



Agrociencia

ISSN: 1405-3195

agrocien@colpos.mx

Colegio de Postgraduados

México

Justin Cajuste, Lenom; Vázquez Alarcón, Antonio; Siebe Grabach, Christina Desireé; Alcántar González, Gabriel; Isla de Bauer, María de Lourdes de la Cadmio, Níquel y Plomo en agua residual, suelo y cultivos en el Valle del Mezquital, Hidalgo, México  
Agrociencia, vol. 35, núm. 3, mayo-junio, 2001, pp. 267-274  
Colegio de Postgraduados  
Texcoco, México

Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=30200302>

- Cómo citar el artículo
- Número completo
- Más información del artículo
- Página de la revista en redalyc.org

redalyc.org

Sistema de Información Científica

Red de Revistas Científicas de América Latina, el Caribe, España y Portugal

Proyecto académico sin fines de lucro, desarrollado bajo la iniciativa de acceso abierto

# CADMIO, NÍQUEL Y PLOMO EN AGUA RESIDUAL, SUELO Y CULTIVOS EN EL VALLE DEL MEZQUITAL, HIDALGO, MÉXICO

## CADMIUM, NICKEL AND LEAD CONCENTRATIONS IN WASTEWATER, SOIL AND CROPS IN THE MEZQUITAL VALLEY, HIDALGO, MÉXICO

Antonio Vázquez-Alarcón<sup>1</sup>, Lenom Justin-Cajuste<sup>2</sup>, Christina Siebe-Grabach<sup>3</sup>, Gabriel Alcántar-González<sup>2</sup> y María de Lourdes de la Isla de Bauer<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Departamento de Suelos. Universidad Autónoma Chapingo. 56230, Chapingo, Estado de México. (avazquez@taurus1.chapingo.mx). <sup>2</sup>Instituto de Recursos Naturales. Colegio de Postgraduados. 56230 Montecillo, Estado de México. <sup>3</sup>Instituto de Geología. UNAM. Circuito de la Investigación, Ciudad Universitaria, México D.F.

### RESUMEN

Como consecuencia del uso directo del agua residual para irrigar cultivos desde hace más de 100 años en el Valle del Mezquital, Hidalgo, México, se han acumulado metales pesados en los suelos. En 1996, de enero a noviembre, se realizó el presente estudio en esa región, con la finalidad de diagnosticar el proceso de acumulación y variabilidad en las concentraciones de cadmio, níquel y plomo en agua y suelo, en las especies: maíz (*Zea mays* L.), trigo (*Triticum aestivum*) y alfalfa (*Medicago sativa*), que son las de mayor importancia económica. Con la información obtenida se pretende destacar la necesidad de tener normas que establezcan la acumulación tolerable de metales pesados en el suelo. El procedimiento consistió en obtener muestras de agua, suelo, tejido vegetal y grano en tres especies y en nueve sitios con variación en la antigüedad de uso del agua residual. En siete sitios se colectó trigo; en las parcelas Tlaxcoapan 2, Tlahualilpan 1, Manantiales, El jardín, Mixquiahuala 1, Bocamiño y Col. Morelos. La concentración total de plomo fue 0.13 mg L<sup>-1</sup> en el agua del Gran Canal de Desagüe, mientras que en el agua proveniente de la presa Endhó la concentración fue 0.054 mg L<sup>-1</sup>. En trigo, el cociente que resultó de dividir la concentración de cadmio del tejido foliar entre la del grano, disminuyó al aumentar la edad de la planta en cuatro de siete sitios. En el sitio Tlahualilpan1 el cociente fue 1.5 en marzo y 0.90 en abril, lo que muestra que existió transferencia del Cd al grano y de éste a la cadena alimenticia. El plomo permaneció en el follaje de trigo en cinco de siete sitios; el cociente descrito aumentó de 0.8 en marzo a 2.4 en abril en la parcela Tlahualilpan1. El coeficiente de níquel aumentó de marzo a abril en los siete sitios de muestreo, por lo cual se infiere que hubo una transferencia de níquel hacia el grano.

**Palabras clave:** Cadena alimenticia, contaminación de suelos, riego con agua residual, transferencia de metales.

### ABSTRACT

As a result of the direct use of sewage water for more than 100 years to irrigate crops, heavy metals have accumulated in soils in the Mezquital Valley, Hidalgo State, México. From January to November 1996 the present study was conducted to make a diagnosis of the accumulation and variability of the concentration of cadmium, nickel, and lead in water, soil as well as in maize (*Zea mays* L.), wheat (*Triticum aestivum*), and lucerne (*Medicago sativa*). These crops are of major economical importance in this valley. Data obtained were used to show the need to regulate the accumulation of heavy metals in soils. Samples of water, soil, foliar tissue, and grains of maize and wheat were taken from seven sites with a variation in the time of use of the waste water. Total lead concentration in water of the Gran Canal del Desagüe was 0.13 mg L<sup>-1</sup>, while in water of the dam was 0.054 mg L<sup>-1</sup>. The coefficient obtained from the division of the concentration of cadmium in the foliar tissue and in grain of wheat, decreased in four of the seven sites. In site Tlahualilpan1 the variation was 1.5 (March) to 0.9 (April); this shows that Cd was transferred to the grain and from there to the food chain. In five of the seven sites, lead stayed in the wheat leaves; the calculated coefficient increased from 0.8 (March) to 2.4 (April) in the Tlahualilpan1 site. Nickel coefficient in wheat, decreased in the seven sites, and this shows that nickel was transferred to the grain.

