

# EFFECTO DEL RIEGO CON AGUAS RESIDUALES URBANAS DEPURADAS SOBRE LA DISPONIBILIDAD DE METALES PESADOS PARA LA PLANTA

A. Inglés, M. Gómez y R. Nogales

*Estación Experimental del Zaidín. CSIC. Aptdo. 419. 18080 Granada.*

## RESUMEN

Se ha llevado a cabo un experimento en invernadero con objeto de evaluar la capacidad de cesión de metales pesados de un agua residual urbana depurada, a través de la medida de la concentración y absorción de ellos por un cultivo de tomate (*Lycopersicon esculentum*, L. cv. Río Grande) y su extracción del suelo con DTPA. El riego con aguas residuales depuradas promovió un aumento de la concentración de Mn y Zn en hojas, tallos y raíces, de Cu en hojas y raíces, y de Fe en hojas; así como de la absorción de estos elementos por el cultivo de tomate. Tras la recogida del material vegetal, se observó un aumento del Zn extraído con DTPA y una disminución del Fe y Mn extraído con DTPA del suelo regado con el agua residual depurada. Los contenidos de Cd, Ni y Pb extraídos del suelo con DTPA fueron escasamente afectados por el riego con estas aguas; mientras que a nivel de planta, sus concentraciones en hojas y tallos se encontraron por debajo de los límites de detección del método analítico utilizado.

Palabras clave: Agua residual urbana depurada. Riego. Suelo. Tomate. Metales pesados.

## SUMMARY

### THE EFFECT OF IRRIGATION WITH TREATED MUNICIPAL WASTEWATER ON THE AVAILABILITY OF HEAVY METALS TO PLANTS

A pot experiment was carried out in a greenhouse in order to evaluate the capacity of treated wastewater to release heavy metals. Concentrations and uptake of these elements by tomato (*Lycopersicon esculentum* L. cv. Rio Grande) and soil metals extracted with DTPA were determined. Irrigation with treated wastewater promoted an increase in Mn and Zn concentrations in leaves, stems and roots, Cu in leaves and roots, and Fe in leaves as well as a higher uptake of these elements by the plant. After harvesting, an increase of DTPA-extractable Zn and a decrease of DTPA-extractable Fe and DTPA extractable Mn was observed in the soil. DTPA-extractable Cd, Ni and Pb were scarcely affected by the application of treated wastewater. The concentrations of Cd, Ni and Pb in leaves and stems were found to be lower than the reliable detection limits of the analytical procedure employed.

Key words: Treated municipal wastewater. Irrigation. Soil. Tomato. Heavy metals.

Este trabajo ha sido financiado por la CICYT (núm. NAT90-0823).

## INTRODUCCION

El riego con aguas residuales urbanas constituye una práctica agrícola común en muchas regiones áridas y semiáridas del mundo. En algunas de ellas, hasta un 80 % del agua consumida en riego es utilizada previamente por los núcleos de población (Asano y Pettygrove, 1987). Estas aguas, antes de su uso en riego, deben ser sometidas obligatoriamente a diferentes tratamientos de depuración, de tipo físico y biológico, con el fin de obtener un "agua residual urbana depurada o efluente urbano depurado", con una menor carga contaminante.

Respecto a los estudios de tipo agrobiológico efectuados con éstas aguas depuradas, la mayoría de ellos se han enfocado a valorar su capacidad para suministrar N, P y K al sistema suelo-planta. Los resultados obtenidos, por lo general, han dejado patente que el riego con éste tipo de aguas es capaz de satisfacer las necesidades de N (Feigin *et al.*, 1984), P (Kardos y Hook, 1976) y, en menor medida, de K (Palazzo y Jenkins, 1979) en la mayoría de los cultivos ensayados, lo que contribuiría a reducir el consumo de fertilizantes minerales clásicos.

