

INFLUENCIA CUALITATIVA DEL RIEGO CON AGUAS SUBTERRÁNEAS EN SUELOS CON PRODUCCIONES INTENSIVAS A CAMPO Y EN INVERNÁCULOS.

Margarita M. Alconada¹ ; Juan C. Zembo² & Natalia Mórtola³

Resumen - Se analizó la relación entre calidad del agua subterránea para riego, sistema productivo y suelos *Argiudoles vérticos* y *Haplacuert ácuicos*, mediante el estudio del deterioro físico-químico de suelos dedicados a la producción intensiva, a campo y bajo coberturas plásticas. La ineficiencia en el uso de los recursos suelo-agua agudiza las problemáticas naturales del área. La horticultura protegida y a campo presenta disminuciones en sus rendimientos de hasta un 50% asociado al incremento en la salinidad y alcalinidad de los suelos. La magnitud y tiempos en que estos procesos ocurren dependen de la calidad de agua, suelo y el sistema productivo utilizado. Se estableció la eficacia de diferentes criterios de evaluación de calidad de agua en la predicción de los procesos de degradación de suelos. Clasificaciones de calidad de uso frecuente alertan sobre el peligro de salinización pero no detectan el riesgo por alcalinización, siendo este el que condiciona la sustentabilidad productiva hortícola. Otros criterios menos difundidos se ajustaron mejor. La correcta evaluación cualitativa del agua subterránea, permite establecer las prácticas de manejo que contribuyen a disminuir el deterioro que indefectiblemente se produce en los suelos con la incorporación del riego.

Palabras claves - Salinización – alcalinización - cultivos protegidos - calidad agua subterránea - riego

¹ Edafología, Fac. Cs Ags y Fs. UNLP y CISAUA, MAA-UNLP. calle 3 N° 584(1900). La Plata. Argentina. TE/Fax: (54)(221)4229923. E-mail: mmam@impsat1.com.ar

² Horticultura, Fac. Cs Ags y Fs. UNLP. INTA UEEA Gran Bs.As . Calle 60 s/N* y 119. (1900) La Plata. Argentina. E-mail : zembo@inta.gov.com

³ - Edafología, Fac. Cs Ags y Fs. UNLP. Calle 60 s/N* y 119. (1900) La Plata. Argentina.

INTRODUCCIÓN

El Cordón Hortícola Metropolitano de la Ciudad de Buenos Aires (Argentina) que abastece de productos para consumo fresco a aproximadamente un tercio de la población del país, involucra 15 distritos y cubre un total 18.000 ha con cultivos intensivos. El de La Plata, es el que más hectáreas dedica a aquellos cultivos (12,6% de la producción hortícola provincial). La producción a campo es la que prevalece siendo creciente el transpaso de algunos cultivos a sistemas bajo coberturas plásticas. América del Sur dedica 12.451,71 ha a cultivos protegidos (Zembo, inéd.).

No obstante las indudables ventajas que estos esquemas productivos intensivos tienen en áreas cercanas a los principales centros de consumo, el sector atraviesa una importante crisis económica, financiera y productiva. Los aspectos productivos derivan con frecuencia de problemáticas relacionadas con el manejo de aguas, suelo y cultivo.

El manejo de los suelos y del cultivo así como la evaluación de la aptitud de las aguas subterráneas para riego, no consideran en la mayoría de los casos las particularidades naturales de la región, tomándose como base la información proveniente de otros sitios del mundo con características muy diferentes a las del área de estudio. La consecuencia final es una agudización de la problemática ambiental, productiva y financiera, asociado a las degradaciones se realiza un creciente uso de agroquímicos.

La agricultura con riego conduce a la salinización y alcalinización secundaria de los suelos. En cada sitio su manifestación será diferente en función de las características del complejo suelo-agua-cultivo-manejo (Pla Sentís, 1993). Este proceso degradativo de los suelos conduce a una drástica disminución de su permeabilidad, favoreciendo la aparición de enfermedades y desequilibrios nutricionales (Aragues, 1986; Amma, 1994; Alconada, 1996).

Específicamente en la región de La Plata, luego de cortos tiempos con cultivos intensivos los suelos manifiestan degradaciones de tipo físicas, fisico-químicas, químicas y biológicas que conducen a una drástica disminución de los rendimientos y calidad de las cosechas. La salinización-alcalinización secundaria y el agravamiento del drenaje de los suelos, se constituyen en el principal factor limitante en la región (González y Amma, 1976; Mendía, 1981; Alconada, 1996).

Como consecuencia de esta degradación se incrementa el uso de pesticidas hasta cinco veces respecto a la situación inicial, y el uso creciente de fertilizantes conduce a casos de manifiesta hiperfertilización (Alconada et al. 1999). Así, por ejemplo en algunos

sitios de la región el consumo de fertilizantes y correctores de la alcalinidad del agua, llega a implicar costos de hasta U\$S10.000/ha de cultivo de tomate bajo cobertura para cubrir sólo aspectos relacionados con la nutrición.

