



FACULTAD DE ADMINISTRACIÓN  
COORDINACIÓN DE POSGRADO



UNIVERSIDAD AUTONOMA DE SAN LUIS POTOSI

FACULTAD DE AGRONOMIA

ESPECIACION DE METALES PESADOS  
EN SUELOS REGADOS CON AGUAS  
RESIDUALES INDUSTRIALES

POR:

MA. DEL CARMEN VARGAS OLVERA

TESIS

Presentada como requisito para obtener el grado de  
MAESTRO EN CIENCIAS AGROPECUARIAS

Dra. Luisa Flores Vélez  
Tutora

M.C. Ma. Catalina Alfaro de la Torre  
Asesora

M.C. Antonio Gómez González  
Asesor


San Luis Potosí, S. L. P.

Enero de 1999




La que suscribe Q, Ma.del Carmen Vargas Olvera, presenta el trabajo titulado  
ESPECIACION DE METALES PESADOS EN SUELOS REGADOS CON  
AGUAS RESIDUALES INDUSTRIALES, como requisito parcial para obtener el  
grado de maestría en ciencias agropecuarias y fue revisado y aprobado por el  
comité de tesis.

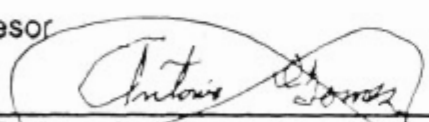
Tutora

  
Dra. Luisa Ma. Flores Vélez


Asesora

  
M.C. Ma. Catalina Alfaro de la Torre

Asesor

  
M.C. Antonio Gómez González

Ejido Palma de la Cruz, Mpio. de Soledad de Graciano Sánchez, S. L. P., a los 7 días de  
diciembre de 1998.

  
Q. Ma. del Carmen Vargas Olvera

*a mi familia*

*a mis amigos*

*Con agradecimiento para*

*los señores integrantes del Comité de Tesis*

*director y personal de la Facultad de Ciencias Químicas  
de la UASLP*

*I.A. Ma. Refugio Martínez Castillo y Q. Martha Elba  
Martínez González del Laboratorio de Contaminación  
del IIZD*

*al personal del Instituto de Investigación de Zonas  
Desérticas de la UASLP que brindó apoyo*

## RESUMEN

En la cuenca aluvial endorreica del Valle de San Luis Potosí, las aguas residuales domésticas de parte de la Ciudad de San Luis Potosí y de la zona industrial han sido usadas para el riego agrícola sin haber recibido tratamiento alguno por un período de cinco años. Esta práctica ha producido una acumulación de metales en el suelo. Estos suelos son suelos Xerosoles, háplicos, con cultivos de alfalfa, maíz, avena y cebada principalmente.

Con el objeto de conocer la movilidad y biodisponibilidad del Cu, Cd, Co, Cr, Mn, Ni, Hg, Fe, Pb, Zn y As en el suelo, se muestrearon seis sitios regados con las aguas residuales, el primero con cultivo de alfalfa, el segundo con cebada, el tercero con avena y tres sitios sin actividad, comparándolos con tres sitios sin influencia de estas aguas, uno con cultivo de maíz regado con agua del acuífero confinado, el segundo en camino de terracería y el tercero sin actividad. Los sitios regados con las aguas residuales se muestrearon a tres profundidades: de 0 a 20 cm, de 20 a 40 cm y de 40 a 60 cm; los suelos no influenciados, sólo en el sitio 8 se muestreó en las tres profundidades citadas, los otros dos de 0 a 40 cm.

Se efectuó el análisis de los metales totales, por absorción atómica previa digestión ácida en horno de microondas, para determinar su acumulación. La movilidad de los metales se investigó aplicando un esquema de extracción secuencial, desarrollado para extraer los metales presentes en las siguientes fases: 1) intercambiables, 2) unidos a compuestos organometálicos, 3) unidos a óxidos de manganeso, 4) unidos a la materia orgánica, 5) unidos a óxidos de fierro amorfos, 6) unidos a óxidos de fierro cristalinos y 7) residual. La absorción de los metales por las plantas (alfalfa, cebada, avena y maíz) se obtuvo analizando el contenido de éstos en raíces, tallos y hojas (a excepción de la cebada, en lugar de las hojas, se determinaron los metales en las espigas), por absorción atómica, previa digestión ácida.

De acuerdo a los parámetros edafológicos medidos, estos suelos son ligeramente ácidos (pH 4.5 – 6.9), no salinos, pobres en materia orgánica y fósforo, de textura migajón arcilloso en los suelos regados con las aguas residuales y migajón arenoso en los no influenciados por éstas. El contenido obtenido de metales pesados muestra una acumulación en los suelos, sin exceder los valores reportados en la literatura como normales. En la extracción secuencial, los porcentajes más altos corresponden a las fracciones menos móviles, a la residual y a la de unidos a la materia orgánica; en orden descendente les siguen la de unidos a complejos organometálicos, la de los unidos a óxidos de fierro amorfos, la de los unidos a óxidos de fierro cristalinos y la de unidos a óxidos de manganeso, tanto en los suelos regados con las aguas residuales como en los no influenciados por éstas. De los metales estudiados, el cromo y níquel son absorbidos por los cuatro cultivos en concentraciones que quedan comprendidas en el rango fitotóxico reportado en la literatura.

## ABSTRACT

In the endorreic alluvial basin of the Valley of San Luis Potosí, the raw wastewater from part of the City of San Luis Potosí and from the industrial zone has been used for irrigation of agricultural land during five years. This practice has affected the physical and chemical properties of the soils and has caused an accumulation of metals. These soils have been classified as haplic Xerosols, and the dominant crops in the area are alfalfa (*Medicago sativa*), maize (*Zea mays*), barley (*Hordeum vulgare*) and oat (*Avena sativa*).

The mobility and availability of Cu, Cd, Co, Cr, Mn, Ni, Hg, Fe, Pb, Zn and As were tested, samples from six polluted sites were taken, the first one with alfalfa, the second with barley, the third with oat and the others without activity; and three in not polluted sites, one with maize culture irrigated with wellwater, the second close to a rural road, and the third without activity. The analyzed depths of soil in the polluted sites were: 0 – 20 cm, 20 – 40 cm and 40 – 60 cm; in the unpolluted ones 0 – 20 cm and 20 – 40 cm, exception of site 8, where the 40 – 60 cm depth was also analyzed.

The metal accumulation was determined by the total metal analysis with atomic absorption after acid digestion by microwave method. The mobility of the metals tested was investigated applying a sequential extraction procedure. Seven fractions were obtained: exchangeable, metal-organic complex-bound, manganese oxide-bound, organic-bound, amorphous-iron oxide-bound, crystalline-iron oxide-bound, and residual. The metal availability by the plants (alfalfa, barley, oat and maize) was identified by measuring the metal concentrations in the roots, stems, and leaves (except for the barley, the tassel was analyzed, instead of leaves).

According to the general soil parameters analyzed, these soils are low acidic soils (pH 4.5 – 6.9). The soils are not saline, poor in organic matter and phosphorus. The surface texture of the polluted soils is considered as a clay loam and a sandy clay loam soils and in the case of the unpolluted soils, they are considered as sandy loam. The content of the heavy metals shows an accumulation in the first 20 cm of the soil, without exceeding the normal values reported in the literature. The sequential extraction of the polluted as well as of the unpolluted sites indicates that the average relative abundance of the metals are: residual > organic bound > exchangeable > metal-organic complex-bound > amorphous Fe oxide-bound > crystalline Fe oxide-bound > Mn oxide-bound. Cr and Ni uptake by the alfalfa, barley, oat and maize are within the phytotoxic levels reported in the literature.



## CONTENIDO

RESUMEN	i
ABSTRACT	ii
CONTENIDO	iii
LISTA DE CUADROS	v
LISTA DE FIGURAS	xi
CAPITULO 1. INTRODUCCION	1
CAPITULO 2. ESPECIACION QUIMICA OPERACIONAL. CONCEPTOS TEORICOS	4
CAPITULO 3. MATERIALES Y METODOS	11
CAPITULO 4 DESCRIPCION DE RESULTADOS	16
4.1 Parámetros generales edafológicos	16
4.2 Acumulación de metales	21
4.3 Especiación operacional de los metales	21
4.4 Correlación entre las extracciones individuales con nitrato de amonio y EDTA con las extracciones secuenciales	123
4.5 Contenido de metales pesados en alfalfa, cebada, avena y maíz	125
4.6 Factor de transferencia de los metales a los cultivos	126
CAPITULO 5 DISCUSION DE RESULTADOS	131
5.1 Caracterización edafológica	131
5.2 Acumulación de los metales totales	132
5.3 Movilidad de los metales de acuerdo a la especiación operacional	132
5.3.1 Porcentajes de metales extraídos en las fracciones	133
5.3.2 Series de extracción	135
5.3.3 Correlaciones entre metales	138
5.3.4 Asociación de sitios de acuerdo al diagrama de "clusters"	139
5.4 Biodisponibilidad de los metales por las plantas	141
5.4.1 Contenido de metales en las plantas	141
5.4.2 Absorción de metales por las plantas	142

CONCLUSIONES	144
REFERENCIAS	145
APENDICE A.1 PARAMETROS EDAFOLOGICOS DE LA ZONA DEL TANQUE TENORIO	151
APENDICE A.2 METALES TOTALES EN LA ZONA DEL TANQUE TENORIO	153
APENDICE A.3 FRACCIONAMIENTO DE METALES Y EXTRACCIONES INDIVIDUALES	155
APENDICE A.4 METALES TOTALES EN LOS CULTIVOS	178

## LISTA DE CUADROS

Cuadro 2.1	Esquema de extracción secuencial	6
Cuadro 2.2	Constantes de formación de iones metálicos con los ligandos: nitrato, cloruro, acetato	7
Cuadro 2.3	Constantes de formación de iones metálicos con los ligandos: pirofosfato y ácidos fúlvicos	8
Cuadro 3.1	Características edafológicas en la zona de estudio	11
Cuadro 3.2	Esquema de extracción secuencial operativo	15
Cuadro 4.1	Agrupación de suelos regados con aguas residuales de la fracción 1, de 0 a 20 cm	23
Cuadro 4.2	Correlaciones ( $p < 0.05$ ) de extracción en suelos regados con aguas residuales en la fracción 1, de 0 a 20 cm.	23
Cuadro 4.3	Agrupación de suelos regados con aguas residuales de la fracción 1, de 20 a 40 cm	24
Cuadro 4.4	Correlaciones ( $p < 0.05$ ) de extracción en suelos regados con aguas residuales en la fracción 1, de 20 a 40 cm	24
Cuadro 4.5	Agrupación de suelos regados con aguas residuales de la fracción 1, de 40 a 60 cm	25
Cuadro 4.6	Correlaciones ( $p < 0.05$ ) de extracción en suelos regados con aguas residuales en la fracción 1, de 40 a 60 cm	26
Cuadro 4.7	Agrupación de suelos no regados con aguas residuales de la fracción 1, de 0 a 20 cm	26
Cuadro 4.8	Correlaciones ( $p < 0.05$ ) de extracción en suelos no regados con aguas residuales en la fracción 1, de 0 a 20 cm	27
Cuadro 4.9	Correlaciones ( $p < 0.05$ ) de extracción en suelos no regados con aguas residuales en la fracción 1, de 20 a 40 cm	27
Cuadro 4.10	Agrupación de suelos regados con aguas residuales de la fracción 2, de 0 a 20 cm	35

Cuadro 4.11	Correlaciones ( $p < 0.05$ ) de extracción en suelos regados con aguas residuales en la fracción 2, de 0 a 20 cm	36
Cuadro 4.12	Agrupación de suelos regados con aguas residuales de la fracción 2, de 20 a 40 cm	37
Cuadro 4.13	Correlaciones ( $p < 0.05$ ) de extracción en suelos regados con aguas residuales en la fracción 2, de 20 a 40 cm	37
Cuadro 4.14	Agrupación de suelos regados con aguas residuales de la fracción 2, de 40 a 60 cm	38
Cuadro 4.15	Correlaciones ( $p < 0.05$ ) de extracción en suelos regados con aguas residuales en la fracción 2, de 40 a 60 cm	38
Cuadro 4.16	Correlaciones ( $p < 0.05$ ) de extracción en suelos no regados con aguas residuales en la fracción 2, de 0 a 20 cm	39
Cuadro 4.17	Correlaciones ( $p < 0.05$ ) de extracción en suelos no regados con aguas residuales en la fracción 2, de 20 a 40 cm	40
Cuadro 4.18	Agrupación de suelos regados con aguas residuales de la fracción 3, de 0 a 20 cm	50
Cuadro 4.19	Correlaciones ( $p < 0.05$ ) de extracción en suelos regados con aguas residuales en la fracción 3, de 0 a 20 cm	51
Cuadro 4.20	Agrupación de suelos regados con aguas residuales de la fracción 3, de 20 a 40 cm	52
Cuadro 4.21	Correlaciones ( $p < 0.05$ ) de extracción en suelos regados con aguas residuales en la fracción 3, de 20 a 40 cm	52
Cuadro 4.22	Agrupación de suelos regados con aguas residuales de la fracción 3, de 40 a 60 cm	53
Cuadro 4.23	Correlaciones ( $p < 0.05$ ) de extracción en suelos regados con aguas residuales en la fracción 3, de 40 a 60 cm	53
Cuadro 4.24	Agrupación de suelos no regados con aguas residuales de la fracción 3, de 0 a 20 cm	54
Cuadro 4.25	Correlaciones ( $p < 0.05$ ) de extracción en suelos no regados con aguas residuales en la fracción 3, de 0 a 20 cm	54
Cuadro 4.26	Agrupación de suelos regados con aguas residuales de la fracción 4, de 0 a 20 cm	65

Cuadro 4.27	Correlaciones ( $p < 0.05$ ) de extracción en suelos regados con aguas residuales en la fracción 4, de 0 a 20 cm	66
Cuadro 4.28	Agrupación de suelos regados con aguas residuales de la fracción 4, de 20 a 40 cm	67
Cuadro 4.29	Correlaciones ( $p < 0.05$ ) de extracción en suelos regados con aguas residuales en la fracción 4, de 20 a 40 cm	67
Cuadro 4.30	Agrupación de suelos regados con aguas residuales de la fracción 4, de 40 a 60 cm	68
Cuadro 4.31	Correlaciones ( $p < 0.05$ ) de extracción en suelos no regados con aguas residuales en la fracción 4, de 0 a 20 cm	69
Cuadro 4.32	Correlaciones ( $p < 0.05$ ) de extracción en suelos no regados con aguas residuales en la fracción 4, de 20 a 40 cm	70
Cuadro 4.33	Agrupación de suelos regados con aguas residuales de la fracción 5, de 0 a 20 cm	80
Cuadro 4.34	Correlaciones ( $p < 0.05$ ) de extracción en suelos regados con aguas residuales en la fracción 5, de 0 a 20 cm	81
Cuadro 4.35	Agrupación de suelos regados con aguas residuales de la fracción 5, de 20 a 40 cm	81
Cuadro 4.36	Correlaciones ( $p < 0.05$ ) de extracción en suelos regados con aguas residuales en la fracción 5, de 20 a 40 cm	82
Cuadro 4.37	Agrupación de suelos regados con aguas residuales de la fracción 5, de 40 a 60 cm	82
Cuadro 4.38	Correlaciones ( $p < 0.05$ ) de extracción en suelos regados con aguas residuales en la fracción 5, de 40 a 60 cm	83
Cuadro 4.39	Correlaciones ( $p < 0.05$ ) de extracción en suelos no regados con aguas residuales en la fracción 5, de 0 a 20 cm	83
Cuadro 4.40	Correlaciones ( $p < 0.05$ ) de extracción en suelos no regados con aguas residuales en la fracción 5, de 20 a 40 cm	84
Cuadro 4.41	Agrupación de suelos regados con aguas residuales de la fracción 6, de 0 a 20 cm	94
Cuadro 4.42	Correlaciones ( $p < 0.05$ ) de extracción en suelos regados con aguas residuales en la fracción 6, de 0 a 20 cm	95

Cuadro 4.43	Agrupación de suelos regados con aguas residuales de la fracción 6, de 20 a 40 cm	95
Cuadro 4.44	Correlaciones ( $p < 0.05$ ) de extracción en suelos regados con aguas residuales en la fracción 6, de 20 a 40 cm	96
Cuadro 4.45	Agrupación de suelos regados con aguas residuales de la fracción 6, de 40 a 60 cm	96
Cuadro 4.46	Correlaciones ( $p < 0.05$ ) de extracción en suelos regados con aguas residuales en la fracción 6, de 40 a 60 cm	97
Cuadro 4.47	Correlaciones ( $p < 0.05$ ) de extracción en suelos no regados con aguas residuales en la fracción 6, de 0 a 20 cm	98
Cuadro 4.48	Correlaciones ( $p < 0.05$ ) de extracción en suelos no regados con aguas residuales en la fracción 6, de 20 a 40 cm	98
Cuadro 4.49	Agrupación de suelos regados con aguas residuales de la fracción 7, de 0 a 20 cm	108
Cuadro 4.50	Correlaciones ( $p < 0.05$ ) de extracción en suelos regados con aguas residuales en la fracción 7, de 0 a 20 cm	109
Cuadro 4.51	Agrupación de suelos regados con aguas residuales de la fracción 7, de 20 a 40 cm	109
Cuadro 4.52	Correlaciones ( $p < 0.05$ ) de extracción en suelos regados con aguas residuales en la fracción 7, de 20 a 40 cm	110
Cuadro 4.53	Agrupación de suelos regados con aguas residuales de la fracción 7, de 40 a 60 cm	110
Cuadro 4.54	Correlaciones ( $p < 0.05$ ) de extracción en suelos regados con aguas residuales en la fracción 7, de 40 a 60 cm	111
Cuadro 4.55	Correlaciones ( $p < 0.05$ ) de extracción en suelos no regados con aguas residuales en la fracción 7, de 0 a 20 cm	112
Cuadro 4.56	Correlaciones ( $p < 0.05$ ) de extracción en suelos no regados con aguas residuales en la fracción 7, de 20 a 40 cm	112
Cuadro 4.57	Serie de tendencia de extracción de las siete fracciones y tres profundidades	122
Cuadro 4.58	Factores de transferencia de los metales a los cultivos	130

Cuadro A.1.1	Parámetros edafológicos de la zona del Tanque Tenorio	152
Cuadro A.2.1	Metales totales en los suelos de la zona del Tanque Tenorio	154
Cuadro A.3.1	Cu-fraccionamiento y extracciones individuales con $\text{NH}_4\text{NO}_3$ y EDTA	156
Cuadro A.3.2	CD-fraccionamiento y extracciones individuales con $\text{NH}_4\text{NO}_3$ y EDTA	158
Cuadro A.3.3	Co-fraccionamiento y extracciones individuales con $\text{NH}_4\text{NO}_3$ y EDTA	160
Cuadro A.3.4	Cr-fraccionamiento y extracciones individuales con $\text{NH}_4\text{NO}_3$ y EDTA	162
Cuadro A.3.5	Fe-fraccionamiento y extracciones individuales con $\text{NH}_4\text{NO}_3$ y EDTA	164
Cuadro A.3.6	Mn-fraccionamiento y extracciones individuales con $\text{NH}_4\text{NO}_3$ y EDTA	166
Cuadro A.3.7	Ni-fraccionamiento y extracciones individuales con $\text{NH}_4\text{NO}_3$ y EDTA	168
Cuadro A.3.8	Pb-fraccionamiento y extracciones individuales con $\text{NH}_4\text{NO}_3$ y EDTA	170
Cuadro A.3.9	Zn-fraccionamiento y extracciones individuales con $\text{NH}_4\text{NO}_3$ y EDTA	172
Cuadro A.3.10	Hg-fraccionamiento y extracciones individuales con $\text{NH}_4\text{NO}_3$ y EDTA	174
Cuadro A.3.11	As-fraccionamiento y extracciones individuales con $\text{NH}_4\text{NO}_3$ y EDTA	176
Cuadro A.4.1	Contenido de cobre en las plantas	179
Cuadro A.4.2	Contenido de cadmio en las plantas	180
Cuadro A.4.3	Contenido de cobalto en las plantas	181
Cuadro A.4.4	Contenido de cromo en las plantas	182
Cuadro A.4.5	Contenido de hierro en las plantas	183

Cuadro A.4.6	Contenido de manganeso en las plantas	184
Cuadro A.4.7	Contenido de níquel en las plantas	185
Cuadro A.4.8	Contenido de plomo en las plantas	186
Cuadro A.4.9	Contenido de zinc en las plantas	187
Cuadro A.4.10	Contenido de mercurio en las plantas	188



## LISTA DE FIGURAS

Figura 3.1	Localización de la zona de estudio y sitios de muestreo	12
Figura 4.1a	pH y conductividad en todos los sitios	17
Figura 4.1b	Fósforo aprovechable en todos los sitios	17
Figura 4.1c	Porcentaje de materia orgánica en todos los sitios	17
Figura 4.2a	Metales totales en sitios regados con aguas residuales industriales en la profundidad de 0 a 20 cm	19
Figura 4.2b	Metales totales en sitios no regados con aguas residuales industriales en la profundidad de 0 a 20 cm	20
Figura 4.3a	Metales totales en sitios regados con aguas residuales industriales en la profundidad de 20 a 40 cm	19
Figura 4.3b	Metales totales en sitios no regados con aguas residuales industriales en la profundidad de 20 a 40 cm	20
Figura 4.4a	Metales totales en sitios regados con aguas residuales industriales en la profundidad de 40 a 60 cm	19
Figura 4.4b	Metales totales en sitios no regados con aguas residuales industriales en la profundidad de 40 a 60 cm	20
Figura 4.5a	Porcentaje de metales extraídos en la fracción 1 en suelos regados con aguas industriales en la profundidad de 0 a 20 cm	28
Figura 4.5b	Porcentaje de metales extraídos en la fracción 1 en suelos no regados con aguas industriales en la profundidad de 0 a 20 cm	29
Figura 4.6a	Porcentaje de metales extraídos en la fracción 1 en suelos regados con aguas industriales en la profundidad de 20 a 40 cm	28

Figura 4.6b	Porcentaje de metales extraídos en la fracción 1 en suelos no regados con aguas industriales en la profundidad de 20 a 40 cm	29
Figura 4.7a	Porcentaje de metales extraídos en la fracción 1 en suelos regados con aguas industriales en la profundidad de 40 a 60 cm	28
Figura 4.7b	Porcentaje de metales extraídos en la fracción 1 en suelos no regados con aguas industriales en la profundidad de 40 a 60 cm	29
Figura 4.8a	Máximos y mínimos de la tendencia de extracción de los metales en la fracción 1, en los sitios regados con aguas residuales industriales en la profundidad de 0 a 20 cm	31
Figura 4.8b	Máximos y mínimos de la tendencia de extracción de los metales en la fracción 1, en los sitios no regados con aguas residuales industriales en la profundidad de 0 a 20 cm	32
Figura 4.9a	Máximos y mínimos de la tendencia de extracción de los metales en la fracción 1, en los sitios regados con aguas residuales industriales en la profundidad de 20 a 40 cm	31
Figura 4.9b	Máximos y mínimos de la tendencia de extracción de los metales en la fracción 1, en los sitios no regados con aguas residuales industriales en la profundidad de 20 a 40 cm	32
Figura 4.10	Máximos y mínimos de la tendencia de extracción de los metales en la fracción 1, en los sitios regados con aguas residuales industriales en la profundidad de 40 a 60 cm	31
Figura 4.11	Clasificación mediante "clusters" de suelos regados con aguas residuales industriales con relación al promedio de porcentajes de metales extraídos en la fracción 1, en la profundidad de 0 a 20 cm	33
Figura 4.12a	Clasificación mediante "clusters" de suelos regados con aguas residuales industriales con relación al promedio de porcentajes de metales extraídos en la fracción 1, en la profundidad de 20 a 40 cm	33
Figura 4.12b	Clasificación mediante "clusters" de suelos no regados con aguas residuales industriales con relación al promedio de porcentajes de metales extraídos en la fracción 1, en las profundidades de 0 a 20 cm y de 20 a 40 cm	34

Figura 4.13	Clasificación mediante "clusters" de suelos regados con aguas residuales industriales con relación al promedio de porcentajes de metales extraídos en la fracción 1, en la profundidad de 40 a 60 cm	33
Figura 4.14a	Porcentaje de metales extraídos en la fracción 2 en suelos regados con aguas industriales en la profundidad de 0 a 20 cm	42
Figura 4.14b	Porcentaje de metales extraídos en la fracción 2 en suelos no regados con aguas industriales en la profundidad de 0 a 20 cm	43
Figura 4.15a	Porcentaje de metales extraídos en la fracción 2 en suelos regados con aguas industriales en la profundidad de 20 a 40 cm	42
Figura 4.15b	Porcentaje de metales extraídos en la fracción 2 en suelos no regados con aguas industriales en la profundidad de 20 a 40 cm	43
Figura 4.16a	Porcentaje de metales extraídos en la fracción 2 en suelos regados con aguas industriales en la profundidad de 40 a 60 cm	42
Figura 4.16b	Porcentaje de metales extraídos en la fracción 2 en suelos no regados con aguas industriales en la profundidad de 40 a 60 cm	43
Figura 4.17a	Máximos y mínimos de la tendencia de extracción de los metales en la fracción 2 en los sitios regados con aguas residuales industriales en la profundidad de 0 a 20 cm	45
Figura 4.17b	Máximos y mínimos de la tendencia de extracción de los metales en la fracción 2 en los no sitios regados con aguas residuales industriales en la profundidad de 0 a 20 cm	46
Figura 4.18a	Máximos y mínimos de la tendencia de extracción de los metales en la fracción 2 en los sitios regados con aguas residuales industriales en la profundidad de 20 a 40 cm	45
Figura 4.18b	Máximos y mínimos de la tendencia de extracción de los metales en la fracción 2 en los sitios no regados con aguas residuales industriales en la profundidad de 20 a 40 cm	46

Figura 4.19a	Máximos y mínimos de la tendencia de extracción de los metales en la fracción 2 en los sitios regados con aguas residuales industriales en la profundidad de 40 a 60 cm	45
Figura 4.20	Clasificación mediante "clusters" de suelos regados con aguas residuales industriales con relación al promedio de porcentajes de metales extraídos en la fracción 2 en la profundidad de 0 a 20 cm	48
Figura 4.21a	Clasificación mediante "clusters" de suelos regados con aguas residuales industriales con relación al promedio de porcentajes de metales extraídos en la fracción 2 en la profundidad de 20 a 40 cm	48
Figura 4.21b	Clasificación mediante "clusters" de suelos no regados con aguas residuales industriales con relación al promedio de porcentajes de metales extraídos en la fracción 2 en las profundidades de 0 a 20 cm y de 20 a 40 cm	49
Figura 4.22	Clasificación mediante "clusters" de suelos regados con aguas residuales industriales con relación al promedio de porcentajes de metales extraídos en la fracción 2 en la profundidad de 40 a 60 cm	48
Figura 4.23a	Porcentaje de metales extraídos en la fracción 3 en suelos regados con aguas industriales en la profundidad de 0 a 20 cm	57
Figura 4.23b	Porcentaje de metales extraídos en la fracción 3 en suelos no regados con aguas industriales en la profundidad de 0 a 20 cm	58
Figura 4.24a	Porcentaje de metales extraídos en la fracción 3 en suelos regados con aguas industriales en la profundidad de 20 a 40 cm	57
Figura 4.24b	Porcentaje de metales extraídos en la fracción 3 en suelos no regados con aguas industriales en la profundidad de 20 a 40 cm	58
Figura 4.25a	Porcentaje de metales extraídos en la fracción 3 en suelos regados con aguas industriales en la profundidad de 40 a 60 cm	57
Figura 4.25b	Porcentaje de metales extraídos en la fracción 3 en suelos no regados con aguas industriales en la profundidad de 40 a 60 cm	58