**Key words:** Food chain, soil pollution, irrigation with wastewater, metal transference.

### INTRODUCTION

In the region of the Mezquital Valley in the state of Hidalgo, residual water has been used to irrigate crops for more than 100 years. The wastewater comes from the Metropolitan zone of Mexico City (ZMCM). In this region, 90 thousand hectares are now cultivated, producing maize, alfalfa, beans, barley, and wheat among others. Scarce efforts have been made to regulate the use of residual water in agricultural production. Up to date

## INTRODUCCIÓN

En la región del Valle del Mezquital, estado de Hidalgo, desde hace más de 100 años se ha utilizado el agua residual que proviene de la zona metropolitana de la Ciudad de México (ZMCM) con fines agrícolas. En la actualidad la superficie cultivada es de 90 mil ha y se producen cultivos y forrajes como maíz, alfalfa, frijol, cebada y trigo entre otros. Escasos esfuerzos se han realizado para regular el uso del agua residual en la producción agrícola. A la fecha no se cuenta con parámetros de calidad del suelo en términos de concentración permisible de metales tóxicos. Dichos valores servirían para indicar valores máximos tolerables de concentración de metales en suelos usados para generar alimentos para seres humanos.

En el Valle del Mezquital, Hgo., Mascareño y Guajardo (1977), Sánchez (1985), Mejía *et al.* (1990), Carrillo *et al.* (1992), Cifuentes *et al.* (1994) y Siebe (1994 y 1995) entre otros autores, han investigado la contaminación de suelos, así como el proceso de acumulación y distribución de metales en diferentes ambientes. Cajuste *et al.* (1991) observaron concentraciones de metales en agua para riego más elevadas que los permitidos por la Norma Oficial Mexicana que regula el uso del agua residual con fines agrícolas (NOM, 1993). De igual forma, cuantificaron en alfalfa concentraciones de Ni y Pb influenciadas por la aplicación de riego con agua residual. Carrillo *et al.* (1992) encontraron que la concentración de Cd en agua residual fue superior al límite permisible en México. Además, alfalfas regadas con esas aguas tenían concentraciones de Cr y Pb superiores a los valores considerados normales en tejido vegetal. Siebe (1994) estima que existe un proceso de acumulación de metales pesados en la región del Valle del Mezquital, la cual sería tres a seis veces superior respecto a la que ocurre en suelos no irrigados con agua residual. Un aspecto preocupante es que está incrementándose la fracción más activa de metales en el suelo, respecto a la disponibilidad para las plantas (Siebe, 1995). Esta autora registró un aumento en la concentración de la fracción móvil de metales pesados, así como de las cantidades de Cd y Pb en el cultivo de alfalfa, aunque no hubo concentraciones superiores a los límites de tolerancia o valores permisibles, como observaron Carrillo *et al.* (1992).

En el presente trabajo se investiga la dinámica de Cd, Ni y Pb, en relación con su transporte en agua, acumulación y movilización en el suelo, así como su incorporación al follaje de la alfalfa (*Medicago sativa*), y al follaje y grano de maíz (*Zea mays* L.) y trigo (*Triticum aestivum*), durante un periodo de seis meses.

there are not available parameters of soil quality in terms of permissible or acceptable concentrations of toxic metal accumulation in soil. Such values would serve to indicate maximum tolerable concentrations of toxic metals in soils used to produce food for human consumption.

Since 1970 several authors have done research evaluating soil pollution in the Mezquital Valley, as well as on the accumulation process and metal distribution in different environments (Mascareño and Guajardo, 1977; Sánchez, 1985; Mejía *et al.*, 1990; Carrillo *et al.*, 1992; Cifuentes *et al.*, 1994; Siebe, 1994, 1995). Cajuste *et al.* (1991) observed metal concentrations in irrigation water higher than those permitted by the Official Mexican Norm (NOM, 1993). Likewise, these authors quantified Ni and Pb in alfalfa irrigated with residual water. Carrillo *et al.* (1992) found that Cd concentration in residual water exceeded the permissible limit in Mexico. In addition, alfalfa irrigated with this water showed concentrations of Cr and Pb higher than those considered normal in plant tissue. Siebe (1994) estimated that there is a process of heavy metal accumulation in the region of the Mezquital Valley. The magnitude of the process would be three to six times higher than in soils not irrigated with wastewater. One aspect of concern regarding the presence of metal in soil is that the most active fraction is increasing with respect to its availability for plants (Siebe, 1995). This author registered an increase in the concentration of the mobile fraction of heavy metals, as well as quantities of Cd and Pb in alfalfa, although did not report concentrations that surpassed the tolerated limits or values considered permissible (Carrillo *et al.*, 1992).

This work is a contribution to the knowledge of Cd, Ni and Pb dynamics, related to its transport in water, its accumulation and mobilization in soil, as well as its incorporation into the foliage of alfalfa and leaves and grain of maize and wheat during a six months period.

## MATERIALS AND METHODS

The research was conducted from January to November 1996, in the Mezquital Valley, Hidalgo, in the area of influence of the District of Rural Development 063 (DDR 063). This area is located between 19° 53' and 20° 30' N and 98° 57' and 99° 30' W. The criteria for site selection were: the soil was stratified according to the soil series characterized for the region (Secretaría de Recursos Hidráulicos, 1976). Within each soil series, sites were selected according to the lengths of time of wastewater use, based on information provided by DDR 063. Times varied from 5 to 84 years (Table 1). Water samples were collected in eight sites, and plant tissue and soil samples in nine. In each of these last nine, plots were selected in function of the dominant crop: alfalfa, maize, or wheat. Hence, a total of 17 plots was employed.