Por el contrario, no existe información sobre el potencial de las

aguas urbanas depuradas para ceder otros elementos, entre ellos los metales pesados, a la planta. A lo sumo, los estudios sobre éste tema se han efectuado utilizando aguas residuales urbanas sin depurar, no habiéndose observado aumentos apreciables de estos elementos en el cultivo, cuando dichas aguas eran aportadas al suelo en dosis normales de riego (Chan y Page, 1983). Únicamente se han evidenciado aumentos de metales pesados en plantas, suelos y aguas subterráneas cuando se aplicaba continuamente una gran cantidad de aguas sin depurar durante un período de tiempo, al menos, superior a diez años (Schalscha *et al.*, 1978, 1979; Leach *et al.*, 1980).

En relación a lo anteriormente expuesto, se ha considerado de interés iniciar un estudio dedicado a evaluar la capacidad que posee el riego con aguas residuales urbanas depuradas para suministrar a la planta metales pesados, esenciales o no para ella. Así pues, se valora su efecto sobre la concentración y absorción de éstos elementos por la planta; y tras la recogida del material vegetal, el contenido de los metales pesados extraídos con DTPA del suelo.

## MATERIAL Y METODOS

Se utilizó la capa arable (0-20 cm) de un Fluvisol calcáreo localizado en las cercanías de la Villa de Orgiva (Granada). El análisis textural y químico del mismo, una vez secó y ta-

mizado ( $< 2$  mm) fue el siguiente: Arena: 53.6 %, Limo: 32.4 %, Arcilla: 14.0 %, pH (H<sub>2</sub>O): 7.94, Carbonatos: 1.49 %, N total: 1.58 g kg<sup>-1</sup>, P disponible: 0.65 g kg<sup>-1</sup>, Fe, Mn,

Cu, Zn, Cd, Ni y Pb extraídos con DTPA: 27, 48, 4.3, 6.9, 0.13, 1.5 y 20 mg kg<sup>-1</sup>.

Como agua de riego se ensayó un agua residual urbana depurada procedente de la localidad de Orgiva. El análisis químico de la misma, realizado según metodología descrita por EPA (1983), fue el siguiente: pH: 7.00, CE<sub>25</sub>: 0.662 ds.m<sup>-1</sup>, SAR: 1.23, N total: 52.5 mg L<sup>-1</sup>, P total: 8.65 mg L<sup>-1</sup>, Fe: 1.42 mg L<sup>-1</sup>, Mn: 0.09 mg L<sup>-1</sup>, Cu: 0.08 mg L<sup>-1</sup>, Zn: 0.65 mg L<sup>-1</sup>, Cd: 0.04 mg L<sup>-1</sup>, Ni: < 0.06 mg L<sup>-1</sup> y Pb: < 0.1 mg L<sup>-1</sup>.

Se efectuaron cinco tratamientos, por cuadruplicado, (C): agua potable, (F): agua potable suplementada con NPK, (AR): agua residual urbana depurada, (AR + F): agua residual urbana depurada suplementada con NPK y (AR + 1/2 F): agua residual urbana depurada suplementada con la mitad de NPK. En los tratamientos (F) y (AR + F), la fertilización mineral NPK se adicionó a la dosis óptima para el desarrollo del cultivo, mientras que en el tratamiento (AR + 1/2 F) se aplicó a la mitad. Estos fertilizantes, en los tratamientos correspondientes, se aportaron en el momento de la siembra, como abonado de fondo, a razón de 500-100-200 unidades de N-P-K, en forma de sulfato amónico, fosfato monopotásico y sulfato potásico. El abonado de cobertera, 150-0-90 unidades de N-P-K, en forma de nitrato amónico y sulfato potásico, se fraccionó en tres aplicaciones a lo largo del cultivo y con periodicidad quincenal.

El experimento se realizó en invernadero bajo condiciones ambientales

controladas. Se utilizaron macetas troncocónicas de PVC con drenaje y recipiente para evitar las pérdidas por percolación. Cada maceta contenía 1.5 kg de suelo mezclado homogéneamente con vermiculita (11:1 p/p) y 4 plántulas de tomate (*Lycopersicon esculentum* L., cv Río Grande). Los riegos se efectuaron a intervalos de un día con idénticas cantidades de agua, manteniendo el suelo a capacidad de campo durante todo el desarrollo del cultivo. Al inicio de la floración, se efectuó la recolección del material vegetal, fraccionándose la parte aérea en hojas y tallos. Las muestras vegetales (hojas, tallos y raíces) fueron secadas a 65 °C durante 24 h., pesadas y molidas. Asimismo, las mezclas de suelo-vermiculita, tanto al inicio del experimento como tras la recogida del material vegetal, fueron secadas al aire.