Figura 4.26a	Máximos y mínimos de la tendencia de extracción de los metales en la fracción 3 en los sitios regados con aguas residuales industriales en la profundidad de 0 a 20 cm	60
Figura 4.26b	Máximos y mínimos de la tendencia de extracción de los metales en la fracción 3 en los sitios no regados con aguas residuales industriales en la profundidad de 0 a 20 cm	61
Figura 4.27a	Máximos y mínimos de la tendencia de extracción de los metales en la fracción 3 en los sitios regados con aguas residuales industriales en la profundidad de 20 a 40 cm	60
Figura 4.27b	Máximos y mínimos de la tendencia de extracción de los metales en la fracción 3 en los sitios no regados con aguas residuales industriales en la profundidad de 20 a 40 cm	61
Figura 4.28	Máximos y mínimos de la tendencia de extracción de los metales en la fracción 3 en los sitios regados con aguas residuales industriales en la profundidad de 40 a 60 cm	60
Figura 4.29a	Clasificación mediante "clusters" de suelos regados con aguas residuales industriales con relación al promedio de porcentajes de metales extraídos en la fracción 3 en la profundidad de 0 a 20 cm	63
Figura 4.29b	Clasificación mediante "clusters" de suelos no regados con aguas residuales industriales con relación al promedio de porcentajes de metales extraídos en la fracción 3 en la profundidad de 0 a 20 cm	64
Figura 4.30a	Clasificación mediante "clusters" de suelos regados con aguas residuales industriales con relación al promedio de porcentajes de metales extraídos en la fracción 3 en la profundidad de 20 a 40 cm	63
Figura 4.30b	Clasificación mediante "clusters" de suelos no regados con aguas residuales industriales con relación al promedio de porcentajes de metales extraídos en la fracción 3 en las profundidades de 20 a 40 cm	64
Figura 4.31	Clasificación mediante "clusters" de suelos regados con aguas residuales industriales con relación al promedio de porcentajes de metales extraídos en la fracción 3 en la profundidad de 40 a 60 cm	63

Figura 4.32a Porcentaje de metales extraídos en la fracción 4 en suelos regados con aguas industriales en la profundidad de 0 a 20 cm	72
Figura 4.32b Porcentaje de metales extraídos en la fracción 4 en suelos no regados con aguas industriales en la profundidad de 0 a 20 cm	73
Figura 4.33a Porcentaje de metales extraídos en la fracción 4 en suelos regados con aguas industriales en la profundidad de 20 a 40 cm	72
Figura 4.33b Porcentaje de metales extraídos en la fracción 4 en suelos no regados con aguas industriales en la profundidad de 20 a 40 cm	73
Figura 4.34a Porcentaje de metales extraídos en la fracción 3 en suelos regados con aguas industriales en la profundidad de 40 a 60 cm	72
Figura 4.34b Porcentaje de metales extraídos en la fracción 3 en suelos no regados con aguas industriales en la profundidad de 40 a 60 cm	73
Figura 4.35a Máximos y mínimos de la tendencia de extracción de los metales en la fracción 4 en los sitios regados con aguas residuales industriales en la profundidad de 0 a 20 cm	75
Figura 4.35b Máximos y mínimos de la tendencia de extracción de los metales en la fracción 4 en los sitios no regados con aguas residuales industriales en la profundidad de 0 a 20 cm	76
Figura 4.36a Máximos y mínimos de la tendencia de extracción de los metales en la fracción 4 en los sitios regados con aguas residuales industriales en la profundidad de 20 a 40 cm	75
Figura 4.36b Máximos y mínimos de la tendencia de extracción de los metales en la fracción 4 en los sitios no regados con aguas residuales industriales en la profundidad de 20 a 40 cm	76
Figura 4.37 Máximos y mínimos de la tendencia de extracción de los metales en la fracción 4 en los sitios regados con aguas residuales industriales en la profundidad de 40 a 60 cm	75

Figura 4.38	Clasificación mediante "clusters" de suelos regados con aguas residuales industriales con relación al promedio de porcentajes de metales extraídos en la fracción 4 en la profundidad de 0 a 20 cm	78
Figura 4.39a	Clasificación mediante "clusters" de suelos regados con aguas residuales industriales con relación al promedio de porcentajes de metales extraídos en la fracción 4 en la profundidad de 20 a 40 cm	78
Figura 4.39b	Clasificación mediante "clusters" de suelos regados con aguas residuales industriales con relación al promedio de porcentajes de metales extraídos en la fracción 4 en las profundidades de 0 a 20 cm y de 20 a 40 cm	79
Figura 4.40	Clasificación mediante "clusters" de suelos no regados con aguas residuales industriales con relación al promedio de porcentajes de metales extraídos en la fracción 4 en las profundidades de 40 a 60 cm	78
Figura 4.41a	Porcentaje de metales extraídos en la fracción 5 en suelos regados con aguas industriales en la profundidad de 0 a 20 cm	86
Figura 4.41b	Porcentaje de metales extraídos en la fracción 5 en suelos no regados con aguas industriales en la profundidad de 0 a 20 cm	87
Figura 4.42a	Porcentaje de metales extraídos en la fracción 5 en suelos regados con aguas industriales en la profundidad de 20 a 40 cm	86
Figura 4.42b	Porcentaje de metales extraídos en la fracción 5 en suelos no regados con aguas industriales en la profundidad de 20 a 40 cm	87
Figura 4.43a	Porcentaje de metales extraídos en la fracción 5 en suelos regados con aguas industriales en la profundidad de 40 a 60 cm	86
Figura 4.43b	Porcentaje de metales extraídos en la fracción 5 en suelos no regados con aguas industriales en la profundidad de 40 a 60 cm	87
Figura 4.44a	Máximos y mínimos de la tendencia de extracción de los metales en la fracción 5 en los sitios regados con aguas residuales industriales en la profundidad de 0 a 20 cm	89

Figura 4.44b	Máximos y mínimos de la tendencia de extracción de los metales en la fracción 5 en los sitios no regados con aguas residuales industriales en la profundidad de 0 a 20 cm	90
Figura 4.45a	Máximos y mínimos de la tendencia de extracción de los metales en la fracción 5 en los sitios regados con aguas residuales industriales en la profundidad de 20 a 40 cm	89
Figura 4.45b	Máximos y mínimos de la tendencia de extracción de los metales en la fracción 5 en los sitios no regados con aguas residuales industriales en la profundidad de 20 a 40 cm	90
Figura 4.46	Máximos y mínimos de la tendencia de extracción de los metales en la fracción 5 en los sitios regados con aguas residuales industriales en la profundidad de 40 a 60 cm	89
Figura 4.47	Clasificación mediante "clusters" de suelos regados con aguas residuales industriales con relación al promedio de porcentajes de metales extraídos en la fracción 5 en la profundidad de 0 a 20 cm	92
Figura 4.48a	Clasificación mediante "clusters" de suelos regados con aguas residuales industriales con relación al promedio de porcentajes de metales extraídos en la fracción 5 en la profundidad de 20 a 40 cm	92
Figura 4.48b	Clasificación mediante "clusters" de suelos regados con aguas residuales industriales con relación al promedio de porcentajes de metales extraídos en la fracción 5 en las profundidades de 0 a 20 cm y de 20 a 40 cm	93
Figura 4.49	Clasificación mediante "clusters" de suelos no regados con aguas residuales industriales con relación al promedio de porcentajes de metales extraídos en la fracción 5 en las profundidades de 40 a 60 cm	92
Figura 4.50a	Porcentaje de metales extraídos en la fracción 6 en suelos regados con aguas industriales en la profundidad de 0 a 20 cm	100
Figura 4.50b	Porcentaje de metales extraídos en la fracción 6 en suelos no regados con aguas industriales en la profundidad de 0 a 20 cm	101



Figura 4.51a	Porcentaje de metales extraídos en la fracción 6 en suelos regados con aguas industriales en la profundidad de 20 a 40 cm	100
Figura 4.51b	Porcentaje de metales extraídos en la fracción 6 en suelos no regados con aguas industriales en la profundidad de 20 a 40 cm	101
Figura 4.52a	Porcentaje de metales extraídos en la fracción 6 en suelos regados con aguas industriales en la profundidad de 40 a 60 cm	100
Figura 4.52b	Porcentaje de metales extraídos en la fracción 6 en suelos no regados con aguas industriales en la profundidad de 40 a 60 cm	101
Figura 4.53a	Máximos y mínimos de la tendencia de extracción de los metales en la fracción 6 en los sitios regados con aguas residuales industriales en la profundidad de 0 a 20 cm	103
Figura 4.53b	Máximos y mínimos de la tendencia de extracción de los metales en la fracción 6 en los sitios no regados con aguas residuales industriales en la profundidad de 0 a 20 cm	104
Figura 4.54a	Máximos y mínimos de la tendencia de extracción de los metales en la fracción 6 en los sitios regados con aguas residuales industriales en la profundidad de 20 a 40 cm	103
Figura 4.54b	Máximos y mínimos de la tendencia de extracción de los metales en la fracción 6 en los sitios no regados con aguas residuales industriales en la profundidad de 20 a 40 cm	104
Figura 4.55	Máximos y mínimos de la tendencia de extracción de los metales en la fracción 6 en los sitios regados con aguas residuales industriales en la profundidad de 40 a 60 cm	103
Figura 4.56	Clasificación mediante "clusters" de suelos regados con aguas residuales industriales con relación al promedio de porcentajes de metales extraídos en la fracción 6 en la profundidad de 0 a 20 cm	106
Figura 4.57a	Clasificación mediante "clusters" de suelos regados con aguas residuales industriales con relación al promedio de porcentajes de metales extraídos en la fracción 6 en la profundidad de 20 a 40 cm	106

Figura 4.57b	Clasificación mediante "clusters" de suelos regados con aguas residuales industriales con relación al promedio de porcentajes de metales extraídos en la fracción 6 en las profundidades de 0 a 20 cm y de 20 a 40 cm	107
Figura 4.58	Clasificación mediante "clusters" de suelos no regados con aguas residuales industriales con relación al promedio de porcentajes de metales extraídos en la fracción 6 en las profundidades de 40 a 60 cm	106
Figura 4.59a	Porcentaje de metales extraídos en la fracción 7 en suelos regados con aguas industriales en la profundidad de 0 a 20 cm	114
Figura 4.59b	Porcentaje de metales extraídos en la fracción 7 en suelos no regados con aguas industriales en la profundidad de 0 a 20 cm	115
Figura 4.60a	Porcentaje de metales extraídos en la fracción 7 en suelos regados con aguas industriales en la profundidad de 20 a 40 cm	114
Figura 4.60b	Porcentaje de metales extraídos en la fracción 7 en suelos no regados con aguas industriales en la profundidad de 20 a 40 cm	115
Figura 4.61a	Porcentaje de metales extraídos en la fracción 7 en suelos regados con aguas industriales en la profundidad de 40 a 60 cm	114
Figura 4.61b	Porcentaje de metales extraídos en la fracción 7 en suelos no regados con aguas industriales en la profundidad de 40 a 60 cm	115
Figura 4.62a	Máximos y mínimos de la tendencia de extracción de los metales en la fracción 7 en los sitios regados con aguas residuales industriales en la profundidad de 0 a 20 cm	117
Figura 4.62b	Máximos y mínimos de la tendencia de extracción de los metales en la fracción 7 en los sitios no regados con aguas residuales industriales en la profundidad de 0 a 20 cm	118
Figura 4.63a	Máximos y mínimos de la tendencia de extracción de los metales en la fracción 7 en los sitios regados con aguas residuales industriales en la profundidad de 20 a 40 cm	117

Figura 4.63b	Máximos y mínimos de la tendencia de extracción de los metales en la fracción 7 en los sitios no regados con aguas residuales industriales en la profundidad de 20 a 40 cm	118
Figura 4.64	Máximos y mínimos de la tendencia de extracción de los metales en la fracción 7 en los sitios regados con aguas residuales industriales en la profundidad de 40 a 60 cm	117
Figura 4.65	Clasificación mediante "clusters" de suelos regados con aguas residuales industriales con relación al promedio de porcentajes de metales extraídos en la fracción 7 en la profundidad de 0 a 20 cm	120
Figura 4.66a	Clasificación mediante "clusters" de suelos regados con aguas residuales industriales con relación al promedio de porcentajes de metales extraídos en la fracción 7 en la profundidad de 20 a 40 cm	120
Figura 4.66b	Clasificación mediante "clusters" de suelos regados con aguas residuales industriales con relación al promedio de porcentajes de metales extraídos en la fracción 7 en las profundidades de 0 a 20 cm y de 20 a 40 cm	121
Figura 4.67	Clasificación mediante "clusters" de suelos no regados con aguas residuales industriales con relación al promedio de porcentajes de metales extraídos en la fracción 7 en las profundidades de 40 a 60 cm	120
Figura 4.68	Contenido de Cr, Mn, Fe, Zn y Hg en raíces, tallos y hojas de los cultivos ( $\text{mg kg}^{-1}$ )	128
Figura 4.69	Contenido de Co, Pb, Cd y Ni en raíces, tallos y hojas de los cultivos ( $\text{mg kg}^{-1}$ )	129

## CAPITULO 1

### INTRODUCCION

En el riego con aguas residuales poca importancia se le ha dado a la toxicidad y a los riesgos potenciales para la salud que causan los metales al acumularse en los suelos. Esto principalmente en aquéllos con actividades agrícolas, en los que los cultivos pueden ser la vía de entrada de los metales en la cadena alimenticia. Riesgo que se acrecienta, si se considera que los efectos de la toxicidad de los metales generalmente se muestran a largo plazo en los seres vivos.

Tanto las condiciones físicas y químicas así como los procesos químicos que gobiernan la conducta de los metales en el suelo, su movilización, su biodisponibilidad y su acumulación deben de ser comprendidos si se quiere prever el impacto de los metales pesados en estos ecosistemas. Acorde a esto, la concentración total de un elemento no es el único factor que determina el riesgo de contaminación, ya que la toxicidad, movilidad y biodisponibilidad de un metal en el suelo dependen estrechamente del sustrato al que se encuentra unido y la afinidad por los otros elementos. Algunos países se encuentran trabajando en los límites de tolerancia del contenido de móvil de los metales.

Se considera que la especiación química operacional es una herramienta química que puede aplicarse para estimar la repartición de los metales en los diferentes sustratos del suelo, de acuerdo al reactivo usado para extraerlos e identificarlos según la fracción o fase del suelo a la que se encontraban unidos. Varios esquemas de extracción secuencial han sido usados con estos propósitos, generalmente modificaciones del inicial propuesto por Tessier *et al.* (1979) para el análisis de sedimentos.

Este método de extracciones secuenciales se ha utilizado en estudios de suelos (Hickey, 1984; Keller, 1994; Flores-Vélez *et al.* 1996, Lena *et al.*, 1997; Montante-Montelongo, 1998), sedimentos (Etcheber, 1983, Förstner, 1985; Tessier *et al.*, 1982), lodos residuales y suelos que han recibido lodos residuales (Williams *et al.*, 1980, 1984, 1985) así como en la determinación de la biodisponibilidad de metales en suelos contaminados (St-Cyr *et al.*, 1990; Villarroel *et al.*, 1993; Krishnamurti *et al.*, 1994; Luo *et al.*, 1998).

Considerando lo anterior, se decidió utilizar esta técnica en el estudio de suelos regados con aguas residuales industriales, cuya problemática se describe a continuación.

En el estado de San Luis Potosí, S. L. P., México, en la cuenca endorreica del Valle de San Luis Potosí, se localizan la ciudad de San Luis Potosí y la zona industrial. Las aguas residuales industriales en forma independiente fueron arrojadas a cielo abierto en la depresión natural llamada "Tanque Tenorio", por cinco años y posteriormente parte de las aguas residuales domésticas fue mezclada con estas aguas residuales industriales, lo que ha dado lugar a la formación de una laguna artificial de aguas de desecho comúnmente llamada "Tanque Tenorio". Actualmente estas aguas han sido canalizadas hacia el norte de la cuenca, habiendo alcanzado ya al ejido de Palma de la Cruz. En la zona aledaña a este Tanque Tenorio, existe actividad agrícola con cultivos de alfalfa, cebada y maíz principalmente, los cuales son regados con aguas residuales industriales sin tratar extraídas de esta laguna.

Esta situación ha dado lugar a la introducción en el suelo de los metales pesados de las aguas residuales industriales, los que pueden haberse acumulado en la capa arable y que pueden encontrarse en forma intercambiable, formando complejos organometálicos, unidos a los óxidos de manganeso o fierro, unidos a la materia orgánica o a alguna de las otras fracciones importantes del suelo; la disponibilidad de estos metales por las plantas dependerá de la fracción a la que se encuentren unidos. A su vez los cultivos pueden haber absorbido parte de estos metales y encontrarse en las raíces, tallos u hojas, aumentando su concentración natural.

En virtud de la situación expuesta en el párrafo anterior y debido a que no existen trabajos sobre el impacto que esta actividad ha causado en suelos y plantas, se ha efectuado el presente estudio con los siguientes objetivos:

- i) determinar si el uso de las aguas residuales industriales ha provocado una acumulación del cobre, cadmio, cobalto, níquel, mercurio, manganeso, cromo, fierro, plomo, zinc y arsénico (aunque el arsénico no es un metal, se incluye en el estudio debido a su toxicidad) en la capa arable del suelo, comparando los suelos regados con las aguas residuales con los no influenciados de esta zona.
- ii) Definir la movilidad y biodisponibilidad por las plantas de los metales en estudio, mediante la estimación de su repartición (especiación operacional) en las diferentes fracciones del suelo aplicando un esquema de extracción secuencial.

- iii) Determinar la absorción de los metales pesados ya citados, por la cebada, alfalfa, avena y maíz, por medio de espectroscopía de absorción atómica y comparación con los valores normales reportados en la literatura.

## CAPITULO 2

### ESPECIACION QUIMICA OPERACIONAL CONCEPTOS TEORICOS

La especiación de metales, puede definirse como la identificación y cuantificación de las diferentes especies químicas presentes (Tessier *et al.*, 1979; Beckett, 1989; Quevauviller *et al.*, 1994; Flores-Vélez *et al.*, 1996).

Las especies químicas a que se refiere el párrafo anterior, se definen por: 1) su función, por ejemplo "disponibles para las plantas", "intercambiables"; 2) por la operación designada para separarlas e identificarlas, ejemplo las especies separadas de la solución del suelo obtenida por centrifugación o desplazamiento o especies reducidas moderadamente separadas por un reactivo en particular y, 3) como un compuesto particular o estado de oxidación, ejemplo  $\text{Cr}^{+3}$  (Ure *et al.*, 1993; Quevauviller *et al.*, 1994; Ure *et al.*, 1995).

Diferentes esquemas de extracción secuencial se han usado en la especiación de metales en la fase sólida, frecuentemente modificaciones al propuesto inicialmente por Tessier *et al.* (1979).

Se ha estudiado también el efecto de la presencia de metales pesados como en el caso de las zonas de Derbyshire y Ceredigion, en Inglaterra y Wales, en relación con su absorción por *Raphanus sativus L* en suelos contaminados por la actividad minera, las concentraciones de los metales pesados se determinaron en las diferentes fracciones de suelo (Davies, 1992).

Pueden mencionarse también como la especiación química ha sido utilizada en la determinación de manganeso y cobre en la raíz de *Phragmites australis* por St-Cyr y colaboradores (1990). En los experimentos de encalado, en el estudio de las composiciones de soluciones del suelo y mineralogía en suelos ácidos sulfatados por Shamshuddin *et al.* (1991); en los métodos químicos usados entre otros para determinar la fitodisponibilidad de cadmio y zinc en suelos tratados con desechos municipales (Villarroel *et al.*, 1993); en la medición de las actividades del ión cadmio en suelos tratados con desechos municipales (Candelaria *et al.*, 1995) y por Carrillo *et al.* (1992) al efectuar la

determinación de metales pesados en extractantes que permitan identificar sus formas disponibles.

Krishnamurti *et al.* (1995), trabajó sobre la especiación del cadmio en suelos y su biodisponibilidad, utilizando un esquema de extracción secuencial en el que incluye una fracción que no es muy común encontrar en los esquemas de extracción, la de los organometálicos utilizando como extractante pirofosfato de sodio.

Lena *et al.* (1997), evaluó los efectos de la roca fosfórica en suelos contaminados con plomo, utilizando muestras de diferentes partes de Estados Unidos, por medio de una extracción secuencial.

Luo *et al.* (1998) utilizaron las extracciones secuenciales en un experimento de invernadero, realizado con el propósito de determinar la biodisponibilidad del cobre y zinc por la cebada en suelos de diferente texturas.

En México, se ha estudiado el efecto que el riego agrícola con aguas residuales de la Ciudad de México han producido en los suelos del distrito 03 en el Valle del Mezquital. Con el fin de conocer las concentraciones de los metales en la diferentes fracciones del suelo, Siebe *et al.* (1996) utilizaron también la técnica de la especiación mediante extracciones químicas.

La repartición de metales en los sedimentos de la laguna formada por las aguas negras de la Ciudad de San Luis Potosí y parte de las aguas residuales industriales, denominada Tanque Tenorio, fue estudiada por Montante-Montelongo (1998) mediante extracciones secuenciales.

En Europa, durante los últimos cinco años la especiación química ha cobrado gran interés e importancia, debido a esto varios investigadores se han dado a la tarea de estandarizar los diferentes esquemas de extracción de acuerdo a los tipos de suelo, para ser usados por los estados miembros de la Comunidad Europea (Ure *et al.*, 1993; Quevauviller *et al.*, 1994; Whaley *et al.*, 1994; Quevauviller *et al.*, 1995; Quevauviller *et al.*, 1996).

Generalmente se utilizan de tres a ocho reactivos extractantes, los más comúnmente utilizados pueden clasificarse como: 1) electrolitos concentrados, 2) ácidos débiles, 3) agentes reductores, 4) sustancias complejantes, 5) agentes oxidantes, 6) ácidos fuertes (Flores-Vélez *et al.*, 1996).

Los resultados entre esquemas de extracciones diferentes no pueden compararse ya que los resultados obtenidos son definidos por la determinación de los elementos extractables bajo un determinado



procedimiento, y su interpretación depende del protocolo de extracción usado. La Comunidad Europea intenta estandarizar estos protocolos de extracción para diferentes tipos de suelo, (Ure *et al.*, 1993; Quevauviller *et al.*, 1994).

En el presente trabajo las especies de los metales serán definidas operacionalmente, de acuerdo al reactivo usado para extraerlas e identificarlas según la fracción o fase del suelo a la que se encontraban unidas. El esquema de extracción secuencial que se utilizará es el que se presenta en el Cuadro 2.1.

Cuadro 2.1 Esquema de extracción secuencial

FRACCION	FASE DE LOS METALES	REACTIVO EXTRACTANTE
1	Intercambiables	$Mg(NO_3)_2 \cdot 6H_2O$ , 1 M pH= 7
2	Unidos a complejos órgano-metálicos.	$Na_4P_2O_7 \cdot H_2O$ , 0.1 M; pH=10
3	Unidos a óxidos de manganeso	$NH_2OH \cdot HCl$ , 0.1 M en $HNO_3$ 0.01 M, pH=2
4	Unidos a la materia orgánica	$HNO_3$ 0.02 M, $H_2O_2$ 30% pH=2 con $HNO_3$ ; $Mg(NO_3)_2 \cdot 6H_2O$ 2 M en $HNO_3$ 20%.
5	Unidos a óxidos de fierro amorfos	$(NH_4)_2C_2O_4$ 0.2 M, pH=3 con ácido oxálico. En la <b>OSCURIDAD.</b>
6	Unidos a óxidos de fierro cristalinos	$(NH_4)_2C_2O_4$ 0.2 M, pH =3 con ácido oxálico en ácido ascórbico en 0.1 M.
7	Residual	$HNO_3$ 65%; HF 40%. HCl 35%

Dado que el esquema citado se ha elaborado de acuerdo a las condiciones físicas y químicas del suelo en estudio, se ha omitido la fase de carbonatos puesto que a la profundidad estudiada (de 0 a 60 cm) no

representan un sustrato importante, como se observó en las pruebas de titulación ácido-base, realizadas en estos suelos (Vargas-Olvera, 1996, reporte interno).

En la selección de los reactivos extractantes, se consideró la solubilidad, readsorción y precipitación que los metales pudieran experimentar una vez extraídos.

En la primera fase, de **intercambiables**, se optó por usar nitrato de magnesio ya que las constantes de formación de los complejos metálicos con el ligando nitrato son las mas bajas en comparación con las de los cloruros y acetatos (iones comúnmente utilizados para esta fase), como puede observarse en el cuadro 2.2 (Dean, 1972) en el que se muestra la primera constante de formación.

El uso del nitrato de magnesio, extraerá con mayor especificidad los cationes intercambiables, ya que según las constantes, se pueden extraer complejos metálicos con los ligandos cloruro y acetato cuando éstos son usados como extractantes, dando lugar a que estos complejos sean considerados como intercambiables.

Cuadro 2.2 Constantes de formación de iones metálicos con los ligandos: nitrato, cloruro, acetato.

ION METALICO	PRIMERA CONSTANTE DE FORMACION log k <sub>1</sub> (a temp. 20 a 25 °C)		
	Nitrato	Cloruro	Acetato
Cadmio	0.40	1.95	1.5
Cobalto	0.20**	-4.0**	1.5
Cobre	-0.40**	0.1	2.16
Cromo	-----	-4.0**	1.8
Fierro(III)	1.0	1.48	3.2
Manganeso	0.6**	0.96	9.84
Mercurio	0.35	6.74	8.43*
Níquel	0.40**	1.0**	1.12
Plomo	1.18	1.62	2.52
Zinc	-0.3**	0.2**	1.5

Dean, 1972

\* corresponde a log k<sub>2</sub>

\*\* tomado de Soilchem (Sposito *et al.*, 1988)

----- no reportado por las fuentes mencionadas.

Además debe evitarse la introducción del ión amonio para evitar la formación de oxalato de amonio en la fracción 4 ( fase de metales unidos a materia orgánica), que disolvería parte de los metales unidos a óxidos de fierro.

**Fase de metales unidos a complejos órgano-metálicos.** Se demostrado que en suelos, aún en los ácidos, los metales pueden estar presentes en forma de complejos, con relación 1:1, con los ácidos húmicos y fúlvicos (Stevenson *et al.*, 1983; Wilkinson, 1983). Estos complejos órgano-metálicos pueden ser extractables con pirofosfatos que dispersan la materia orgánica y forman compuestos solubles con los metales del complejo, aumentando su eficiencia con el pH (Krishnamurti *et al.*, 1995; Beckett, 1989). Esto se debe a que las constantes de formación del pirofosfato y los metales son mayores que las correspondientes a los ácidos fúlvicos, según se puede observar en el cuadro 2.3, en el cual FUL1 y FUL2 representan 1 mol de carga negativa de materia orgánica soluble que pueden formar complejos 1:1 con cationes metálicos. Se definen dos clases de tales complejos, basados en las dos clases de grupos funcionales ácidos observados típicamente en la materia orgánica disuelta del suelo. ( $pK_a = 4.5$  y  $9.0$ ) (Sposito, 1981).

Cuadro 2.3 Constantes de formación de iones metálicos con los ligandos: pirofosfato y ácidos fúlvicos.

ION METALICO	PRIMERA CONSTANTE DE FORMACION $\log k_1$ (a temp. 25 °C )		
	Pirofosfato	FUL1	FUL 2
Cadmio	8.7	3.5	2.7
Cobalto	-----	-----	-----
Cobre	9.1	4.3	2.5
Cromo	-----	-----	-----
Fierro (III)	26	4.4	-----
Manganeso	6	4.4	2.7
Mercurio	5.2	-----	-----
Níquel	7.1	4.2	2.5
Plomo	5.2	4.7	4.0
Zinc	11.0	4.0	2.2

Sposito, 1988.

---- No lo reporta el programa.

Se consideran que las constantes de formación para los ácidos húmicos son menores que las de los ácidos fúlvicos ya que los primeros presentan una acidez menor ( 500 a 870 meq/100 g para ácidos húmicos y 900 a 1400 meq/100 g para ácidos fúlvicos) y por lo tanto menor número de grupos funcionales:COOH (150 a 300 meq/100 g para ácidos húmicos, 610 a 910 meq/100 g para ácidos fúlvicos), OH fenólicos (250 a 570 meq/100 g para ácidos húmicos y 270 a 670 meq/100 g para ácidos fúlvicos), y C=O (90 a 300 para ácidos húmicos meq/100 g y 110 a 310 meq/100 g para ácidos fúlvicos), sitios de adsorción de metales para la formación de los complejos órgano-metálicos (Stevenson *et al.*, 1983).

**Fase de metales unidos a óxidos de manganeso.**- De entre las diversas combinaciones de cloruro de hidroxilamina y ácidos nítricos, clorhídricos y acéticos a diferentes concentraciones, se optó por la citada combinación, ya que según la literatura los óxidos de fierro son muy poco disueltos y es útil como discriminante entre los metales unidos a los óxidos de fierro y los unidos a los de manganeso; además que la reacción óxido-reducción permite la liberación de los metales ocluidos en los óxidos de manganeso (Beckett, 1989). Tessier y colaboradores (1979) lo considera en su esquema original de extracción química.