In the selected plots, soil and leaf tissue samples were taken, following a grid scheme. Ten to fifteen sub-samples of soil per plot were collected (0-10 cm depth), and a compound sample was integrated

**Cuadro 1. Sitios estudiados, identificación por serie, antigüedad de uso de agua y población de referencia.**  
**Table 1. Sites, identification by series, years of water use, and location.**

Serie de suelo	Población	Antigüedad (años)	Identificación de muestras	
			Agua (sitios)	Suelo (parcelas)
Lagunilla	Atitalaquia	20	S1	Atit1 y Atit2
Lagunilla	Tlaxcoapan	84	S2	Tlax1, Tlax2 y Tlax3
Tepatepec	Tlahualilpan	84	S3	Tlah1 y Tlah2
Progreso	Cerro Xicuco	17	S4	Sta. Cruz y la Presa
Progreso	Mixquiahuala	70	S5	Mixq1 y el Jardín
Progreso	Mixquiahuala	5	S5	Los Manantiales
Tepatepec	Tepatepec	64	S6	Col. Morelos y Bocamiño
Tepatepec	El Rosario	30	S7	El Rosario y F.I. Madero
Lagunilla	Actopan	24	S8	Actopan

**S1:** Canal Tlamaco-Juandhó km 5

**S3:** Canal Requena km 33

**S5:** Canal Xochitlán km 35

**S7:** Canal Secundario Requena El Rosario

**S2:** Canal Secundario Tlamaco-Juandhó Tlaxcoapan

**S4:** Canal Parcelario Requena Col. Sta. Cruz

**S6:** Canal Secundario Requena Bocamiño

**S8:** Canal Requena km 70

## MATERIALES Y MÉTODOS

La investigación se efectuó de enero a noviembre de 1996 en el Valle del Mezquital, Hgo., en el área de influencia del Distrito de Desarrollo Rural 063 (DDR 063) que se ubica entre las coordenadas 19° 53' a 20° 30' N y 98° 57' a 99° 30' O. Los criterios para seleccionar los sitios fueron los siguientes: el suelo fue estratificado de acuerdo con el número de series de suelo que se tienen caracterizadas en la región (Secretaría de Recursos Hidráulicos, 1976). La antigüedad en el uso del agua se registró con base en información proporcionada por el DDR 063, y dentro de cada serie se seleccionaron sitios con diferentes tiempos de uso de agua residual, que variaron de 5 hasta 84 años de incorporación al riego (Cuadro 1). Se eligieron ocho sitios para muestras de agua y nueve para suelo y especies vegetales. En cada uno de estos ocho se establecieron parcelas de observación en función del cultivo dominante: alfalfa, maíz o trigo; así, finalmente, se obtuvieron 17 parcelas de muestreo.

Para las muestras de suelo y tejido foliar se usó un esquema en rejilla: se colectaron de 10 a 15 submuestras por parcela, a una profundidad de entre 0 y 10 cm, y con ellas se generó una muestra compuesta. Las muestras de tejido vegetal se colectaron de cinco a ocho plantas que crecían en el mismo lugar de donde se obtuvieron algunas de las muestras de suelo. En alfalfa se recolectó una rama por planta cada mes; en maíz, en mayo y junio, se tomaron hojas completamente desarrolladas sin daño aparente y, en noviembre, hojas y grano; finalmente, en trigo, cada mes, de febrero a abril se colectaron muestras de la parte aérea y, en marzo y abril, muestras de grano. Las muestras de agua residual fueron obtenidas del canal de riego respectivo a razón de una mensual por cada sitio, de enero a junio. Los procedimientos de colección, preservación y almacenaje del agua se realizaron de acuerdo con lo descrito por Adams (1990).

Se analizó el suelo para estimar la cantidad de cada metal que pueden extraer los cultivos, usando la solución extractora EDTA 0.05M pH 7. En las muestras de agua se analizó el contenido de Cd, Ni y Pb de la fracción soluble y el total. La cantidad de metales suspendidos

with them. Plant tissue samples were collected from plants (five to eight) growing in the same place where some soil samples were taken. Every month, one branch per plant of alfalfa was picked. During May and June completely developed, undamaged maize leaves were collected, and in November maize leaves and grain. Finally, from February to April samples of wheat leaves and, in March and April, leaf tissue and grain were gathered. Wastewater samples were taken from the respective irrigation canals once a month in each site, from January to June. Collection, preservation, and storage procedures were carried out according to the description of Adams (1990).

Soil was analyzed to estimate the amount of each metal that can be extracted by the crops, using the EDTA 0.05M, pH 7 extractor solution soluble fraction and total. In water samples, Cd, Ni and Pb content was determined. The amount of suspended metals was calculated by difference. The analysis of water (total and soluble fraction), was made using the methods proposed by the American Public Health Association (APHA, 1992). Metal content in plant tissue and grain was determined after wet digestion with nitric and perchloric acid (2:1). Cadmium, nickel and lead were quantified by atomic absorption spectrophotometry.

To evaluate the degree to which metal concentration in soil and crops is associated with years of wastewater use, a linear regression analysis was made. The respective coefficients of correlation were calculated and the regression models adjusted.

## RESULTS AND DISCUSSION

The analysis of water used to irrigate the crops showed different concentrations of Cd, Ni, and Pb. The highest concentrations of soluble metals were found in sites S1 and S2 (Figure 1), corresponding to the main and secondary water distributor, denominated Tlamaco-Juandhó. This is due mainly to the fact that the water in those two sites comes directly from the ZMCM, via the Gran Canal. The chemical characteristics of these waters

se calculó por diferencia. El análisis del agua y del contenido total de la fracción en solución, se hizo de acuerdo con los métodos propuestos por la American Public Health Association (APHA, 1992). La concentración de los metales en el tejido vegetal y en el grano se midió después de una digestión en húmedo con ácido nítrico y perclórico (relación 2:1). La cuantificación de Cd, Ni y Pb se realizó por espectrofotometría de absorción atómica.

