

## **INFLUENCIA DE LAS AGUAS DE RIEGO EN LOS PROCESOS DE SALINIZACIÓN Y SODIFICACIÓN DE SUELOS EN CULTIVOS DE PLÁTANOS Y TOMATES (I. CANARIAS)**

Gladys E. VARGAS CHAVEZ y Antonio RODRIGUEZ RODRIGUEZ

Dpto. Edafología y Geología, Fac. Biología, Avda. Astrofísico Francisco Sánchez s/n, Universidad de La Laguna, 38204 La Laguna, Tenerife, I.Canarias

**RESUMEN.** En este trabajo se hace un análisis de la salinidad y sodicidad de los suelos dedicados al cultivo de plátanos y tomates en las Islas Canarias, en relación con las características agronómicas del agua de riego.

Los mayores problemas de salinidad y sodicidad aparecen en los suelos cultivados con tomate, cultivo tolerante a la salinidad en algunas de sus etapas vegetativas y que se riegan con aguas de peor calidad que las utilizadas en platanera.

El uso de aguas de galería (bicarbonatadas sódicas) en el cultivo de plátanos y de aguas de pozos (cloruradas sódicas) en el de tomates, puede explicar en parte, las diferencias observadas en la composición de la solución de los suelos de ambos cultivos. Otras diferencias observadas en la concentración salina entre ambos suelos, parece tener su origen en una fertilización excesiva e irracional en el caso de los cultivos de platanera.

## **INTRODUCCION**

La salinización y sodificación de los suelos de regadío constituyen unos de los procesos de degradación química del suelo que en mayor medida han contribuido y contribuyen a la desertificación de amplias zonas del territorio.

La aridez climática y la baja capacidad de infiltración de los suelos no hacen sino acelerar los procesos que en los últimos tiempos se han visto agravados por la introducción de riegos localizados de alta frecuencia, que mantienen la solución edáfica diluida, permitiendo así obtener notables producciones, pero sin eliminar las sales o el sodio del suelo y llevando así a una salinización oculta a medio-largo plazo de los

suelos cultivados (Vargas et al.,1991; Vargas et al.,1993; Rodríguez Rodríguez et al.,1993; Jiménez et al.,1998).

Esta problemática es más grave si cabe en el caso de los agrosistemas insulares, que como los dedicados a cultivos de exportación (plátanos, tomates) se caracterizan por una elevada fragilidad ecológica, económica y social, donde la política de subvenciones establecida induce a la obtención de altas producciones al coste que sea, con masiva utilización de tecnología, agroquímicos y riego, con la consiguiente presión y deterioro de los factores de producción, principalmente agua y suelo.

En este sentido, el principal objetivo de este trabajo es el establecer en qué medida, tanto cuantitativa como cualitativamente está influyendo la calidad del agua de riego en la degradación de los suelos por procesos de salinización y sodificación.

## **MATERIAL Y MÉTODOS**

Se ha analizado el horizonte superficial (los primeros 30 cm) del suelo y las aguas de riego, en un total de 58 fincas dedicadas a los cultivos más importantes de exportación en Canarias, 47 de ellas destinadas al cultivo de platanera, y el resto al cultivo de tomates. La solución edáfica se ha estudiado en el extracto de pasta saturada (Richards, 1954), determinando el pH, la conductividad eléctrica a 25°C ( $CE_{es}$ ), los cationes y aniones solubles, la relación de adsorción de sodio (SAR) y el porcentaje de sodio intercambiable calculado a partir del SAR de la solución del suelo con la siguiente fórmula y según el USSL Staff(1954):

$$PSIc (\%) = 100 (-0.0126 + 0.01475 SAR) / [ 1 + (-0.0126 + 0.01475 SAR)]$$

El sodio y el potasio se determinaron por fotometría de llama de emisión y el calcio y el magnesio por espectrofotometría de absorción atómica en presencia de concentraciones de lantano (0,1-1 %) para evitar posibles interferencias de sílice, aluminio, fosfatos y sulfatos.