**Fase de metales unidos a la materia orgánica.**- La destrucción de la materia orgánica se lleva al cabo con H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> al 30% en medio ácido y calentamiento en baño maría. Para evitar la reabsorción de los metales liberados, se extrae con nitrato de magnesio, evitando el uso de acetato de amonio por las misma razón citada en la fase de intercambiables.

**Fase de metales unidos a óxidos de fierro amorfos.**- El oxalato de amonio a pH=3 y en la oscuridad, ha sido ampliamente utilizado como disolvente selectivo de los óxidos amorfos. El punto crucial es que la acción del oxalato de amonio en medio ácido es muy sensible a la luz en la disolución de los amorfos, propiedad que se utiliza para diferenciar entre éstos y los cristalinos (Beckett,1989; Sager, 1992; Krishnamurti *et al.*, 1995; Flores-Vélez, 1996).

**Fase de metales unidos a óxidos de fierro cristalinos.**- En esta fase, el oxalato de amonio es utilizado como extractante a la luz, y a 95 °C , por varios investigadores (Ure *et al.*, 1995; Krishnamurti *et al.*, 1995).

En las fases anteriores, las temperaturas durante la extracción son de 25 °C, a excepción de la de materia orgánica y la de óxidos de fierro cristalinos.

**Residual.-** Se ataca la muestra con ácidos nítrico, fluorhídrico y clorhídrico, (en una proporción de 5:10:1), utilizando horno de microondas, para liberar los metales que se encuentren ocluidos en la sílice. Se extraen también aquéllos que no hayan sido extraídos por los extractantes de las fracciones anteriores.

## CAPITULO 3

## MATERIALES Y METODOS

Según Martínez et al. (1979), la zona de estudio se localiza en la parte más baja de la cuenca endorreica del Valle de San Luis, que se encuentra en la Hoja San Luis Potosí, entre los paralelos 22° 00' y 22° 15' latitud norte y los meridianos 100° 40' y 101° 00' de longitud Oeste del meridiano de Greenwich. Esta cuenca es un depósito aluvial con un espesor de 250 m, que descansa en un derrame de tipo riolítico denominado "Riolita Panalillo", como roca basal, la que sirve de sello al acuífero confinado en el área. La Figura 3.1 muestra la zona de estudio y sitios de muestreo.

De acuerdo a la carta edafológica San Luis Potosí F-14-A-84, los suelos de la zona en estudio están clasificados como Xerosoles háplicos, cuyas características edafológicas se muestran en el Cuadro 3.1.

Cuadro 3.1 Características edafológicas en la zona de estudio

	HORIZONTE			
	A1	B1	C1	C2
Profundidad en cm	0 – 23	23 – 70	70 – 100	100 - 160
Reacción al HCl diluido	débil	fuerte	fuerte	fuerte
Textura	franca	franca	franca	migajón arenoso
Conductividad eléctrica mmhos cm <sup>-1</sup>	<2.00	<2.00	<2.00	<2.00
pH en agua relación 1:1	8.0	8.1	8.4	8.6
% de materia orgánica	1.87	0.67	0.47	0.54
% de saturación	50	50	100	100
Cationes intercambiables	0.395	0.45	0.45	0.723
Sodio meq/100 g	2.520	2.42	2.92	2.52
Potasio meq/100 g	11.87	11.87	15.62	15.00
Calcio meq/100 g	3.12	3.75	6.87	1.87
Magnesio meq/100 g				

(INEGI, 1985)

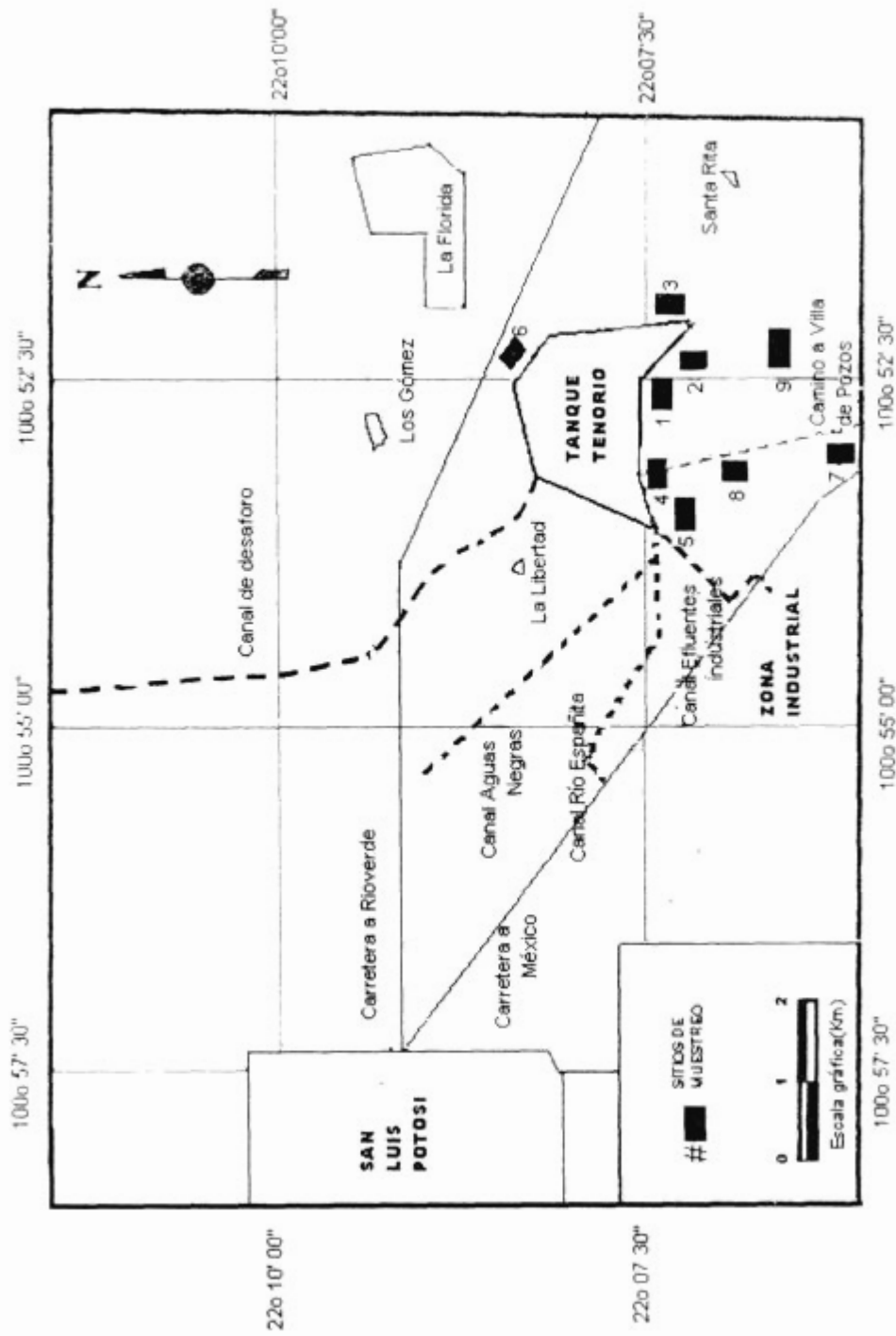


Figura 3.1 Localización de la zona de estudio y sitios de muestreo en la zona del Tanque Tenorio (tomado y modificado de Montante-Montelongo, 1998)

El muestreo se realizó en seis sitios (aproximadamente de 1 hectárea de superficie cada uno) regados con aguas residuales, uno con cultivo de alfalfa, otro con cebada, el tercero con avena, y tres sitios sin actividad. Así mismo se muestrearon tres sitios (con superficie similar a los anteriores) no influenciados por estas aguas residuales, uno con cultivo de maíz regado con agua del acuífero confinado, el segundo a la orilla de camino de terracería con tránsito de vehículos de motor y de tracción animal y el tercero sin actividad.

En cada sitio se tomaron muestras compuestas con barrena holandesa (Jackson, 1976). Se muestreó a profundidades de 0 a 20 cm; 20 a 40 cm y 40 a 60 cm en todos los suelos regados con aguas residuales; en los no regados por estas aguas, solo en el sitio a la orilla del camino se tomó en las 3 profundidades mencionadas, en los otros dos solamente de 0 a 20 y de 20 a 40 cm, debido a que el tepetate se encontraba a los 40 cm de profundidad.

Cada muestra consistió de 7 submuestras por hectárea. En los sitios con cultivos de alfalfa, cebada y avena se tomaron cinco plantas desde la raíz por punto de submuestra, en floración. En el sitio con cultivo de maíz, se tomó una muestra de planta completa (desde la raíz) en cada punto de las submuestras con altura aproximada de un metro y medio, con mazorcas.

Las muestras de suelo fueron secadas al aire sobre lona ahulada, se rompieron los grumos con pisón de madera y se tamizaron por un tamiz de 2 mm de abertura de malla de polietileno. Las plantas se lavaron con agua destilada, secadas al aire sobre lona ahulada, molidas en molino (Analytical Mill) con cuchillas de carburo de tungsteno y acero inoxidable y pasadas por tamiz de 250  $\mu$  de abertura de malla.

En el material así preparado se efectuó:

i) La caracterización edafológica de los suelos con la medición de los parámetros: textura, pH, conductividad, materia orgánica y fósforo aprovechable. El pH se determinó potenciométricamente en relación 1:2.5 en peso, agua-suelo; la textura por el método del hidrómetro Bouyoucos; conductividad en extracto de suelo saturado usando puente de conductividad; materia orgánica por el método de combustión húmeda de Walkley-Black modificado; el fósforo aprovechable usando el método de Trog. Las mediciones se llevaron a cabo por triplicado.

ii) La acumulación de los metales en los suelos, midiendo los metales totales por espectroscopía de absorción atómica a la flama, previa digestión en horno de microondas, por triplicado.



Los límites de detección obtenidos por absorción atómica a la flama (Perkin Elmer, modelo 2380, doble haz con corrector de fondo) en  $\mu\text{g/L}$  son:

Cu	2	Mn	2	Co	10
Cd	1	Zn	2	Ni	9
Cr	3	Fe	4	Pb	30
		As	200	Hg	28

La misma técnica se utilizó en material de referencia de sedimento marino para elementos vestigio, MESS-2, del Conseil national de recherches de Canadá, obteniéndose una recuperación del 95 al 100% para los metales estudiados.

iii) La definición de la movilidad por medio de la especiación operacional de los metales, utilizando el esquema de extracción secuencial que se describe en la Cuadro 3.2, la medición de los metales en los extractos por absorción atómica a la flama u horno de grafito El residual (última fracción) se sometió a digestión en horno de microondas y medición de los metales por absorción atómica a la flama. El esquema de extracción secuencial se aplicó por triplicado en cada una de las muestras. Los metales en los extractos de las diferentes fracciones que fueron determinados por absorción atómica a la flama son: manganeso, zinc, fierro, mercurio, arsénico y cromo; con los mismos niveles de detección mencionados arriba. Y los metales determinados utilizando el horno de grafito Perkin Elmer, modelo 3110, con horno de grafito modelo HGA-600) fueron: cobre, cadmio, cobalto, níquel y plomo; con los siguientes niveles de detección obtenidos, en  $\text{ng/mL}$  :

Cu	0.02	Co	0.02
Pb	0.02	Ni	0.06
Cd	0.003		

iv) La determinación de la absorción de metales en las plantas se realizó midiendo el contenido de metales totales en las raíces, hojas (en la cebada, espigas en lugar de hojas) y tallos de las plantas, por absorción atómica a la flama u horno de grafito después de digerir el material lavado y secado al medio ambiente con ácido clorhídrico; cada determinación se efectuó por triplicado. Los niveles de detección son los citados arriba. Los metales determinados por horno de grafito fueron el Pb y Cd en las digestiones de los tallos.

**Cuadro 3.2 Esquema de extracción secuencial operativo**

FRACCION No.	FASE DE LOS METALES	REACTIVO EXTRACTANTE	AGITACION		CENTRIFUGACION	
			Tiempo	Temper.	Tiempo	Velocidad
1	Intercambiables	10 ml $Mg(NO_3)_2$ 1 M pH= 7	4 horas	25 °C	40 min	4000 rpm
2	Unidos a complejos orgánico-metálicos	30 ml $Na_4P_2O_7 \cdot H_2O$ 0.1 M pH = 10	20 horas	25 °C	60 min	4000 rpm
3	Unidos a óxidos de manganeso	20 ml $NH_2OH \cdot HCl$ 0.1 M en $HNO_3$ 0.01 M	30 min	25 °C	40 min	4000 rpm
4	Unidos a la materia orgánica	3 ml de $HNO_3$ 0.02 M 5 ml de $H_2O_2$ 30% a pH=2 con $HNO_3$ 5 ml de $H_2O_2$ 30% , pH=2 10 ml $Mg(NO_3)_2$ 2 M en $HNO_3$ 20%	2 horas 3 horas 30 min.	85 °C 85 °C 25 °C	60 min	4000 rpm
5	Unidos a óxidos de fierro amorfos	10 ml de $(NH_4)_2C_2O_4$ 0.2 M pH=3 con ácido oxálico <b>OSCURIDAD</b>	4 horas	25 °C	60 min	4000 rpm
6	Unidos a óxidos de fierro cristalinos	25 ml de $(NH_4)_2C_2O_4$ 0.2 M pH=3 en ácido ascórbico 0.1 M	30 min	95 °C	60 min	4000 rpm
7	Residual	5 ml $HNO_3$ 65%; 2 ml HF 40%; 2 ml HCl 35% (digestión en horno de microondas)				

## CAPITULO 4

### DESCRIPCION DE RESULTADOS

En este capítulo se presentan los resultados de los parámetros generales edafológicos, de la acumulación de metales, de la especiación operacional, de la correlación entre las extracciones individuales con nitrato de amonio y EDTA con las extracciones secuenciales, del contenido de metales pesados en la alfalfa, cebada, avena y maíz, de los factores de transferencia de los metales a los cultivos estudiados,

Los sitios de muestreo se han identificado, con números progresivos y la actividad de cada uno de ellos. Los sitios regados con aguas residuales y las profundidades de muestreo son:

1. con cultivo de alfalfa	0 a 20 cm; 20 a 40 cm; 40 a 60 cm
2. con cultivo de cebada	0 a 20 cm; 20 a 40 cm; 40 a 60 cm
3. con cultivo de avena	0 a 20 cm; 20 a 40 cm; 40 a 60 cm
4. sin actividad	0 a 20 cm; 20 a 40 cm; 40 a 60 cm
5. sin actividad	0 a 20 cm; 20 a 40 cm; 40 a 60 cm
6. sin actividad	0 a 20 cm; 20 a 40 cm; 40 a 60 cm

Los suelos no influenciados por las aguas residuales y las profundidades son:

7. con cultivo de maíz	0 a 20 cm; 20 a 40 cm
8. orilla de camino de terracería	0 a 20 cm; 20 a 40 cm; 40 a 60 cm
9. sin actividad	0 a 20 cm; 20 a 40 cm

Sin actividad significa suelo sin uso en el momento del muestreo. En los sitios 7 y 9 sólo fue posible obtener las muestras hasta 40 cm debido a que a esa profundidad se encontró una capa de tepetate.

#### 4.1 Parámetros generales edafológicos

Los parámetros determinados fueron pH, conductividad, textura, fósforo aprovechable, y materia orgánica en todos los sitios de muestreo.

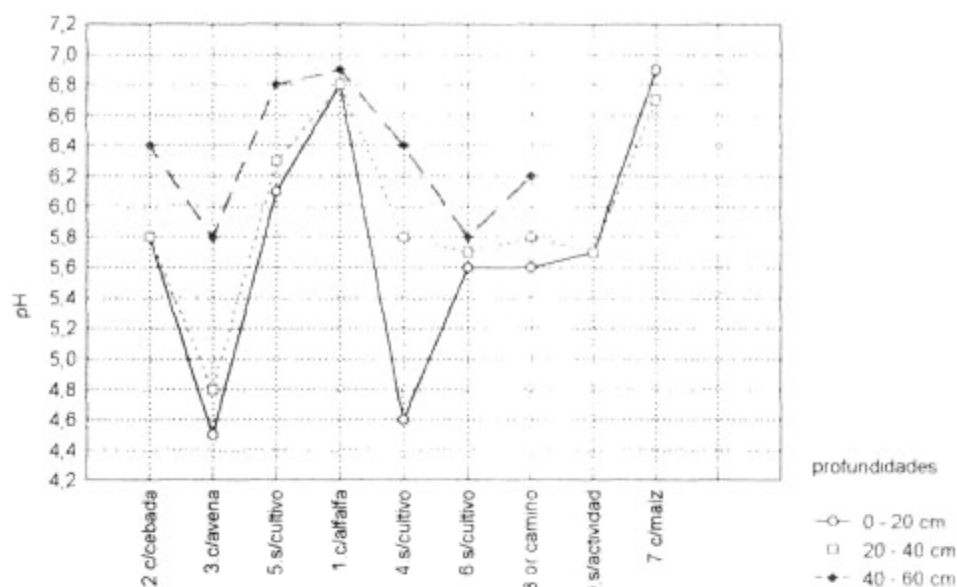


Figura 4 1a. pH con textura en los sitios: 1 migajón arcilloso; 2, 4, 5 y 6 mig arcillo-arenoso; 3 arenoso; 9 arenoso migajón.

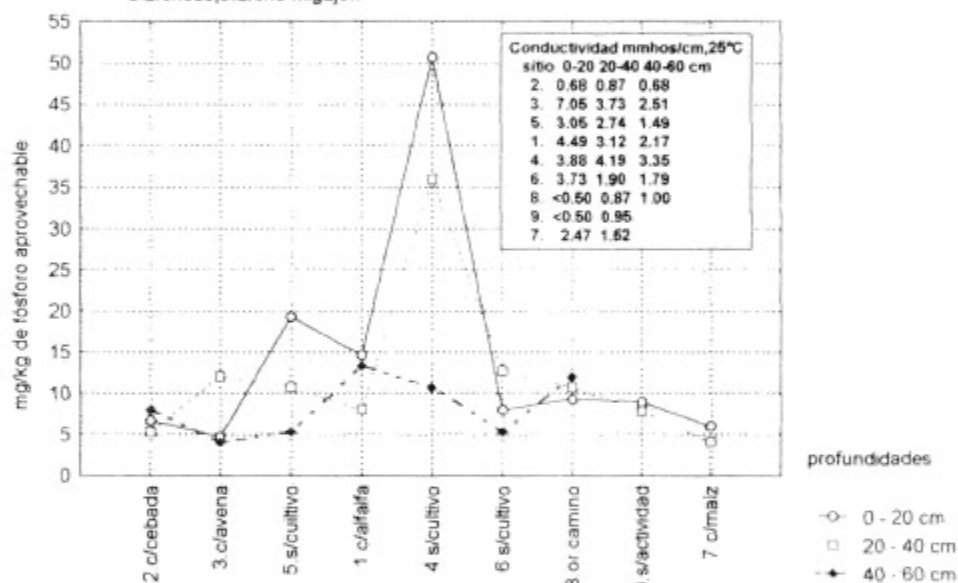


Figura 4 1b. Fósforo aprovechable con textura en los sitios: 1 migajón arcilloso; 2, 4, 5 y 6 mig arcillo-arenoso; 3 arenoso; 7 y 8 mig arenoso; 9 arenoso migajón.

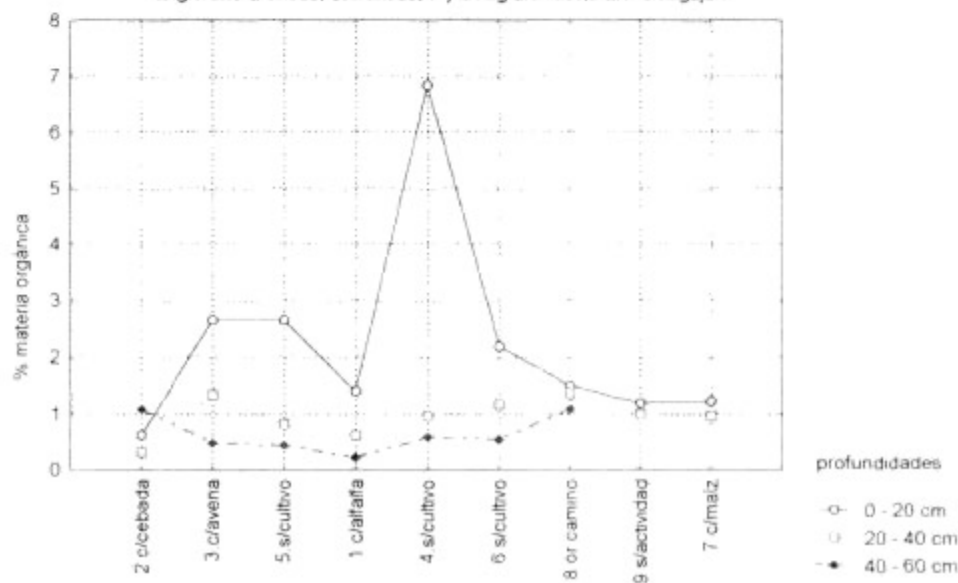


Figura 4 1c. Porcentaje de materia orgánica con textura en los sitios: 1 migajón arcilloso; 2, 4, 5 y 6 mig arcillo-arenosos; 3 arenoso; 7 y 8 mig arenoso; 9 arenoso migajón.

METALES TOTALES

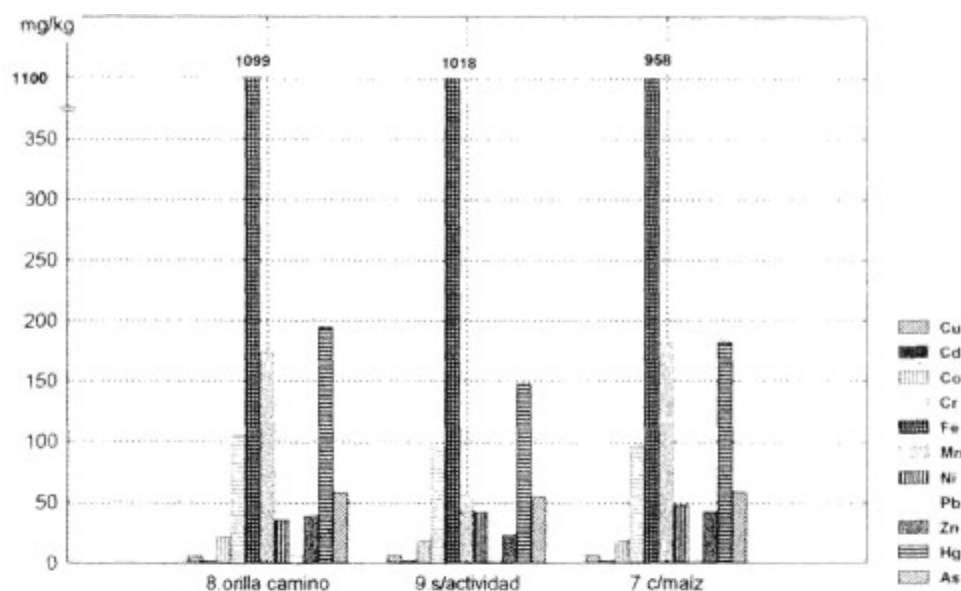


Figura 4.2b Metales totales en sitios de suelos NO regados por aguas residuales industriales en la profundidad 0 a 20 cm.

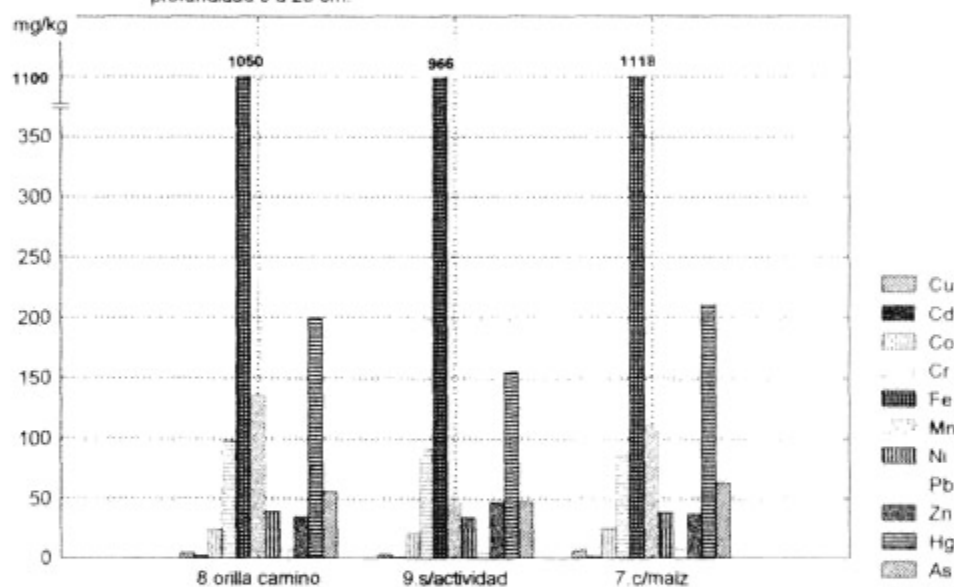


Figura 4.3b Metales totales en sitio de suelos NO regados por aguas residuales industriales en la profundidad de 20 a 40 cm

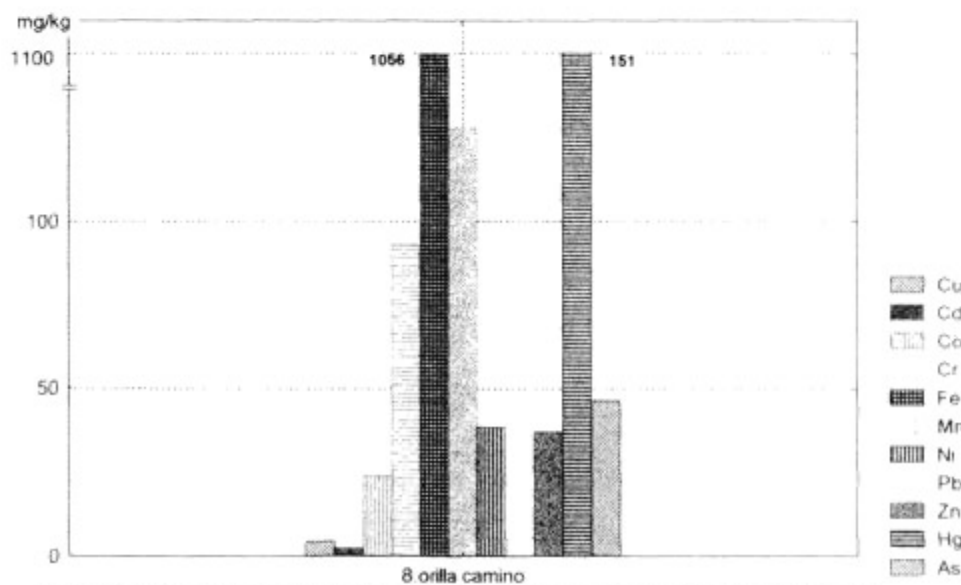


Figura 4.4b Metales totales en sitio de suelos NO regados con aguas residuales industriales en la profundidad de 40 a 60 cm

El pH aumenta con la profundidad, a excepción de los sitios 9 y 7 en el que el pH del sitio 9 en las dos profundidades es igual y en el sitio 7 es mayor el de 0 a 20 cm. (Figura 4.1a).

La conductividad varía de 0.50 a 7.05 mS cm<sup>-1</sup>, no hay tendencia definida en cuanto a aumento o disminución conforme a la profundidad (Figura 4.1a). Los sitios 1 y 3 en la profundidad de 0 a 20 cm y el sitio 4 en la profundidad de 20 a 40 cm pueden considerarse como salinos. Los demás son normales en salinidad.

La textura en los suelos de los sitios regados con aguas residuales predomina el migajón arcillo arenoso, y en los suelos no influenciados por las aguas residuales en los sitios 7 y 8 migajón arenoso y el sitio 9 areno migajón.

Las concentraciones de fósforo aprovechable en los suelos no muestran especificidad por profundidad o por determinados sitios. En general es bajo el contenido de fósforo a excepción del sitio 4 en las profundidades de 0 a 20 cm y de 20 a 40 cm con concentraciones de 50.7 y 36 mg kg<sup>-1</sup> respectivamente (Figura 4.1b).