Las características de los suelos donde se realizan cultivos protegidos (Giménez et al., 1992), con aguas subterráneas de baja a mala calidad para riego (Minghinelli, 1994) son determinantes principales de la magnitud de la salinidad y alcalinidad alcanzada en el sitio de estudio (Alconada et al. 1998).

En otros esquemas productivos, se indican degradaciones semejantes por la incorporación del riego (Lavado, 1996/97; Cerana, 1980). Con riego complementario en cultivos extensivos, Génova (1995) no encuentra degradaciones importantes. Por el contrario, Andriulo y Ferreyra (1997) alertan sobre el impacto negativo de este tipo de riego.

Pla Sentís (1993) estima que cerca de 25.000.000 ha se encuentran salinizadas por la introducción del riego. Así, procesos naturales de salinización se ven acelerados por cambios drásticos en el régimen hídrico. El problema de salinización se desarrolla progresivamente y con frecuencia sólo se hace visible cuando es difícil de revertir la situación. Cada año cerca de 1.500.000 ha de tierras irrigadas pierden entre 25-50 % su productividad debido a la salinidad, el 50 % de las tierras irrigadas en el mundo sufren pérdidas de productividad por procesos de salinización.

Este último autor señala también, que no son bien conocidas las pérdidas de productividad de los suelos en países en desarrollo por degradación, pero estima que la salinización secundaria por el riego se erige junto con el mal drenaje y problemas nutricionales entre las limitantes principales para América Latina y el Caribe, siendo América la principal reserva de tierras en el mundo. Sin embargo, los ecosistemas son frágiles.

Oster (1994), señaló para Canadá que las tierras con riego en 1985 sufrieron pérdidas de 50u\$/ha en pasturas, llegando a 3000 u\$/ha en cultivos hortícolas, esta pérdida de productividad fue atribuida a la pérdida de infiltración y permeabilidad de los suelos luego de varios años con riego.

Puede afirmarse entonces, que los problemas que afectan a los suelos de invernáculo presentan analogías con los que ocurren en la agricultura a campo. Sin embargo, la velocidad con que estos procesos se producen se ven acelerados en sistemas intensivos.

El objetivo del presente trabajo fue establecer las relaciones entre degradación físico-química de los suelos con producciones intensivas a campo y en invernáculo, y la

calidad del agua subterránea de riego (proveniente de un acuífero semiconfinado), evaluada según diferentes criterios a fin de establecer la aptitud de las mismas en la predicción de esta degradación.

MATERIALES Y METODOS

Suelos estudiados: *Argiudol vértico* familia fina illítica Serie Estancia Chica (SeEch), y Haplacuert ácuico familia fina montmorillonítica serie Gorina (SeGo) partido de La Plata, Buenos Aires, Argentina. La SeEch, pertenece a las tierras de mayor aptitud agrícola de la región siendo moderadamente bien drenadas, y la Se Go es la de peor aptitud entre las tierras agrícolas, es imperfectamente drenada (Giménez, et al. 1992).

Variables analizadas en suelos: sobre muestras del horizonte superficial y subsuperficial hasta profundidad de desarrollo de raíces, se analizó pH en pasta, conductividad eléctrica (CEs), cationes solubles en el extracto a saturación, y Relación de Adsorción Sodio (RAS) (Page, et al. 1982).

Muestreos :

A) **A campo:** muestreos compuestos en dos profundidades, 0-15 cm y 15-30 cm, en cultivo de frutilla (*Fragaria* annanasa* Duck. var Milsei Tudla) en un diseño en bloques al azar de 10 sitios con 4 repeticiones cada uno. **Fechas de muestreo:** en cinco fechas durante dos ciclos del cultivo de frutilla en el primer año (1998) F1: transplante; F2: inicio de cosecha, y F3: fin de cosecha. ; y en el segundo año (1999): F1: transplante y F3: fin de cosecha.

B) **En invernáculos :** muestras compuestas por 6-8 submuestras por cada cuerpo de 240 m², extrayéndolas a 15 cm de cada gotero de riego y sobre la línea. Profundidades 0-10 cm y a 10-20 cm de cultivo de tomate (*Lycopersicum esculentum* híbrido FA 144). Diseño experimental completamente al azar con tres repeticiones por sitio de muestreo. **Fechas de muestreo:** en *Hapludert* (SeGo) en dos fechas al transplante del tomate y a la cosecha. En *Argiudoles* (SeEch), una fecha en plena producción de tomate (datos extraídos de Alconada et. al. ,1998).

La elección de ambas situaciones, tomate en invernáculo y frutilla a campo responde a que son los sistemas productivos imperantes en la región. El manejo de los

cultivos fueron los tradicionales de la zona. En todos los casos el riego es por goteo, con agua procedente de un acuífero semiconfinado, denominado localmente *Puelche*.

