción muestreadas) pudiendo ser salinos por su condición natural, previsible en un ambiente semiárido y cercano al mar.

Salinidad, textura y retención de agua en la pasta

Las texturas arenosas dominan en las unidades de producción del municipio Falcón y las franco arcillo

arenosas en los otros dos municipios (Cuadro 5). No siempre la textura más pesada está asociada al suelo más salino pero sí a los mayores porcentajes de humedad de la pasta.

La correlación encontrada entre el grado de salinidad de las muestras y el porcentaje de humedad de la pasta (H) resultó baja ($r= 0,426$ $p= 0,0000$) y cuando la correlación se hizo considerando sólo las muestras de los suelos bajo cultivo el coeficiente fue aún menor. La diferencia de salinidad de las aguas de riego puede estar incidiendo en estos resultados, además que la textura es una propiedad del suelo que interviene en la retención de humedad.

En términos generales valores de IT inferiores a 20 corresponden a suelos arenosos o areno-francos; valores entre 20 y 30 corresponden a suelos franco-arenosos, valores entre 30 y 40 corresponde a suelos francos a franco-arcillo-limosos, valores entre 40 y 50 corresponden a suelos franco-arcillosos o arcillo-arenosos y valores mayores de 50 corresponden a suelos arcillosos.

La mayoría de las muestras resultaron de textura franco-arenosa. Los suelos de las unidades de producción nueve, diez y once resultaron ser los más arcillosos en todas las condiciones de uso, mientras que las unidades de producción uno, dos, tres, cuatro, cinco y ocho presentaron las texturas más gruesas (Cuadro 5). Como la textura y en consecuencia el IT permite predecir la capacidad de retención de agua y por lo tanto la posibilidad de acumulación de sales, el análisis de regresión múltiple entre la CEe y las variables independientes CEr e IT corroboró alta significación para la variable IT ($P=0,0000$), arrojando la siguiente ecuación de predicción con un $R^2 = 0,23$:

$$CEe = 0,085*IT + 0,383$$

Cuando se extrajo del análisis la unidad de producción tres por presentar una salinidad muy alta en el agua pero muy baja en los suelos, la regresión múltiple resultó altamente significativa ($P < 0,0000$) para ambas variables, arrojando una ecuación de predicción con un $R^2 = 0,37$:

$$CEe = 0,079*IT + 1,442*CEr - 3,909$$

Es decir, ambas variables contribuyen con la salinización del suelo, pero debido al valor bajo de R^2 , otras variables, tales como la salinidad inicial del suelo, la intensidad del riego, el grado de lixiviación con el agua de riego y el tiempo bajo cultivo, entre otras, pudieran también contribuir en el proceso.

CUADRO 3. Conductividad eléctrica del extracto (CEe) y porcentaje de saturación de la pasta (H).