Para evaluar el grado de asociación entre la concentración de metales en el suelo y en cultivos con el tiempo de uso de las aguas residuales, se realizó un análisis de regresión lineal. Para ello se calcularon los coeficientes de correlación respectivos y se ajustaron los modelos de regresión.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Agua

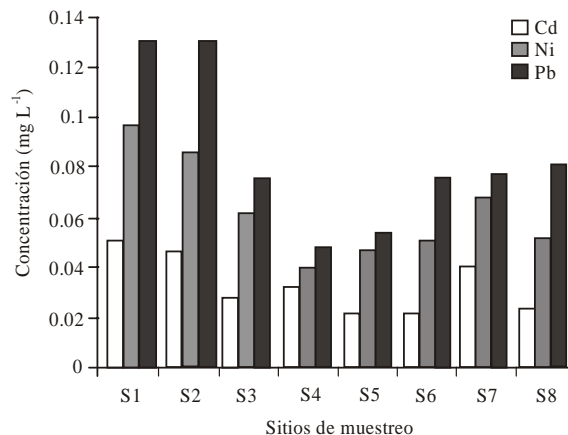
Las aguas usadas para regar los cultivos de las localidades estudiadas presentaron concentraciones diferentes de Cd, Ni y Pb. En los sitios S1 y S2 (Figura 1), correspondientes al distribuidor principal y secundario denominado Tlamaco-Juandhó, se encontraron las mayores concentraciones de metales solubles en agua. Esto se debe principalmente a que el agua en esos dos sitios proviene directamente de la ZMCM, vía el gran canal de desagüe. Las características químicas de estas aguas sólo son afectadas por el tiempo en que tardará en llegar a la zona de riego.

En los sitios S3 a S8 (Ver Cuadro 1) el agua pasa previamente por un cuerpo de almacenamiento, la presa Endhó, lo que permite una sedimentación de los metales presentes en la fracción suspendida.

La Figura 2 muestra la concentración promedio de cada metal en el agua. Se aprecia una tendencia del Pb a incrementarse durante el periodo de muestreo, mientras que la variación de las concentraciones de Cd y Ni son más estables en la parte inicial, pero se incrementan hacia el final. Lo anterior se puede explicar por la presencia de ese metal en la gasolina, principal fuente de contribución de Pb al agua. El Pb es emitido a la atmósfera por combustión de gasolina, pero durante el invierno se sedimenta por la ausencia de lluvias; cuando comienza el verano, a finales de junio, el Pb es transportado por las lluvias. Por esa razón, es posible que en lugar de existir un efecto de dilución, se eleve la concentración de Pb.

Por el análisis del agua de cada sitio, el número de riegos y la lámina utilizada en cada uno, fue posible cuantificar la cantidad de metales que se acumula anualmente en el suelo (Cuadro 2).

De acuerdo con Page y Chang (1981), la cantidad máxima de Cd permitida en el suelo regado con aguas residuales es de 5 a 20 kg ha<sup>-1</sup>. Esa concentración puede ser tóxica para los consumidores de productos agrícolas cultivados en esos suelos. Con base en el valor promedio



**Figura 1.** Contenidos totales promedio de Cd, Ni y Pb en el agua de riego de ocho sitios seleccionados en el Valle del Mezquital. S1: Canal Tlamaco-Juandhó km 5; S2: Canal Secundario Tlamaco-Juandhó Tlaxcoapan; S3: Canal Requena km 33; S4: Canal Parcelario Requena Col. Sta. Cruz; S5: Canal Xochitlán km 35; S6: Canal Secundario Requena Bocamiño; S7: Canal Secundario Requena El Rosario; S8: Canal Requena km 70.

**Figure 1.** Total content of Cd, Ni, and Pb in irrigation water of eight selected sites in the Mezquital Valley.

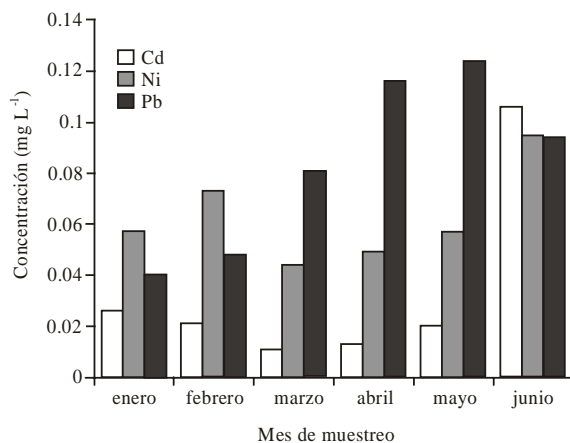
are affected only by the time it takes them to arrive at the irrigation zone.

In sites S3 to S8 (see Table 1) the water passes previously through the Endhó Reservoir, allowing the sedimentation of metals present in the suspended fraction.

Figure 2 shows the average concentration of each metal in irrigation water. An increasing tendency of Pb concentration during the sampling period was observed; while Cd and Ni concentration was more stable at the beginning, but increased towards the end. This behavior can be explained by the presence of Pb in gasoline. This element is emitted into the atmosphere by combustion and settles during winter, but is later transported by precipitation when summer begins at the end of June. It is possible, for this reason, that Pb concentration rises instead of becoming diluted.

Through analysis of water from each site, the number of irrigations, and the quantity of water used in each one, it was possible to quantify the amount of metals that accumulates in soil per year (Table 2).