Análisis estadístico: ANVA para diseño en bloques completos al azar a campo, y completamente al azar en invernáculos. Prueba de F, test unilateral (P:0.05 y P:0.01). Correlaciones simples entre variables.

Evaluación del agua de riego: se analizó químicamente por procedimientos estándares, y se evaluó por criterios químicos: Custodio, 1976; U.S.S.Lab.Staff, 1954; y químico-agronómicos: Pizarro, 1978; Ayers y Westcot, 1987; Pla Sentís, 1983. El muestreo correspondió al acuífero freático-pampeano, del invierno de 1994 (Minghinelli, 1995 en Alconada et. al. 1998), y a 1999 en producciones a campo.

RESULTADOS Y DISCUSION

Suelos SeEch: Los *Argiudoles* vérticos aquí estudiados presentan naturalmente una elevada fertilidad química, muy ricos en materia orgánica > 5 %, libres de sales y sodio ($CE < 1 \text{ dS.m}^{-1}$, pH : 5,5 y RAS < 1). Se destacan sin embargo ligeras limitantes en relación al drenaje, por lo que al subgrupo de estos *Argiudoles* se lo define como vértico. En forma natural estos suelos se agrietan en épocas de sequía y expanden con la mayor humedad (Giménez et al, 1992). Esta característica se pone de manifiesto cuando se incorporan tierras al riego debido al proceso de salinización y alcalinización secundarias que se produce en grado variable (Alconada, 1996; Alconada, et. al., 1998).

A) Producción de frutilla a campo sobre la SeEch:

En la Tabla 1 se presentan las variables químicas analizadas relacionadas con la salinidad-alcalinidad de los suelos estudiados. En el ciclo productivo 1998, hubo diferencias altamente significativas entre muestras analizadas procedentes del suelo de la SeEch en los valores de CEs, Na, Ca, y K en al menos 2 de las 3 fechas analizadas (P:0.05 a 0.01 según fecha). Por el contrario, los valores de RAS, pH y el Mg no se diferenciaron en ninguna fecha.

Se aprecia en general que los contenidos de Ca, Na, Mg, y K, se incrementan hacia la F2 y disminuyen hacia F3. Sin embargo, se destaca que mientras el Ca y el Mg toman valores próximos a los obtenidos en F1, el Na se mantiene hasta el final del cultivo (F3) en valores más elevados que F1. Los contenidos de Mg y el Na se correlacionan con la CEs (r: 0.9). Igualmente, el Ca se relaciona con la CE (r entre 0.8 y 0.97 según fecha).

Por el contrario, los valores de RAS no se correlacionaron con la CEs.

Las diferencias observadas dentro de cada fecha y entre fechas de muestreo, son atribuidas a los diferentes tratamientos de desinfección de suelos (Alconada et al., 2000), como así también, a los procesos de dilución-precipitación que se producen como consecuencia de la calidad del agua de riego (Pizarro, 1978), los suelos y el manejo productivo.

A la profundidad de 15-30 cm, no se obtienen diferencias entre muestras de este sitio en ninguna de las propiedades aquí medidas, los valores de pH son al igual que en superficie, superiores a 7, siendo la CEs y la RAS menor (CEs entre 1.03 y 1.1; y RAS entre 1.1 y 1.4).

Hacia 1999, entre muestras se produjeron también diferencias en la F1 en todas las variables analizadas, con excepción del pH que no varió. Por el contrario, hacia F3 sólo el pH y el Mg se diferenciaron entre muestras.

Consecuentemente, con excepción de lo ocurrido en una fecha, en la que se incrementó el pH en algunas muestras, las variables pH y RAS son las que menos variaciones manifestaron por el manejo, y momento del cultivo dentro de cada fecha. Por el contrario la CEs y los cationes solubles presentan fluctuaciones significativas en la mayoría de las fechas. Entre fechas de muestreo, sólo en el pH no se producen cambios significativos, en el resto de las variables las diferencias resultan notables (P:0.05-0.01 según variable).

Tabla 1: Valores promedio en suelos Argiudoles vérticos con producción “a campo” de: CEs; Na; Ca; Mg, RAS; en tres fechas para 1998 y dos fechas en 1999. F1: transplante; F2: inicio de cosecha.F3: fin de cosecha .