Unidad de producción y cultivo	Profundidad (cm)	(CEe (dS m ⁻¹))			H (%)		
		VN	C	D	VN	C	D
1 (melón)	0-20	1,2	2,9	0,8	25,44	22,82	22,70
	20-40	0,9	3,1	0,5	22,97	22,82	22,70
	40-60	0,8	3,4	0,5	22,84	22,82	22,70
2 (melón)	0-20	0,6	3,1	2,1	24,74	28,28	25,28
	20-40	1,6	2,9	0,9	21,61	25,28	23,25
	40-60	1,8	2,7	0,5	21,47	24,78	21,45
3 (melón)	0-20	0,6	3,0	0,8	33,59	30,91	25,40
	20-40	0,4	2,2	0,5	32,08	31,53	23,25
	40-60	0,4	2,1	0,5	31,11	31,12	26,05
4 (melón)	0-20	5,8	1,9	4,0	34,19	26,88	27,67
	20-40	4,3	1,8	3,7	32,24	25,28	25,24
	40-60	3,7	1,8	3,2	28,18	22,98	24,74
5 (melón)	0-20	1,6	2,7	0,8	31,23	29,58	29,31
	20-40	1,5	2,6	0,6	30,12	28,47	28,18
	40-60	1,4	2,3	0,9	30,29	25,44	26,09
6 (cebolla)	0-20	1,3	4,0	3,1	37,32	34,85	34,45
	20-40	1,4	3,9	3,2	36,59	38,93	35,15
	40-60	1,5	12,4	3,3	38,21	35,61	33,59
7 (melón)	0-20	2,3	2,5	4,1	33,40	37,65	37,65
	20-40	2,2	2,4	4,2	34,14	38,12	38,42
	40-60	2,1	2,8	3,9	35,65	36,42	36,12
8 (cebolla)	0-20	5,4	2,8	3,7	36,93	32,20	35,40
	20-40	4,9	2,9	3,4	35,75	33,64	38,22
	40-60	4,1	2,6	3,8	37,25	31,40	36,12
9 (melón)	0-20	3,2	6,4	5,4	34,75	44,91	53,72
	20-40	5,8	8,8	5,1	36,55	36,43	50,12
	40-60	7,9	8,2	4,8	38,42	38,26	48,43
10 (melón)	0-20	3,2	2,3	6,2	34,75	29,18	31,46
	20-40	5,8	2,3	6,9	36,55	29,48	32,20
	40-60	7,9	2,4	6,8	38,42	34,22	33,40
11 (melón)	0-20	1,9	3,6	4,5	42,38	44,72	42,10
	20-40	1,9	3,8	4,1	38,42	43,23	42,16
	40-60	1,7	3,8	3,9	39,18	46,13	39,65
12 (melón)	0-20	5,2	2,1	2,0	51,15	44,89	46,63
	20-40	5,2	2,0	1,9	53,62	42,18	45,43
	40-60	4,9	1,9	1,8	50,96	46,72	46,23

CUADRO 4. Número de muestras de suelo con salinidad igual o superior a 2 dS m⁻¹ en el extracto de la pasta.

Profundidad de muestreo (cm)	Condición de uso		
	Vegetación nativa	Cultivado	En descanso
0 -20	6 (50)	11 (92)	9 (75)
20 – 40	6 (50)	11 (92)	7 (58)
40 – 60	6 (50)	10 (83)	7 (58)

()Porcentaje dentro de cada combinación
Condición de Uso-Profundidad

CUADRO 5. Textura de cada muestra.

Unidad de producción	Profundidad	Textura		
		VN	C	D
1	0-20	aF	a	a
	20-40	aF	aF	aF
	40-60	aF	aF	aF
2	0-20	aF	Fa	Fa
	20-40	a	Fa	aF
	40-60	a	FAL	a
3	0-20	Fa	aF	Fa
	20-40	FAL	Fa	Fa
	40-60	Fa	Fa	aF
4	0-20	Fa	Fa	Fa
	20-40	Fa	Fa	aF
	40-60	Fa	Fa	Fa
5	0-20	Fa	Fa	Fa
	20-40	Fa	Fa	aF
	40-60	Fa	Fa	Fa
6	0-20	Fa	Fa	F
	20-40	FAL	FAL	FAL
	40-60	FAL	FAL	FA
7	0-20	Fa	FAL	Fa
	20-40	Fa	FAL	FAL
	40-60	Fa	FAL	FAL

.../... continúa CUADRO 5

../... continuación CUADRO 5

Unidad de producción	Profundidad	Textura		
		VN	C	D
8	0-20	Fa	Fa	Fa
	20-40	Fa	Fa	Fa
	40-60	Fa	Fa	Fa
9	0-20	FAL	FA	FAL
	20-40	FAL	FA	FA
	40-60	FAL	FA	A
10	0-20	FAL	FA	Aa
	20-40	FAL	FAL	FAL
	40-60	FAL	Aa	FAL
11	0-20	Aa	A	A
	20-40	FA	Aa	A
	40-60	FAL	A	A
12	0-20	FA	FAL	Fa
	20-40	FAL	F	FAL
	40-60	FAL	FAL	FAL

Arenoso (a), areno francoso (aF), franco arenoso (Fa), franco arcilloso (FA), franco arcillo limoso (FAL), arcilloso (A), arcillo arenoso (Aa).

