

Evaluación e Impacto del Contenido de Metales Pesados Presentes en las Aguas Residuales Usadas para Riego de la Acequia Favara (Huerta de Valencia, España)

Recibido para evaluación: 02 de Mayo de 2003
Aceptación: 20 de junio de 2003
Recibido versión final: 26 de Julio de 2003

Franky Méndez-Romero¹
Juan Gisbert-Blanquer¹
Mateo Ribes-Guardiola¹
Juan Carlos García-Díaz²
Ángel Marqués-Mateu³

RESUMEN

Las aguas residuales usadas para riego que se transportan a través de la Acequia de Favara en la Huerta de Valencia, fueron objeto de evaluación de su calidad mediante el empleo de la legislación española (BOE, 1986), la Directiva 76/464 de la Unión Europea (CEE, 1976) y las directrices expuestas según FAO (1985) a fin de conocer el impacto que las mismas potencialmente pueden generar en suelos y cultivos. Los muestreos se realizaron durante el periodo que media desde diciembre del 2000 hasta junio del 2002. Durante este periodo se colectaron 300 muestras de aguas, a las que se determinó el contenido de Cr, Cd, Ni y Pb mediante técnicas de espectrofotometría de absorción atómica. La evaluación de la calidad de dichas aguas, reportó que las concentraciones máximas y medias durante el periodo de evaluación están fuera de los límites según las normas empleadas en su evaluación. El análisis estadístico reportó la existencia de diferencias significativas en los muestreos realizados, es decir, se manifiesta una evidente variabilidad en las concentraciones evaluadas durante cada muestreo. El uso sostenido de estas aguas puede potencialmente generar problemas por contaminación y toxicidad tanto en suelos como en los cultivos que allí se desarrollan.

PALABRAS CLAVE: Aguas Residuales, Contaminación Ambiental, Toxicidad, Metales Pesados, Legislación Ambiental.

ABSTRACT

In the waste water irrigation transported through the Favara Channel in the Huerta of Valencia was evaluated their quality by means of the Spain Laws (BOE, 1986), the rule 76/464 European Union (CEE, 1976) and the guidelines FAO (1985) to determinate the potential impact in soils and crops. The waters survey were done since december 2000 until june 2002. During this time period 300 waters survey were collected to determinate the Cr, Cd, Ni and Pb concentration by means of AAS. The water quality showed than the maximum and averages concentrations are out the limits used for their evaluation. The statistical analysis showed significant differences in the waters survey, then it declares than the concentrations have a unquestionable variability in each survey during this time period. The continuous use of this water could generate potential risks of contamination and toxicity in soils and crops.

KEY WORDS: Wastewaters, Environmental, Contamination, Toxicity, Heavy Metals, Environmental Guidelines.

1. Universidad Politécnica de Valencia. ETSIA.
Dpto. de Producción Vegetal.
Unidad Docente de Suelos.
Valencia, España.
franky@cantv.net.