		1998			1999	
		F1	F2	F3	F1	F3
PH	Mínimo	7.2	7.1	7.3	7.2	7.5
	Máxim o	7.4	7.4	7.5	7.5	7.9
CEs dS/m	Mínimo	1.02	1.88	0.87	0.8	0.8
	Máxim o	1.88	2.73	1.56	2.1	1.8
Na meq.l⁻¹	Mínimo	1.82	4.8	3.1	1.8	2.9
	Máxim o	3.44	8.72	5.5	5.9	7.8
Ca meq.l⁻¹	Mínimo	4.4	9.5	3.4	2.7	2.2
	Máxim o	9.25	17.5	7.8	9.6	8.8
Mg meq.l⁻¹	Mínimo	1.55	1.99	0.8	0.91	0.72
	Máxim o	3.42	7.6	3.3	2.81	2.59
K meq.l⁻¹)	Mínimo	1.31	2.19	0.99	0.81	0.91
	Máxim o	2.53	2.99	1.68	1.46	145
RAS	Mínimo	0.96	1.80	1.97	1.30	1.67
	Máxim o	1.39	2.74	2.69	3.13	3.28

En relación a los rendimientos, en ninguno de los dos años productivos hubo diferencias significativas. Consecuentemente, las diferencias en las variables edáficas no se manifestaron en diferentes rendimientos, sino que se produjo una disminución general de todo el sitio en aproximadamente un 50 % de los rendimientos esperados. Esto se debe a que en todos los casos los valores de CEs y de pH obtenidos resultan

limitantes para obtener máximos rendimientos en frutilla. El óptimo de pH en frutilla es de 5.5-6.0 y de CEs de 0.5 a 1 dS.m⁻¹; con 2,5 dS. m⁻¹ se señalan reducciones de hasta 50% en los rindes (Hennion y Veschambre, 1997).

En el sitio de estudio, el potencial productivo de la variedad utilizada de frutilla es de 40 tn /ha, se obtuvieron rendimientos inferiores a 25 tn/ha en 1998 e inferiores a 20 tn /ha en 1999. No se registraron plagas ni enfermedades que justifique tan baja producción. Sin embargo, los valores de CEs próximos a 2 y pH mayores a 7 (entre 7,2 y 7,9) permiten explicar claramente la disminución ocurrida. Como se indicó, el suelo en su condición natural presenta un pH de tan sólo 5,5 (Giménez, et al., 1992). Este incremento en dos unidades de pH no pudo ser controlado no obstante las aplicaciones que se realizaron durante el desarrollo del cultivo de ácido nítrico en el fertirriego a fin de neutralizar los bicarbonatos de las aguas subterráneas.

En relación a la RAS, también se incrementa respecto a la condición natural. Si bien los valores alcanzados (tabla1) resultan aceptablemente bajos a fin de asegurar un buen drenaje, se observa un proceso de alcalinización no sólo respecto a la condición del suelo natural, sino también desde el momento del transplante hacia el final del cultivo. Así, la RAS hacia el final del cultivo de frutilla en 1998 (F3) en todas las muestras se incrementan en forma altamente significativa (P:0,01), duplicándose en la mayoría de los casos respecto al inicio del cultivo(F1). Igualmente, hacia 1999, continua esta tendencia creciente en los valores de RAS. Esto se explica por la naturaleza del agua.

El **agua subterránea de riego**, cuya composición química se presenta en la tabla 4 (denominada E); se clasifica por Riverside como C2S1, con riesgo medio por sales y sin riesgo por sodio (U.S.S.Lab.Staff.1954). Por el diagrama de Piper queda definida como bicarbonatada cálcico-magnésica (Custodio, 1976), y por el Carbonato de Sodio Residual (CSR) se define en el límite agua de calidad buena a media (Eaton en Aragues, 1976). En base al criterio de Ayres y Westcott (1997), su salinidad sería de riesgo medio y por su peligro de alcalinización " sin riesgo". Igualmente, el Índice alcalimétrico de Scott la define como buena (Canova, 1990). Sin embargo, su alcalinidad medida en base a las ppm de CO₃Ca necesarios para neutralizar los bicarbonatos resulta elevada (337 ppm), siéndolo también la dureza (Custodio, 1976).

Según criterio de Pla (1983), surge que esta agua sería buena a regular por sales totales y de mala calidad por sodio. Esto es coincidente con el cálculo de lámina de lixiviación necesaria a fin de mantener el suelo con sales en niveles aceptables para la frutilla (75 %), superiores a las calculadas para mantener la RAS en valores próximos a 2 (50%) (Nijensohn, 1972).

Por Pizarro (1978), el CIP de 7,3 define a esta agua buena a media por su nivel de cloruros. Por su contenido en Mg y Ca es adecuada para el riego, sin embargo, se ubica en agua Clase I, dada la tendencia de esta en incrementar el Na y K en la solución edáfica y consecuentemente la RAS, tanto más cuanto más elevado sea el CSR. Así, si se concentrase tres veces en el suelo, elevaría la CEs a valores superiores a 1 dS/m y de RAS > a 3. Este último criterio es coincidente con lo obtenido en el suelo en estudio en producciones intensivas a campo. Al concentrarse en el suelo, tendería a incrementar los niveles de RAS. Tal como se indicó, se aprecia claramente el incremento constante aunque leve de la RAS medido a campo.