Page and Chang (1981) reported that the permissible maximum of Cd accumulated in soil irrigated with wastewater, varies from 5 to 20 kg ha<sup>-1</sup>. This concentration may be toxic for consumers of farm products cultivated in those soils. According to the average value of Cd detected in wastewater, it is considered that 13 to 52 years are needed to reach that limit. Because these conditions of water quality have prevailed for at least 20 years, it can be inferred that there are conditions of risk for human



**Figura 2.** Variación mensual en la concentración total de metales en el agua ocho sitios seleccionados del Valle del Mezquital.

**Figure 2.** Variation in total metal concentration in water, monthly average of the eight selected sites of the Mezquital Valley.

de Cd detectado en el agua residual, se considera que se requieren de 13 a 52 años para alcanzar el valor límite señalado. Puesto que las condiciones de calidad del agua han prevalecido por lo menos durante 20 años, puede inferirse que en el área de estudio existen condiciones de riesgo para la salud humana debido a la presencia de Cd en el agua de riego.

La concentración de Cd en el agua durante el presente estudio superó el valor máximo permisible de calidad del agua para riego agrícola. Las concentraciones de Ni y Pb fueron 3 y 60 veces inferiores, respectivamente, al valor máximo permisible para el agua residual (NOM, 1993).

Los datos de las concentraciones de Ni y Pb en el agua residual fueron comparables con los obtenidos en investigaciones previas (Cajuste *et al.*, 1991; Carrillo *et al.* 1992; Siebe, 1994 y 1995), mientras que los de Cd (0.021 a 0.051 mg L<sup>-1</sup>) fueron mayores a los reportados en la literatura nacional (Zuñiga *et al.* 1990; Siebe 1994; Carrillo y Cajuste, 1995). La concentración de Cd muestra un cambio negativo expresado en la calidad del agua residual. Para verificarlo se requieren estudios adicionales que incluyan un muestreo más intenso, un periodo de observación amplio, e igualdad de técnicas analíticas; de manera que se pueda verificar o rechazar la posibilidad de que ha ocurrido un incremento en la concentración de Cd.

### Suelo

En la Figura 3 se presenta la variación de la cantidad de Pb, Ni y Cd extraíble con EDTA 0.05M y en función del tiempo de uso del agua residual. En ella se aprecia

**Cuadro 2.** Rango y concentración media de metales totales en agua y cantidad de Cd acumulado anualmente en el suelo regado con dos láminas de agua en sitios seleccionados del Valle del Mezquital.

**Table 2.** Rank and average concentration of total metals in water and amount of Cd accumulated annually in the soil irrigated with two requirements of water in selected sites of the Mezquital Valley.

Rango	Concentración en agua			Cd acumulado	
	Cd	Ni mg L <sup>-1</sup>	Pb	1.2 m g ha <sup>-1</sup> año <sup>-1</sup>	2.0 m g ha <sup>-1</sup> año <sup>-1</sup>
Máximo	0.106	0.096	0.124	1272	2120
Mínimo	0.011	0.044	0.040	132	220
Media	0.032	0.062	0.084	384	640
Permisible <sup>†</sup>	0.01	0.20	5.0		

<sup>†</sup> NOM (1993).

health due to the presence of Cd in the irrigation water in the area of study.

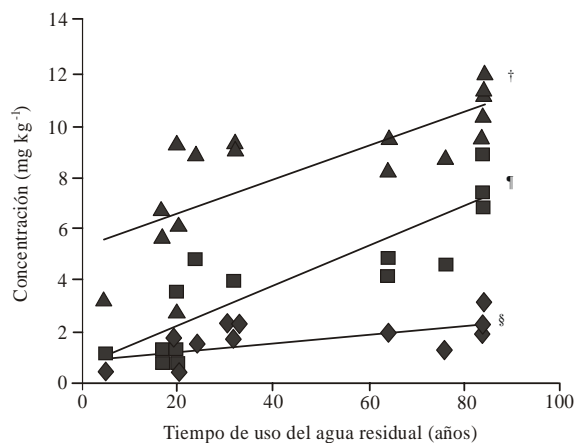
In this study, Cd concentration in wastewater surpassed the maximum value for agricultural irrigation water permitted by the Official Mexican Norm (NOM, 1993), while Pb, and Ni concentrations were three and 60 times lower, respectively, than the permissible maximum value.

Pb and Ni concentrations found in sewage water were comparable to those obtained in previous investigations (Cajuste *et al.*, 1991; Carrillo *et al.* 1992; Siebe, 1994, 1995), while Cd concentrations (0.021 to 0.051 mg L<sup>-1</sup>), were higher than those reported in Mexican literature (Zuñiga *et al.*, 1990; Siebe, 1994; Carrillo and Cajuste, 1995). The detected concentration of Cd shows a deleterious effect in the quality of the residual water. In order to verify this, additional studies are required, and they must include a more intensive sampling, a wider period of observation, and equality of analytical techniques. This way, the possibility that an increase in the Cd concentration has occurred could be verified.

### Soil

Figure 3 shows the variation in the amount of Pb, Ni, and Cd extractable with EDTA 0.05M according to years of wastewater use. A general upward tendency in the availability of these metals can be observed regarding the effect of time of use of the residual water. This situation is dangerous for the organisms consuming agricultural products grown in those fields.

The amount of extractable soil Pb, Ni, and Cd was positively associated to years of wastewater use. The slope of the linear regression models obtained between time and EDTA metal extracted from soil, indicates that Ni and Pb had a higher annual rate of accumulation, whereas Cd had a rate 4.3 times lower than Ni (Figure 3).