Calidad del agua y afectación del suelo

En el Cuadro 6 puede observarse que dentro de las sales de baja solubilidad, el $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ está presente en todas las aguas, mientras que el $\text{Mg}(\text{HCO}_3)_2$ está presente donde no lo está el CaSO_4 . Dentro de las sales altamente solubles, el NaCl domina sobre el MgSO_4 y el MgCl_2 . Esto puede conducir a un proceso de concentración de las sales de cloruro de sodio y de magnesio y de sulfato de magnesio, limitando el aumento de la RASe.

Particularmente, el agua de la unidad de producción diez presenta un pH superior a 8,2, pero como se puede observar, la misma no contiene sales de sodio de hidrólisis alcalina.

- Las cotas de terreno y la profundidad de instalación de las bombas (Cuadro 1) hacen presumir influencia del mar en la salinidad de algunas aguas, pero la posición de la bomba respecto al nivel del mar no guarda relación con la posible intrusión salina. Los niveles de bombeo (información no disponible) habrían arrojado mejor información sobre la posible intrusión salina; sin embargo, las sales más solubles presentes en las

aguas de riego son las más abundantes en el agua de mar (NaCl , MgCl_2 y MgSO_4), por lo que se puede presumir que la salinidad encontrada en los suelos es menor a la esperada, posiblemente por la práctica de descanso que realizan los productores y favorecida en muchos casos por la alta permeabilidad y baja retención de agua de los suelos.

En todos los casos la conductividad eléctrica de las aguas (CEr) supera los $0,7 \text{ dS m}^{-1}$, lo que demuestra riesgo de salinización de los suelos según las directrices de Ayers y Westcot (1985). Las aguas menos salinas corresponden a los pozos de las unidades de producción once y doce que son los predios topográficamente más bajos y tienen una CEr de $2,3 \text{ dS m}^{-1}$.

Los valores de requerimiento de lavado (RL) calculados con los valores esperados de CEe para un 80% del rendimiento del cultivo (melón o cebolla según el caso), indican alto a muy alto riesgo de salinización según la propuesta de Villafañe (2011); alto para las aguas de las unidades de producción uno, dos, cuatro y cinco y muy alto para el resto.

CUADRO 6. Composición salina de las aguas y requerimientos de lavado (RL) para reducir la acumulación de sales en el suelo.

Variables	Unidad	Unidades de producción											
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
pH		7,8	7,6	7,9	7,8	8,1	7,7	8,1	8,1	7,8	8,9	7,9	7,5
CEr	dS m ⁻¹	2,7	2,9	6,8	3,4	3,3	3,5	3,6	3,3	4,3	3,7	2,3	2,3
CaCO ₃	mmol _c l ⁻¹	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,8	0	0
Ca(HCO ₃) ₂	mmol _c l ⁻¹	2,8	6,2	2,6	7,2	7,2	7,2	7,4	7,8	2,1	5,9	3,6	2,1
Mg(HCO ₃) ₂	mmol _c l ⁻¹	5,0	1,8	0	0	0,1	0	0	0,4	0	2,2	2,5	4,8
CaSO ₄	mmol _c l ⁻¹	0	0	8,0	0,3	0	0,7	0,5	0	1,7	0	0	0
MgSO ₄	mmol _c l ⁻¹	2,6	1,5	3,1	2,0	4,1	2,9	4,1	3,7	1,8	2,4	1,7	1,3
NaCl	mmol _c l ⁻¹	16,4	15,5	42,6	16,5	15,7	19,5	18,9	16,7	20,9	15,7	12,7	10,8
MgCl ₂	mmol _c l ⁻¹	0,6	4,3	12,1	6,9	6,6	2,6	3,2	2,5	12,8	8,0	2,9	2,4
RL		0,3	0,3	0,7	0,3	0,3	0,5	0,4	0,4	0,6	0,5	0,4	0,4