Otros índices, como los de Ayres y Westcott (1987), Scott (Canova, 1990), U.S.S.Lab.Staff.(1954) no detectan riesgo por alcalinización. Pla (1983) por el contrario sobreestima el riesgo por sodio. En relación a las sales totales, las clasificaciones de agua discutidas detectan su riesgo, así en el suelo local, por lo menos se duplica y hasta triplica en todas las fechas, respecto a la condición natural.

Los incrementos en pH, RAS y CEs en el suelo SeEch, con aguas que pueden en general definirse como muy buenas para los criterios de mayor difusión (Ayres y Westcott,1987; U.S.S.Lab.Staff ,1954), se traduce en pérdidas de 50 % en los rendimientos de frutilla, situación que torna antieconómica su producción. Posiblemente, esto no sería problemático en otros cultivos más resistentes a la salinidad y alcalinidad, tales como el tomate, sin embargo, no se realiza en forma económica a campo, ya que sus rindes disminuyen en estos sistemas productivos.

B) En invernáculos con cultivo de tomate:

En la tabla 2 se presentan los valores promedio obtenidos en la SeEch con diferentes años con cultivo de tomate en coberturas. Se observa en todos los casos, elevados valores de CEs y de RAS, que no se correlacionaron con la antigüedad del invernáculo a ninguna profundidad (P:0,05). En todos los casos a partir del primer año, los valores de CEs y RAS resultan muy superiores a los adecuados para el normal desarrollo de los cultivos y drenaje de los suelos. Para suelos muy semejantes a los de la SeEch, a los 2 meses de instalación de coberturas, no existían problemas de sales ni de sodio, los valores fueron : CEs : 0.88 ; RAS 1.8 y su pH de 4.95 (Alconada et. al. 1998).

Tabla 2 : Suelos serie Estancia Chica con 1 a 20 años con cultivos protegidos (extraídos de Alconada et al. 1998).

SISTEMA PRODUCTIVO	Profund. (cm)	Años	pH	CE	RAS	Agua riego
Invernáculos	0 – 10	1	5.5	2.2	7.9	A
		2	6.6	2.4	14.1	B
		3	6.9	3.8	10.2	A
		5	7.0	9.2	7.2	C
		20	7.3	1.5	4.5	A

No se dispone de información sobre rendimientos para estos sitios; se citan los obtenidos para suelos semejantes con cultivo de tomate de igual variedad que la utilizada, cuyas variables edáficas fueron próximas a las aquí obtenidas. Se obtuvieron valores de RAS comprendidos entre 4,8 y 9,9; de pH entre 6.9 y 7.5, y de CEs entre 2.7 y 8.4 (Alconada y Huergo,1998). En este último trabajo, los rendimientos estuvieron comprendidos entre 67 y 207 tn/ha, no existiendo correlación con los años con invernáculos. La disminución en producción se vinculó a la aparición de enfermedades, y antagonismos nutritivos, los cuales se vinculan a la salinización y alcalinización general, y consecuente disminución de la permeabilidad, no estableciéndose valores críticos. En función del manejo del cultivo y del suelo se logra un mejor control de las problemáticas mencionadas, y consecuentemente se modifica lo producido.

A la profundidad de 10-20 cm, en la mayoría de los casos la salinidad y alcalinidad resultaron elevadas (RAS entre 4 y 6; CEs entre 1.5 y 3.8; y pH entre 5.9 y 7.2). Los ANVA no revelan diferencias significativas en CEs, RAS y pH entre 0-10 y 10-20 cm.

Comparación salinidad-alcalinidad de la SeEch, en condiciones de invernáculos respecto a la producción a campo:

Se aprecia que en ambos sistemas de manejo en el suelo Argiudol vértico se obtienen elevaciones en pH semejantes, y este no se modifica en función del manejo. Su efecto sobre el cultivo depende de la sensibilidad del mismo a la reacción del suelo.

En relación a la CEs esta se incrementa en forma mucho mayor en los sistemas de cultivo protegido, así se llegan a máximos de 9.2 con cinco años de coberturas, sin

embargo, con 20 años los valores son bajos. Esto es coincidente con lo indicado a campo, los valores de CEs se modifican en función del manejo y del agua.

Por el contrario los niveles de RAS alcanzados, son significativamente mayores a los obtenidos a campo, siendo aquellos bajo condiciones de invernáculo suficientemente altos como para disminuir la permeabilidad, y favorecer el desarrollo de enfermedades. Los valores de RAS varía en la magnitud que se alcanza según el sistema productivo, sin embargo en ambos no se modifican tan marcadamente con el manejo del agua-suelo-cultivo.

Suelos de la SeGo:

En su condición natural se caracteriza también por presentar una elevada fertilidad química, materia orgánica superior a 4 %; libre de sales CEs < 1 dS/m; y sodio, por ciento de sodio intercambiable 0.9 (equivalente a RAS < 1). Esto último es coincidente con lo indicado para la SeEch, sin embargo, la serie Gorina, pertenece al orden de los Vertisoles, consecuentemente el contenido de arcillas expansivas es elevado ,así como la formación de grietas desde superficie (Giménez et. al., 1992). Cuando estas tierras son incorporadas a sistemas intensivos se clasifican como muy pobremente drenadas (Alconada, 1996).