2. Universidad Politécnica de Valencia. ETSII.
Dpto. de Estadística e Investigación Operativa.
Valencia, España.

3. Universidad Politécnica de Valencia. ETSIC.
Dpto. de Geodesia y Cartografía.
Valencia, España.

1. INTRODUCCIÓN

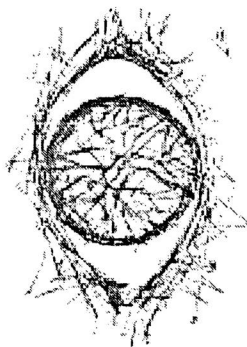
El continuo crecimiento de la población mundial, el avance de la industrialización tanto en los países desarrollados como en vías de desarrollo, los requerimientos del riego agrícola, la desigual distribución de los recursos hídricos, la existencia de sequías estacionales o permanentes y la contaminación de las aguas superficiales y subterráneas son las principales causas que impulsan la búsqueda de nuevas fuentes de abastecimiento de agua. En el año 1958 el Consejo Económico y Social de la ONU anunció una política revolucionaria y que hoy se ve en muchas partes del mundo como una de las soluciones a la necesidad de recursos hídricos. Este Consejo declaraba que "a menos que exista un exceso de agua, no deberá emplearse para cada uso, agua de mayor calidad que la requerida por el mismo". En consonancia con este principio, un elevado número de consumos urbanos de agua podrían abastecerse desde fuentes de calidad no potable. Del mismo modo, el Estado de California publicó el Manual Práctico de Riego con Agua Residual Municipal Regenerada, documento avalado por la Agencia de Medio Ambiente de los EE.UU (Mujeriego, 1990) y que constituye una referencia siempre a tener en cuenta en el proceso de elaboración y puesta a punto de criterios y normas de calidad para el diseño, construcción, mantenimiento y explotación de proyectos de riego con agua residual regenerada. Años más tarde, la Organización Mundial de la Salud (OMS, 1989) también marcó una serie de directrices de calidad microbiológica de las aguas residuales utilizadas en agricultura. Actualmente en España, en espera de la aprobación de una próxima normativa que regulará la utilización de aguas residuales regeneradas, la disponibilidad de este recurso está en función de las estaciones depuradoras existentes así como del grado de depuración exigido en función de las normativas de calidad vigentes. De hecho, las crecientes exigencias sanitarias y ambientales sobre la calidad de los vertidos, junto a la obligatoriedad de cumplir la Directiva Comunitaria relativa al tratamiento de las aguas residuales urbanas y a la ejecución del Plan Nacional de Saneamiento y Depuración, están suponiendo un gran impulso a la construcción de estaciones depuradoras, por lo que se prevé que en el año 2005 tratarán un volumen de aguas residuales superior a 3.500 hm³/año. Parte de este volumen total no será susceptible de reutilización directa, ya que se tendrán que garantizar los retornos a los cauces para permitir las captaciones autorizadas aguas abajo y mantener el caudal ecológico de los ríos.

La escasez de recursos hídricos naturales en zonas áridas y semiáridas constituye un problema, a veces dramático, para la población asentada en ellas, como es el caso de las regiones mediterráneas, en las que la creciente acumulación de población unida a una escasa pluviometría irregularmente distribuida en el tiempo y a unos limitados recursos superficiales, están llevando al agotamiento o al deterioro irreversible de los recursos subterráneos. En este contexto, la reutilización de las aguas residuales urbanas se perfila como una fuente adicional de agua merecedora de ser tenida en cuenta en la gestión global de los recursos hídricos, junto a medidas ya tradicionales como los trasvases desde cuencas cercanas excedentarias, la construcción de embalses para regular recursos superficiales y otras medidas más innovadoras y costosas como desalación de agua de mar.

La existencia de vertidos líquidos urbanos e industriales, con poca o nula depuración, que alcanzan cursos superficiales de agua y acuíferos, junto a depósitos de residuos sólidos urbanos o industriales no controlados y las aportaciones, poco racionales a veces, de fertilizantes y fitosanitarios en agricultura, provocan una contaminación artificial de las aguas que agrava significativamente su carencia con una importante pérdida de calidad.

Los metales pesados presentes en las aguas residuales se encuentran en fases coloidales, de partículas y disueltas, aunque las concentraciones disueltas son generalmente bajas (Kennish, 1992). El metal coloidal y de partículas se puede encontrar en 1) hidróxidos, óxidos, Silicatos o sulfuros; 2) fijados por adsorción a la arcilla, el sílice, o a la materia orgánica. Las formas solubles son generalmente iones órgano-metálicos quelatados o complejos. La solubilidad de los metales pesados en las aguas superficiales predominantemente es controlada por el pH, el tipo de concentración de los ligandos en los cuales el metal se podría fijar por adsorción, y el estado de la oxidación de los componentes y el ambiente redox del sistema (Connell y Miller, 1984).

El impacto que ha generado en el valle del Atlxco en México el uso de las aguas residuales en mas de 10.000 ha, fue evaluado por Méndez, Rodríguez y Palacios (2000), encontrándose que



las aguas residuales no depuradas usadas para riego superan ampliamente las normas de evaluación mejicanas NOM-CCA-032ECOL y NOM-NTE032. Así mismo, el uso permanente de estas aguas ha elevado las concentraciones de metales pesados en los suelos a niveles altamente tóxicos. Brar *et al.* (2000) usaron durante 10 años las aguas residuales no depuradas para riego en el cultivo de la Papa. Estas investigaciones determinaron que el uso de las aguas residuales incrementó considerablemente las concentraciones de Ni y Cr en los 60 cm y 30 cm de profundidad respectivamente. Igualmente, el uso de las aguas residuales no depuradas incrementó la concentración de estos metales en hojas y tubérculos, siendo mas alto en las hojas. La concentración de Ni en las plantas fue mayor a la presentada en los suelos.