Los suelos son pobres en materia orgánica, el sitio 4 es en el que se observa una concentración mayor (6.8%) de 0 a 20 cm. El porcentaje de materia orgánica disminuye con la profundidad (Figura 4.1c).

Los valores de estos parámetros edafológicos se encuentran en el apéndice 1.

#### 4.2 Acumulación de metales

Se encontró que las concentraciones de hierro son similares en las tres profundidades, tanto en los sitios regados con las aguas residuales industriales como en los no regados con éstas. La del mercurio es mayor en los sitios 7 y 8 de los suelos no regados con aguas residuales. Las concentraciones de cromo, cobre, zinc, arsénico, cobalto, manganeso (en las profundidades de 20 a 40 y de 40 a 60 cm), cadmio, níquel (a excepción del sitio 1) y plomo son mayores en los sitios regados con aguas residuales (Figuras 4.2a - 4.4b).

La cuadro del contenido de metales totales en todos los sitios constituyen el apéndice 2.

#### 4.3 Especiación operacional de los metales

Los resultados de la especiación operacional se presentan por fracciones en las diferentes profundidades tanto en los suelos regados por

las aguas residuales como en los no influenciados. Se describen, a) los porcentajes en tres categorías: de 0 a 10%, de 10 a 20 % y de 20% en adelante, b) las tendencias de extracción, obtenidas de los valores de las medianas por metal de todos los sitios, c) la agrupación de los sitios estudiados en relación al porcentaje de metales extraídos, por medio de la técnica conocida como análisis de clusters, utilizada exclusivamente para realizar la agrupación de los sitios de acuerdo al promedio y desviación estándar de los metales extraídos y d) las correlaciones de los metales entre sí y la de los metales con parámetros edafológicos, se indican los coeficientes de correlación ( $r$ ) y el nivel de significancia ( $p$ ).

Al final de cada fracción se encuentran las gráficas de los porcentajes de extracción, de las medianas de los metales extraídos y la de los análisis de clusters; y al término de la sección de especiación se incluye una cuadro de las series de tendencia de extracción de los metales en las tres profundidades tanto de los sitios regados con aguas residuales como de los no influenciados.

Los valores del contenido de los metales en las diferentes fracciones en las tres profundidades y de las extracciones con nitrato de amonio y EDTA en todos los sitios estudiados se encuentran en el apéndice 3.

<b>FRACCION 1. METALES INTERCAMBIABLES.</b> Suelos regados con aguas residuales
--

*Profundidad de 0 a 20 cm*

En esta profundidad, los metales extraídos en un porcentaje menor al 10% son: el hierro, cromo, arsénico (a excepción del sitio 6, 11.30%), plomo, níquel en los sitios 1 (con alfalfa), 2 (con cebada) y 6 (con 10.5%), cobalto (a excepción de los sitios 2 y 3), el cadmio en los sitios 1 y 2, el zinc en los sitios 1, 2 y 5, manganeso en los sitios 1 y 2, y cobre en todos los sitios a excepción del sitio 3 (Figura 4.5a).

En el rango de 10 a 20%, se encuentran el cobalto en los sitios 2 y 3, cadmio en el sitio 6, zinc en los sitios 3, 4, 6 y cobre en el sitio 3.

De 20 a 45%, níquel en los sitios 4, y 5, cadmio en los sitios 3 y 4 y manganeso en los sitios 3, 4, 5 y 6.

La mayor parte de los metales extraídos se encuentra por debajo del 10%, con un mínimo para el hierro de 0.10%. La tendencia de extracción (Figura 4.8a) puede resumirse en la siguiente serie:

Mn > Cd > Ni > Zn > Co > Cu > Cr > As > Hg > > Pb >> Fe



Según el diagrama de clusters (Figura 4.11a), los sitios se agrupan de acuerdo al promedio de porcentajes extraído de los metales en esta fracción, según lo muestra el Cuadro 4.1.

Cuadro 4.1 Agrupación de suelos regados con aguas residuales de la fracción 1, de 0 a 20 cm.

FRACCION 1. INTERCAMBIABLES con relación al promedio del porcentaje de metales extraídos profundidad: 0 – 20 cm		
GRUPO	SITIOS	ACTIVIDAD
I	1 y 2	con cultivo de alfalfa y cebada
II	4 y 5	ambos sin cultivo
	6	sin actividad
	3	con cultivo de avena

En general el sitio 3 se asemeja más a los sitios sin actividad, podría decirse que la avena muestra poca tendencia de absorción de metales en forma intercambiable, en relación con los cultivos de alfalfa y cebada, a excepción del hierro, cromo y cobalto.

Los metales extraídos se correlacionan significativamente ( $p < 0.05$ ) entre sí y con los parámetros edafológicos, según el Cuadro 4.2.

Cuadro 4.2 Correlaciones ( $p < 0.05$ ) de extracción en suelos regados con aguas residuales, en la fracción 1, de 0 – 20 cm

	<i>r</i>	<i>p</i>
De los metales entre sí		
Cd - Cu	0.8631	0.027
Cd - Zn	0.9517	0.003
Cd - Pb	0.8374	0.037
Con los parámetros edafológicos		
Cd - pH	-0.8877	0.018
Zn - pH	-0.8859	0.019

#### Profundidad de 20 a 40 cm

La mayor parte de los metales extraídos se encuentran en un rango del 0.10 10%. Son todos los metales de los sitios 1 y 2, mercurio, hierro, cromo, arsénico, plomo en todos los sitios, cobalto en los sitios 4, 5 y 6, zinc en los sitios 5 y 6 y cobre en los sitios 4, 5 y 6.

De 10 a 20%, níquel en los sitios 3 y 5, cobalto en el sitio 3, cadmio en los sitios 4 y 5 y zinc en los sitios 3 y 4.

De 20 a 48%, cadmio en los sitios 3 y 6, manganeso en los sitios 3, 4, 5 y 6, níquel en los sitios 4 y 6 (Figura 4.6a).

La tendencia de extracción es (Figura 4.9a):



Al igual que en la profundidad de 0 a 20 cm, de acuerdo al diagrama de clusters (Figura 4.12a), el porcentaje promedio de extracción de los metales del sitio con cultivo de avena se asemeja a los sitios sin actividad, según lo muestra el Cuadro 4.3.

Cuadro 4.3 Agrupación de suelos regados con aguas residuales de la fracción 1, de 20 a 40 cm.

FRACCIÓN 1. INTERCAMBIABLES con relación al promedio del porcentaje de metales extraídos profundidad: 20 – 40 cm		
GRUPO	SITIOS	ACTIVIDAD
I	1 y 2	con cultivo de alfalfa y cebada
II	4 y 6	ambos sin actividad
	5	sin actividad
	3	con cultivo de avena

Los metales extraídos se correlacionan significativamente ( $p < 0.05$ ) entre sí y con los parámetros edafológicos, según el Cuadro 4.4.

Cuadro 4.4 Correlaciones ( $p < 0.05$ ) de extracción en suelos regados con aguas residuales, en la fracción 1, de 20 – 40 cm

	r	p		r	p
De los metales entre sí					
Co – Cd	0.8442	0.035	Cd – Cu	0.9330	0.007
Co – Cu	0.8521	0.031	Cd – Pb	0.9431	0.005
Co – Pb	0.8268	0.042	Cd – Zn	0.8138	0.049
Mn – Cr	-0.8618	0.027	Cu – Pb	0.8421	0.035
Mn – Cd	0.8857	0.019	Cu – Zn	0.9053	0.013
Mn – Pb	0.8720	0.024	Ni – Fe	-0.9073	0.013
Con los parámetros edafológicos					
Co – pH	-0.8765	0.022	Cr – M.O.	-0.8656	0.026
Cd – pH	-0.8243	0.044	Mn – M.O.	0.9297	0.007
Pb – pH	-0.8647	0.026	Cd – M.O.	0.8713	0.024
			Pb – M. O.	0.9088	0.012

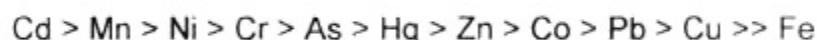
Profundidad de 40 a 60 cm

En esta fracción 1, los metales extraídos menores al 10% de su concentración total, son: cobre, plomo, arsénico, fierro y mercurio en todos los sitios. Manganeso en los sitios 1, 2 y 5. Zinc en todos los sitios a excepción del 1. Cadmio en los sitios 1 y 2. Cobalto en todos los sitios a excepción del sitio 4. Níquel en los sitios 1, 2, 5 y 6. Cromo en los sitios 2, 3 y 5 (Figura 4.7a).

De 10 a 20%, manganeso en el sitio 4, zinc en el sitio 1, cadmio en los sitios 4 y 5. Cobalto en el sitio 4. Níquel en el 3 y 4. Cromo en los sitios 1, 4 y 6.

De 20 a 32%, manganeso y cadmio en los sitios 3 y 6.

La tendencia de extracción es (Figura 4.10):



Según el diagrama de clusters (Figura 4.13), el sitio 3 con cultivo de avena se mantiene semejante a los sitios sin actividad 6 y 4. El sitio 5 sin actividad ahora se agrupa con los sitios 1 y 2 con cultivos, como se muestra en el Cuadro 4.5.

Cuadro 4.5 Agrupación de suelos regados con aguas residuales de la fracción 1, de 40 a 60 cm.

FRACCIÓN 1. INTERCAMBIABLES con relación al promedio del porcentaje de metales extraídos profundidad: 40 – 60 cm		
GRUPO	SITIOS	ACTIVIDAD
I	2 y 5	con cebada y sin actividad
	1	con cultivo de alfalfa
II	6 y 3	sin actividad y con avena
	4	sin actividad

Existe únicamente dos correlaciones significativas con respecto a su extracción entre los metales y con el pH, según se observa en el cuadro 4.6.

Cuadro 4.6 Correlaciones ( $p < 0.05$ ) de extracción en suelos regados con aguas residuales, en la fracción 1, de 40 – 60 cm

	r	p
De los metales entre sí		
Co – Fe	0.9007	0.014
Pb – Cd	0.9515	0.003
Con los parámetros edafológicos		
Cd – pH	-0.8153	0.048

**FRACCION 1. INTERCAMBIABLES**  
Suelos no regados por las aguas residuales

Profundidad de 0 a 20 cm

En esta profundidad, los metales extraídos en un porcentaje menor al 10% son en todos los sitios son: mercurio, fierro, arsénico, plomo, cobalto y zinc; cobre, níquel y cadmio a excepción del sitio 8 (Figura 4.5b).

De 10 a 20%, se encuentran el cromo, el cobre y níquel en el sitio 8, y manganeso en el sitio 1.

De 20 a 23%, cadmio en el sitio 8 y manganeso en los sitios 8 y 9.

La tendencia de extracción (Figura 4.8b) es:

$Mn > Cr > As > Ni > Zn > Hg > Cu > Cd > Co > Pb > Fe$

Según el diagrama de clusters (Figura 4.12b), los sitios se agrupan de acuerdo al promedio de porcentajes extraído de los metales en esta fracción, como se muestra en el Cuadro 4.7.

Cuadro 4.7 Agrupación de suelos no regados con aguas residuales de la fracción 1, de 0 a 20 cm.

FRACCION 1. INTERCAMBIABLES con relación al promedio de porcentaje de metales extraídos profundidad: 0 – 20 cm		
GRUPO	SITIOS	ACTIVIDAD
I	7 Y 9	con cultivo de maíz y sin actividad
	8	orilla de camino terracería

Las correlaciones significativas entre los metales extraídos y con los parámetros edafológicos se muestran en el Cuadro 4.8.

Cuadro 4.8 Correlaciones ( $p < 0.05$ ) de extracción en suelos no regados con aguas residuales, en la fracción 1, de 0 – 20 cm

	<i>r</i>	<i>p</i>
De los metales entre sí		
Hg – Cu	0.9999	0.007
Cr – Mn	-0.9980	0.040
Ni – Pb	1.0000	0.005
Con los parámetros edafológicos		
Fe – pH	-0.9994	0.023
Fe – P	1.0000	0.004

#### Profundidad de 20 a 40 cm

Los metales extraídos en un porcentaje menor al 10% son en todos los sitios, el cobre, mercurio, hierro, arsénico, plomo, zinc; níquel y cadmio en los sitios 7 y 9, cobalto en los sitios 7 y 8, (Figura 4.6b)

De 10 a 20%, cromo en todos los sitios níquel y cadmio en el sitio 8, y cobalto en el sitio 9.

De 20 a 26% manganeso en todos los sitios.

La tendencia de extracción (Figura 4.9b) es:

Mn > Cr > Co > As > Hg > Cd > Ni > Zn > Cu > Pb > Fe

Según el diagrama de clusters (Figura 4.12b), los suelos se asocian de la misma forma que en la profundidad de 0 a 20 cm.

Las correlaciones significativas de extracción entre los metales y con los parámetros edafológicos se muestran en el Cuadro 4.9.

Cuadro 4.9 Correlaciones ( $p < 0.05$ ) de extracción en suelos no regados con aguas residuales, en la fracción 1, de 20 – 40 cm

	<i>r</i>	<i>p</i>
De los metales entre sí		
Cu – Hg	0.9977	0.043
Cd – Ni	0.9997	0.017
Co – As	-0.9980	0.040
Con los parámetros edafológicos		
Fe – pH	0.9993	0.024
Ni – M.O.	0.9998	0.014
Cd – M.O.	1.0000	0.003

INTERCAMBIABLES  
PORCENTAJES DE EXTRACCION

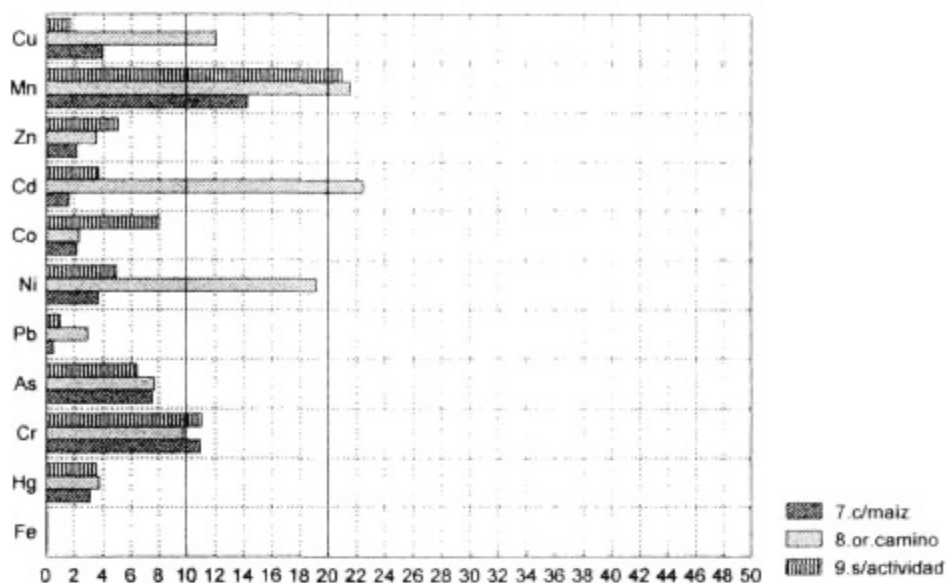


Figura 4.5b Porcentaje de metales extraídos en la Fracción 1 (intercambiables) en suelos NO regados con aguas residuales industriales, en la profundidad de 0 a 20 cm.

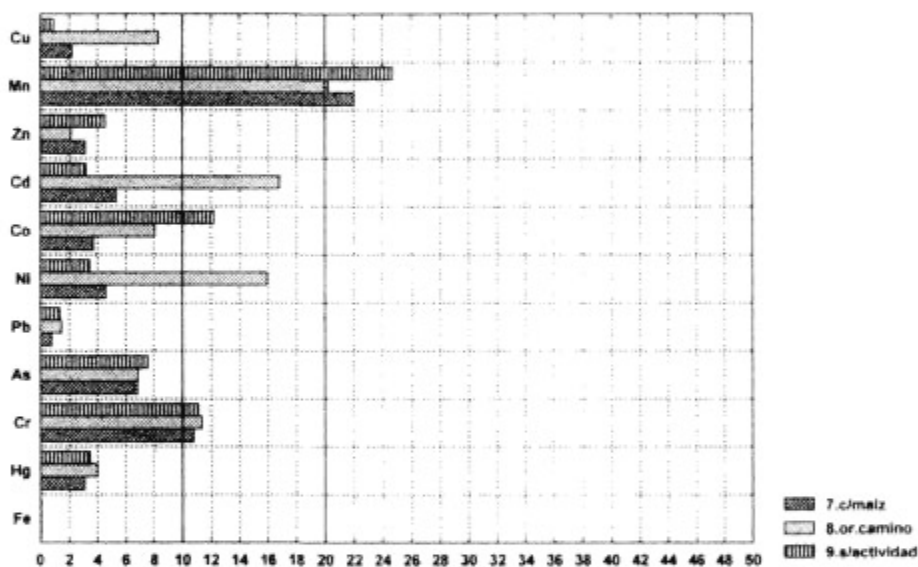


Figura 6b. Porcentaje de metales extraídos en la Fracción 1 (Intercambiables) en suelos NO regados con aguas residuales industriales, en la profundidad de 20 a 40 cm.

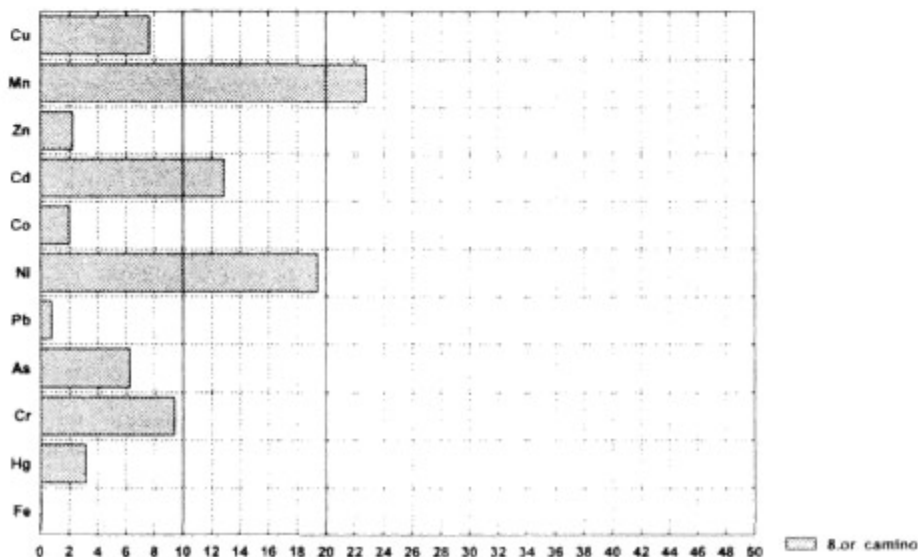


Figura 4.7b Porcentaje de metales extraídos en la fracción 1 (Intercambiables) en suelos NO regados con aguas residuales industriales, en la profundidad de 40 a 60 cm

INTERCAMBIABLES  
TENDENCIAS DE EXTRACCION



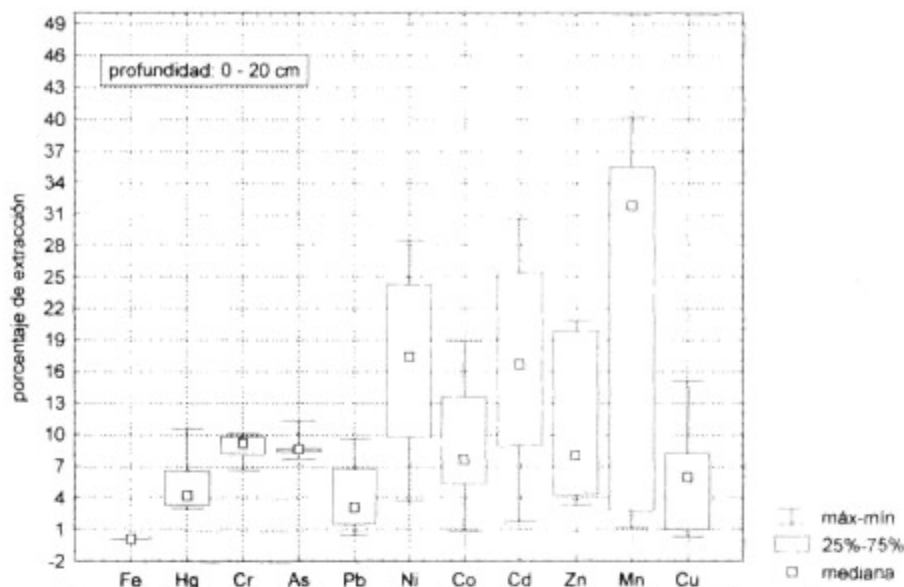


Figura 4.8a Máximos y mínimos de la tendencia de extracción de metales en la fracción 1 (Intercambiables) en suelos regados con aguas residuales industriales.

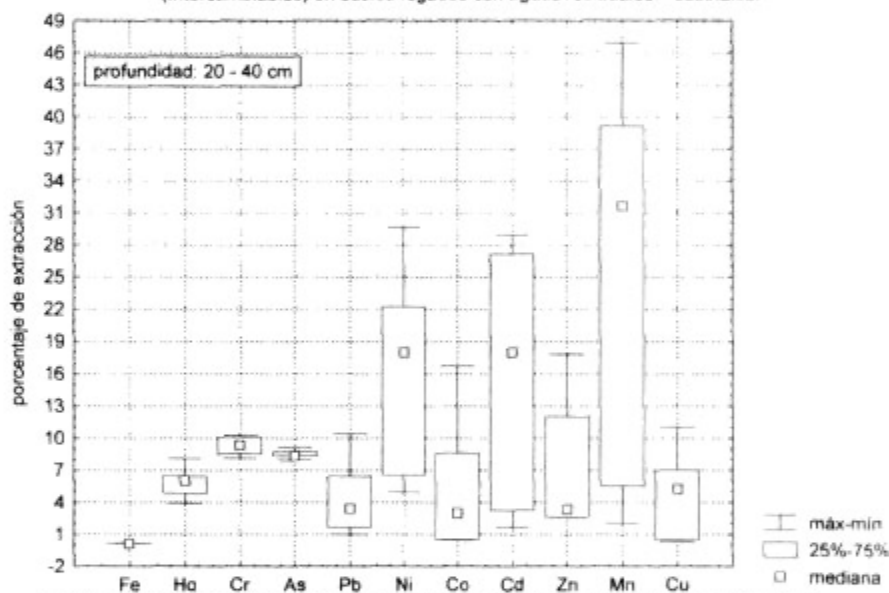


Figura 4.9a Máximos y mínimos de la tendencia de extracción de los metales en la fracción 1 (Intercambiables) en los suelos regados con aguas residuales industriales.

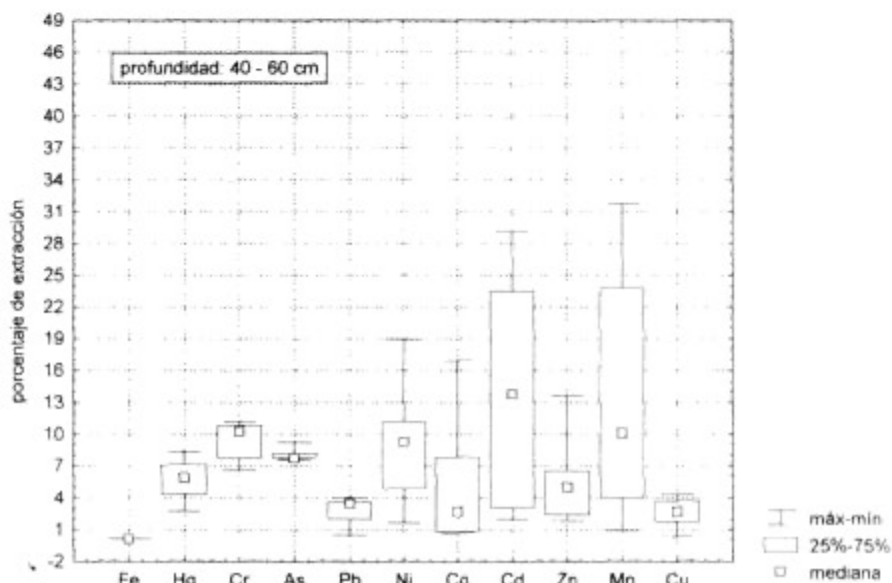


Figura 4.10 Máximos y mínimos de la tendencia de extracción de los metales en la fracción 1 (Intercambiables) en los suelos regados con aguas residuales industriales.

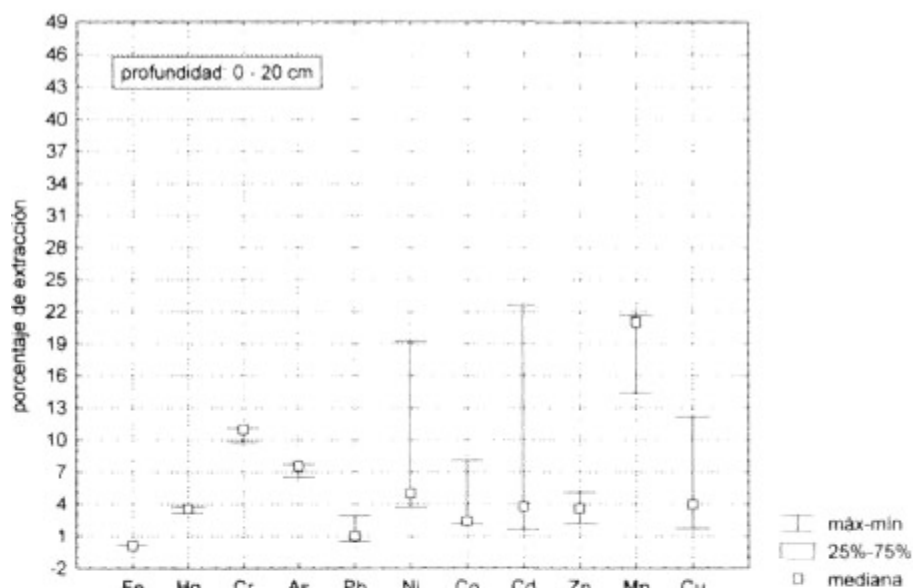


Figura 4.8b Máximos y mínimos de la tendencia de extracción de los metales en la fracción 1 (Intercambiables) en los suelos NO regados con aguas residuales industriales

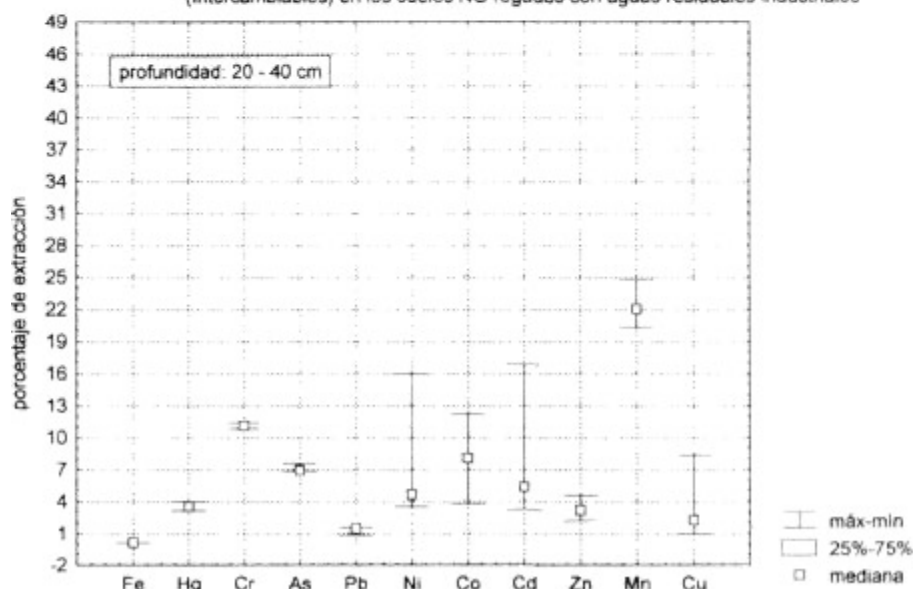


Figura 4.9b Máximos y mínimos de la tendencia de extracción de los metales en la fracción 1 (Intercambiables) en los suelos NO regados con aguas residuales industriales

INTERCAMBIABLES  
CLUSTERS

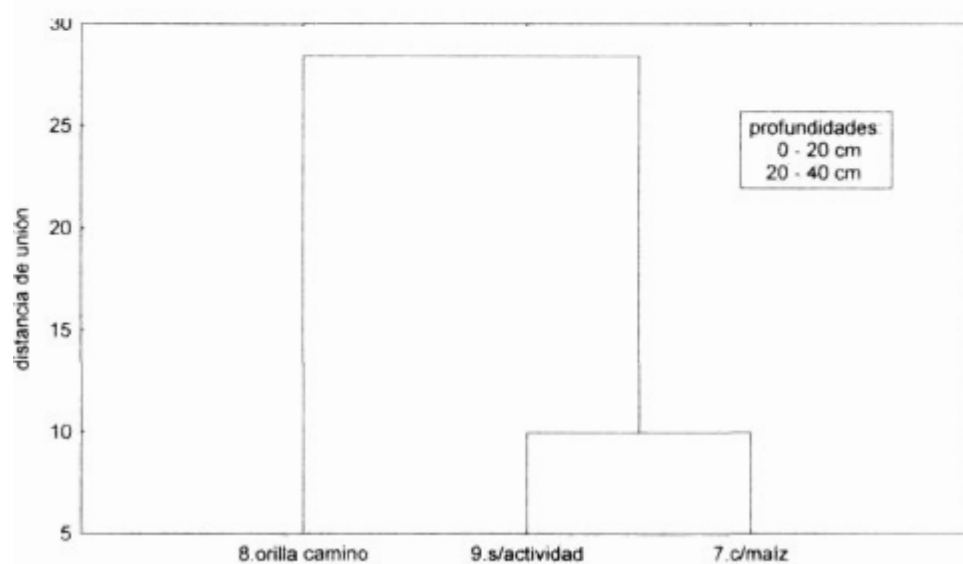


Figura 4.12b Clasificación mediante "clusters" de suelos NO regados con aguas residuales industriales, con relación al promedio de porcentajes de metales extraídos en la fracción 1 (intercambiables).