Los aniones solubles se determinaron mediante el siguiente procedimiento: cloruros por el método de Mohr utilizando como disolución valorante  $AgNO_3$  (0,05 N) y  $KCrO_4$  al 5 % como indicador, carbonatos y bicarbonatos por valoración potenciométrica con HCl en un valorador METTLER DL25 Titrator, sulfatos mediante turbidimetría con  $BaCl_2$  (Black et al., 1965) y nitratos por colorimetría con brucina en medio sulfúrico (Standard Methods, 1975).

En las aguas de riego se determinaron las mismas variables que en el extracto saturado (excepto el PSIc) y se utilizaron los mismos métodos que para la solución edáfica.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En las [tablas 1](#) y [2](#) se presentan los resultados analíticos de los parámetros más relevante de la solución edáfica (extracto de saturación) en ambos tipos de cultivo. El pH del suelo gira en torno a la neutralidad en ambos casos, mientras que la  $CE_{es}$  es ligeramente superior en los suelos de tomate que en los de platanera, aunque ambos tipos de suelos pueden clasificarse como medianamente salinos y el test de la U de Mann-Whitney no revela diferencias significativas en los valores de la conductividad eléctrica de la solución.

Hemos de tener en cuenta que la platanera es un cultivo muy sensible a la salinidad y se recomienda su cultivo en suelos con valores de  $CE_{es}$  inferiores a 2 dS/m y en ningún caso superiores a 6 dS/m (Delvaux, 1996), mientras que el cultivo de tomate es más tolerante, aunque Maas y Hoffman (1977), Maas (1984) y FAO (1985) recomiendan para este cultivo valores de  $CE_{es}$  inferiores a 2,5 dS/m.

En nuestro caso hemos encontrado que el 25% de los suelos de platanera analizados presentan  $CE_{es}$  por encima de 6 dS/m, y el 81% de los mismos, valores superiores a 2 dS/m. Para el caso del tomate el 91% de los suelos presentan conductividades superiores a 2,5 dS/m y el valor medio encontrado de 6,0 dS/m puede suponer una disminución de productividad entre el 25 y el 50 %.

Con respecto al  $PSI_c$ , se puede observar como los tomates se cultivan en suelos con valores de  $PSI_c$  más altos (suelos ligeramente sódicos) que los de platanera (suelos no sódicos)([Tablas 1](#) y [2](#)), no obstante no se han encontrado diferencias estadísticamente significativas entre ellos.

Al igual que para el caso de la salinidad, la platanera se considera como un cultivo sensible al sodio de cambio y puede presentar toxicidad por este elemento cuando se encuentra en la solución edáfica, recomendándose en los suelos de platanera un  $PSI$  inferior al 4 % y en ningún caso superior al 12 % (Delvaux, 1996). Para el caso del tomate, algunos autores (Bernstein, 1974) sostienen que es un cultivo tolerante que puede soportar tasas de sodio cambiable entre el 40 y el 60%; sin embargo estudios más recientes demuestran que valores de  $PSI$  en el suelo superiores al 9% producen una disminución del crecimiento (tasa de elongación y engrosamiento) de las plantas de tomate.

En el estudio realizado por nosotros, hemos encontrado que el 56% de los suelos de platanera analizados presentan  $PSI$  superiores al 4% y un 7% valores por encima del 12%. Para el caso del tomate, el 40% de los suelos presentan porcentajes de sodio cambiable superiores al 9%.

Los iones predominantes en la solución de ambos tipos de suelos son muy similares, predominando los sulfatos y el sodio, y en menor medida nitratos (platanera), cloruros (tomate) y calcio. Si se aplica un test estadístico comparativo ([Tabla 3](#)) a la composición iónica de la solución edáfica de ambos cultivos, aparecen diferencias significativas en la concentración de bicarbonatos, cloruros, sodio y potasio, ya que los suelos de platanera tienen concentraciones de bicarbonatos y potasio significativamente superiores a aquellos de tomate y éstos, concentraciones de cloruros y sodio estadísticamente más altas que en la solución edáfica de platanera, lo cual se debe, como indicaremos posteriormente, al uso de aguas de riego de diferente calidad.

El agua de riego empleada en el cultivo de tomate presenta un valor medio de conductividad eléctrica estadísticamente superior al de las aguas empleadas en el riego de platanera ( $U=4,03$ ,  $p<0,001$ ) ([Tabla 4](#)), lo cual indica que los valores más altos de salinidad encontrados en los suelos de tomate tienen su origen, al menos en parte, en el agua de riego.