El material vegetal fue mineralizado con mezcla nítrico-perclórica, determinándose la concentración de Fe, Mn, Cu, Zn, Cd, Ni y Pb mediante EAS. Las muestras de suelo-vermiculita fueron sometidas a extracción (Lindsay y Norvel, 1978) con DTPA (Diethylenetriamine pentaacetic acid) determinándose posteriormente en los extractos el contenido de metales pesados.

Todos los resultados experimentales proceden de cuatro repeticiones. Se ha efectuado el análisis de la varianza de cada parámetro estudiado, con objeto de calcular el nivel de probabilidad del efecto estudiado y la estimación múltiple de medias (M. D. S. test de Duncan  $P \leq 0.05$ ).

## RESULTADOS Y DISCUSION

El riego con aguas residuales depuradas (AR) dió lugar a un aumento significativo del peso de hojas, tallos y raíces del cultivo respecto al provocado con aguas potables, suplementadas o no con NPK (Tabla 1). El aumento experimentado se encontró potenciado cuando éstos efluentes depurados eran complementados con la dosis completa de NPK, en una cantidad (25 %) similar a la ejercida por éstos fertilizantes cuando se aportaban al agua potable. Los resultados obtenidos confirman las observaciones de estudios previos acerca de la capacidad de las aguas residuales urbanas depuradas para incrementar los rendimientos de cosecha de diferentes cultivos (Cordonnier y Johnston, 1983; Nielsen *et al.*, 1989), aumentos que en la mayoría de las ocasiones resultaron ser superiores a los que ejercían las aguas de riego suplementadas con fertilizantes tipo

NPK (Day *et al.*, 1962; Bieleroi *et al.*, 1984).

Respecto al tratamiento control, el riego con agua potable y NPK disminuyó la concentración de Cu en las diferentes partes de la planta, así como la concentración de Zn, Fe y Mn en tallos y raíces, aumentando ligeramente la concentración de éstos dos últimos en hoja (Tabla 2). En todo caso, los descensos observados dejan patente un efecto de dilución de éstos metales en la planta debido al aumento de cosecha (Tabla 1) obtenido en el tratamiento (F). Por el contrario, el riego con agua residual depurada, suplementada o no con fertilización mineral, dió lugar, con alguna excepción, a incrementos de la concentración de Fe, Mn Cu y Zn en los diferentes órganos de la planta. Estos aumentos fueron más significativos para Mn y Zn en hojas. Pese a los aumentos inducidos por el

TABLA 1

*Peso seco (g) de hojas, tallos y raíces de un cultivo de tomate.  
Valores medios de cuatro repeticiones.*

TRATAMIENTOS	HOJA	TALLO	RAIZ
(C) . . . . .	3.7d	3.3d	1.2d
(F) . . . . .	4.7c	4.2c	1.6c
(AR) . . . . .	6.5b	5.4b	2.8b
(AR + F) . . . . .	7.4a	6.6a	3.1a
(AR + 1/2 F) . . . . .	6.7b	5.7b	2.8b

En cada columna los valores medios seguidos de diferente letra son significativos ( $P \leq 0.05$ ).

TABLA 2

Concentración ( $\text{mg kg}^{-1}$ ) y absorción ( $\mu\text{g. maceta}^{-1}$ ) de Fe, Mn, Cu, Zn, Cd, Ni y Pb por un cultivo de tomate. Valores medios de cuatro repeticiones.