**FRACCION 2. METALES UNIDOS A COMPLEJOS ORGANOMETALICOS**  
Suelos regados con aguas residuales

El porcentaje de metales extraídos en esta fracción en los diferentes sitios es mayor que en la fracción 1, en las profundidades de 0 a 20 cm y de 20 a 40 cm, en el rango de 10 a 20%.

**Profundidad de 0 a 20 cm**

Los metales extraídos en un porcentaje menor al 10% son: mercurio, manganeso, cadmio, cromo, fierro (a excepción del sitio 4), cobalto (a excepción del sitio No. 3) en todos los sitios.

De 10 a 20%: arsénico en todos los sitios, fierro en el sitio 4, plomo en los sitios 3 y 6, níquel en los sitios del 2 al 5, cobalto en el sitio 3, zinc en el 5 y 6 y cobre en los sitios 1 y 2.

De 20 a 50%: níquel en el sitio 6, zinc en el 3 y 4 y cobre en los sitios 3, 4, 5 y 6. (Figura 4.14a).

La tendencia de extracción (Figura 4.17a) es:

$Cu > As > Zn > Ni > Fe > Pb > Co > Mn > Cr > Hg > Cd$

Esta serie es muy diferente a las de la fracción de los intercambiables.

En cuanto a su extracción, los sitios forman dos grupos; exhiben la misma conducta de extracción en promedio los sitios 1 y 2 del grupo I, del grupo II los sitios 5 y 4. El sitio 3 con cultivo de avena continua asemejándose a los sitios sin cultivo (Figura 4.20), según los muestra el Cuadro 4.10.

Cuadro 4.10 Agrupación de suelos regados con aguas residuales de la fracción 2, de 0 a 20 cm.

FRACCION 2. UNIDOS A COMPLEJOS ORGANOMETALICOS		
Con relación al promedio del porcentaje de metales extraídos profundidad: 0 a 20 cm.		
GRUPO	SITIOS	ACTIVIDAD
I	1 Y 2	con cultivo de alfalfa y cebada
II	5 Y 4	ambos sin actividad
	3	con cultivo de avena
	6	sin actividad

Los metales extraídos se correlacionan significativamente ( $p < 0.05$ ) entre sí y con los parámetros edafológicos, según el Cuadro 4.11.

Cuadro 4.11 Correlaciones ( $p < 0.05$ ) de extracción en suelos regados con aguas residuales, en la fracción 2, de 0 – 20 cm

	<i>r</i>	<i>p</i>		<i>r</i>	<i>p</i>
De los metales entre si					
Pb – As	0.9347	0.006	Cd – Cu	0.9189	0.010
Co – Cu	0.8147	0.048	Cd – Fe	0.8186	0.046
Zn – Cu	0.9725	0.001	Cd – Zn	0.9760	0.001
Con los parámetros edafológicos					
Fe – M.O.	-0.8247	0.043	Fe – pH	0.8568	0.029
Cu – M.O.	-0.8671	0.025	Cd – pH	0.8205	0.045
Zn – M.O.	-0.9125	0.011			
Cd – M.O.	-0.8589	0.028			

#### Profundidad de 20 a 40 cm

Los metales extraídos en un porcentaje menor al 10% son: mercurio, manganeso, hierro, cromo, plomo (a excepción del sitio 3) y cadmio (a excepción del sitio 4), en todos los sitios. Níquel en los sitios 2 y 3. Cobalto en el 4 y 6. Zinc en los sitios 2 y 6.

De 10 0a 20%: arsénico en todos los sitios, plomo en el No. 3, níquel en el 4, cobalto en el 3 y 5, cadmio en el 4, zinc en los sitios 1, 4 y 5, cobre en los sitios 2 y 6.

De 20 a 40 %: níquel en los sitios 1, 5, y 6. Zinc en el 3. Cobre en los sitios 1, 3 y 5 (Figura 4.15a).

La tendencia de extracción (Figura 4.18a) es:

$Cu > Ni > As > Zn > Hg > Co > Mn > Cr > Pb > Fe > Cd$

De acuerdo al promedio del porcentaje extraído de los metales, según el diagrama de clusters (Figura 4.21a), los sitios forman un grupo. Los sitios 1 y 5 muestran una conducta similar, los siguientes aunque del mismo grupo, parecer ser independientes, según se muestra en el Cuadro 4.12.

Cuadro 4.12 Agrupación de suelos regados con aguas residuales de la fracción 2, de 20 a 40 cm

FRACCION 2. UNIDOS A COMPUESTOS ÓRGANOMETÁLICOS		
con relación al promedio del porcentaje de metales extraídos profundidad 20 – 40 cm		
GRUPO	SITIOS	ACTIVIDAD
I	1 y 5	con alfalfa y sin actividad
	4	sin actividad
	3	con cultivo de avena
	2	sin actividad
	6	sin actividad

Las correlaciones significativas de los metales extraídos, entre sí y con los parámetros edafológicos, se muestran en el Cuadro 4.13.

Cuadro 4.13 Correlaciones ( $p < 0.05$ ) de extracción en suelos regados con aguas residuales, en la fracción 2, de 20 – 40 cm

	$r$	$p$		$r$	$p$
De los metales entre sí					
Cd – Fe	0.8278	0.042	Zn – Cd	0.8388	0.037
Hg – Co	0.8266	0.043	Zn – Cu	0.9235	0.009
Hg – Cr	-0.8373	0.038	Zn – Pb	0.8138	0.049
Pb – Cu	0.8636	0.026			
Con los parámetros edafológicos					
Pb – pH	-0.8519	0.031	Cr – M.O.	-0.8238	0.044
Cd – P	0.8211	0.045	Pb – M.O.	0.8591	0.028

#### Profundidad de 40 a 60 cm

Los metales extraídos en un porcentaje menor al 10 % son: cadmio, plomo, hierro, cromo, mercurio (a excepción del sitio 2), cobalto en los sitios 4 y 6, zinc en los sitios 2 y 4, manganeso (a excepción del sitio 6), cobre en los sitios 4 y 6.

De 10 a 20%, arsénico y níquel en todos los sitios, mercurio en el sitio 2, plomo en el sitio 6, cobalto en el 3 y 5, zinc en los sitios 1 y 5, manganeso en el sitio 6 y cobre en los sitios 1, 2 y 5.

De 20 a 48%: zinc en el sitio 3 y cobre en los sitios 2 y 3. (Figura 4.16a).

La tendencia de extracción (Figura 4.19a) es:

Cu > As > Ni > Zn > Hg > Co > Cr > Pb > Cd > Mn > Fe

De acuerdo al diagrama de clusters, en esta profundidad los sitios se agrupan de manera diferente a los anteriores, con similitud con la fracción 1 a la misma profundidad (Figura 4.22), según se muestra en el Cuadro 4.14.

Cuadro 4.14 Agrupación de suelos regados con aguas residuales de la fracción 2, de 40 a 60 cm

FRACCIÓN 2. UNIDOS A COMPUESTOS ORGANOMETALICOS con relación al promedio del porcentaje de metales extraídos profundidad: 40 – 60 cm		
GRUPO	SITIOS	ACTIVIDAD
I	5 y 1	sin actividad y con alfalfa
	2	con cultivo de cebada
II	6 y 4	ambos sin actividad
	3	con cultivo de avena

La correlación significativas de los metales con relación a su extracción:

Cuadro 4.15 Correlaciones ( $p < 0.05$ ) de extracción en suelos regados con aguas residuales, en la fracción 2, de 40 – 60 cm

	r	p		r	p
De los metales entre sí					
Mn – Fe	0.8251	0.043	Zn – Cu	0.8885	0.018
Mn – Pb	0.8752	0.032	Hg – Cr	0.8239	0.044
Con los parámetros edafológicos					
Fe – pH	-0.8247	0.035	Ni – Cond.	-0.9313	0.007

FRACCION 2. UNIDOS A COMPLEJOS ORGANOMETALICOS  
Suelos no regados por aguas residuales

Profundidad de 0 a 20 cm

Los metales extraídos en porcentajes menores al 10% son mercurio, fierro, cromo, plomo, cobalto, cadmio y manganeso en todos los sitios. Níquel y cobre en los sitios 7 y 8, zinc en los sitios 8 y 9 (Figura 4.14b).



De 10 a 20%: el arsénico en todos los sitios. Níquel y cobre en el sitio 9 y el zinc en el sitio 7.

La tendencia de extracción (Figura 4.17b) es:

As > Ni > Zn > Cd > Cu > Pb > Hg > Mn > Co > Cr > Fe

Según diagrama de clusters, se asocian en dos grupos, en forma semejante a la de la fracción de intercambiables de los suelos no regados con aguas residuales (Figura 4.21b).

Los metales extraídos se correlacionan entre sí y con los parámetros edafológicos de acuerdo al Cuadro 4.16.

Cuadro 4.16 Correlaciones ( $p < 0.05$ ) de extracción en suelos no regados con aguas residuales, en la fracción 2, de 0 – 20 cm

	r	p
De los metales entre sí		
Cr – Zn	0.9999	0.007
Con los parámetros edafológicos		
Co – pH	-1.0000	0.006
Co – P	0.9995	0.021
Ni – M.O.	-0.9993	0.024

Profundidad: 20 a 40 cm

Los metales extraídos en un porcentaje menor al 10% son: en todos los sitios, mercurio, hierro, cromo, plomo, cobalto, cadmio; cobre y níquel en el sitio 8, zinc y manganeso en los sitios 8 y 9 (Figura 4.15b).

De 10 a 20%, el arsénico en todos los sitios, níquel y cobre en los sitios 7 y 9, y en el sitio 7, zinc y manganeso.

La tendencia de extracción (Figura 4.18b) es:

As > Ni > Cu > Zn > Pb > Cd > Hg > Mn > Co > Cr > Fe

La asociación de los sitios de cultivo, nuevamente es la misma que los anteriores (Figura 4.21b).

El número de correlaciones de los metales extraídos, entre sí aumenta, según se muestra en el Cuadro 4.17.

Cuadro 4.17 Correlaciones ( $p < 0.05$ ) de extracción en suelos no regados con aguas residuales en la fracción 2, de 20 – 40 cm

	$r$	$p$		$r$	$p$
De los metales entre si					
Mn – Cr	0.9987	0.033	Pb – Cr	0.9989	0.030
Mn – Pb	1.0000	0.002	Co – Cd	-0.9981	0.039
Con los parámetros edafológicos					
Mn – pH	0.9971	0.048	Pb – pH	0.9974	0.046
Cr – pH	0.9997	0.016	Zn – M. O.	-0.9997	0.014

UNIDOS A COMPLEJOS ORGANOMETALICOS  
PORCENTAJES DE EXTRACCION

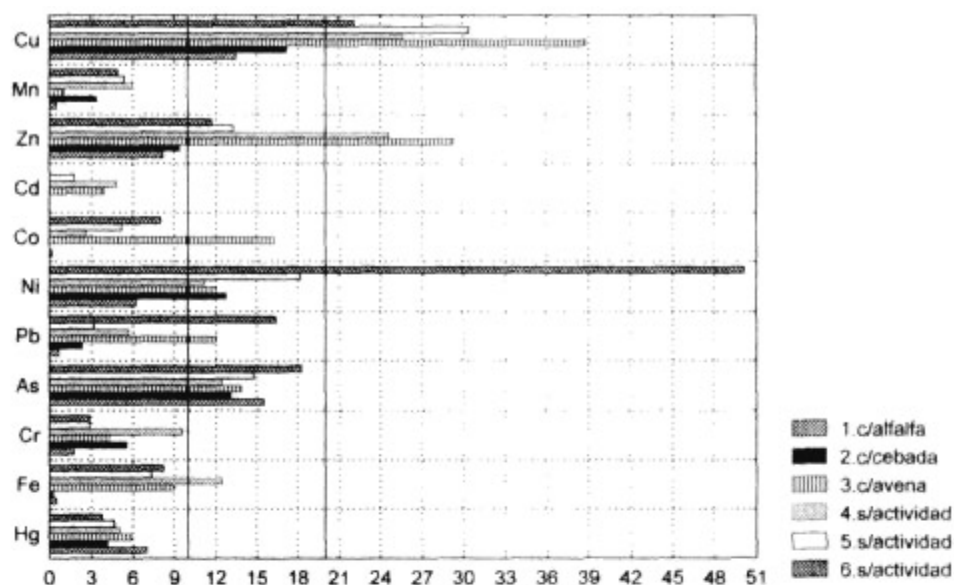


Figura 4.14a. Porcentaje de metales extraídos en la fracción 2 (unidos a complejos organometallicos) en suelos regados con aguas residuales industriales, en la profundidad de 0 a 20 cm.

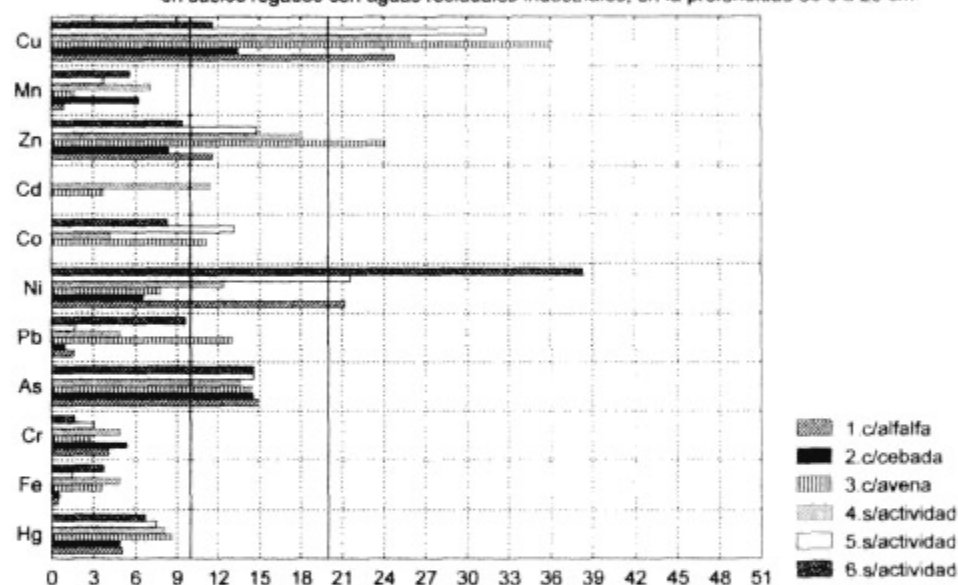


Figura 4.15a. Porcentaje de metales extraídos en la fracción 2 (unidos a complejos organometallicos) en suelos regados con aguas residuales industriales, en la profundidad de 20 a 40 cm.

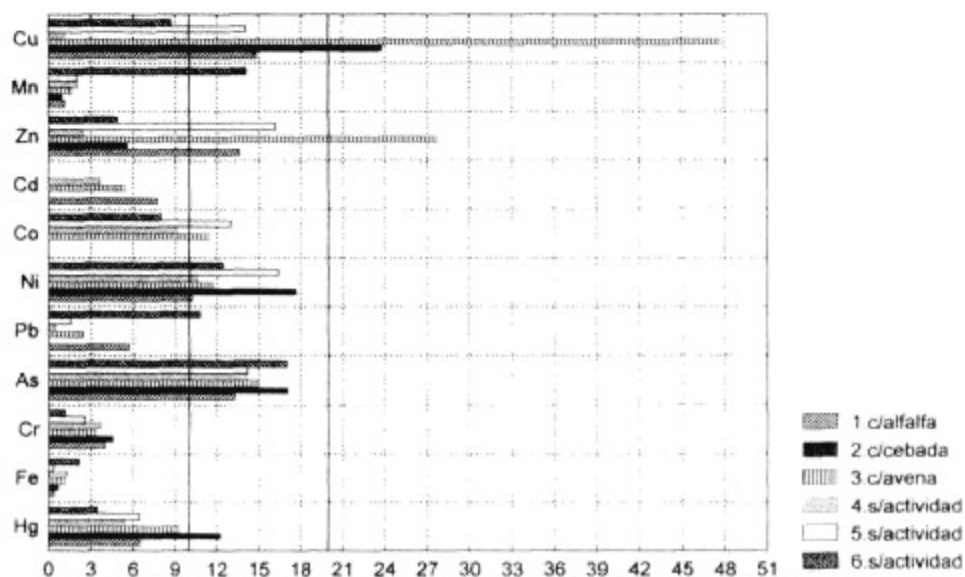


Figura 4.16a. Porcentaje de metales extraídos en la fracción 2 (unidos a complejos organometallicos) en suelos regados con aguas residuales industriales, en la profundidad de 40 a 60 cm.

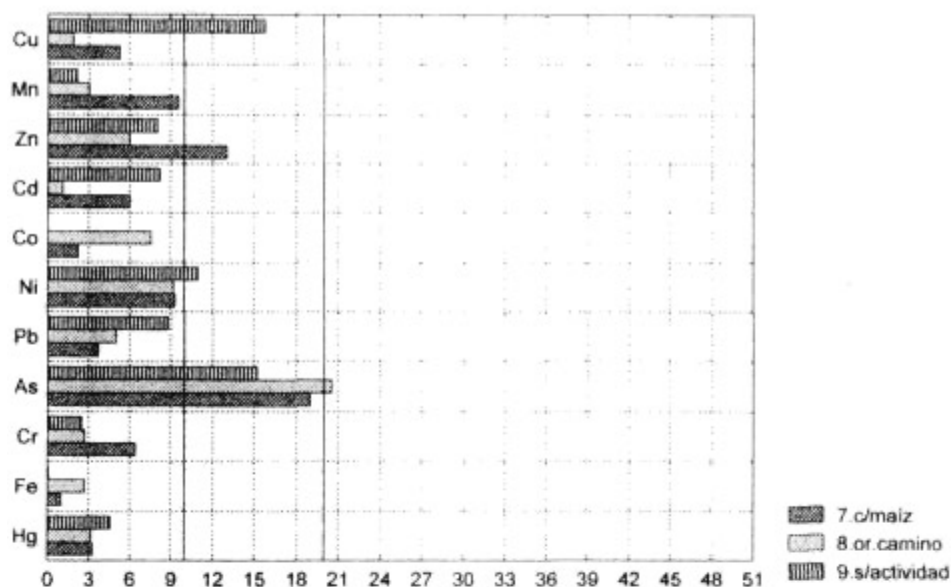


Figura 4.14b Porcentaje de metales extraídos en la fracción 2 (unidos a complejos organometálicos) en suelos NO regados con aguas residuales industriales, en la profundidad de 0 a 20 cm

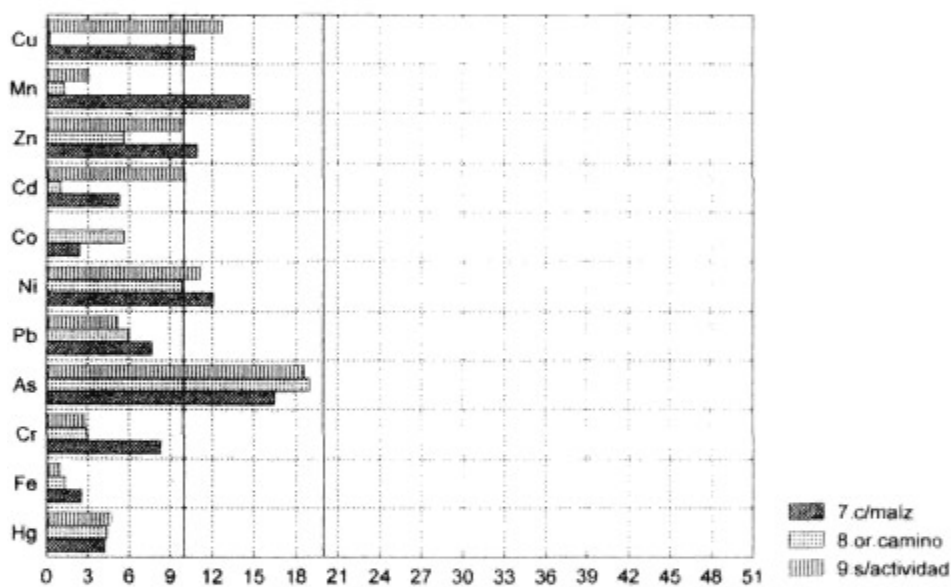


Figura 4.15b Porcentaje de metales extraídos en la fracción 2 (unidos a complejos organometálicos) en suelos NO regados con aguas residuales industriales, en la profundidad de 20 a 40 cm.

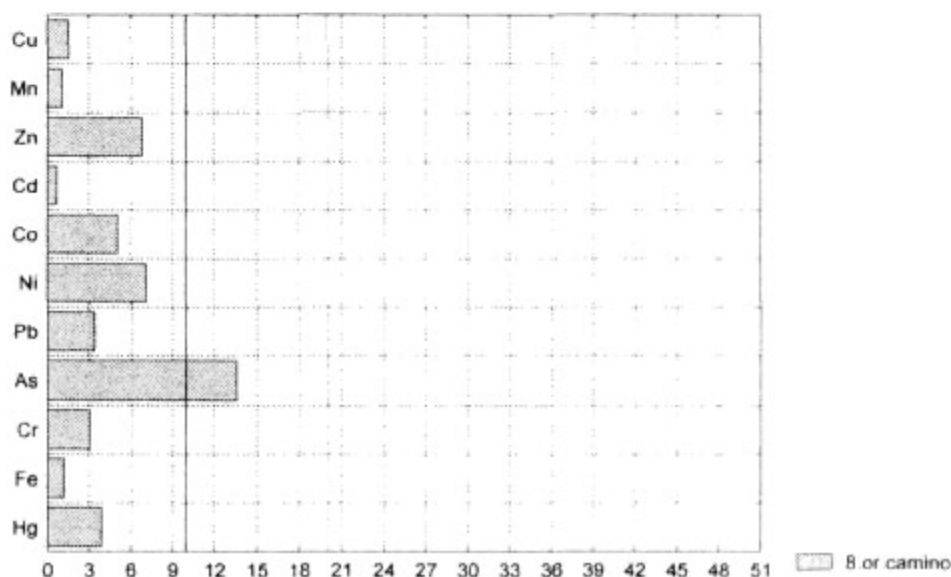


Figura 4.16b Porcentaje de metales extraídos en la fracción 2 (unidos a complejos organometálicos) en suelos NO regados con aguas residuales industriales, en la profundidad de 40 a 60 cm.

UNIDOS A COMPLEJOS ORGANOMETALICOS  
TENDENCIAS DE EXTRACCION

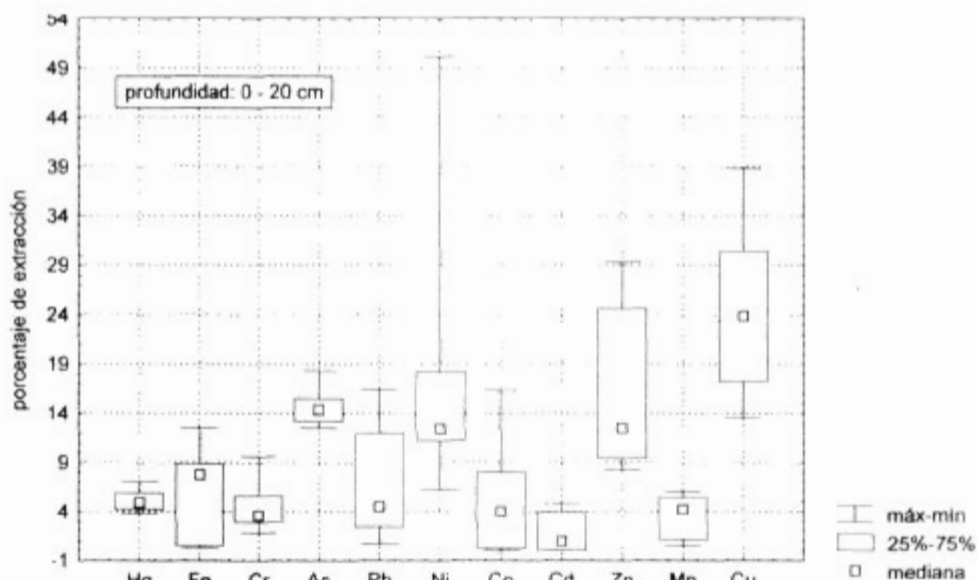


Figura 4.17a Máximos y mínimos de la tendencia de extracción de los metales en la fracción 2 (unidos a complejos organometálicos) en los suelos regados con aguas residuales industriales.

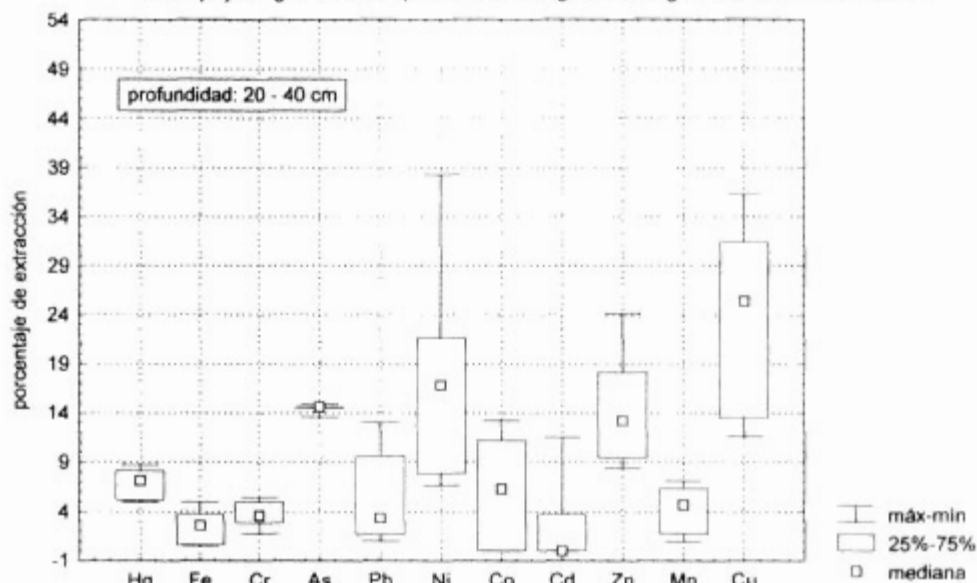


Figura 4.18a Máximos y mínimos de la tendencia de extracción de los metales en la fracción 2 (unidos a complejos organometálicos) en los suelos regados con aguas residuales industriales.