Igualmente el valor del  $SAR_{ajustado}$  de las aguas de riego empleadas en tomates es significativamente mayor que el del agua utilizada en platanera ( $U=2,94$ ,  $p<0,003$ ) ([Tabla 5](#)), lo cual también explica el mayor contenido en sodio cambiante en los suelos donde se cultiva el tomate.

En la [Tabla 6](#) se presenta el análisis de la composición iónica media de las aguas con las que se riegan las fincas de plataneras y de tomates, donde podemos ver que las primeras son bicarbonatadas sódicas, mientras que las segundas son cloruradas sódicas. Esta composición media diferencial entre los dos tipos de aguas, puede explicar las diferencias observadas en la composición iónica de la solución del suelo en ambos tipos de cultivos, en cuanto a bicarbonatos, sodio y cloruros ([Tabla 3](#)).

Sin embargo, el mayor contenido en potasio y sulfatos encontrados en los suelos cultivados con platanera, parece no tener su origen en la calidad del agua de riego y sí en un uso intensivo de fertilizantes tales como la potasa ( $K_2SO_4$ ), ya que la fertilización potásica es una de las de mayor importancia en el cultivo de platanera, dados los efectos beneficiosos de este elemento en el llenado del fruto y en la calidad del mismo.

Para el caso de los suelos de tomate, la solución edáfica es también sulfatada ([Tabla 2](#)), debido en parte al elevado contenido en sulfatos de las aguas de riego ([Tabla 6](#)) y en parte también a un uso excesivo de plaguicidas azufrados. Concentraciones altas de nitratos aparecen en la solución del suelo en ambos cultivos y sobre todo en platanera (en ambos casos en concentraciones superiores a las necesidades de la planta), lo cual se debe también a un uso excesivo de fertilizantes nitrogenados en el cultivo, destacando en este sentido que Canarias es una de las regiones españolas con mayor consumo de agroquímicos y que ya ha sido señalado el uso intensivo e indiscriminado de fertilizantes, como uno de los principales factores responsables de la degradación química que sufren los suelos y acuíferos de las islas (Rodríguez Rodríguez et al., 1991; Aguilera et al., 1994).

El agua de riego y los fertilizantes son imprescindibles en una agricultura moderna y productiva como fuentes de nutrientes al suelo agrícola, pero para evitar procesos de degradación en los mismos, es necesario racionalizar el uso de agroquímicos y un adecuado manejo de los sistemas de riego, ya que ha sido demostrada a esta respecto la mayor eficiencia de unos sistemas de riego sobre otros (Vargas et al., 1991 y 1996; Rodríguez Rodríguez et al., 1993; Jiménez et al., 1998).

## CONCLUSIONES

Se observa pues un comienzo de degradación de la calidad de los suelos agrícolas por procesos de salinización y sodificación, que tiene su origen mayormente en la calidad del agua utilizada para el riego, aunque también en parte en el uso intensivo de agroquímicos.

El 80% de los suelos utilizados para el cultivo de la platanera y el 90% de aquellos cultivados con tomate, presentan una salinidad superior al máximo recomendado y esto se debe a la salinidad superior que presentan las aguas con las que se riegan los cultivos de tomate.

Igualmente se observa que el 56% de los suelos de platanera y el 40% de los cultivados con tomate, presentan un contenido en sodio cambiante superior al máximo recomendado, encontrándose que los valores elevados de SAR en el agua de riego, constituyen un factor importante del proceso de sodificación de los principales suelos agrícolas de Canarias.

Los suelos dedicados a platanera tienen concentraciones de bicarbonatos y potasio solubles significativamente superiores a los tomates, y los suelos de tomates presentan concentraciones de sodio y cloruros estadísticamente más altas que los de platanera.

La composición iónica media de las aguas dedicadas al cultivo de platanera es bicarbonatada sódica y la de las aguas de tomates, clorurada sódica. El aporte de bicarbonatos, cloruros y sodio por las aguas de riego parece ser el responsable de las diferencias observadas en la composición de la solución del suelo entre los dos cultivos.