TRATAMIENTO	CONCENTRACION			ABSORCION
	Hoja	Tallo	Raíz	
<b>HIERRO</b>				
(C) . . . . .	58 b	39 a	5920a	344e
(F) . . . . .	60 b	31 b	5471b	408d
(AR) . . . . .	59 b	28 c	6129a	533c
(AR + F) . . . . .	65 a	24 d	4873c	639a
(AR + 1/2 F) . . . . .	65 a	30 b	4877c	609b
<b>MANGANESO</b>				
(C) . . . . .	28 d	8.8c	104bc	132d
(F) . . . . .	31 ab	7.2d	99c	175c
(AR) . . . . .	32 a	12.0ab	108b	273b
(AR + F) . . . . .	29 cd	11.0b	116a	288a
(AR + 1/2 F) . . . . .	30 bc	12.0a	108b	273b
<b>COBRE</b>				
(C) . . . . .	8.0c	8.3a	24c	57c
(F) . . . . .	7.2d	6.6b	24c	61c
(AR) . . . . .	8.7ab	6.0c	31b	89b
(AR + F) . . . . .	8.1bc	5.8c	32b	97a
(AR + 1/2 F) . . . . .	9.3a	6.6b	35a	100a
<b>ZINC</b>				
(C) . . . . .	15 c	58 b	68d	248d
(F) . . . . .	15 c	50 c	60e	280c
(AR) . . . . .	18 b	66 a	114a	472b
(AR + F) . . . . .	20 a	59 b	107b	510a
(AR + 1/2 F) . . . . .	18 b	65 a	99c	491ab
<b>CADMIO</b>				
(C) . . . . .	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
(F) . . . . .	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
(AR) . . . . .	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
(AR + F) . . . . .	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
(AR + 1/2 F) . . . . .	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
<b>NIQUEL</b>				
(C) . . . . .	n.d.	n.d.	13b	n.d.
(F) . . . . .	n.d.	n.d.	14ab	n.d.
(AR) . . . . .	n.d.	n.d.	16a	n.d.
(AR + F) . . . . .	n.d.	n.d.	17a	n.d.
(AR + 1/2 F) . . . . .	n.d.	n.d.	15a	n.d.
<b>PLOMO</b>				
(C) . . . . .	n.d.	n.d.	23a	n.d.
(F) . . . . .	n.d.	n.d.	22a	n.d.
(AR) . . . . .	n.d.	n.d.	23a	n.d.
(AR + F) . . . . .	n.d.	n.d.	22a	n.d.
(AR + 1/2 F) . . . . .	n.d.	n.d.	21a	n.d.

n.d.: no detectable. Límites de detección: Cd:  $0.01 \text{ mg kg}^{-1}$ .

Ni:  $0.06 \text{ mg kg}^{-1}$ , Pb:  $0.1 \text{ mg kg}^{-1}$ .

En cada columna y para cada metal pesado, los valores medios seguidos de diferente letra son significativos ( $P \leq 0.05$ ).

aporte de estas aguas residuales, los niveles de dichos metales pesados en hoja y tallo resultaron ser inferiores a los observados en otros estudios (Anac y Kovanci, 1985; Nielsen *et al.*, 1989), aunque todos ellos, con la excepción del Mn, se encontraron dentro del intervalo de suficiencia establecido para este cultivo (Benton Jones *et al.*, 1991).

En relación a los datos de extracción de Fe, Mn, Cu y Zn por la planta (Tabla 2), el riego con aguas residuales depuradas ocasionó un aumento significativo de la absorción de éstos elementos por el cultivo respecto al riego con agua potable suplementada o no con NPK. Aunque las diferencias entre los tratamientos que incluían aguas residuales no fueron muy acusadas, el aporte de la dosis óptima de NPK favoreció una mayor extracción, correspondiendo los incrementos más elevados a Zn (82 %) y los menores a Fe (56 %), si éstos valores se comparan frente a los obtenidos en el tratamiento (F).

Por lo que se refiere a los otros metales pesados (Cd, Ni y Pb), en la Tabla 2 se muestra únicamente la concentración de Ni y Pb en raíz, ya que las concentraciones de estos elementos en la parte aérea del cultivo y la de Cd en los diferentes órganos de la planta se encontraron por debajo de los límites de detección del método empleado. Los resultados expuestos dejaron patente que el riego con aguas residuales aumentó los niveles de Ni en raíz, mientras que tendió a disminuir los de Pb.