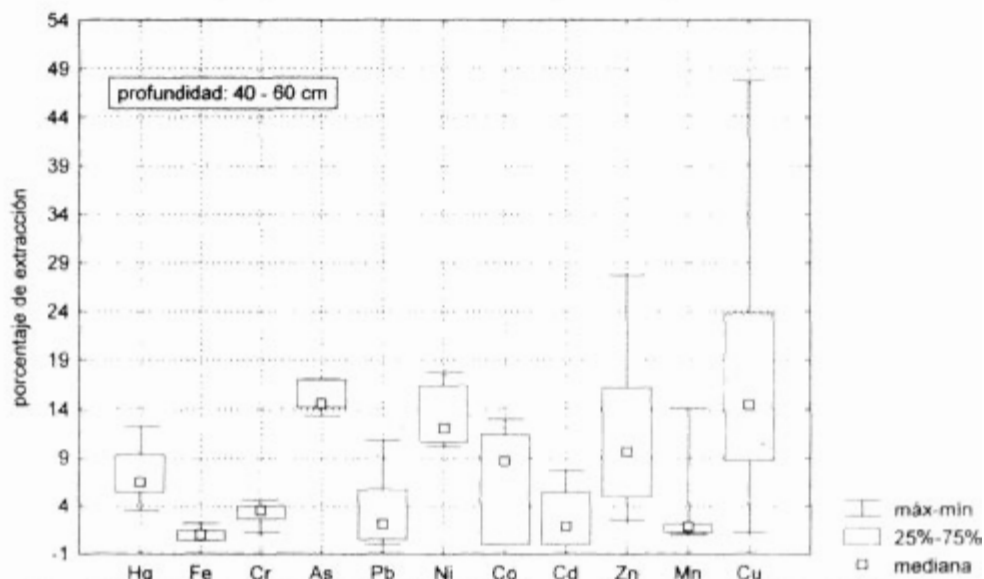


Figura 4.19a Máximos y mínimos de la tendencia de extracción de los metales en la fracción 2 (unidos a complejos organometálicos) en los suelos regados con aguas residuales industriales.

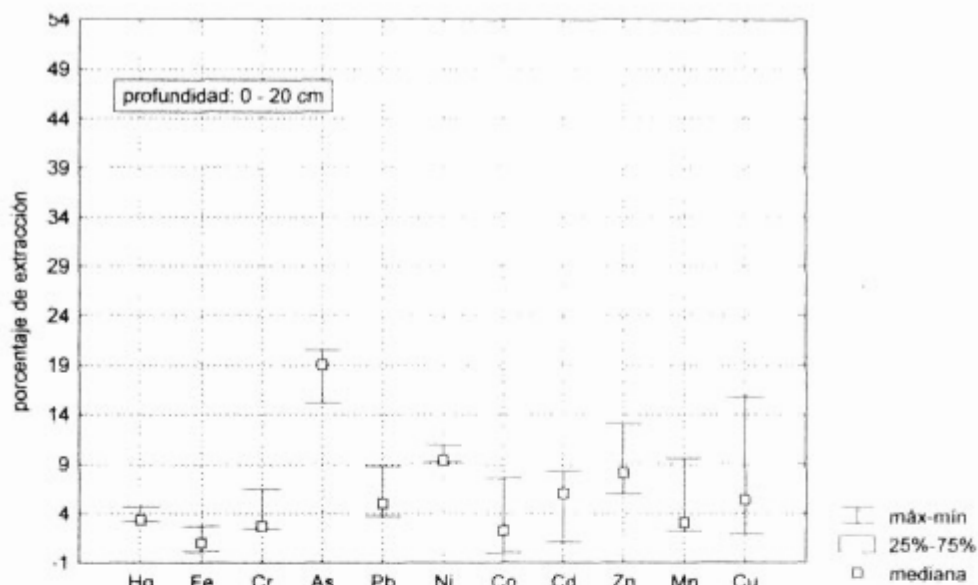


Figura 4.17b Máximos y mínimos de la tendencia de extracción de los metales en la fracción 2 (unidos a complejos organometálicos) en los suelos NO regados con aguas residuales industriales.

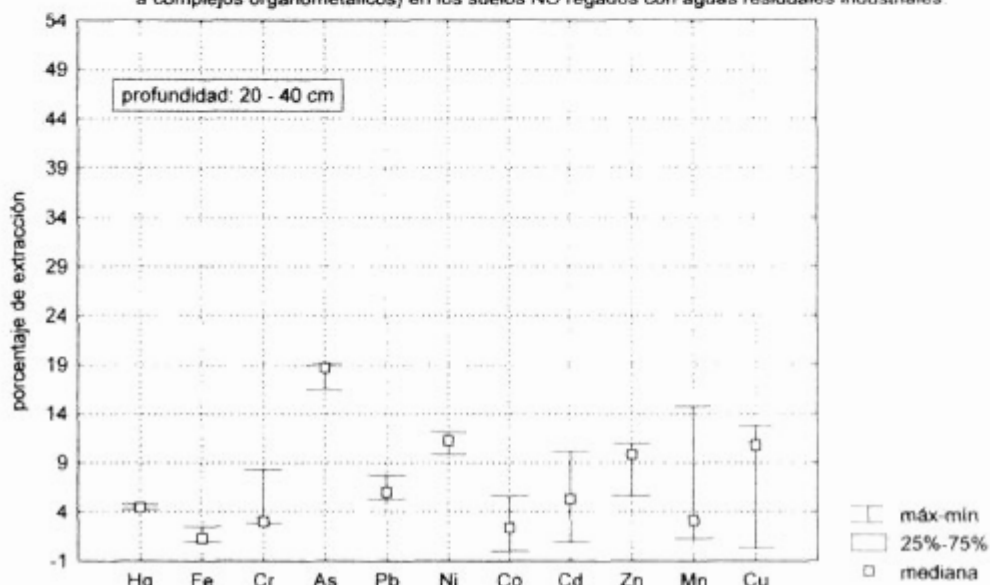


Figura 4.18b Máximos y mínimos de la tendencia de extracción de los metales en la fracción 2 (unidos a complejos organometálicos) en los suelos NO regados con aguas residuales industriales.



UNIDOS A COMPLEJOS ORGANOMETALICOS

CLUSTERS

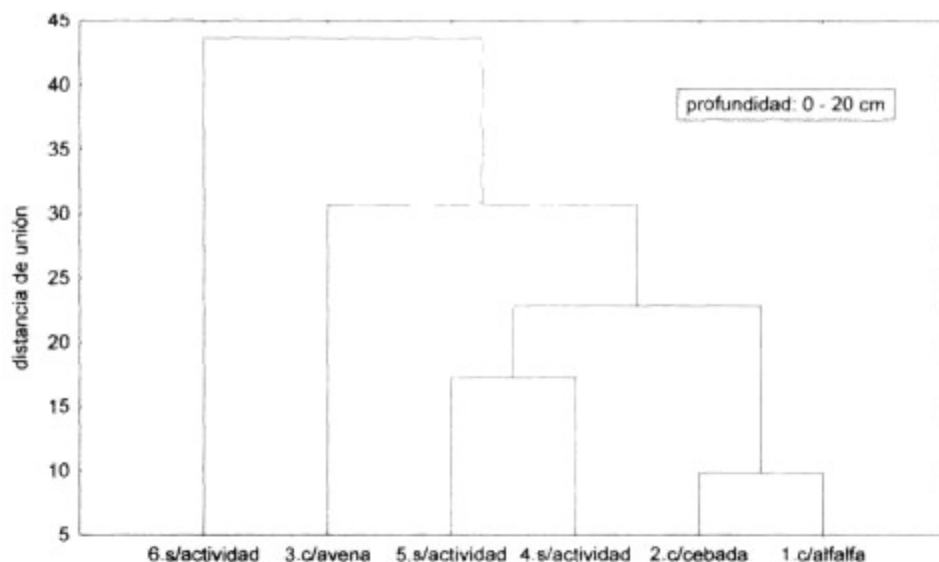


Figura 4.20 Clasificación mediante "clusters" de suelos regados con aguas residuales industriales, con relación al promedio de porcentajes de metales extraídos en la fracción 2 (unidos a complejos organometálicos).

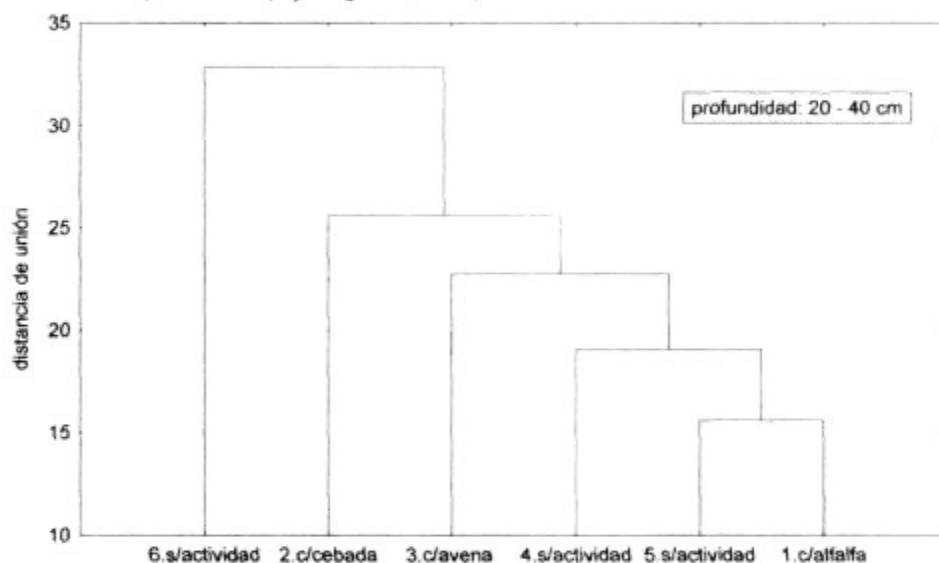


Figura 4.21a Clasificación mediante "clusters" de suelos regados con aguas residuales industriales, con relación al promedio de porcentajes de metales extraídos en la fracción 2 (unidos a complejos organometálicos).

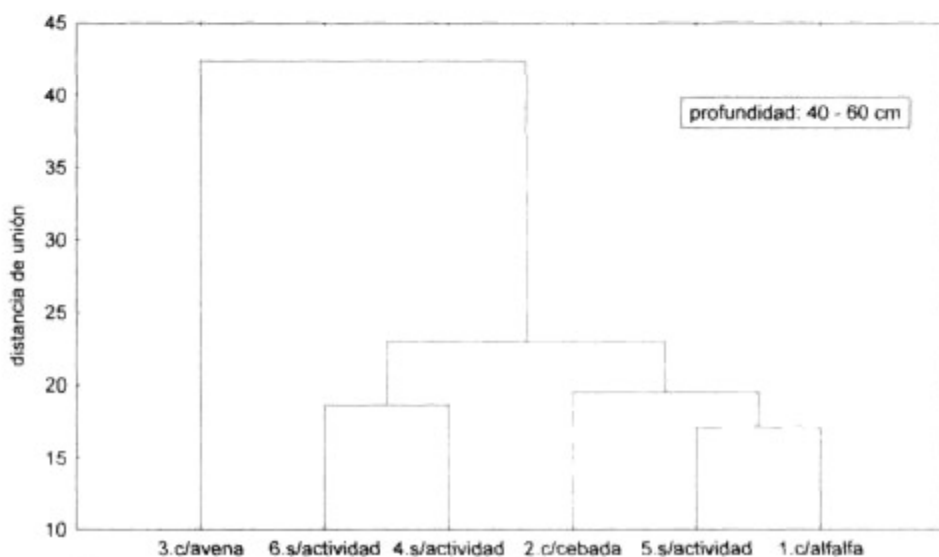


Figura 4.22 Clasificación mediante "clusters" de suelos regados con aguas residuales industriales, con relación al promedio de porcentajes de metales extraídos en la fracción 2 (unidos a complejos organometálicos).

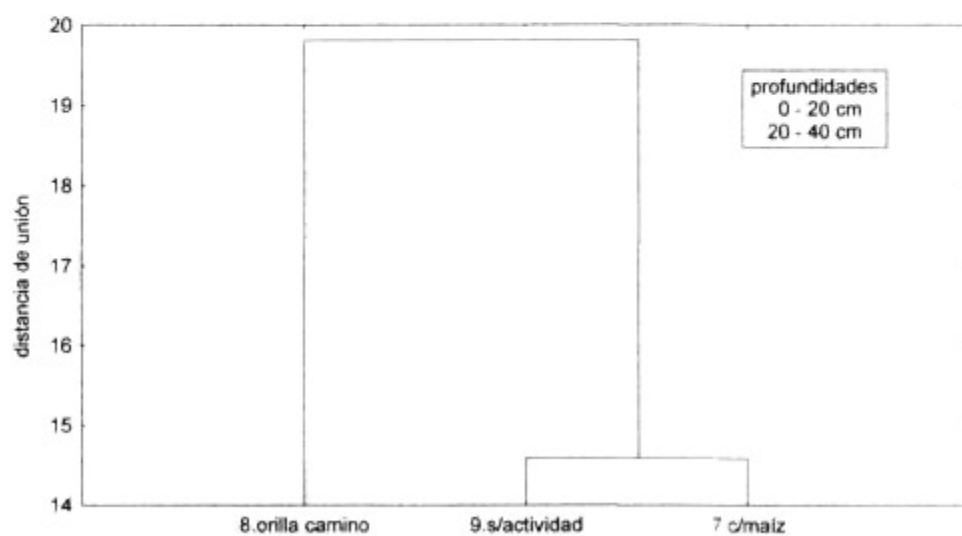


Figura 4. 21b Clasificación mediante "clusters" de suelos NO regados con aguas residuales industriales, con relación al promedio de porcentajes de metales extraídos en la fracción 2 (unidos a complejos organometálicos).

**FRACCION 3. METALES UNIDOS A ÓXIDOS DE MANGANESO**  
Suelos regados con aguas residuales

En esta fracción se extrae el menor porcentaje de metales. La mayor extracción se encuentra abajo del 5% en las tres profundidades.

Profundidad: 0 a 20 cm

Los metales extraídos en un porcentaje menor al 5% son: fierro, cromo, arsénico, níquel, zinc en todos los sitios. El mercurio (a excepción del sitio 3), plomo y cobalto (a excepción del sitio 5), cadmio (con excepción del sitio 4) y cobre (con excepción de los sitios 4 y 5) en todos los sitios.

En el rango de 5 a 10%, mercurio en el sitio 3, cadmio y manganeso en el sitio 4, y cobre en los sitios 4 y 5.

De 10 a 15%, plomo y cobalto en el sitio 5 (Figura 4.23a).

La tendencia de extracción (Figura 4.26a) es:

Co > As > Cu > Fe > Hg > Ni > Pb > Zn > Mn > Cr > Cd

No hay similitud de esta serie con las anteriores.

Los sitios 6 y 1, muestran una conducta semejante con relación al promedio de porcentajes de extracción de todos los metales. Forman un solo grupo todos los sitios, según el diagrama de clusters (Figura 4.29a), de acuerdo al Cuadro 4.18.

Cuadro 4.18 Agrupación de suelos regados con aguas residuales de la fracción 3, de 0 a 20 cm

FRACCION 3. UNIDOS A ÓXIDOS DE MANGANESO con relación al promedio de porcentaje de metales extraídos profundidad: 0 – 20 cm		
GRUPO	SITIOS	ACTIVIDAD
I	6 y 1	sin actividad y con cultivo de alfalfa
	2	con cultivo de cebada
	3	con cultivo de avena
	4	sin actividad
	5	sin actividad

Las correlaciones significativas de extracción de los metales entre sí y con los parámetros edafológicos se muestran en el Cuadro 4.19.

Cuadro 4.19 Correlaciones ( $p < 0.05$ ) de extracción en suelos regados con aguas residuales, en la fracción 3, de 0 – 20 cm

	r	p		r	p
De los metales entre sí					
Co – Pb	0.8763	0.022	Zn – Cu	0.8715	0.024
Fe – Hg	0.8126	0.049	Zn – Cr	0.9247	0.008
Cd – Cu	0.9083	0.012	Zn – Cd	0.9677	0.002
Cd – Cr	0.8868	0.018	Zn – Mn	0.8695	0.024
Cd – Mn	0.9135	0.011			
Con los parámetros edafológicos					
Cu – P	0.9644	0.002	Hg – pH	-0.9669	0.002
Zn – P	0.9437	0.006	Cu – M.O.	0.9393	0.005
Cr – P	0.8259	0.043	Zn – M.O.	0.8464	0.034
Cd – P	0.9489	0.004	Cd – M.O.	0.9288	0.007
Mn – P	0.8190	0.046			

Profundidad: 20 a 40 cm

Todos los metales fueron extraídos en porcentajes menores al 5%, a excepción del níquel en los sitios 4 y 6 y de cobalto, manganeso y cobre en el sitio 6 (Figura 4.24a).

De 5 a 10%, cobalto, manganeso y cobre en el sitio 6, níquel en los sitios 4 y 6 (12.4%).

La tendencia de extracción (Figura 4.27a) es:

Co > Ni > Hg > As > Mn > Pb > Cr > Zn > Fe > Cu > Cd

En esta profundidad, de acuerdo al promedio de porcentajes de extracción de todos los metales, los sitios forman un solo grupo (Figura 4.30a). Los sitios 5 y 1 se comportan de manera similar, según el Cuadro 4.20.

Cuadro 4.20 Agrupación de suelos regados con aguas residuales de la fracción 3, de 20 a 40 cm

FRACCIÓN 3. UNIDOS A ÓXIDOS DE MANGANESO con relación al promedio de porcentajes de metales extraídos profundidad: 20 – 40 cm		
GRUPO	SITIOS	ACTIVIDAD
I	5 y 1	sin actividad y con alfalfa
	2	con cultivo de cebada
	3	con cultivo de avena
	4	sin actividad
	6	sin actividad

Las correlaciones significativas de extracción de los metales entre sí y con los parámetros edafológicos se muestran en el Cuadro 4.21.

Cuadro 4.21 Correlaciones ( $p < 0.05$ ) de extracción en suelos regados con aguas residuales, en la fracción 3, de 20 – 40 cm

	$r$	$p$
De los metales entre sí		
Cu – Ni	0.8214	0.045
Cu – Mn	0.8863	0.019
Ni – Mn	0.8937	0.016
Con los parámetros edafológicos		
Pb – pH	-0.9456	0.004
Cd – P	0.9515	0.003

#### Profundidad de 40 a 60 cm

Al igual que en la profundidad anterior, casi todos los metales son extraídos en un porcentaje de 0 a 5% en todos los sitios, a excepción del plomo, cadmio y cobre en el sitio 1, níquel en el sitio 6 y cobre en el sitio 4 (Figura 4.25a).

De 5 a 10%, el plomo y cobre en el sitio 1. De 10 a 17%, níquel en el sitio 6, cadmio en el sitio 1 y cobre en el sitio 4.

La tendencia de extracción (Figura 4.28) es:

Ni > Mn > As > Hg > Co > Zn > Cu > Fe > Cr > Pb >> Cd

De acuerdo al diagrama de clusters (Figura 4.31), los sitios con relación al promedio de porcentajes de extracción, forman un solo grupo, en el que los sitios 2 y 3 son similares, según el Cuadro 4.22.

Cuadro 4.22 Agrupación de suelos regados con aguas residuales de la fracción 3, de 40 a 60 cm

FRACCIÓN 3. UNIDOS A ÓXIDOS DE MANGANESO con relación al promedio de porcentajes de metales extraídos profundidad: 40 – 60 cm		
GRUPO	SITIOS	ACTIVIDAD
I	3 y 2	con cultivos de avena y cebada
	5	sin actividad
	4	sin actividad
	1	con alfalfa
	6	sin actividad

Las correlaciones significativas de los metales entre sí y con los parámetros edafológicos se muestran en el Cuadro 4.23.

Cuadro 4.23 Correlaciones ( $p < 0.05$ ) de extracción en suelos regados con aguas residuales, en la fracción 3, de 40 – 60 cm

	$r$	$p$
De los metales entre sí		
Zn – Cu	0.9180	0.010
As – Pb	0.9080	0.012
As – Hg	0.9198	0.009
Con los parámetros edafológicos		
Fe – pH	-0.8802	0.021
Cu – P	0.8230	0.044
Zn – P	0.9490	0.004

**FRACCIÓN 3. METALES UNIDOS A ÓXIDOS DE MANGANESO**  
Suelos no regados por las aguas residuales

Al igual que en los suelos regados con las aguas residuales industriales, en esta fracción se extrae el menor porcentaje de metales. La mayor concentración se encuentra abajo del 5%.

Profundidad: 0 a 20 cm

Los porcentajes extraídos en un porcentaje menor al 5% son: mercurio, fierro, cromo, arsénico plomo níquel, cobalto, zinc, cobre y manganeso a excepción del sitio 7.

El cadmio se extrajo en un 16% en el sitio 7 y 9% en sitio 9. (Figura 4.23b)

La tendencia de extracción (Figura 4.26b)

Cd > Cu > Ni > As > Mn > Pb > Co > Fe > Cr > Zn > Hg

Esta asociación es la única diferente a las de los demás sitios y profundidades. De acuerdo al diagrama de clusters (Figura 4.29b), el sitio 8 y 9 forman un solo grupo, y el sitio 7 se diferencia de los dos primeros, según el Cuadro 4.24.

Cuadro 4.24 Agrupación de suelos no regados con aguas residuales de la fracción 3, de 0 a 20 cm

FRACCIÓN 3. UNIDOS A ÓXIDOS DE MANGANESO con relación al promedio de porcentajes extraídos profundidad: 0 – 20 cm		
GRUPO	SITIOS	ACTIVIDAD
1	8 y 9	or.camino y sin actividad
	7	con cultivo de maíz

Existen las siguientes correlaciones significativas entre los metales extraídos y con los parámetros edafológicos., según el Cuadro 4.25.

Cuadro 4.25 Correlaciones ( $p < 0.05$ ) de extracción en suelos no regados con aguas residuales, en la fracción 3, de 0 – 20 cm

	$r$	$p$
De los metales entre sí		
Ni – Zn	-0.9983	0.037
Ni – Cr	0.9979	0.042
Pb – As	0.9983	0.037
Con los parámetros edafológicos		
Pb – M.O.	0.9999	0.009
As M.O.	0.9975	0.045

Profundidad de 20 a 40 cm

El porcentaje de metales es ligeramente mayor que en la profundidad de 0 a 20 cm, aunque la mayor parte se extrae abajo del 5%.

Los metales que se extraen abajo del 5% son en todos los sitios: mercurio, fierro, arsénico, plomo, níquel, zinc, cobalto (a excepción del



sitio 8), manganeso (a excepción del sitio 7) y el cobre (a excepción del sitio 9).

En el rango de 5 a 10%, cobalto en el sitio 8, manganeso y cadmio en el sitio 7, y cobre en el sitio 9. El porcentaje de cadmio extraído en el sitio 9, es de 13% (Figura 4.24b).

La tendencia de extracción es (Figura 4.27b):

$Cd > Co > Cu > As > Pb > Mn > Zn > Ni > Hg > Fe > Cr$

La asociación de los sitios es similar al de la fracción 2, el sitio 7 y 9 forman un grupo. (Figura 4.30b).

Solamente se correlacionan significativamente ( $p < 0.05$ ): Zn – As ( $r: 1.0000$ ,  $p .006$ ); y con la materia orgánica: Ni – M.O. ( $r: 0.9998$ ,  $p 0.012$ ).

UNIDOS A OXIDOS DE MANGANESO  
PORCENTAJES DE EXTRACCION

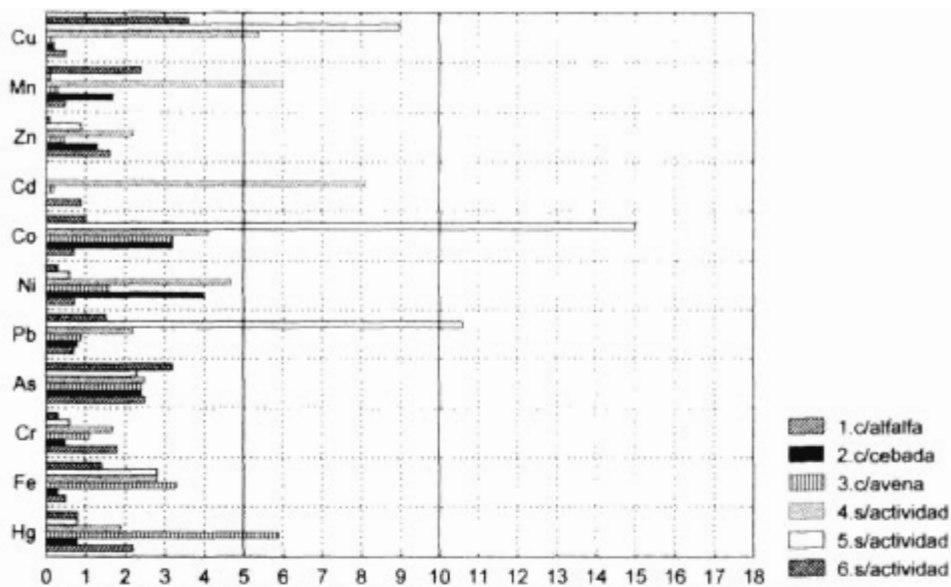


Figura 4.23a Porcentaje de metales extraídos en la fracción 3 (unidos a óxidos de manganeso) en suelos regados con aguas residuales industriales, en la profundidad de 0 a 20 cm.

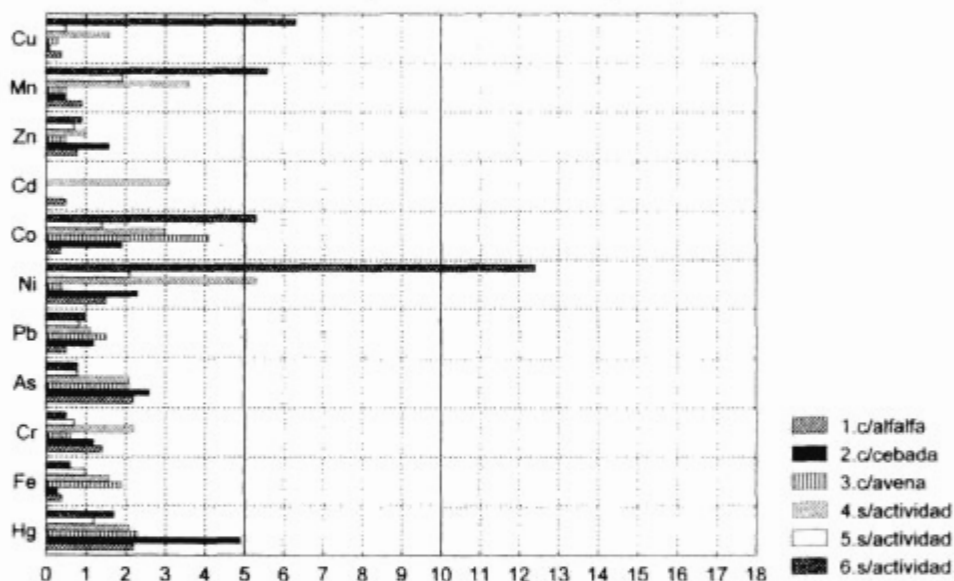


Figura 4.24a Porcentaje de metales extraídos en la fracción 3 (unidos a óxidos de manganeso) en suelos regados con aguas residuales industriales, en la profundidad de 20 a 40 cm.

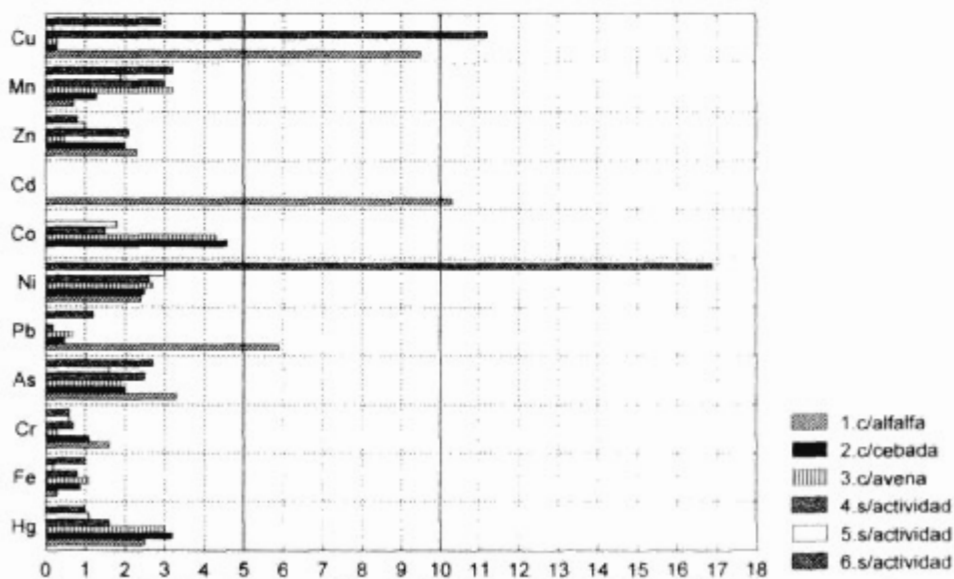


Figura 4.25a Porcentaje de metales extraídos en la fracción 3 (unidos a óxidos de manganeso) en suelos regados con aguas residuales industriales, en la profundidad de 40 a 60 cm.