**Figura 3.** Concentraciones de los metales extraíbles con EDTA 0.05M y su relación con la antigüedad de riego en algunos sitios seleccionados del Valle del Mezquital.

$$† \text{Pb} = 5.303 + 0.067 (\text{tiempo})^{**}$$

$$‡ \text{Ni} = 0.613 + 0.071 (\text{tiempo})^{**}$$

$$§ \text{Cd} = 0.891 + 0.016 (\text{tiempo})^{**}$$

**Figure 3.** Concentrations of metals extractable with EDTA 0.05M in soil and their relationship with years of irrigation in some selected sites in the Mezquital Valley.

una tendencia general a aumentar la disponibilidad de dichos metales por efecto del tiempo de uso del agua residual. Esta situación representa un peligro para los organismos que consumen los productos agrícolas obtenidos en esos suelos.

La cantidad de Pb, Ni y Cd extraíble del suelo se asoció positivamente con el tiempo de uso del agua residual. La pendiente de los modelos de regresión lineal entre el tiempo y el metal extraíble con EDTA del suelo, indica que el Ni y el Pb presentan una mayor tasa anual de acumulación, mientras que el Cd tiene una tasa 4.3 veces inferior en relación con la del Ni (Figura 3).

### Metales en tejido foliar

Del estudio de la concentración de metales en tejido foliar en alfalfa, maíz y trigo (Figura 4), se desprende que el Cd tiende a incrementarse en los cultivos a medida que aumenta el tiempo de uso del agua residual. Sin embargo, los incrementos son mayores en alfalfa y maíz que en trigo. Los coeficientes de correlación mostraron asociación estadísticamente significativa entre esas variables.

El coeficiente de correlación de la concentración de Cd en el tejido foliar del trigo *versus* el tiempo de uso del agua residual fue  $r=0.83$ . Esto se puede atribuir a que en la ZMCM la industrialización, así como el uso intensivo en los hidrocarburos, fuente principal de metales, se ha incrementado desde 1970.

Si se comparan los valores de Cd, Ni y Pb que absorbe la alfalfa, reportados por diferentes autores

### Metals in Leaf Tissue

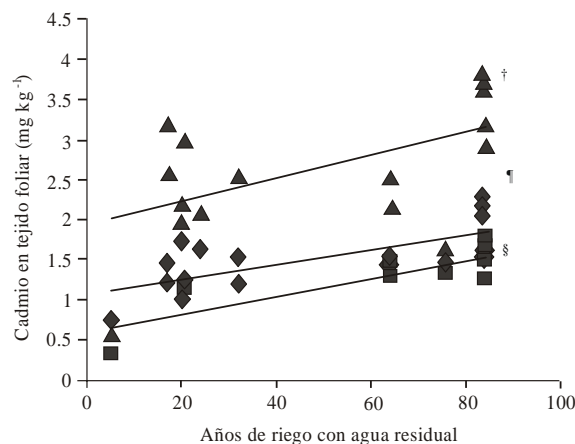
Based on the analysis of metal concentration in leaf tissue of alfalfa, maize, and wheat (Figure 4), it can be said that Cd tended to rise proportionally in the crops as the time of residual water use increased. However, increases in maize and alfalfa were larger than in wheat. Correlation coefficients showed a statistically significant association between those variables.

Correlation coefficient between Cd concentration in leaf tissue of wheat and time of residual water use was  $r=0.83$ . This association can be attributed to the increasing industrialization in the ZMCM and intensive consumption of fuel derived from hydrocarbons, which are the main source of metals since 1970.

When the values of Cd, Ni, and Pb absorbed by alfalfa, reported by several authors (Table 3), were compared with the data of the present work, certain similarities were observed. The interval of Cd concentration obtained in the present study is, nevertheless, higher than that of other authors. This can be explained by the variability of the Cd concentration according to the soil type, since alfalfa was collected in soils with great variations in time of residual water use.

### Metals in Grain

Table 4 shows the Cd, Ni, and Pb content in tissue and grain of wheat and their relationships. Plant samples were collected in March and April (the final months of



**Figura 4.** Cd en tejido foliar de alfalfa, maíz y trigo y su relación con la antigüedad de uso del agua residual en algunos sitios seleccionados del Valle del Mezquital.

$$† \text{Maíz} = 1.86 + 0.011 (\text{tiempo})^{**}$$

$$‡ \text{Alfalfa} = 1.05 + 0.009 (\text{tiempo})^{**}$$

$$§ \text{Trigo} = 0.57 + 0.0011 (\text{tiempo})^{**}$$

**Figure 4.** Cd content in leaf tissue of alfalfa, maize, and wheat and its relation to years of residual water use in some selected sites of the Mezquital Valley.

(Cuadro 3), con los datos del presente trabajo y los de otras investigaciones conducidas en la región (Mejía *et al.* 1990; Cajuste *et al.* 1991; Carrillo *et al.* 1992; Siebe, 1994 y 1995; Carrillo y Cajuste 1995), se observa cierta similitud. El intervalo de concentración del Cd obtenido en el presente estudio es sin embargo amplio, lo que puede explicarse por la variabilidad de la concentración del Cd en función del tipo de suelo, ya que las muestras de alfalfa analizadas fueron colectadas en suelos que tuvieron una amplia variación en el tiempo de uso del agua residual.

### Metales en grano

En el Cuadro 4 se presentan las concentraciones de Cd, Ni y Pb en tejido foliar y en grano de trigo; y la relación entre ellos en las muestras colectadas en marzo y abril (los dos últimos meses del periodo vegetativo). La relación  $Cd_{\text{Hoja}}/Cd_{\text{grano}}$  fue mayor en cuatro sitios en el mes de marzo que en abril (época de cosecha), lo que permite suponer una transferencia del metal hacia el grano.