Por la magnitud de la CEr y de acuerdo las directrices de la FAO, todas las aguas presentan restricciones severas, excepto las de las unidades de producción uno, dos, once y doce, por tener una CEr < 3 dS m⁻¹. Es de hacer notar que los suelos de las unidades de producción once y doce son franco limosos o franco arcillo limosos con cierta restricción en el drenaje interno y están en la zona de la península con menor precipitación pluvial, aspectos que pueden favorecer el proceso de salinización.

Los sistemas de calificación aun cuando coinciden en el diagnóstico con lo encontrado en los suelos, subestiman el proceso de salinización. Por otra parte y de acuerdo con la información reportada por los productores sobre el comportamiento de las cosechas anteriores y las condiciones observadas en los cultivos durante los muestreos de agua y suelo, las plantas manifiestan crecimiento retardado y en algunos casos algunas quemaduras en el borde de las hojas, lo cual es explicable en suelos con más sales por litro de agua útil.

Entre las sales menos solubles, el Mg(HCO₃)₂ está ausente en la mayoría de las muestras de suelo, independientemente de la condición de uso, mientras que el CaSO₄ no está presente en la mayoría de las muestras de agua; aunque se aprecia su presencia en el suelo. Entre

las sales solubles la predominante es el NaCl, seguido del MgCl₂ o del CaCl₂, esta última sal no presente en las aguas pero posibilidad de formarse según la dinámica geoquímica en el suelo, pudiéndose atribuir que esto es debido a que los cloruros y los sulfatos son las sales más frecuentes y las más comunes en suelos cercanos a la costa o al mar. Sólo en las unidades de producción uno, tres, cuatro, cinco, diez y doce, se detectó la presencia de MgSO₄ (Cuadro 7).

En los suelos predominan las sales de cloruro al igual que en las aguas de riego, bajo los tres tipos de uso (VN, C y D). Sin embargo, en los suelos con cultivos es donde los valores altos de NaCl se presentan de manera más generalizada.

Los valores de la RASe están por debajo de los valores de riesgo si se asocian a los valores de CEe, con excepción de algunas muestras en la unidades de producción uno, dos, tres y cinco, donde los valores de CEe resultaron inferiores a 0,6 dS m⁻¹. En dichas muestras los problemas de dispersión por sodio no tendrían repercusión dada la textura arenosa de las mismas (Cuadro 8). Los suelos con vegetación nativa son los que muestran los valores menores de RASe exceptuando las unidades de producción nueve y diez.

CUADRO 7. Sales presentes en el estrato más salino de cada perfil.