Sin embargo, las concentraciones elevadas, en la solución del suelo, de potasio, sulfatos y nitratos tienen su origen en la fertilización excesiva (fertilizantes nítricos y  $K_2SO_4$ ) y en el uso de plaguicidas azufrados.

## REFERENCIAS

Aguilera Klink, F., Brito Hernández, A., Castilla Gutiérrez, C., Díaz Hernández, A., Fernández-Palacios, J.M., Rodríguez Rodríguez, A., Sabaté Bel, F. y Sánchez García, J. (1994). Canarias. Economía, Ecología y Medio ambiente. F. Lemus, ed. 361 p.

Bernstein, L. (1974). Crop growth and salinity. En: J. van Schilfgaarde, ed. Drainage for agriculture. Agronomy. 17,39-54.

Black, C.A., Evans, D.D., White, J.L., Ensminger, L.E. y Clark, F.E. (1965). Methods of soil analysis. Amer. Soc. of Agronomy. 11, 1108-1110.

Delvaux, B. (1996). Soils. En: Bananas and Plantains. S. Gowen, ed. Chapman & Hall. 230-257.

FAO. (1985). Water quality for agriculture. R.S. Ayers y D.W. Wescot, ed. Irrigation and Drainage. Paper nº 29 Rev 1. FAO, Rome.

Jiménez Mendoza, C.C.; Rodríguez Rodríguez, A. and Vargas Chavez, G.E. (1998). Influence of irrigation systems on the salinity and sodium content of agricultural soils in the Canary Islands. 16º World Congress of Soil Science. Montpellier. 7 p.

Maas, E.V. (1984). Salt tolerance of plants. En: Handbook of plant science in agriculture. B.R. Christie, ed. CRC Press. Boca Raton. Florida.

Maas, E.V. y Hoffman, G.J. (1977). Crop salt tolerance. J. Irrig. Drain. Div. Proc. Am. Soc. Civil Eng. 103,115-134.

Richards, L.A. (Ed.)(1954). Diagnosis and improvement of saline and alkali soils. U.S. Salinity Laboratory Staff. USDA Handbook 60. 160 p.

Rodríguez Rodríguez, A., González Soto, M.C., Hernández Hernández, L.A., Jiménez Mendoza, C.C., Ortega González, M.J., Padrón Padrón, P.A., Torres Cabrera, J.M., Vargas Chávez, G.E. (1991). Un programa de Investigación sobre la degradación de suelos y su incidencia en los procesos de desertificación en Canarias. Comunicaciones de XVIII Reunión Nacional de Suelos. Tenerife. 415-423.

Rodríguez Rodríguez, A., González Soto, M.C., Hernández Hernández, L.A., Jiménez Mendoza, C.C., Ortega González, M.J., Padrón Padrón, P.A., Torres Cabrera, J.M., Vargas Chávez, G.E. (1993). Assessment of soil degradation in the Canary Island (Spain). Land Degradation & Rehabilitation. 4,11-20.

Standard Methods. (1975). 14ª ed. 427.

Vargas Chavez, G.E., González Soto, M.C., Hernández Hernández, L.A., Jiménez Mendoza, C.C., Ortega González, M.J., Padrón Padrón, P.A., Rodríguez Rodríguez, A.,

Torres Cabrera, J.M. (1991). Salinización inducida en la agricultura canaria. Comunicaciones de XVIII Reunión Nacional de Suelos. Tenerife. 441-458.

Vargas Chavez, G.E., González, M.C., Jiménez, C.C. y Rodríguez Rodríguez, A. (1993). Desertificación agrícola en las Islas Canarias. Degradación de suelos por salinización. En El Estudio del Suelo y de su Degradación en relación con la Desertificación (J. Gallardo Ed.) 1439-1446, MAPA, Madrid

Vargas Chávez, G.E., Jiménez Mendoza, C.C., Rodríguez Rodríguez, A. (1996). Degradación de suelos por salinización en la agricultura. Revista Canarias Agraria y Pesquera de la Consejería de Agricultura, Pesca y Alimentación del Gobierno de Canarias. 33,50-52.