El objetivo del presente trabajo fue evaluar la calidad de las aguas residuales de la Acequia de Favara a través de las concentraciones de Cd, Cr, Ni y Pb presentes en dichas aguas y el impacto que estas aguas puedan generar tanto en suelos como cultivos que se riegan con dichas aguas.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

La Acequia de Favara es una de las ocho acequias que conducen las aguas para riego en cultivos de huerta, cítricos y arroz en la Huerta de Valencia, estas aguas son captadas mediante una presa de derivación transversal localizada en el cauce del río Turia. En este cauce se vierten desde hace más de 30 años, aguas residuales urbanas e industriales que no han sido sujetas de un correcto control a través de la red de saneamiento hasta las empresas depuradoras de aguas residuales (EDARs), ubicadas en la zona. Asimismo, en la obra de captación se tomaron desde diciembre del 2000 hasta junio del 2002 un total de 300 muestras de aguas para la determinación del contenido de Cr, Cd, Ni y Pb presentes en dichas aguas. Los muestreos se efectuaron siguiendo el siguiente esquema de trabajo: Cada muestreo efectuado con una frecuencia de 45 días aproximadamente, consistía en tomar con un intervalo de tres horas desde las 08:00 horas hasta las 20:00 horas, 5 muestras por cuatro repeticiones, es decir 25 muestras por muestreo, posteriormente, cada muestra una vez envasada en botellas de polipropileno de 1l de capacidad, se preservó con HNO_3 a $\text{pH} < 2$ y luego se almacenaron en frío por debajo de 4°C a objeto de mantener su estabilidad (Moreno, Pérez y Herrero, 1996). La determinación del contenido de Cr, Cd, Pb y Ni se hizo empleando un equipo de espectrofotometría de absorción atómica Varian AA/Plus.

La calidad de las aguas se evaluó al considerar los límites establecidos en la legislación Española (BOE, 1986), donde se establecen los criterios genéricos correspondientes al uso de las aguas residuales depuradas en el riego agrícola, la Directiva 76/464 de la Unión Europea (CEE, 1976) correspondiente a las concentraciones límites sobre vertidos de aguas residuales industriales a los sistemas públicos de saneamiento y las directrices sobre concentraciones máximas recomendadas para el uso de aguas residuales con fines de riego según FAO (1985). Los resultados obtenidos fueron objeto de un análisis estadístico de la varianza a objeto de conocer las diferencias significativas entre los valores medios del contenido de cada metal pesado en cada muestreo.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Al evaluar la calidad de las aguas residuales no depuradas vertidas en el cauce del río Turia y transportadas para el riego en cultivos hortícolas, cítricos y arroz a través de la Acequia de Favara, se encontró que las concentraciones máximas y medias de Cd, Cr, Pb, y Ni expuestas en la Tabla 1, están fuera de los límites permitidos de acuerdo a la legislación Española (BOE, 1986), Directiva de la Unión Europea (CEE, 1976) y FAO (1985), asimismo, dichas aguas manifiestan el siguiente orden decreciente $\text{Cr} > \text{Pb} > \text{Ni} > \text{Cd}$, tanto en su concentración máxima como media.

Tábla 1.
Concentraciones (mg l⁻¹) de Cd, Cr, Pb y Ni presentes en las aguas para riego de la Acequia de Favara para evaluar su calidad según la legislación Española (BOE, 1986), Unión Europea (CEE, 1976) y FAO (1985)¹

1. Adaptadas de la Academia de ciencias de los Estados Unidos (1972) y Pratt (1972)

	Cd (mg l ⁻¹)	Cr (mg l ⁻¹)	Pb (mg l ⁻¹)	Ni (mg l ⁻¹)
Media ¹	0,027	0,489	0,231	0,117
Máximo ¹	0,103	4,650	1,503	0,604
BOE. 1986 (R.D. 849)	0,05	0,1	0,5	2,0
Directiva 76/464/CEE	0,5	5,0	1,0	5,0
FAO. (1985)	0,01	0,1	0,5	0,2

¹ Fuente CERVER (2002).