En la tabla 3, se presentan los valores máximos y mínimos obtenidos en dos fechas en el *Haplacuert ácuico* con 10 años de cultivos de tomate en invernáculos, regados con agua E (tabla 4).

La salinidad y alcalinidad (RAS, y pH) se incrementan en forma significativa respecto a la condición natural, resultando en ambas fechas valores suficientemente altos como para incrementar la dificultad natural de drenaje de estos suelos y consecuentemente, favorecer el encharcamiento y desarrollo de enfermedades. La salinidad disminuye con la profundidad, y en forma menos marcada la RAS, manteniéndose en niveles altos a fin de asegurar la productividad.

Tabla 3: Valores máximos y mínimos en dos fechas en el *Haplacuert ácuico* con 10 años de cultivos de tomate en invernáculos:

1998:		F1		F2
Profundidad:	(cm)	0-15	15-30	0-15
PH	Mínimo	6.5	6.2	7.0
	Máximo	6.7	6.7	7.3
CEs dS/m	Mínimo	2.1	1.2	1.0
	Máximo	3.4	1.7	2.8
Na meq.l⁻¹	Mínimo	9.1	6.4	9.3
	Máximo	16.3	8.2	16.5
Ca meq.l⁻¹	Mínimo	3.6	2.8	2.7
	Máximo	12.7	5.6	8.8
Mg meq.l⁻¹	Mínimo	1.4	1.2	0.7
	Máximo	4.2	3.2	2.2
K meq.l⁻¹	Mínimo	0.8		0.4
	Máximo	1.4		1.9
RAS	Mínimo	4.5	4.0	6.8
	Máximo	8.8	5.4	8.7

Con CEs de 2,7 dS/m en el cultivo de tomate comienzan a disminuir los rendimientos, y la alcalinidad alcanzada (RAS) se traduce en serios problemas de drenaje. Esto se aprecia en la producción obtenida que aunque estuvo en niveles normales para estos suelos, próximos a 100 tn/ha (entre 80 y 103 tn/ha) se ubica muy por debajo de la potencialidad del híbrido utilizado. Por otra parte, se destaca el elevado consumo de agroquímicos que aumenta, como se indicó en antecedentes, hasta en cinco veces respecto a la situación inicial del cultivo. Así, se incrementan los costos y los riesgos de contaminación y antagonismo entre nutrientes.

En relación a la **calidad de agua subterránea** utilizada tal como se indica en la tabla 2, para los suelos de la SeEch fueron regados con las indicadas como A, B, y C. Su composición química se presenta en la tabla 4. Estas se definen por diagrama de Piper como bicarbonatada sódico-cálcica la primera, y bicarbonatadas magnésicas las dos últimas. El suelo de la SeGo se regó con la denominada D, bicarbonatada sódica (tabla 4). Todas estas aguas son clasificadas por U.S.S.Lab.Staff(1954) como sin riesgo por

sodio (S1), con excepción de la D que se define con riesgo moderado por dicho catión (S2), y por sales totales, son todas de riesgo moderado (C2). Clasificadas por FAO (Ayres y Westcott, 1989), son sin riesgo a riesgo ligero por sales y sodio, detectándose peligro por bicarbonatos sólo en el caso de la definida como A. La alcalinidad sin embargo resulta alta medida según Custodio (1976) y alguna de ellas poseen una elevada dureza .

El CSR resulta muy elevado en B, y D; siendo bajo en las A y C. Por cloruros resultan todas de calidad media (CIP); y por Mg peligrosas en A y D. Si se concentran en el suelo elevarían la CEs y la RAS a valores excesivos (Pizarro, 1978). Así en RAS es factible obtener valores de 7 en los sitios donde se riega con el agua B si se concentra 4 veces, mientras que las aguas A y C se llegan a estos valores de RAS con concentraciones de 10 veces; con 4 veces serían próximos a 3. Esta mejor condición de las A y C queda sólo puesta de manifiesto en el sitio con 20 años con coberturas. La peores características en relación a la RAS del agua B se puso de manifiesto en el sitio con 2 años con cobertura. Cabe destacar que en todos los casos previo a la instalación de invernáculos se realizaba producción a campo con riego, y explica los altos valores desde el primer año con coberturas.

Analizadas por Pla (1983) por sodio y en función de la infiltración de los suelos son malas a muy malas la aguas " B y D" ; y regulares a malas las " A y C" , siendo por sales algo mejores (malas B y D; regulares A y C) .