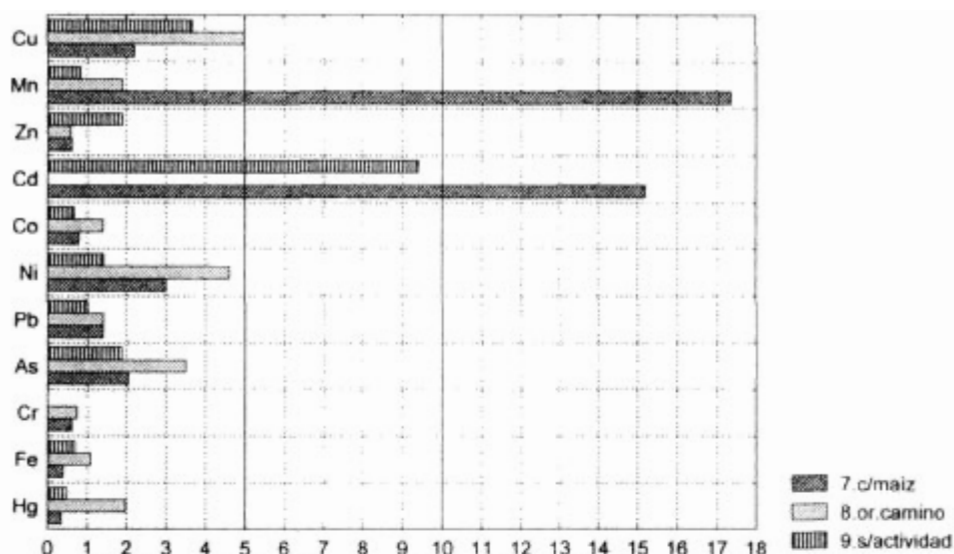


Figura 4.23b Porcentaje de metales extraídos en la fracción 3 (unidos a óxidos de manganeso) en suelos NO regados con aguas industriales residuales, en la profundidad de 0 a 20 cm.

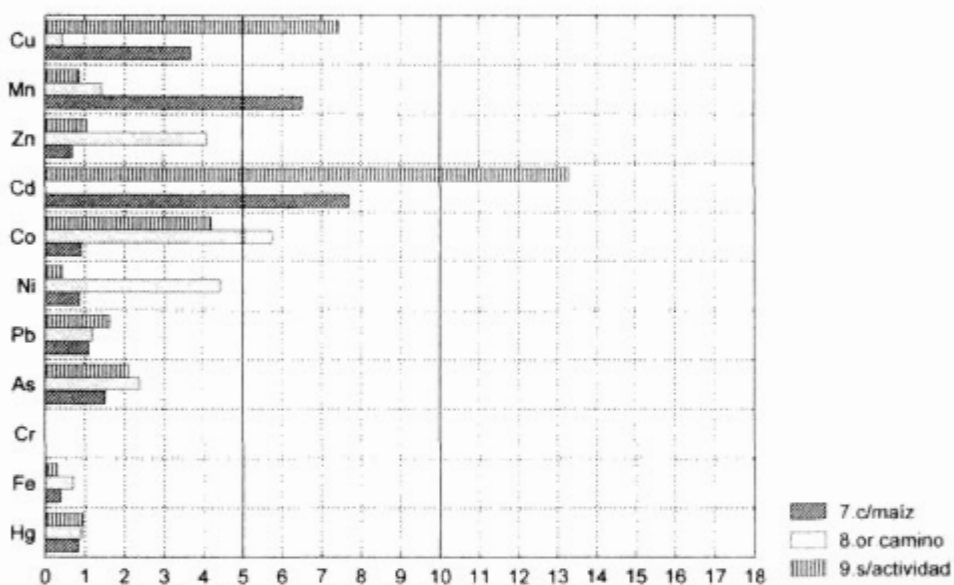


Figura 4.24b Porcentaje de metales extraídos en la fracción 3 (unidos a óxidos de manganeso) en suelos NO regados con aguas residuales industriales, en la profundidad de 20 a 40 cm.

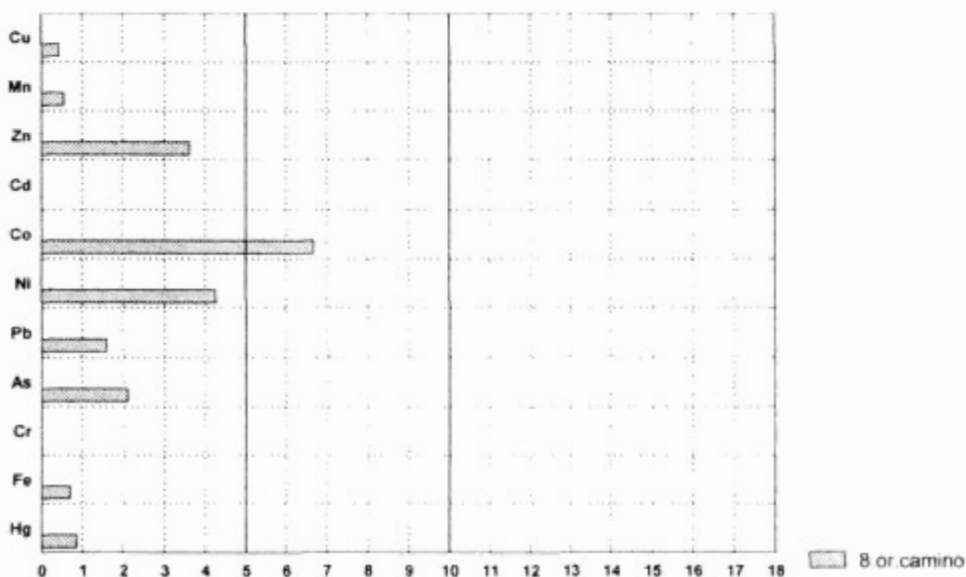


Figura 4.25b Porcentaje de metales extraídos en la fracción 3 (unidos a óxidos de manganeso) en suelos NO regados con aguas residuales industriales, en la profundidad de 40 a 60 cm.

UNIDOS A OXIDOS DE MANGANESO  
TENDENCIAS DE EXTRACCION

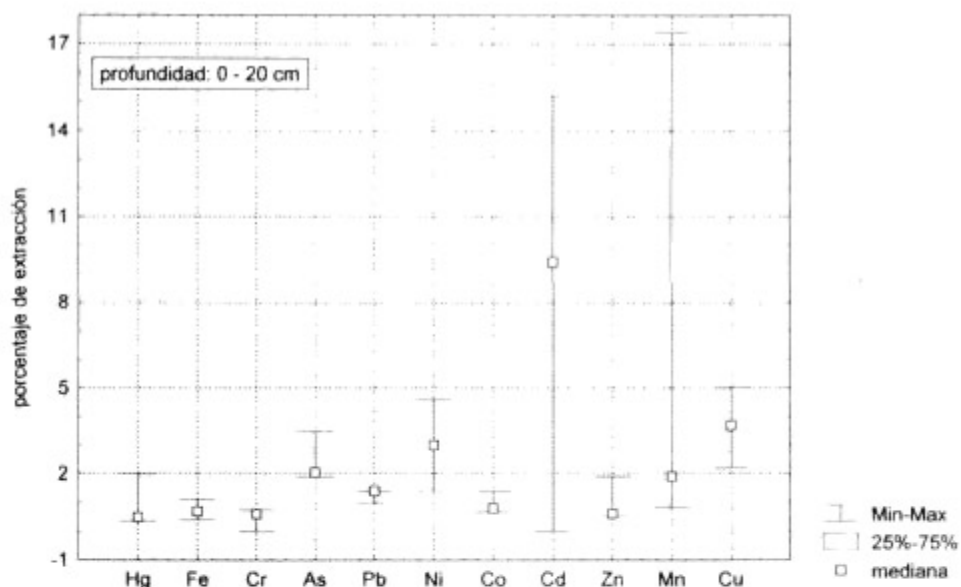


Figura 4.26b Máximos y mínimos de la tendencia de extracción de los metales en la fracción 3 (unidos a óxidos de manganeso) en los suelos NO regados con aguas residuales industriales.

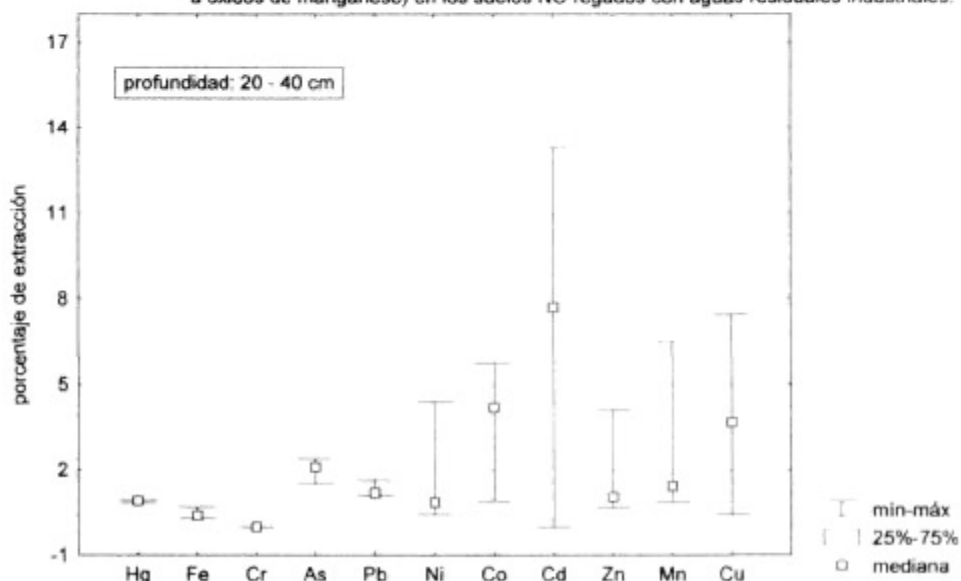


Figura 4.27b Máximos y mínimos de la tendencia de extracción de los metales en la fracción 3 (unidos a óxidos de manganeso) en los suelos NO regados con aguas residuales industriales.

UNIDOS A OXIDOS DE MANGANESO  
CLUSTERS

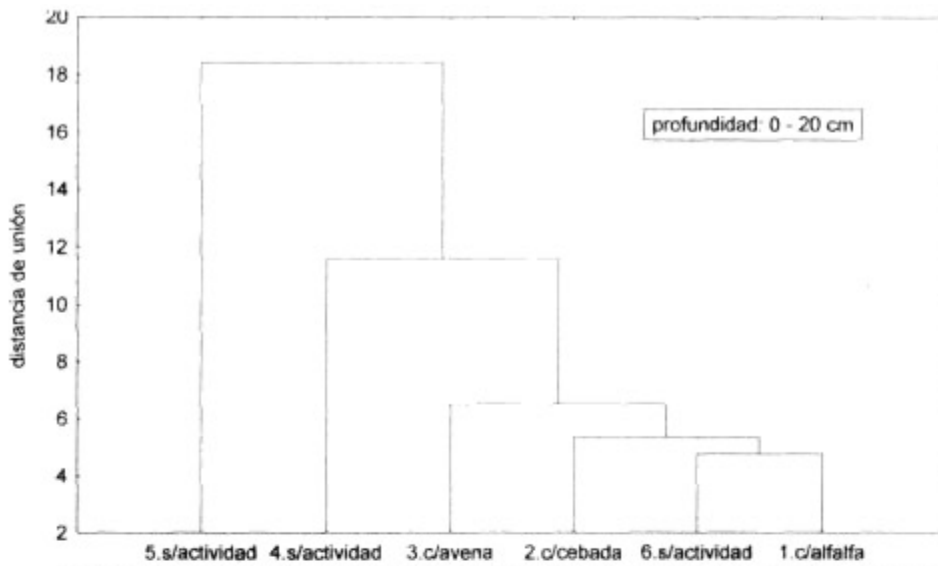


Figura 4.29a Clasificación mediante "clusters" de suelos regados con aguas residuales industriales, con relación al promedio de porcentaje de metales extraídos en la fracción 3 (unidos a óxidos de manganeso).

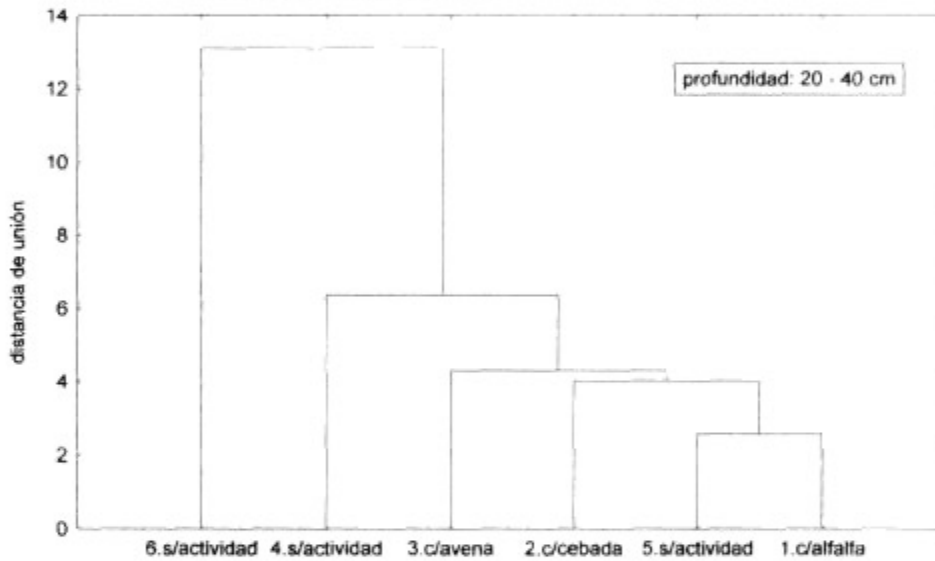


Figura 4.30a Clasificación mediante "clusters" de suelos regados con aguas residuales industriales, con relación al promedio de porcentaje de metales extraídos en la fracción 3 (unidos a óxidos de manganeso).

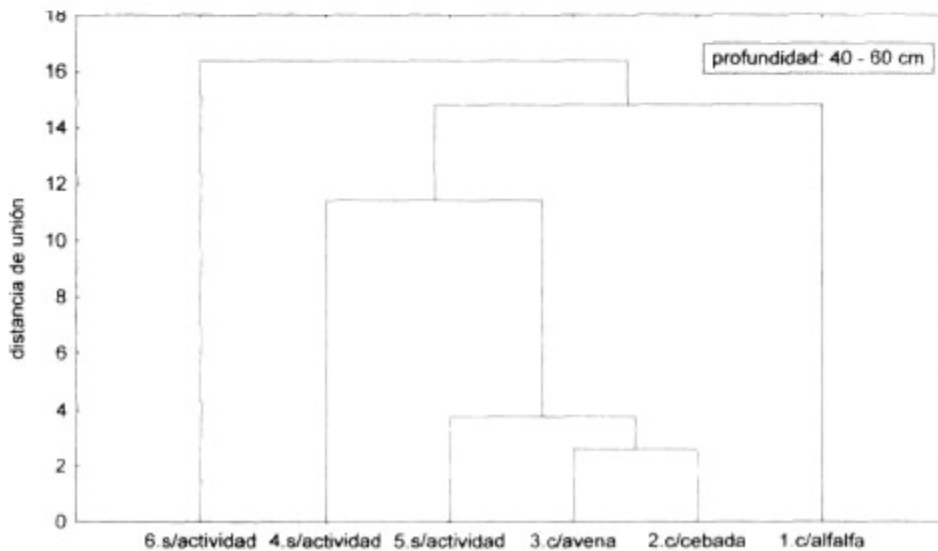


Figura 4.31 Clasificación mediante "clusters" de suelos regados con aguas residuales industriales, con relación al promedio de porcentaje de metales extraídos en la fracción 3 (unidos a óxidos de manganeso).



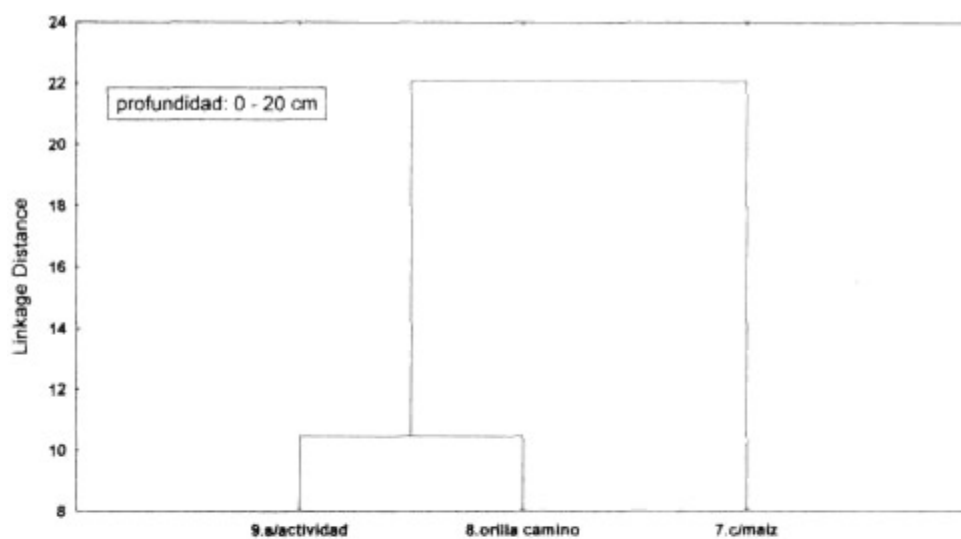


Figura 4.29b Clasificación mediante "clusters" de suelos NO regados con aguas residuales industriales, con relación al promedio de porcentajes de metales extraídos en la fracción 3 (unidos a óxidos de manganeso).

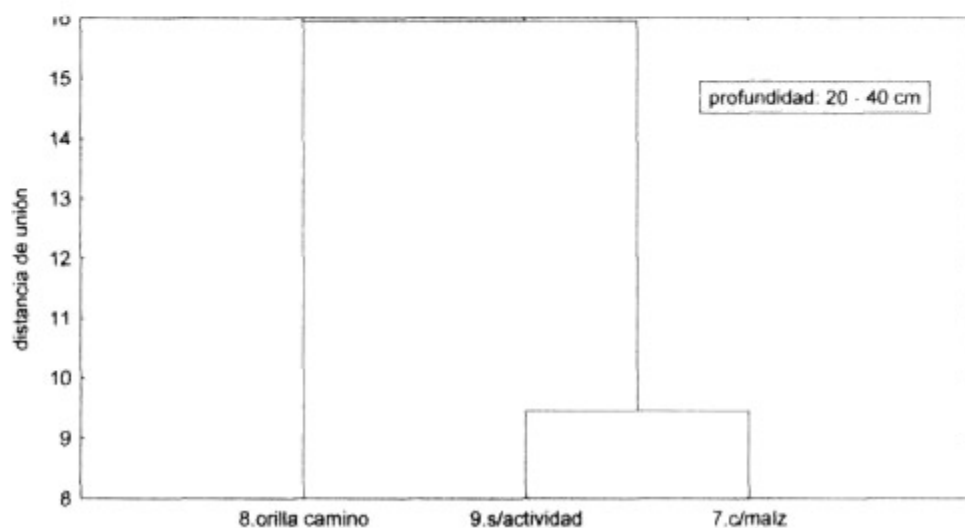


Figura 4.30b Clasificación mediante "clusters" de suelos NO regados con aguas residuales industriales, con relación al promedio de porcentajes de metales extraídos en la fracción 3 (unidos a óxidos de manganeso).

**FRACCIÓN 4. UNIDOS A LA MATERIA ORGÁNICA**  
Suelos regados con aguas residuales

En esta fracción se extraen los porcentajes más altos de metales en las tres profundidades.

Profundidad de 0 a 20 cm

Menores al 10%, se extraen mercurio, fierro y arsénico en todos los sitios, plomo, cobalto y manganeso en el sitio 4, níquel en el sitio 6, zinc en el sitio 3 y cobre en el sitio 2.

De 10 a 20%, cromo en todos los sitios, plomo en el sitio 3, níquel en los sitios del 2 al 5, cobalto en los sitios 2, 3, 5 y 6, cadmio en los sitios del 3 al 6, zinc en los sitios 2 y 4, manganeso en el sitio 6 y cobre en todos los sitios a excepción del sitio 2 y 4.

Del 20 al 46%, plomo en todos los sitios a excepción del 3 y 4, níquel y cobalto en el sitio 1, cadmio en los sitios 1 y 2, zinc en el 1, 5 y 6, manganeso en todos los sitios a excepción de los sitios 4 y 6, cobre en los sitios 4 y 6 (Figura 4.32a).

La tendencia de extracción (Figura 4.35a) es:

$Mn > Pb > Cd > Zn > Cu > Co > Cr > Ni > As > Hg > Fe$

Los sitios forman dos grupos de acuerdo al promedio de los porcentajes de extracción de todos los metales, según el diagrama de clusters (Figura 4.38). Son similares en los sitios 2 y 1, los sitios 4 y 3 y los sitios 6 y 5. Esto se muestra en el Cuadro 4.26.

Cuadro 4.26 Agrupación de suelos regados con aguas residuales de la fracción 4, de 0 a 20 cm

FRACCIÓN 4. UNIDOS A MATERIA ORGÁNICA con relación al promedio de porcentaje de metales extraídos profundidad: 0 – 20 cm		
GRUPO	SITIOS	ACTIVIDAD
I	1 y 2	con cultivos de alfalfa y cebada
II	3 y 4	con cultivo de avena y sin actividad
	6 y 5	sin actividad

Las correlaciones significativas de extracción de los metales entre sí y con los parámetros edafológicos se muestran en el Cuadro 4.27.

Cuadro 4.27 Correlaciones ( $p < 0.05$ ) de extracción en suelos regados con aguas residuales en la fracción 4, de 0 – 20 cm

	r	p		r	p
De los metales entre sí					
Co – Fe	0.8146	0.048	As – Mn	-0.8359	0.038
Co – Mn	0.9631	0.002	As – Cu	0.8653	0.026
Co – Hg	-0.8290	0.041	As – Hg	0.8738	0.023
Pb – Cr	-0.9094	0.012	Fe – Zn	-0.8305	0.041
Mn – Hg	-0.9069	0.013			
Con los parámetros edafológicos					
Cu – pH	-0.8313	0.040	Zn – P	0.8532	0.031
Hg – pH	-0.8282	0.042	Cu – M.O.	0.9091	0.012
As – pH	-0.9428	0.005			

#### Profundidad de 20 a 40 cm

Los metales extraídos en un porcentaje menor al 10% son mercurio y fierro en todos los sitios, arsénico en los sitios 4 y 5, níquel en los sitios 3, 4 y 6, cobalto en los sitios 3, 5 y 6, zinc en el sitio 2, y cobre en los sitios 2 y 6.

De 10 a 20%, cromo en todos los sitios, plomo (a excepción del sitio 2), arsénico en los sitios 1 y 6, níquel en el sitio 5, el cobalto en el sitio 4, cadmio en los sitios 3 y 5, zinc en los sitios 1, 2 y 5, manganeso en los sitios 3, 4 y 6 y cobre en el sitio 5.

De 20 a 58%, plomo en el sitio 2, níquel y cobalto en los sitios 1 y 2, cadmio en los sitios 1, 2 y 6, manganeso en los sitios 1, 2 y 5, cobre en los sitios 1 y 3. (Figura 4.33a).

La tendencia de extracción es (Figura 4.36a) es:

$$\text{Mn} > \text{Cd} > \text{Zn} > \text{Cu} > \text{Co} > \text{Ni} > \text{Pb} > \text{Cr} > \text{As} > \text{Hg} > \text{Fe}$$

Los sitios con relación al porcentaje promedio de los metales extraídos forman tres grupos, su diagrama de clusters (Figura 4.39a) es diferente al de la profundidad de 0 a 20 cm de esta misma fracción, de acuerdo al Cuadro 4.28.

Cuadro 4.28 Agrupación de suelos regados con aguas residuales de la fracción 4, de 20 a 40 cm

FRACCIÓN 4. UNIDOS A LA MATERIA ORGÁNICA con relación al promedio del porcentaje de metales extraídos profundidad: 20 a 40 cm		
GRUPO	SITIOS	ACTIVIDAD
I	5 y 1	sin actividad y con cultivo de alfalfa
II	6 y 4	ambos sin actividad
	3	con cultivo de avena
III	2	con cultivo de cebada

A diferencia de las fracciones anteriores, en ésta los sitios con cultivo forman parte de grupos distintos. Los sitios sin actividad tampoco muestran una conducta propia.

Las correlaciones significativas de los metales entre sí y con los parámetros edafológicos se muestran en el Cuadro 4.29.

Cuadro 4.29 Correlaciones ( $p < 0.05$ ) de extracción en suelos regados con aguas residuales, en la fracción 4, de 20 – 40 cm

	$r$	$p$		$r$	$p$
De los metales entre sí					
As – Fe	0.9314	0.007	Cd – Co	0.8488	0.003
As – Pb	0.8551	0.030	Cd – Mn	0.8402	0.036
Co – Cr	0.8181	0.047	Mn – Ni	0.9420	0.005
Co – Mn	0.8974	0.015			
Con los parámetros edafológicos					
Co – M.O.	-0.8368	0.038	Zn – P	0.9267	0.008
Mn – M.O.	0.8872	0.018			
Ni – M.O.	-0.8806	0.021			

#### Profundidad de 40 a 60 cm

Los metales extraídos menores al 10% son: en todos los sitios fierro, arsénico, mercurio y cobre (a excepción de los sitios 2 y 3), cromo en el sitio 6, plomo en los sitios 4 y 5, níquel en los sitios 4 y 6, cobalto en los sitios 3, 4, 5, zinc en el sitio 2.

De 10 a 20%, en todos los sitios cromo (a excepción del 6) y níquel (a excepción de los sitios 4 y 6); mercurio en los sitios 2 y 3, plomo en los sitios 1 y 6, cobalto en los sitios 2 y 6, cadmio en los sitios 1, 3 y 4, zinc en los sitios 1,3 y 5, y cobre en los sitios 2 y 3.

De 20 a 65%, manganeso en todos los sitios, plomo en los sitios 2 y 3, cobalto en el sitio 1, cadmio en los sitios 2, 5 y 6, zinc en los sitios 4 y 6, cobre en el sitio 3 (Figura 4.34a).

La tendencia de extracción (Figura 4.37) es:



En esta profundidad, los sitios forman un solo grupo, según el diagrama de clusters (Figura 4.40), como se muestra en el Cuadro 4.30.

Cuadro 4.30 Agrupación de suelos regados con aguas residuales de la fracción 4, de 40 a 60 cm

FRACCION 4. UNIDOS A MATERIA ORGÁNICA con relación al promedio del porcentaje de metales extraídos profundidad: 40 – 60 cm		
GRUPO	SITIOS	ACTIVIDAD
I	1 y 5	con cultivo de alfalfa y sin actividad
	4	sin actividad
	3	con cultivo de avena
	6	sin actividad
	2	con cultivo de cebada

No existen correlaciones de los metales entre sí, ni con los parámetros edafológicos.

**FRACCION 4. UNIDOS A MATERIA ORGÁNICA**  
Suelos no regados por aguas residuales

La extracción de metales en esta fracción es mayor que en las fracciones anteriores.

Profundidad: 0 a 20 cm

Los metales extraídos en un porcentaje menor al 10%, son: en todos los sitios, mercurio, fierro, arsénico y cromo (a excepción del sitio 7); níquel, cadmio y cobre en el sitio 9 (Figura 4.32b).

De 10 a 20%, en todos los sitios, plomo, cobalto, y zinc; cromo en los sitios 8 y 9, níquel y cadmio en el sitio 7 y cobre en el sitio 8.

Entre 20 y 40% el manganeso en todos los sitios y el níquel en el sitio 8 con 25%.

La tendencia de extracción (Figura 4.35b) es:

Mn > Zn > Ni > Pb > Co > Cd > Cr > As > Hg > Fe > Cu

La asociación de los sitios es similar a la de la fracción 3 en la profundidad de 20 a 40 cm (Figura 4.39b).