Uso	Sales	Unidades de producción											
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
VN	Ca(HCO ₃) ₂	4,2	5,9	3,3	7,9	7,2	8,1	8,8	5,2	8,3	8,1	2,3	2,8
	Mg(HCO ₃) ₂	0	0	0	0,8	0	0	0	0	0	0	0	0
	CaSO ₄	2,3	1,4	0,4	10,8	0	1,2	2,9	10,0	6,9	6,7	2,3	4,7
	MgSO ₄	0	0	0,4	0	1,4	0	0	0	0	0	0	0
	NaCl	1,4	3,8	1,5	8,8	3,4	1,9	9,6	17,9	33,2	34,3	8,4	17,9
	MgCl ₂	0	2,2	0,5	12,9	0	0,7	0,2	5,9	18,4	17,9	2,4	8,5
	CaCl ₂	0	0	0	9,3	0	1,2	0	0	0	0	3,9	13,8
C	Ca(HCO ₃) ₂	2,7	4,3	2,0	7,1	3,7	8,2	3,7	5,6	9,9	3,1	6,7	3,7
	Mg(HCO ₃) ₂	0	0	2,5	0	0	0	0	0	0	1,2	0	0
	CaSO ₄	3,3	5,3	0	1,7	4,4	8,5	4,4	4,5	8,3	0	4,1	2,7
	MgSO ₄	1,2	0	1,3	0,3	0	0	0	0	0	2,5	0	0
	NaCl	18,2	13,5	13,4	5,2	13,5	56,1	13,5	13,1	36,3	14,4	15,9	8,9
	MgCl ₂	4,7	5,6	9,9	2,2	2,6	20,6	2,6	4,7	18,9	0,7	8,2	2,9
	CaCl ₂	0	0	0	0	0	26,2	2,3	0,2	0	0	2,9	1,1
D	Ca(HCO ₃) ₂	3,1	3,0	3,5	7,6	0,8	2,4	6,9	6,8	5,2	6,2	1,4	3,8
	Mg(HCO ₃) ₂	0,9	0	0,7	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	CaSO ₄	0	1,9	0	6,4	0,3	5,3	4,7	4,8	1,1	7,6	3,7	1,6
	MgSO ₄	0,6	0	0,9	0	1,0	0	0	0	0	0	0	0,4
	NaCl	2,9	8,6	1,5	13,2	5,9	14,5	17,9	14,8	26,9	33,2	17,9	10,9
	MgCl ₂	0	4,4	0	8,1	0	3,9	9,5	8,5	6,8	17,5	4,4	2,6
	CaCl ₂	0	0,5	0	2,2	0	4,5	0,5	1,4	0	1,7	16,1	0

CUADRO 8. Relación de adsorción de sodio del suelo (RASE) y relación de adsorción de sodio modificado del agua (RAS_{mod}).

Unidad de producción	Profundidad	RASE			RAS _{mod}
		VN	C	D	
1	0-20	1,8	7,7	2,5	7,9
	20-40	1,7	8,1	3,4	
	40-60	1,7	7,5	7,6	
2	0-20	2,4	4,9	3,5	6,9
	20-40	1,6	5,2	5,7	
	40-60	1,7	5,1	6,1	

./... continúa CUADRO 8

./... continuación CUADRO 8.

Unidad de producción	Profundidad	RAS _e			RAS _{mod}
		VN	C	D	
3	0-20	0,9	4,8	1,6	12,2
	20-40	0,8	4,4	4,6	
	40-60	0,8	3,5	1,9	
4	0-20	1,9	1,9	3,6	6,1
	20-40	0,9	2,0	3,4	
	40-60	0,7	2,0	3,4	
5	0-20	2,8	5,1	2,1	6,1
	20-40	3,0	5,4	3,6	
	40-60	2,4	5,9	5,7	
6	0-20	1,2	6,3	6,6	8,8
	20-40	0,9	4,2	6,7	
	40-60	0,8	9,9	5,1	
7	0-20	3,2	6,3	6,1	7,7
	20-40	3,7	4,4	5,5	
	40-60	4,9	5,1	4,2	
8	0-20	4,5	5,2	5,8	7,3
	20-40	4,1	4,7	6,5	
	40-60	5,5	5,9	4,5	
9	0-20	2,9	7,4	10,3	7,1
	20-40	6,1	8,4	10,1	
	40-60	8,1	9,1	4,1	
10	0-20	2,9	6,2	8,2	5,7
	20-40	6,1	5,9	7,9	
	40-60	8,1	7,4	7,9	
11	0-20	3,5	6,4	5,0	6,1
	20-40	1,6	4,8	5,5	
	40-60	1,9	3,7	4,7	
12	0-20	4,6	3,9	5,3	5,3
	20-40	4,4	2,9	1,9	
	40-60	4,1	2,0	2,0	

1= Santa Bárbara; 2= San Eugenio; 3= Terranova; 4= Coop. Cuabana; 5= El Yesal; 6= El Sueño de mi padre; 7= La 5 p.m.; 8= La Encantada; 9= La Productiva; 10= El Labrador; 11= Angola; 12= La Providencia.