Asimismo, en el caso del Cr con una concentración máxima y media de 4,65 mg l⁻¹ y 0,489 mg l⁻¹ respectivamente, sus concentraciones se manifiestan fuera del límite máximo permitido de acuerdo a FAO (1985) y la legislación española (BOE, 1986). Asimismo, la Figura 1 aparte de expresar la variabilidad manifestada por ambas concentraciones, se puede apreciar que durante todo el periodo de evaluación se superan las concentraciones límites de acuerdo a las normas anteriormente citadas. La disminución irregular pero sostenida en el tiempo manifestada en ambas concentraciones, nunca llegar a ser de tal magnitud que les permitan en cualquier periodo cumplir con las ya citadas normas, aunque esta disminución sea atribuible muy probablemente a la aplicación de algunas medidas correctoras por parte de la administración, a objeto de reducir la concentración de este metal en los vertidos que drenan al cauce del río Turia.

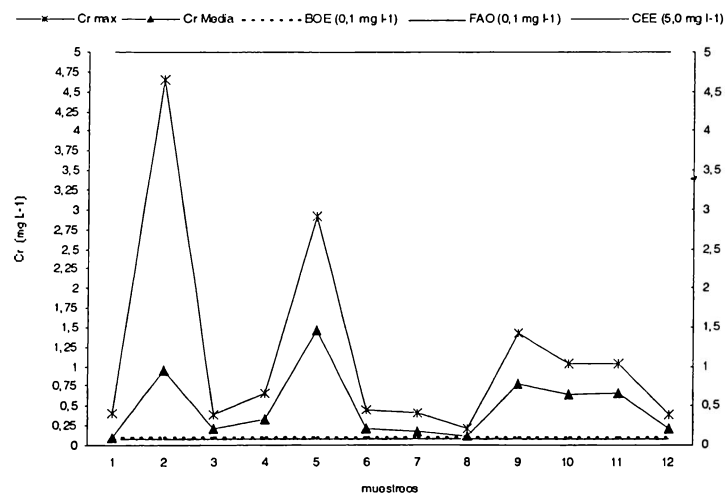


Figura 1.
Variabilidad temporal y actuación de la calidad de la concentración de Cr presente en las aguas usadas para riego transportadas a través de la Acequia de Favara.

La variabilidad de la concentración máxima de Cd en mg l⁻¹ presente en las aguas para riego y expuesta en la Figura 2, supera hasta el octavo muestreo y durante todo el periodo de evaluación los límites establecidos en las directrices FAO (1985) y la legislación española (BOE, 1986) respectivamente, igualmente la concentración media, con un comportamiento semejante al de la máxima concentración, supera mayoritariamente sólo el límite de 0,01 mg l⁻¹ fijado por FAO (1985). También, desde otro punto de vista y considerando para todo el periodo de evaluación la máxima concentración con 0,103 mg l⁻¹ y la media con 0,027 mg l⁻¹, sitúan al Cd frente a las normas anteriormente citadas como un elemento potencialmente tóxico en las aguas para riego.

En este caso, el considerar la concentración máxima de Cd para complementar la calificación de la calidad de las aguas para riego, se asume válido ya que la diferencia en el tiempo expuesta entre ambas concentraciones es reducida e incluso muy similares durante los cuatro últimos muestreos.

La variabilidad temporal de las concentraciones máximas y medias de Pb manifestadas en la Figura 3, indica que las mismas no representan un riesgo potencial de contaminación en dichas aguas, ya que solo y muy irregularmente se supera el límite de $0,5 \text{ mg l}^{-1}$ fijado por FAO (1985) y la legislación española (BOE, 1986). Es necesario destacar que aunque se haya encontrado una concentración máxima con $1,503 \text{ mg l}^{-1}$ de Pb, no representa el comportamiento ni la magnitud del resto de las concentraciones encontradas, por lo que esta concentración se puede interpretar como un valor aislado y excepcional que no debe poner en riesgo la calificación ya expresada.