Una situación similar se observó para Ni, en el que la disminución de la relación  $Ni_{\text{Hoja}}/Ni_{\text{grano}}$  fue similar en los siete sitios. La relación  $Pb_{\text{hoja}}/Pb_{\text{grano}}$  al momento de cosechar, se incrementó en cinco de los siete sitios, lo que indica que el Pb absorbido tiende a permanecer en la hoja, esto es, su traslocación hacia el grano es menor.

En el Estado de Hidalgo se consumen 240 g día<sup>-1</sup> de maíz por persona (Avila *et al.*, 1996). Si se toman como base de cálculo las concentraciones de Cd en los granos de maíz, quienes consumen este cereal producido en la región ingieren 293 mg Cd día<sup>-1</sup> por persona. Este valor es muy superior al consumo típico de 10.8 mg día<sup>-1</sup> en la dieta diaria de los finlandeses (Tahvonen y Kumpulainen, 1986) y a los 70 mg día<sup>-1</sup> considerado como límite aceptable de consumo (Wagner, 1993). Se puede inferir

**Cuadro 3. Concentración de Cd, Ni y Pb en alfalfa, irrigada con agua residual en algunos sitios seleccionados del Valle del Mezquital.**

**Table 3. Concentration of Cd, Ni and Pb reported in alfalfa irrigated with residual water in some selected sites of the Mezquital Valley.**

Cadmio (mg kg <sup>-1</sup> )	Níquel (mg kg <sup>-1</sup> )	Plomo (mg kg <sup>-1</sup> )	Referencia
0.05 - 2.0	N.C.	0.2 - 0.35	Siebe (1994)
0.02	N.C.	0.1 - 0.42	Siebe (1995)
0.4 - 0.6	5.7 - 11.9	8.9 - 14.5	Cajuste <i>et al.</i> (1991)
0.5 - 0.8	2.0 - 8.6	7.0 - 17.0	Carrillo <i>et al.</i> (1992)
0.3 - 1.05	6.0 - 10.9	4.4 - 11.3	Mejía <i>et al.</i> (1990)
1.0 - 8.0	2.2 - 13.0	8.0 - 19.0	Carrillo y Cajuste (1995)
0.7 - 2.3	3.8 - 7.2	1.2 - 5.7	Presente estudio

N.C. No cuantificado.

vegetative growth). The  $Cd_{\text{leaf}}/Cd_{\text{grain}}$  ratio in four sites was higher in March than in April (harvest time); which indicates that the metal was transported to the grain.

A similar situation was observed for Ni. The  $Ni_{\text{leaf}}/Ni_{\text{grain}}$  ratio decreased consistently in the seven sites. Also, at harvest, the  $Pb_{\text{leaf}}/Pb_{\text{grain}}$  ratio increased in five of seven sites, which indicates that the absorbed Pb tends to remain in leaf, and its translocation towards grain was lower.

Avila *et al.* (1996) reported that in the state of Hidalgo, inhabitants consume 240 g of maize daily *per capita*. At this rate each person consuming maize produced in this region ingests 293 mg d<sup>-1</sup> Cd. This amount is superior to the typical consumption in the daily diet of Finns (10.8 mg d<sup>-1</sup>), according to Tahvonen and Kumpulainen (1986), and above the 70 mg d<sup>-1</sup> considered the accepted limit for consumption (Wagner, 1993). Thus, it is reasonable to infer that a latent risk exists for the health of the consumers in the state of Hidalgo.

**Cuadro 4. Relación de concentraciones de Cd en hoja y en grano, para trigo en diferentes fechas de muestreo.**

**Table 4. Cd content ratios in leaf and grain of wheat, on different sampling dates.**

Parcela	Cadmio (marzo)		CdH/CdG <sup>†</sup>		NiH/NiG <sup>‡</sup>		PbH/PbG <sup>§</sup>	
	Hoja	Grano	Marzo	Abril	Marzo	Abril	Marzo	Abril
	(mg kg <sup>-1</sup> )							
Tlaxcoapan2	1.17	0.77	1.5	1.1	1.9	0.5	0.5	2.9
Tlahualilpan1	1.38	0.90	1.5	0.9	1.1	0.6	0.8	2.4
Manantiales	1.39	1.18	1.2	1.3	1.5	0.7	0.9	1.3
El jardín	1.15	1.30	0.9	0.7	1.5	1.2	1.4	0.8
Mixquiahuala1	0.92	1.11	0.8	1.5	0.8	0.7	1.2	1.5
Bocamiño	1.95	2.40	0.8	0.7	2.4	0.7	1.0	1.4
Col. Morelos	1.80	2.35	0.8	1.1	1.6	0.6	0.8	0.8

<sup>†</sup> Relación de concentración de Cd en hoja y grano.

<sup>‡</sup> Relación de concentración de Ni en hoja y grano.

<sup>§</sup> Relación de concentración de Pb en hoja y grano.



entonces, que existe un riesgo latente de toxicidad por cadmio para los consumidores del estado de Hidalgo.

### CONCLUSIONES

La cantidad promedio de Cd que se acumula anualmente en el suelo es de 384 a 640 g ha<sup>-1</sup>, considerada como una tasa de acumulación alta.

La cantidad de Cd, Ni y Pb extraída del suelo con EDTA 0.05M se asoció con la antigüedad de riego con agua residual, y de acuerdo con la pendiente de los modelos lineales de regresión entre esas variables, la tasa de acumulación anual es mayor para Ni y Pb que para el Cd.