La figura 1 muestra los resultados del contenido de los diferentes metales pesados extraídos con DTPA de la mezcla suelo-vermiculita, tanto al inicio del experimento como tras

la recogida del material vegetal. En el tratamiento control (C), el desarrollo del cultivo aumentó los niveles de Fe extraído con DTPA, disminuyendo apreciablemente los correspondientes a Mn, Cu y Zn. Al finalizar el cultivo, los tratamientos que habían incluido el efluente depurado mostraron valores de Zn extraídos con DTPA significativamente superiores a los obtenidos en los tratamientos (C) y (F) e incluso superiores a los del tiempo inicial. Por el contrario, el Fe extraído con DTPA disminuyó acusadamente. Los niveles de Mn y Cu extraídos con DTPA fueron más parecidos entre los diferentes tratamientos ensayados, con una tendencia del DTPA-Mn a disminuir y del DTPA-Cu a aumentar por efecto del riego con aguas residuales depuradas. Respecto a los restantes metales pesados se pudo apreciar que el aporte del efluente depurado provocó un aumento del contenido de Cd extraído con DTPA, mientras que disminuyó el DTPA-Ni, no afectando significativamente los niveles de DTPA-Pb.

Una visión global de los resultados expuestos deja patente que el agua residual urbana depurada utilizada en este estudio, posee una escasa capacidad para suministrar metales pesados al sistema suelo-planta. Ello es debido a que estos elementos, que deben encontrarse en el efluente depurado en formas solubles o ligados a pequeñas partículas orgánicas de bajo peso molecular, tal como ha sido señalado en otros efluentes urbanos depurados (Chen *et al.*, 1974), se presentan a una concentración muy baja. Por ello, los aumentos observados de algunos de estos metales en la planta, no serían cau-