Consecuentemente, los métodos de evaluación de Riverside (U.S.S.Lab.Staff; 1954) y FAO (Ayres y Westcott, 1989) no permiten detectar el peligro de sodificación de estos suelos al ser regados con aguas como las consideradas. Tal como indica Porta et al.(1994) la clasificación de Riverside (U.S.S.Lab.Staff.1954) no tiene vigencia hoy día. Por el contrario, el criterio de Pla (1983) y Pizarro(1978) si detectan la posible sodificación y salinización de los suelos.

Tabla 4: Caracterización química del agua de riego y algunos índices de calidad:

Agua	A	B	C	D	E
Ca ⁺²	0.82	3.05	3.2	0.4	3.4
Mg ⁺²	7.10	0.91	3.05	1	1.89
Na ⁺	1.88	3.91	1.61	8.1	1.91
K ⁺	1.26	0.25	0.33	0.2	0.34
NH ₄ ⁺	nd	0.003	0.003	nd	0.36
Cl ⁻	0.79	0.62	0.45	0.8	0.42
SO ₄ ⁻²	0.21	0.04	0.08	1.4	0.35
CO ₃ ⁻²	0	0	0	0	0
H CO ₃ ⁻	8.63	7.53	6.03	7.1	6.74
NO ₃ ⁻	0.03	0.45	0.11	nd	8.5
NO ₂ ⁻	0.005	0.002	0.002	nd	Nd
F ⁻	nd	0.01	0.02	nd	nd
PH	7.8	7.8	7.9	7.62	7.3
CE uS/m	700	700	550	570	758
RS mg/l	470	528	370		
RAS práctico	0.94	2.78	0.91	9.68	1.17
Alcalinidad mg/l	350	376	302		337
CSR ⁽¹⁾	0.71	3.57	-0.22	5.7	1.45
Dureza mg/l	399	198	314		268
CIP ⁽²⁾	8.5	12.4	8.44	9.41	
Indice Mg ⁽³⁾	89	23		71.4	

Aguas A-B-C: riegan Argiudoles de invernáculos; E: riega Argiudoles a campo.

D : riega Hapludert de invernáculos. (1) CSR:carbonato de sodio residual; (2) CIP :índice de peligrosidad por cloruros; (3) índice peligrosidad por magnesio % (Pizarro, 1978)

La correlación entre agua y el suelo fue sólo significativa(P=0,05) en: serie Ech con hasta 5 años de invernáculos, CE agua y CEs suelo, r : -0,97; RAS agua y RAS suelo r: 0,91; y Na⁺ agua y RAS suelo, r: 0,94 .

Otros índices de calidad, tal como el CSR, CIP, índice de Mg, se corresponden con lo obtenido a campo y aunque algunos muestran su utilidad predictiva, resultan en general insuficientes a fin de evaluar otros efectos.

Comparación de salinidad-alcalinidad de suelos SeEch – SeGo con cultivos protegidos: no se observa un deterioro significativamente mayor en condiciones de invernáculo en los suelos de la SeGo tal como es de esperar dadas sus condiciones naturales. Por el contrario, en la SeGo el pH se incrementa en menor grado que en la SeEch. Los rendimientos son comparables en ambas series de suelos.

CONCLUSIONES

- ✓ En todos los suelos estudiados, en cortos períodos de tiempo, se obtienen valores de salinidad y alcalinidad superiores a los adecuados para el normal desarrollo de los cultivos. Esto se relaciona con las características naturales del drenaje que se ven acentuadas por la calidad del agua subterránea de riego. Su correcta evaluación permite anticiparse a la elección de prácticas de manejo que contribuyan a disminuir el deterioro que indefectiblemente se produce en los suelos con la instalación de invernáculos, y en menor medida a campo.
- ✓ Los rendimientos resultan muy inferiores a los potenciales de las variedades utilizadas, tanto en frutilla a campo como en tomate en invernáculo. Los aspectos relacionados con la alcalinidad, pH y RAS, resultan más preocupantes para los suelos y aguas subterráneas de la región.
- ✓ La magnitud y tiempos en que estos procesos degradativos ocurren dependen de la calidad de agua, suelo y sistema productivo utilizado. Las diferencias en magnitud se encuentran más asociadas al manejo que a la calidad del agua subterránea y tipo de suelo.
- ✓ El riesgo de alcalinización por el uso de estas aguas en condiciones de invernáculo sólo es detectado interpretando las mismas por Pla Sentís (1983), y en menor medida por Pizarro (1978). En condiciones de campo, la habilidad predictiva del criterio propuesto por Pizarro (1978) resultó mayor. Clasificaciones de uso frecuente (U.S.S.Lab.Staff ,1954; Ayres y Westcot,1987), alertan sobre el peligro de salinización

pero no detectan el riesgo por alcalinización, siendo este el que condiciona la permeabilidad del suelo y consecuentemente la sustentabilidad productiva tanto en cultivos bajo cobertura como a campo.

AGRADECIMIENTO: al Lic. Prof. MARIO HERNÁNDEZ, por la corrección del presente trabajo.