Del valor de las relaciones entre el contenido Cd y Ni en la hoja y en grano de trigo, se puede inferir que esos metales se acumulan en el grano de trigo, lo que indica un riesgo potencial para la salud de los organismos consumidores de ese alimento básico.

Por la movilidad de los metales Cd y Ni, tanto en suelo como en especies vegetales, es necesario establecer criterios de calidad del suelo en función de la cantidad aceptable de metales que se puedan acumular en este sustrato, para minimizar los riesgos por exposición nociva a Cd y Ni.

### LITERATURA CITADA

- Adams, V. D. 1990. *Water and Wastewater Examination Manual*. Lewis Publishers. Chelsea, Michigan. pp: 38-42.
- Avila C., A. T. Shamah L. y A. Chávez V. 1996. Encuesta nacional de alimentación y nutrición en el medio rural 1996. Instituto Nacional de la Nutrición Salvador Zubirán. México, D. F. 93 p.
- APHA. 1992. *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*. American Public Health Association. Washington D.C., pp: 3-1 a 3-103.
- Cajuste, L. J., R. Carrillo G., E. Cota G., and R. J. Laird 1991. The distribution of metals from wastewater in the Mexican Valley of Mezquital. *Water, Air, and Soil Pollution* 57-58: 763-771.
- Carrillo G., R., and L. J. Cajuste. 1995. Behavior of trace metals in soils of Hidalgo, México. *J. Environ. Sci. Health A30(1)*: 142-155.
- Carrillo G., R. L. J. Cajuste y L. Hernández H. 1992. Acumulación de metales pesados en un suelo regado con aguas residuales. *Terra* 10: 166-173.
- Cifuentes, E., U. Blumenthal, G. Ruiz-Palacios, S. Bennett y A. Peasey. 1994. Escenario epidemiológico del uso agrícola del agua residual: El Valle del Mezquital, México. *Salud Pública en México* 36 (1): 1-7.
- Mascareño, C., F. y R. Guajardo V. 1977. Estudio preliminar sobre contaminación de los suelos y de la producción agrícola en el distrito de riego 03 por el uso de aguas negras de la Ciudad de México. *Agrociencia* (27): 95-119.
- Mejía, B., M., S. Sánchez B., G. Hernández S., L. Flores D., G. Villareal L. y R. Guajardo V. 1990. Metales pesados en maíz, alfalfa y su correlación con los extractantes en suelos del DDR 063, Hgo. *In: Primer Simposium Nacional de Degradación del Suelo*. Insti-

### CONCLUSIONS

The average quantity of Cd annually accumulated in soil varied from 384 to 640 g ha<sup>-1</sup>, which is considered as a high rate of accumulation. The amount of Cd, Ni, and Pb extractable from soil with EDTA 0.05M was associated to the length of time wastewater had been used for irrigation. According to the slope of the linear regression models among those variables, Ni and Pb had higher annual accumulation rates than Cd. From the ratios of Cd and Ni contents in wheat leaf and grain, it was inferred that there is a process of accumulation of those metals in wheat grain, indicating a potential health hazard for consumer organisms. Because of the mobility of Cd and Ni, both in soil and plant species, it is necessary to establish criteria for soil quality based on quantities of metals that soil should be allowed to accumulate, to reduce the risks from hazardous exposure to Cd and Ni.

—End of the English version—



- tuto de Geología, Universidad Nacional Autónoma de México, México, D.F. pp: 42-43.
- NOM. 1993. Norma Oficial Mexicana NOM-CCA-032-ECOL./1993, que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las aguas residuales de origen urbano o municipal para su disposición mediante riego agrícola. *Diario Oficial de la Federación*, 18 octubre 1993. México, D.F. pp: 120-128.
- Page, A. L. and A. C. Chang. 1981. Trace metal in soils and plants receiving municipal wastewater irrigation. *In: Municipal wastewater in agriculture*. F. M. D'Itrí, J. A. Martínez and M. Athié L. (eds.). Academic Press Inc., New York. pp: 351-372.
- Sánchez D., N. 1985. Mexican experience in using sewage effluent for large scale irrigation. *In: Treatment and use of sewage effluent for irrigation*. Pescod M.B. and A. Arar (eds.). Butterworths. Tiptree Essex, Great Britain. pp: 249-257.
- Secretaría de Recursos Hidráulicos (SRH). 1976. Estudio agrológico complementario del Distrito de Riego 03 de Tula, Hgo. Serie Estudios. Publicación número 10. México, D.F. 66 p.
- Siebe, Ch. 1994. Acumulación y disponibilidad de metales pesados en suelos regados con aguas residuales en el Distrito de Riego 03, Tula, Hidalgo, México. *Rev. Int. Contam. Ambient.* 10 (1): 15-21.
- Siebe, Ch. 1995. Heavy metal availability to plants in soils irrigated with wastewater from México City. *Wat. Sci. Tech.* 32 (12): 29-34.
- Tahvonen, R., and J. T. Kumpulainen. 1986. Contents of lead and cadmium in foods in Finland. Laboratory of Food Chemistry, Food Research Institute, Jokioinen, Finland. <http://www.mtt.fi>
- Wagner, G. J. 1993. Accumulation of cadmium in crop plants and its consequences to human health. *Adv. in Agronomy* 51: 173-312.
- Zúñiga G., A. M., J. Cruz D. y L. J. Cajuste, 1990. Contaminación por Pb, Cd y Cr en suelos y tejidos vegetales de Tlaxcoapan, Tlahuelilpan y Atitalaquia, Hidalgo. *In: Primer Simposium Nacional de Degradación del Suelo*. Instituto de Geología, Universidad Nacional Autónoma de México, México, D.F. pp: 48-49.