## Figuras y Tablas.

Tabla 1  
Análisis de la solución edáfica en suelos de platanera

Variable	Nº	Media	Mediana	DS	Mín	Máx
pH	47	7,5	7,7	0,7	5,3	8,5
CE <sub>es</sub> (dS/m)	47	4,8	3,7	3,4	1,2	16,1
Ca <sup>2+</sup> (meq/l)	41	17,9	15,4	12,5	3,1	68,7
Mg <sup>2+</sup> (meq/l)	41	15,5	10,4	13,4	2,9	71,8
K <sup>+</sup> (meq/l)	41	7,0	4,1	11,6	0,3	73,9
Na <sup>+</sup> (meq/l)	41	18,3	12,2	15,7	2,7	71,2
Cl <sup>-</sup> (meq/l)	41	9,8	5,0	11,0	1,3	51,5
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> (meq/l)	41	28,1	20,3	20,1	3,0	78,5
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (meq/l)	41	7,4	6,0	4,5	1,5	22,2
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (meq/l)	41	16,3	8,3	21,9	0,0	90,7
SAR (meq/l) <sup>0,5</sup>	41	4,9	3,9	4,0	0,9	22,0
PSIc (%)	41	5,4	4,3	4,8	0,0	23,8

Nº Número de muestras DS Desviación estándar Mín Mínimo Máx Máximo

**Tabla 2**  
**Análisis de la solución edáfica en suelos de tomate**

Variable	Nº	Media	Mediana	DS	Mín	Máx
pH	11	7,7	7,7	0,2	7,3	8,0
CE <sub>es</sub> (dS/m)	11	6,0	6,1	2,7	1,3	10,1
Ca <sup>2+</sup> (meq/l)	10	20,6	14,4	14,3	2,6	46,3
Mg <sup>2+</sup> (meq/l)	10	15,1	12,7	9,1	2,9	29,6
K <sup>+</sup> (meq/l)	10	2,8	1,9	2,7	0,4	9,1
Na <sup>+</sup> (meq/l)	10	30,8	26,9	18,7	6,1	63,0
Cl <sup>-</sup> (meq/l)	10	24,0	21,8	18,6	1,7	48,0
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> (meq/l)	10	34,2	36,0	11,1	20,2	49,0
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (meq/l)	10	4,0	4,3	1,1	1,5	5,3
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (meq/l)	10	11,3	9,9	7,8	0,8	28,3
SAR (meq/l) <sup>0,5</sup>	10	9,0	5,4	6,8	1,7	19,3
PSIc (%)	10	11,5	12,1	8,0	1,3	21,4

Nº Número de muestras DS Desviación estándar Mín Mínimo Máx Máximo

**Tabla 3**  
**Comparación de la concentración iónica entre la solución edáfica de ambos tipos de suelos (Test de la U de Mann-Whitney)**

PLATANERA			
Bicarbonatos	Sodio	Cloruros	Potasio
U = 2,47 p = 0,014	U = 2,19 p = 0,028	U = 2,08 p = 0,038	U = 1,95 p = 0,050
Bicarbonatos	Sodio	Cloruros	Potasio
TOMATES			

U Estadístico del test p Nivel de significación

Tabla 4  
Análisis de la CE (m S/cm) de las aguas de riego

	Nº	Media	Mediana	DS	Mín	Máx
Platanera	53	797	713	471	74	2780
Tomates	20	2255	1636	2021	492	8390

Nº Número de muestras DS Desviación estándar Mín Mínimo Máx Máximo

Tabla 5  
Análisis del SAR<sub>ajustado</sub> de las aguas de riego

	Nº	Media	Mediana	DS	Mín	Máx
Platanera	53	3,4	3,0	1,8	1,0	10,1
Tomates	20	6,7	4,7	6,1	0,2	26,2

Nº Número de muestras DS Desviación estándar Mín Mínimo Máx Máximo

Tabla 6  
Composición iónica media de las aguas de riego (meq/l)

	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	K <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup>	Cl <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>
Platanera	1,3	2,4	0,4	4,4	1,9	1,5	3,7	1,2	0,3
Tomates	2,1	6,3	0,7	15,4	10,6	6,4	4,8	3,0	0,4