BIBLIOGRAFIA

- Alconada, M., Wisner, V., Mortola, N., Zembo, J.C., Mitidieri, A., Gamboa, S. y Sangiacomo, M. 2000a. Alternativas al uso de bromuro de metilo. A) Alternativas químicas: I-Influencia sobre la salinidad en el cultivo de frutilla.
- Alconada, M. 1996. Deterioro físico-químico de un Vertisol con cultivos protegidos en el partido de La Plata, Bs As, Argentina. Actas XIII C.Latin.C do Solo.Brasil
- Alconada, M. ; Minghinelli, F. y Balcaza, F. 1998. Degradación de suelos de invernáculo, Gran La Plata. La calidad del agua de riego. En : Avances en el Manejo del Suelo y Agua en la Ingeniería Rural Latinoamericana, Editores. Balbuena, R.H., Benez, S.H., y Jorajuría, D. pág 88-95. Asociación Latinoamericana y del Caribe de Ingeniería Agrícola.
- Alconada, M. y Huergo, L. 1998. Degradación de suelos con cultivos protegidos: Tomate. Influencia de la calidad de agua de riego. I Reunión de Producción Vegetal, N.O.A., Universidad Nacional de Tucumán
- Amma, A. T. 1994. Relato VI Congreso Lat. de Horticultura, Córdoba, Argentina.
- Andriulo, A. y C.Ferreyra. 1997. Impacto ambiental del riego complementario: rumbo hacia la ecoeficiencia. Rev. Tec. Agr. INTA Pergamino. VII:6, 51-53.
- Aragues, R. 1896. Calidad del agua y efectos sobre el suelo. Univ. Zaragoza. 27-49.
- Ayers, R.S. y D.W. Westcot. 1987. Calidad del agua en la agricultura. FAO. 174p.
- Canovas Cuenca, J. 1990. Calidad agronómica de las aguas de riego. EdM. Prensa. 55 p.
- Cerana, J.A. 1980. Deterioro de los suelos a consecuencia de riegos con aguas poco salinas que contienen bicarbonatos. Actas Cong. Arg. de la Ciencia del Suelo.
- Custodio, E. y M.R. Llamas. 1976. Hidrología Subterránea. Tomo I. Ed. Omega.
- Génova, L.J. 1993. Estudio de la degradación de suelos bajo riego complementario de cultivos extensivos con aguas subterránea en el N de la Pcia Bs As. Actas XIV C.Arg.C.S.Mendoza.

- Giménez, J.E.; M.A. Hurtado; M. Cabral y M. Da Silva. 1992. Estudio de suelos del partido de La Plata.Etapa I: Sector Oeste- Noroeste.Convenio U.N.L.P. - CFI, 179 p.
- González, J. y A. Amma. 1976. Manejo de suelos para producción de hortalizas. E.E.A.INTA San Pedro.Tirada interna hortícola N*10 y 11.
- Hennion B y Veschambre D. La fraise : maîtrise de la production. 1997. Éditions Centre technique interprofessionnel des fruits et légumes.Paris. 299 p.
- Lavado,R.S. 1976/77. Salinización y alcalinización de suelos pampeanos bajo riego complementario. Rev.de Inv.Agr.INTA, XIII (2): 41-57.
- Mendía, J.M. 1981. Manejo de suelos en vidrieras. Revista de la Asociación de Ingenieros Agrónomos de La Plata.
- Minghinelli, F.1995.Geohidrología ambiental del acuífero freático en las Cuencas de los Arroyos Martín y Carnaval,La Plata.Evaluación impacto ambiental.CIC,193p.
- Nijensohn, L. N. 1972. Influencia de la calidad del agua de riego a nivel de predio Rev. Fac.deC.Ag.(Mendoza). XVIII 2: 93-116.
- Oster, J.D. 1994. Actas 15th World Congress of Soil Science. México.
- Page A, Miller A H, Keeney D R. 1982. Methods of Soils Analys. Amer.Soc.Agron.Soil Sci.Soc.Amer, Madison, Wisconsin
- Pla Sentis, I . 1983. Sistema integrado agua-cultivo-suelo. Manejo para evaluar - Pla Sentis, I 1983.Sistema integrado agua-cultivo-suelo. Manejo para evaluar la calidad de agua de riego.International Atomic Energy Agency.Vienna:192-206 .
- Pla Sentis, I . 1993.Soil Salinization and Land Desertification. College on soil Physics. International Centre for Theoretical Physics. Trieste.Italy.
- Pizarro, F. 1978. Drenaje agrícola y recuperación de suelos salinos. 521 p.
- Porta, J.; López-Acevedo, M. y Roquero,C. 1994. Edafología para la agricultura y el medio ambiente. Ed.Mundi Prensa. 807 p.
- U.S.SalinityLab.Staff.1954. Diagnosis and improvement of saline and alkaline soils.