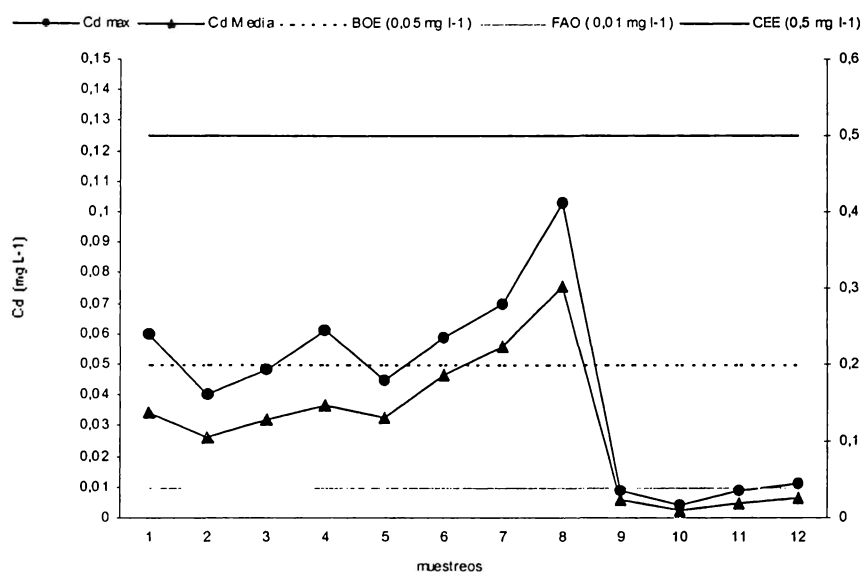


Figura 2 .
Variabilidad temporal y actuación
de la calidad de la concentración
de Cd presente en las aguas
usadas para riego transportadas a
través de la Acequia de Favara

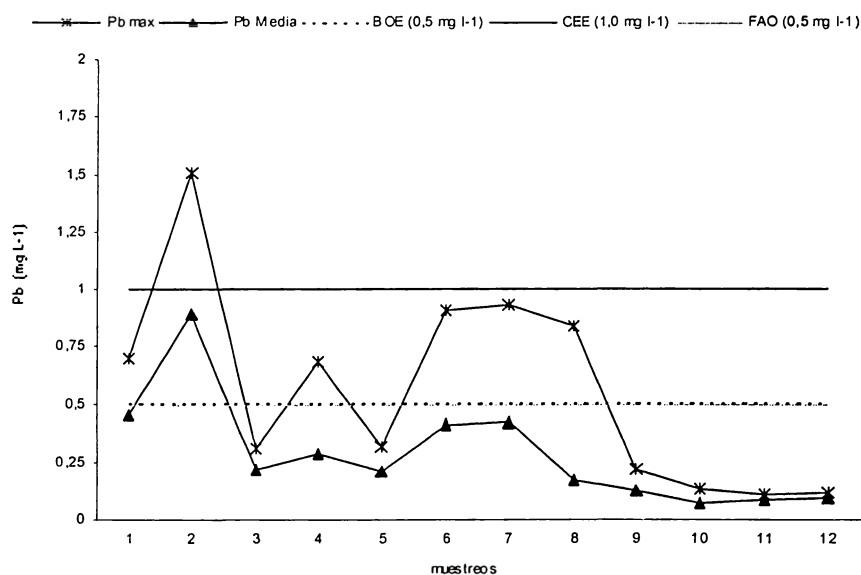
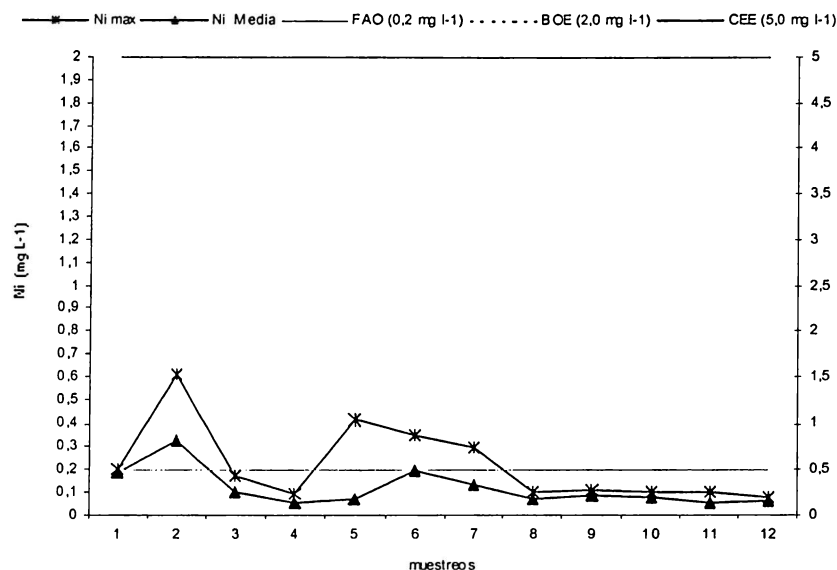