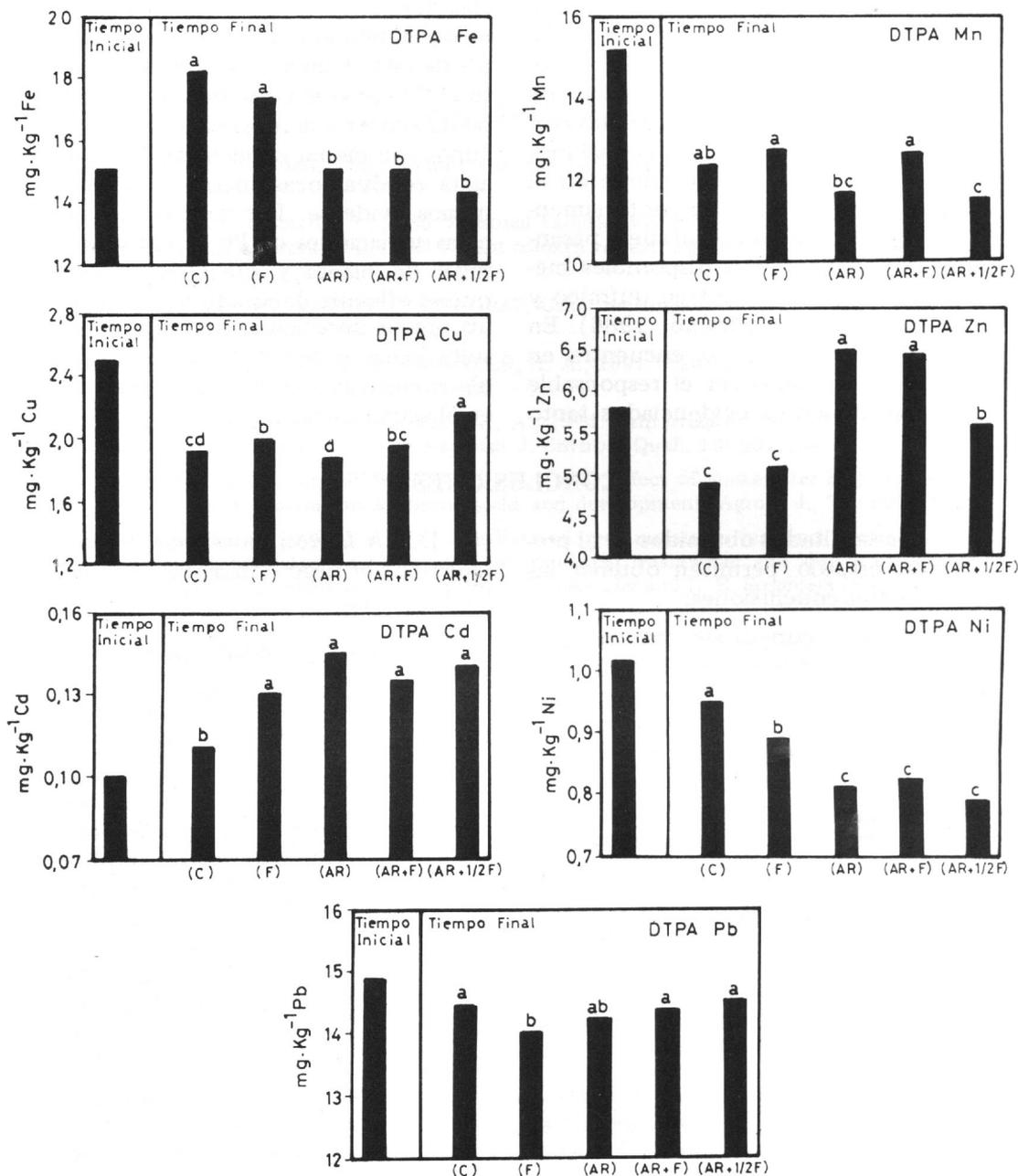


FIG. 1.—Contenidos de Fe, Mn, Cu, Zn, Cd, Ni y Pb extraídos del suelo con DTPA al inicio y tras la recogida del cultivo. Barras con distinta letra difieren significativamente ( $P \leq 0.05$ ).

sados por su aporte directo desde el agua, sino por la cesión desde sus formas disponibles del suelo. Tal sería el caso del Fe, Mn y Ni, ya que los aumentos observados, a nivel de planta, en los tratamientos que incluyen aguas residuales (Tabla 2) se correlacionarían con descensos de sus formas disponibles (extraídas con DTPA) del suelo (Fig. 1). Por tal motivo, el Fe, Mn y Ni presente en el agua residual debe, mayoritariamente, quedar retenido en el suelo pasando a formas menos disponibles mediante reacciones de tipo químico y microbiológico (Adriano, 1986). En cambio el Zn que se encuentra en estas aguas, debe ser el responsable de los aumentos evidenciados tanto

en planta (Tabla 2) como en suelo (Fig. 1). La fracción soluble de este elemento debe ser directamente absorbida por el sistema radicular, mientras que la ligada a compuestos orgánicos aumentará la fracción disponible de este elemento en el suelo. Tanto el Cu como el Cd deben seguir una pauta similar a la indicada para el Zn, aunque su menor concentración en el agua residual ocasionaría un efecto menos evidente. Por último, las escasas variaciones de Pb observadas a nivel de planta y suelo, implicaría que el efluente depurado no provocó un efecto apreciable, hecho que resulta lógico a tenor de la inapreciable concentración de este elemento en el agua utilizada.

## CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos en el presente estudio permiten obtener las siguientes conclusiones:

El riego con aguas residuales urbanas depuradas dio lugar a un aumento significativo de la concentración de Mn y Zn en hojas, tallos y raíces; de Cu en hojas y raíces, y de Fe en hojas de un cultivo de tomate. Asimismo, los valores de absorción de estos elementos por el cultivo fueron superiores a los que ejercían el riego con agua potable y NPK.

A nivel de suelo, el aporte de estos efluentes depurados aumentó apreciablemente el Zn extraído con DTPA, disminuyendo en cambio el Fe y Mn extraído con DTPA.

Las concentraciones de Cd, Ni y Pb en la parte aérea del cultivo se encontraron por debajo de los límites de detección del método utilizado. En el suelo, sus formas extraídas

con DTPA fueron escasamente afectadas por el riego con aguas residuales depuradas.

La escasa capacidad, con la excepción del Zn, del agua residual urbana depurada utilizada en este estudio para suministrar metales pesados esenciales al cultivo, efecto previsible también en otros efluentes urbanos depurados, puede ocasionar desequilibrios nutricionales si ellas son aplicadas, como fuente exclusiva de nutrientes a suelos deficientes en oligoelementos o en cultivos hidropónicos. En estos casos, sería necesario suplementarlas con micronutrientes, a través de su disolución en el agua o mediante fertilización foliar. En cambio, la muy baja presencia de metales pesados no esenciales en estas aguas constituye un factor positivo para su utilización en agricultura.