VN: Suelo bajo vegetación natural; C: Suelo bajo cultivo; D: Suelo en descanso

La expectativa de que el valor de la RAS_e en el estrato superior de los suelos bajo cultivo fuera similar a la RAS_{mod} no se cumplió, posiblemente por la baja retención de agua de la mayoría de las muestras de suelo, el uso de fuentes de calcio en los programas de fertilización o el posible uso de otras fuentes de agua distintas a las evaluadas.

CONCLUSIONES

- Las aguas evaluadas presentan poco riesgo de sodificación de los suelos debido fundamentalmente a la ausencia de sales de sodio de hidrólisis alcalina. Los índices de sodicidad encontrados en los suelos coinciden con lo señalado.
- Aún cuando la mayoría de las aguas de riego evaluadas califican con restricciones fuertes por salinidad, no todos los suelos bajo cultivo presentan problemas severos. Sin embargo, en la mayoría de ellos la salinidad iguala o supera los 2 dS m⁻¹. Uno de los factores que puede estar enmascarando el problema de afectación es la retención excesiva de agua en las pastas de suelos arenosos que disuelve aun más las pocas sales acumuladas.
- El uso de riego localizado de alta frecuencia está contribuyendo a sobrellevar la agricultura en la zona con aguas salinas, creándose un medio menos salino para las plantas, pero con las aguas muy salinas esta técnica no debe rendir los mismos beneficios.

BIBLIOGRAFÍA

- Abrol, I., J. Yadav and F. Massoud. 1988. Salt-affected soils and their management. FAO. Soil Bulletin 39. Rome, Italy.
- Ayers, R. and D. Westcot. 1985. Water quality for agriculture. FAO. Irrigation and Drainage Paper 29. Rev. 1. Rome, Italy.
- Chhabra, R. 1996. Soil salinity and water quality. A. A. Balbema Publishers. Broofield, USA.
- Pla, I. 1969. Metodología de laboratorio recomendada para el diagnóstico de salinidad y alcalinidad de suelo, aguas y plantas. Instituto de Edafología. Facultad de Agronomía. Universidad Central de Venezuela. Maracay, Venezuela.
- Ragab, A., F. Hellal and M. Abd El-Hady. 2008. Water salinity impacts on some soil properties and nutrients uptake by wheat plants in sandy and calcareous soil. Australian Journal of Basic and Applied Sciences 2:225-233.
- Rhoades, J., A. Kandiah and A. Mashali. 1992. The use of saline waters for crop production. FAO. Irrigation and Drainage Paper 48. Rome, Italy.
- Schleiff, U. 2006. Research for crop salt tolerance under brackish irrigation. In: Proceedings of the International Conference Soil and Desertification – Integrated Research for the Sustainable Management of Soil in Drylands. 5-6 May. Hamburg, Germany. 8 p.
- Suárez, D. 1981. Relation between pH_c and sodium adsorption ratio (SAR) and an alternative method of estimating SAR of soil and drainage waters. Soil Sci. Soc. Am. J. 45:469-475.
- United States Salinity Laboratory Staff (USSLS). 1954. Diagnosis and Improvement of saline and alkali soils. Agriculture Handbook 60. Washington D.C., USA.
- Van der Zee, S., S. Shah, C. Van Uffelem, P. Raats and N. Dal Ferro. 2010. Soil sodicity as result of periodical drought. Agricultural Water Management 97:41-49.
- Villafañe, R. 2011. Sosalriego: Un procedimiento para diagnosticar los riesgos de sodificación y salinización del suelo con el agua de riego. Bioagro 23:57-64.
- Villafañe, R. e I. Pla. 1994. Efecto del riego y la lluvia sobre el desplazamiento vertical de sales en un suelo arcilloso de Venezuela. Agronomía Trop. 44:707-729.