Figura 3 .
Variabilidad temporal y actuación
de la calidad de la concentración
de Pb presente en las aguas
usadas para riego transportadas a
través de la Acequia de Favara

Por último, en la Figura 4 se observa que el Ni manifestó para todo el período de evaluación una concentración máxima y media de 0,604 mg l⁻¹ y 0,117 mg l⁻¹ respectivamente, tampoco puede considerarse como un elemento potencialmente tóxico, aunque en tan sólo cuatro muestreos se hayan superado el límite establecido por FAO (1985), ya que las reducidas diferencias entre ambas concentraciones y la variabilidad temporal de este metal manifiestan una sostenida disminución de su concentración.

Figura 4.
Variabilidad temporal y actuación
de la calidad de la concentración
de Ni presente en las aguas
usadas para riego transportadas
a través de la Acequia de Favara



En la Tabla 2 se presentan los estadísticos F encontrados para cada metal correspondiente a cada muestreo durante el tiempo de evaluación. Este análisis manifiesta que los metales pesados evaluados expresan la existencia de diferencias significativas en casi todos los muestreos, es decir, las concentraciones medias encontradas para cada metal durante un muestreo en particular son diferentes, de tal manera que existe una evidente variabilidad en la concentración para cada metal durante un mismo muestreo en ese periodo de tiempo desde las 08,00 horas hasta las 20,00 horas.

Esta variabilidad, debe estar asociada a las actividades industriales que se desarrollan aguas arriba a la obra hidráulica de captación de las aguas para riego durante ese periodo de tiempo, que es cuando aquellas empresas de forma incontrolada vierten de manera irresponsable los efluentes contaminantes en el cauce del río Turia. Asimismo, en la Figura 5 se esquematiza dicha variabilidad generada por el promedio de la concentración de cada metal en cada hora de muestreo, es decir, el promedio a las 08:00, 11:00, 14:00, 17:00 y 20:00 horas para todos los muestreos.

Tabla 2.
Estadísticos F generados del
análisis de varianza en cada
muestreo durante todo el
periodo de evaluación para cada
metal estudiado.

Elemento	Muestreos											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Cr	213,4*	3,0*	16,5*	35,14*	841,0*	7,58*	14,6*	0,43	981,9*	365,2*	1,62	43,41*
Cd	69,2*	14,1*	148,4*	78,7*	2,11	2,85*	1,35	19,9*	3,8*	7,1*	22,0*	15,8*
Pb	14,8*	202,9*	83,5*	2,7*	6,4*	4,5*	0,34	4,3*	22,1*	5,1*	1,9	8,9*
Ni	0,3	706,4*	1,0	5,2*	3,7*	1,2	12,1*	0,7	1,0	13,3*	38,6*	9,8*

* P < 0,05

Además, en la Figura 5 se puede apreciar que la mayor concentración de elementos contaminantes vertidos en el cauce del río Turia, se pueden hallar en este punto de muestreo entre las 11:00 y 17:00 horas del día.

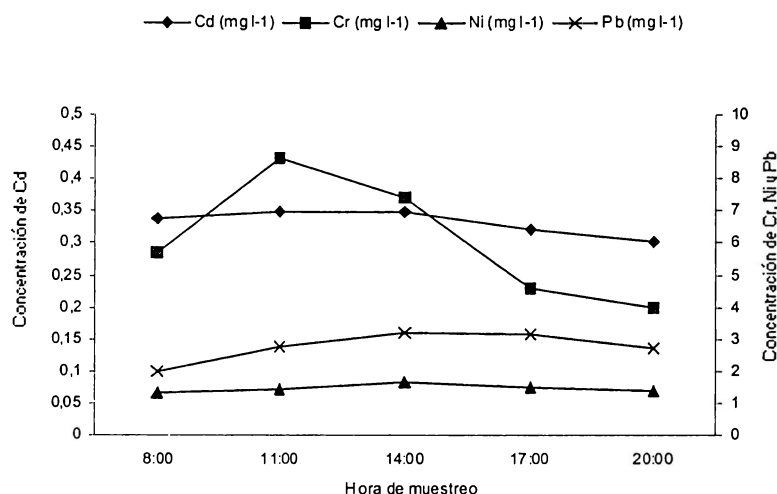


Figura 5. Promedio de la variabilidad temporal de las concentraciones de Cd, Cr, Ni y Pb presentes en cada hora de muestreo durante todo el periodo de evaluación.