**AGRADECIMIENTOS**

Queremos expresar nuestro agradecimiento a A. Melgar por su ayuda técnica en el invernadero y a M. Martínez por la realización de las gráficas.

**BIBLIOGRAFIA**

- ADRIANO, D. C., 1986. Trace elements in the terrestrial environment. 533. Springer-Verlag, New York.
- ANAC, D. and KOVANCI, I., 1985. Seasonal variations of iron, zinc and manganese in the leaf, stem and root of the Hell Frucht tomato variety. *Ege. Univ. Ziraat Fak. Derg.*, 20: 1-7.
- ASANO, T. and PETTYGROVE, G. S., 1987. Using reclaimed municipal wastewater for irrigation. *California Agric.*, 41: 15-18.
- BENTON JONES, J., WOLF, B. and MILLS, H. A., 1991. Plant analysis handbook. 186. Micro-macro Publishing, Inc. New York.
- BIELEROI, H. VAISMAN, I. and FEIGIN, A., 1984. Drip irrigation of cotton with treated municipal effluents: I. Yield response. *J. Environ. Qual.*, 13: 231-234.
- CORDONNIER, M. J. and JOHNSTON, T. J., 1983. Effect of wastewater irrigation and plant and row spacing on soybeans yield and development. *Agron. J.*, 75: 908-913.
- CHANG, A. C. and PAGE, A. L., 1983. Fate of trace metals during land treatment of municipal wastewater. In: Utilization of municipal wastewater and sludge on land. A. L. Page, T. L. Gleason, J. E. Smith, I. K. Iskander and L. E. Sommers (Eds.). 107-124. University of California. Riverside, Ca.
- CHEN, K. Y., YOUNG, C. S. JAN, T. K. and ROHATGI, N., 1974. Trace metals in wastewater effluents. *J. Water Pollut. Control Fed.*, 45: 2663-2675.
- DAY, A. D., TUCKER, T. C. and VAVICH, H. G., 1962. Effect of city sewage effluent on the yield and quality of grain from barley, oats and wheat. *Agron. J.*, 53: 133-135.
- EPA, 1983. Methods for chemical analysis of water and wastes. EPA-600/4-79-020. U. S. Environmental Protection Agency, Cincinnati.
- FEIGIN, A., VAISMAN, I. and BIELEROI, H., 1984. Drip irrigation of cotton with treated municipal effluents. II. Nutrient availability in soil. *J. Environ. Qual.*, 13: 234-238.
- KARDOS, L. T. and HOOK, J. E., 1976. Phosphorus balance in sewage effluent treated soils. *J. Environ. Qual.*, 5: 87-90.
- LEACH, L. E., ENFIELD, C. G. and HARLIN, C. C., 1980. Summary of long-term rapid infiltration system studies. USEPA Rep. EPA-600/2-80-165, 187. U. S. Environmental Protection Agency, Cincinnati.
- LINDSAY, W. L. and NORVEL, W. A., 1978. Development of a DTPA soils test for zinc, iron, manganese and copper. *Soil Soc. Amer. J.*, 42: 421-428.
- NIELSEN, G. H., STEVENSON, D. S., FITZPATRICK, J. J. and BROWNLEE, C. H., 1989. Yield and plant nutrient content of vegetables trickle-irrigated with municipal wastewater. *Hortsci.*, 24: 249-252.
- PALAZZO, A. J. and JENKINS, T. F., 1979. Land application of wastewater: Effect on soil and plant potassium. *J. Environ. Qual.*, 8: 309-312.

SCHALSCHA, E. B., VERGARA, I. F. and SCHIRADO, T. G., 1978. Irrigation with untreated sewage water and its effect on the content of heavy metals in soils and crops. In: State of knowledge in land treatment of wastewater. H. L. McKim (Ed.). 1: 275-281. U. S. Army Corps of Engineers, Hanover, NH.

*Recibido: 2-3-92.*

*Aceptado: 31-7-92.*