Las aguas residuales no depuradas que se vierten desde hace más de 30 años en el cauce del río Turia y que se usan para riego a través de la Acequia de Favara en cultivos de huerta, cítricos y arroz pueden generar en los suelos y en los cultivos un impacto potencial de contaminación y toxicidad respectivamente, ya que de acuerdo a algunas experiencias tales como las expuestas por, Méndez, Rodríguez y Palacios (2000) y Brar *et al.* (2000) donde se han usado por largos periodos de tiempo aguas residuales sin ningún tipo de tratamiento, han incrementado las concentraciones de elementos contaminantes tanto en suelos como en los cultivos.

4. CONCLUSIONES

La evaluación de la calidad de las aguas residuales usadas para riego transportadas por la Acequia de Favara en la Huerta de Valencia, indica que las concentraciones máximas y medias de Cr, Cd, Ni y Pb están fuera de los límites establecidos según legislación española (BOE, 1986), la Directiva 76/464 de la Unión Europea (CEE, 1976) y las directrices expuestas según FAO (1985). Por lo tanto, el uso de estas aguas con elevadas concentraciones de estos metales, supone un impacto de riesgo potencial de contaminación y toxicidad a los cultivos que allí se desarrollan. Igualmente, bajo estas condiciones el uso de esta agua no representa una alternativa de gestión ambiental a ser considerado por la administración, mientras no se apliquen las medidas correctoras que disminuyan la concentración de metales pesados en los vertidos sobre el cauce del río Turia. También sería necesario conducir una evaluación del contenido de estos metales tanto en suelos como en los cultivos que allí desarrollados, a objeto de poder tener más y mejores argumentos que puedan corroborar o no, los efectos potenciales y de impacto que aquí se discuten sobre uso de estas aguas.

5. BIBLIOGRAFÍA

- Academia de Ciencias de los Estados Unidos, 1972. Criterios de calidad de las aguas. Agencia de Protección Ambiental, Washington DC. Reporte N° EPA-R373-033 . 592 pp.
- Brar, M.S., Malhi A.P., Singh C., Arora L. y Gill K.S., 2000. Sewage water irrigation effects on some potentially toxic trace elements in soil and potato plants in northwestern India. Can. J. Soil Sci. 80:465-471.

- BOE., 1986. Reglamento del Dominio Público Hidráulico. Boletín Oficial del Estado N° 103 sobre regulación de la Ley 29/1985. Ministerio de la Presidencia. Madrid. España. 5 pp.
- Connel D.W. y G.J. Miller., 1984. Chemistry and Ecotoxology of Pollution. Jhon Wiley & Sons. NY. 444 pp.
- CEE, 1976. Directiva 76/464/CEE relativa a la contaminación causada por determinadas sustancias peligrosas vertidas en el medio acuático de la Comunidad. Consejo de la CEE. Bruselas. 5 pp.
- CEVER, 2002. Estudio de la Degradación por Salinidad y Metales Pesados en Suelos y Aguas de la Acequia de Favara. JM Gisbert y FJ Méndez (Eds.). CEVER. Universidad Politécnica de Valencia. 185 pp.
- FAO, 1985. Wastewater treatment and use in agriculture. Irrigation and Drainage N° 47. 125 pp.
- Mujeriego, R., 1990. Manual práctico de riego con agua residual municipal regenerada. Universitat Politècnica de Catalunya (Ed). Barcelona, España. 481 pp.
- OMS, 1989. Directrices sanitarias sobre el uso de aguas residuales en agricultura y acuicultura. Organización Mundial de la Salud. Informe Técnico 778. Ginebra, Suiza. 90 pp.
- Kennis, M.J., 1992. Ecology of Estuaries: antropogenic Effects. Boca Ratón, CRC Press, USA. 494 pp.
- Méndez, G.T.; Rodríguez D. y Palacios M.S., 2000. Impacto del riego con aguas contaminadas evaluado a través de la presencia de metales pesados en suelos. Terra. 18. 4 : 277- 288
- Moreno, C.J.; Pérez, M.D. y Herrero, R.M., 1996. Análisis y calidad del agua de riego. Universidad Politécnica de Valencia (Ed). SPUPV-96133. Valencia, España. 220 pp.
- Pratt, P.F., 1972. Quality criteria for trace elements in irrigation waters. California Agricultural Experiment Station. 46 pp.