En el Cuadro 4.31 se muestran las correlaciones significativas de los metales entre sí y con la materia orgánica.

Cuadro 4.31 Correlaciones ( $p < 0.05$ ) de extracción en suelos no regados con aguas residuales, en la fracción 4, de 0 – 20 cm

	r	p		r	p
De los metales entre sí					
Cu – Pb	0.9986	0.033	Ni – Mn	0.9977	0.043
Co – As	0.9992	0.025	As – Hg	0.9979	0.042
Co – Hg	0.9997	0.016			
Con los parámetros edafológicos					
Cd – M.O.	0.9980	0.040			

Profundidad de 20 a 40 cm

El porcentaje de extracción de la mayor parte de los metales se encuentra entre el 10 y 30%.

En un porcentaje menor al 10%, en todos los sitios mercurio, hierro y arsénico; níquel en el sitio 9, cromo en el sitio 7 y cobre en los sitios 7 y 9 (Figura 4.33b),

De 10 a 20%, en todos los sitios plomo, cromo y cobalto en los sitios 8 y 9, níquel en el sitio 7, cadmio, zinc y manganeso en el sitio 9, y cobre en el sitio 8.

De 20 a 30%, cobalto y cadmio en el sitio 7 y en el sitio 8, níquel, cadmio, zinc y manganeso con 38%.

La tendencia de extracción (Figura 4.36b) es:

Cd > Mn > Pb > Co > Zn > Ni > Cr > As > Fe > Cu > Hg

La asociación de los sitios es similar a la de la profundidad de 0 a 20 cm de esta misma fracción (Figura 4.39b).

Existen correlaciones significativas con relación a la extracción de los metales entre sí y con los parámetros edafológicos, las que se muestran en el Cuadro 4.32.

Cuadro 4.32 Correlaciones ( $p < 0.05$ ) de extracción en suelos no regados con aguas residuales, en la fracción 4, de 20 – 40 cm

	$r$	$p$		$r$	$p$
De los metales entre sí					
Cu – Cd	0.9982	0.038	Pb – As	1.0000	0.006
Cu – Zn	0.9983	0.037	Ni – Mn	0.9995	0.021
Cd – Ni	0.9990	0.280	Ni – Zn	0.9990	0.029
Cd – Mn	0.9970	0.049	Cd – Zn	1.0000	0.001
Con los parámetros edafológicos					
Cr – pH	0.9971	0.048	Co – P	-0.9996	0.017
Co - Cond	0.9996	0.018			

UNIDOS A LA MATERIA ORGANICA  
PORCENTAJES DE EXTRACCION



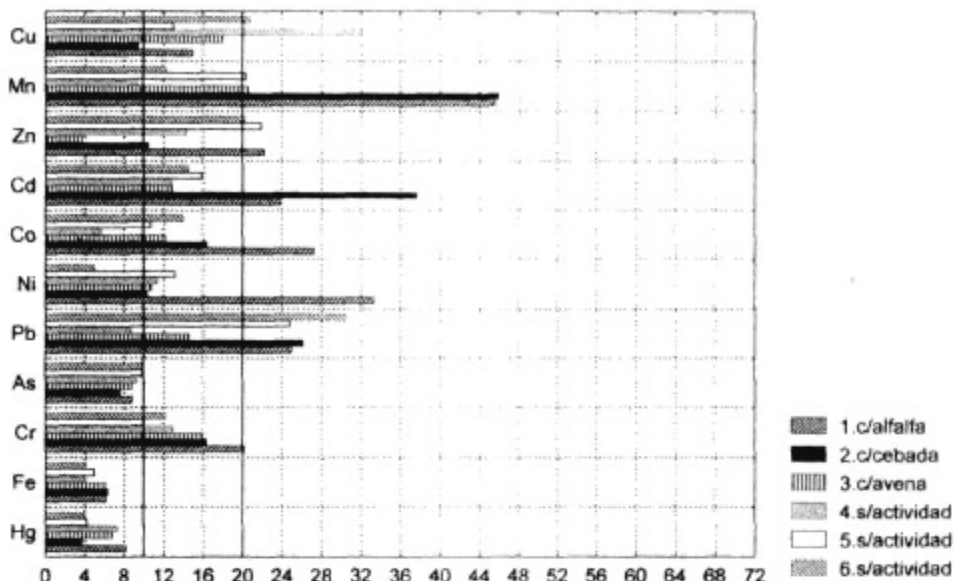


Figura 4.32a Porcentaje de metales extraídos en la fracción 4 (unidos a la materia orgánica) en suelos regados con aguas residuales industriales, en la profundidad de 0 a 20 cm.

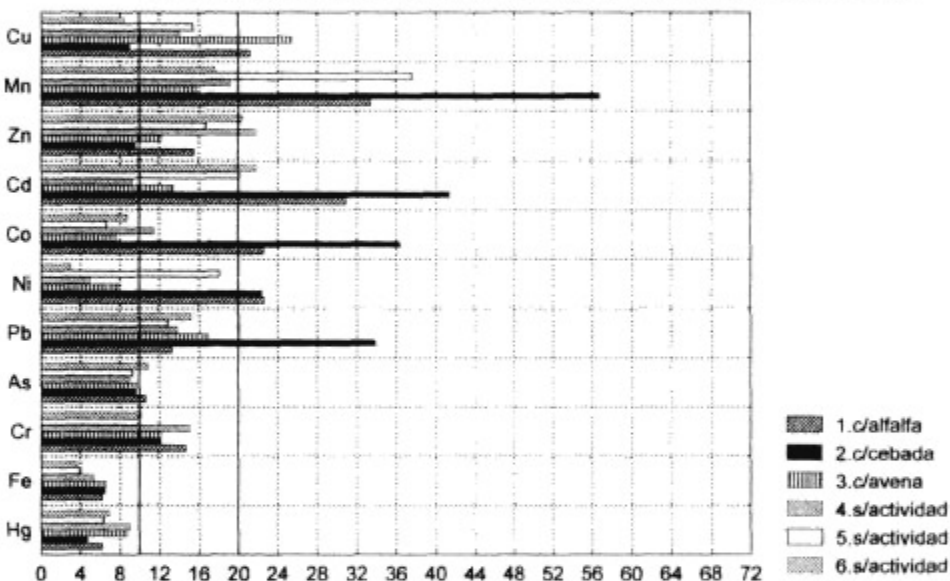


Figura 4.33a Porcentaje de metales extraídos en la fracción 4 (unidos a la materia orgánica) en suelos regados con aguas residuales industriales, en la profundidad de 20 a 40 cm.

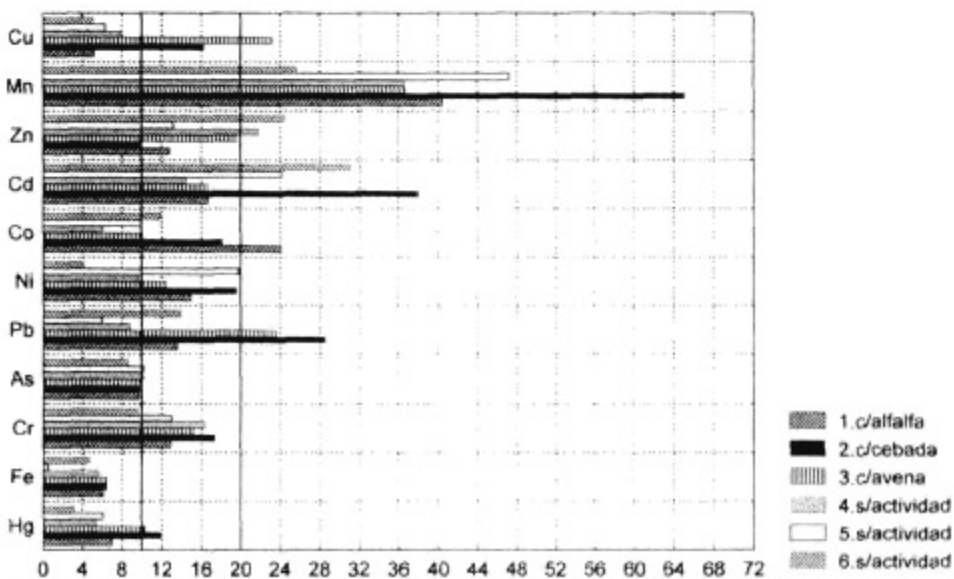


Figura 4.34a Porcentaje de metales extraídos en la fracción 4 (unidos a la materia orgánica) en suelos regados con aguas residuales industriales, en la profundidad de 40 a 60 cm.

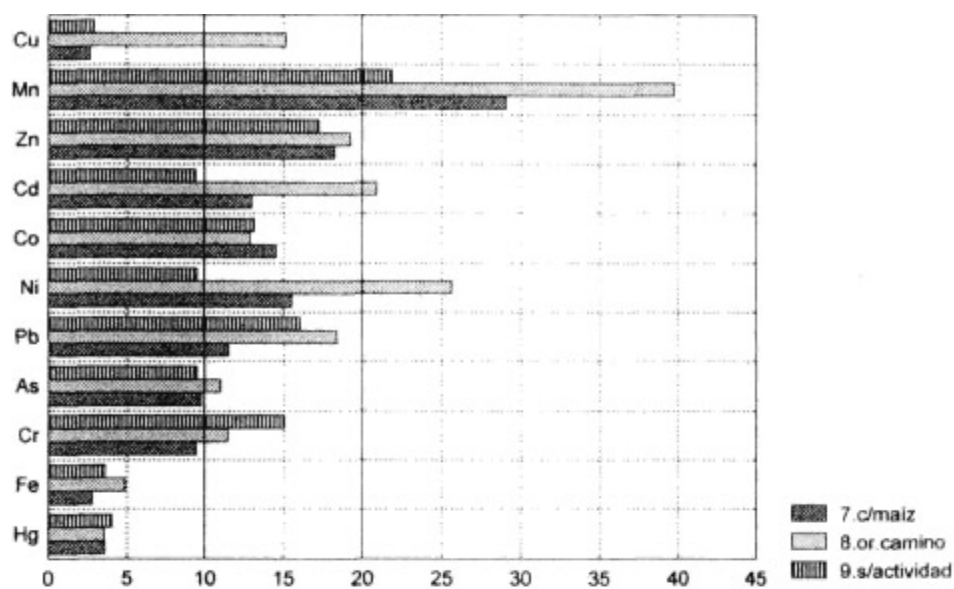


Figura 4.32b Porcentaje de metales extraídos en la fracción 4 (unidos a la materia orgánica) en suelos NO regados con aguas residuales industriales, en la profundidad de 0 a 20 cm.

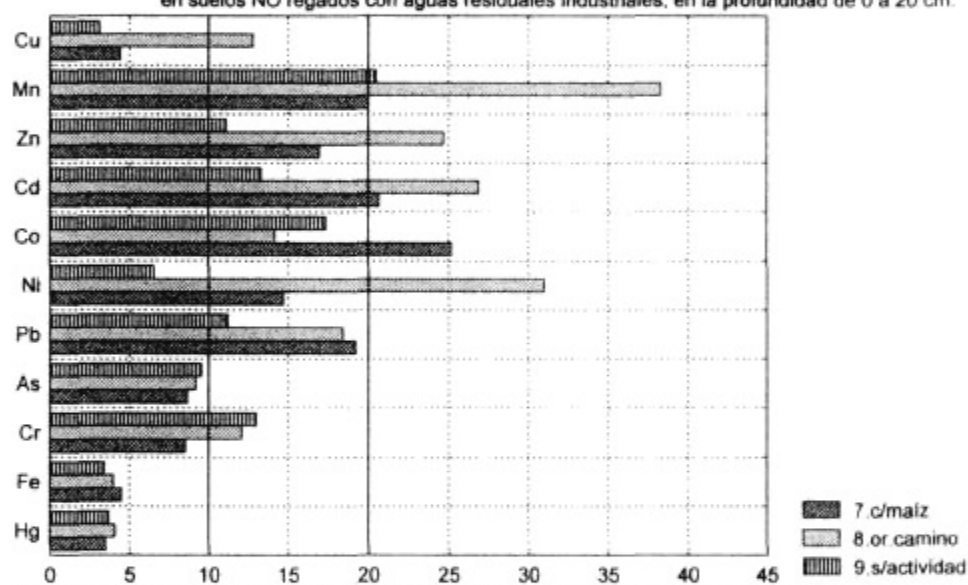


Figura 4.33b Porcentaje de metales extraídos en la fracción 4 (unidos a la materia orgánica) en suelos NO regados con aguas residuales industriales, en la profundidad de 20 a 40 cm.

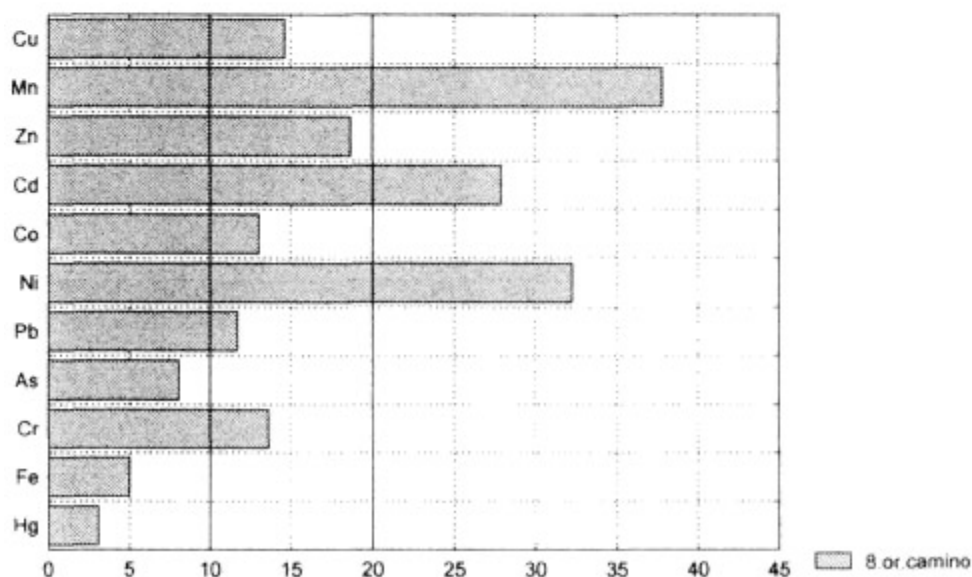


Figura 4.34b Porcentaje de metales extraídos en la fracción 4 (unidos a la materia orgánica) en suelos NO regados con aguas residuales industriales, en la profundidad de 40 a 60 cm.

UNIDOS A LA MATERIA ORGANICA  
TENDENCIAS DE EXTRACCION

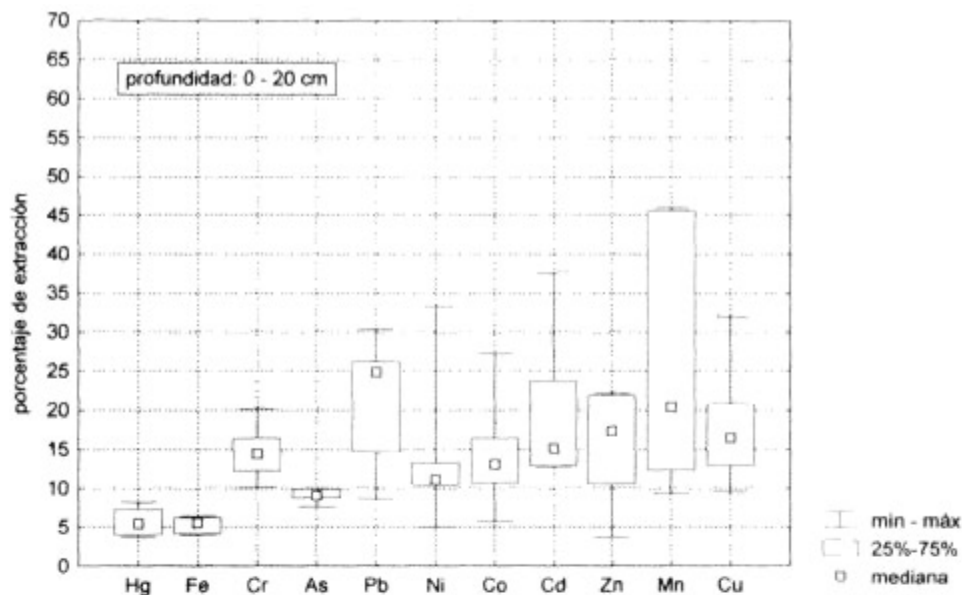


Figura 4.35a Máximos y mínimos de la tendencia de extracción de los metales en la fracción 4 (unidos a la materia orgánica) en los suelos regados con aguas residuales industriales.

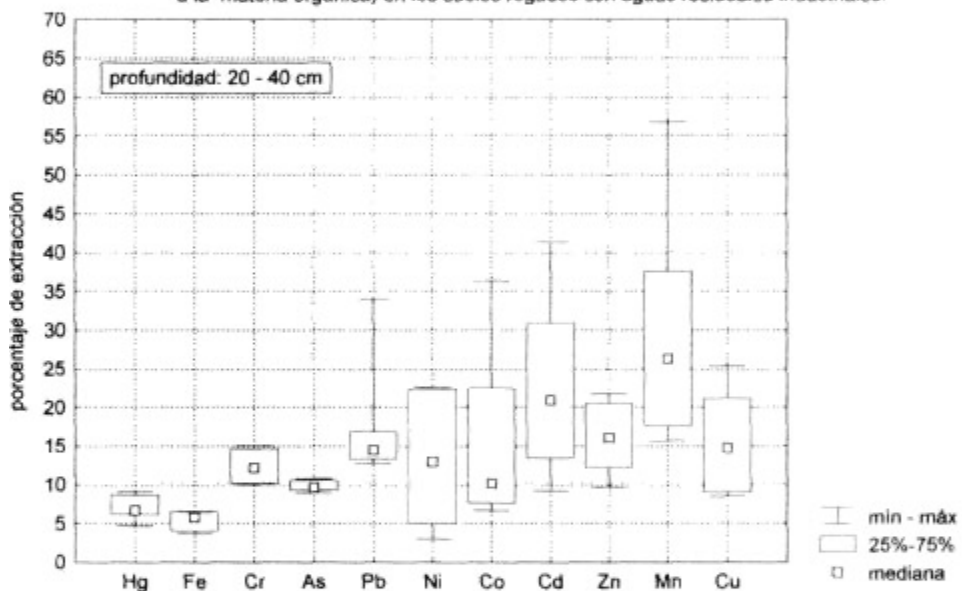


Figura 4.36a Máximos y mínimos de la tendencia de extracción de los metales en la fracción 4 (unidos a la materia orgánica) en los suelos regados con aguas residuales industriales.

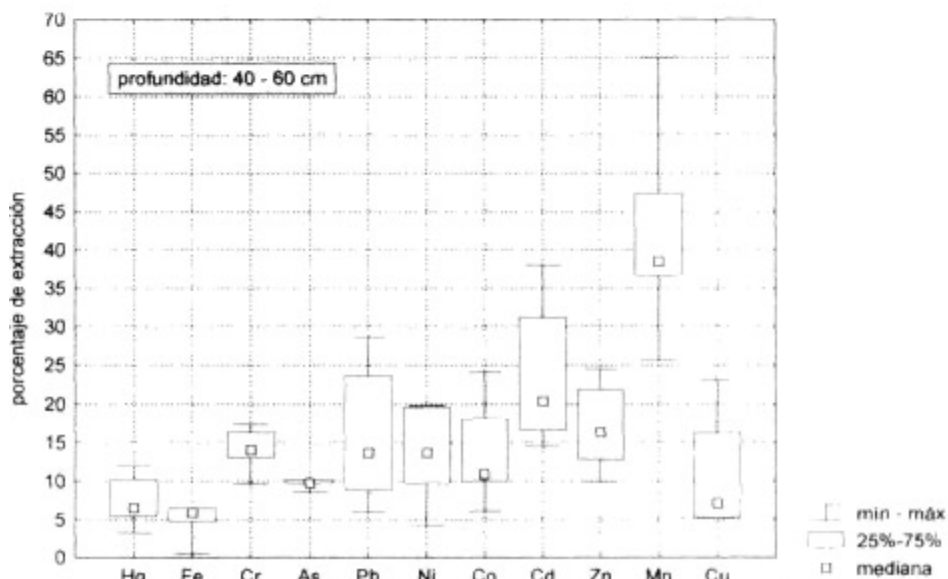


Figura 4.37 Máximos y mínimos de la tendencia de extracción de los metales en la fracción 4 (unidos a la materia orgánica) en los suelos regados con aguas residuales industriales.

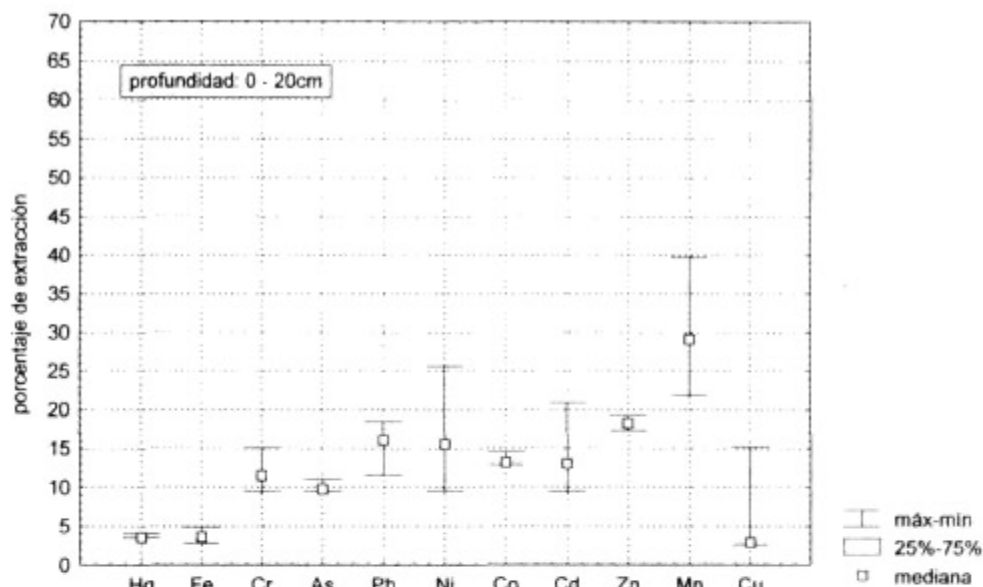


Figura 4.35b Máximos y mínimos de la tendencia de extracción de los metales en la fracción 4 (unidos a la materia orgánica) en los suelos NO regados con aguas residuales industriales.

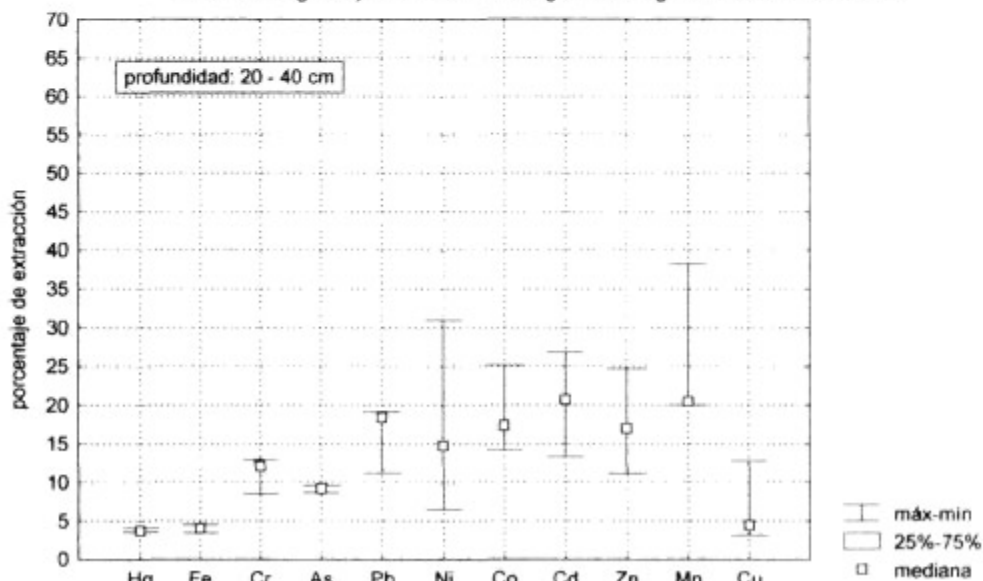


Figura 4.36b Máximos y mínimos de la tendencia de extracción de los metales en la fracción 4 (unidos a la materia orgánica) en los suelos NO regados con aguas residuales industriales.

UNIDOS A LA MATERIA ORGANICA

CLUSTERS

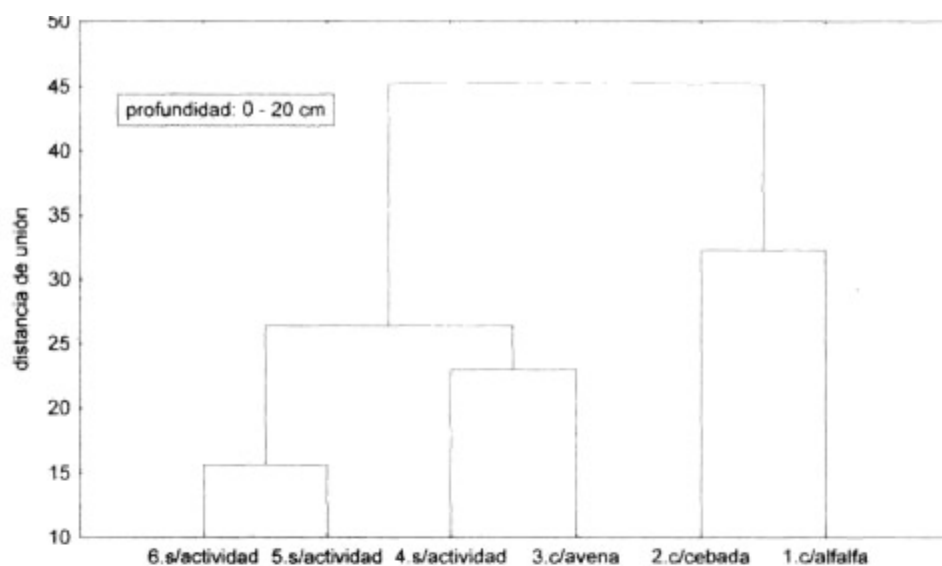


Figura 4.38 Clasificación mediante "clusters" de suelos regados con aguas residuales industriales, con relación al promedio de porcentajes de metales extraídos en la fracción 4 (unidos a la materia orgánica).

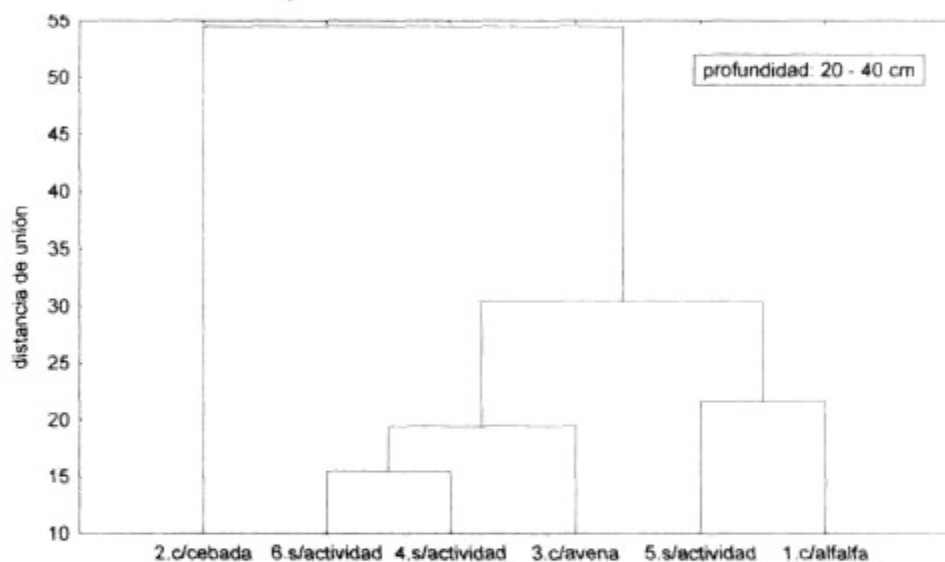


Figura 4.39a. Clasificación mediante "clusters" de suelos regados con aguas residuales industriales con relación al promedio de porcentajes de metales extraídos en la fracción 4 (unido a la materia orgánica).

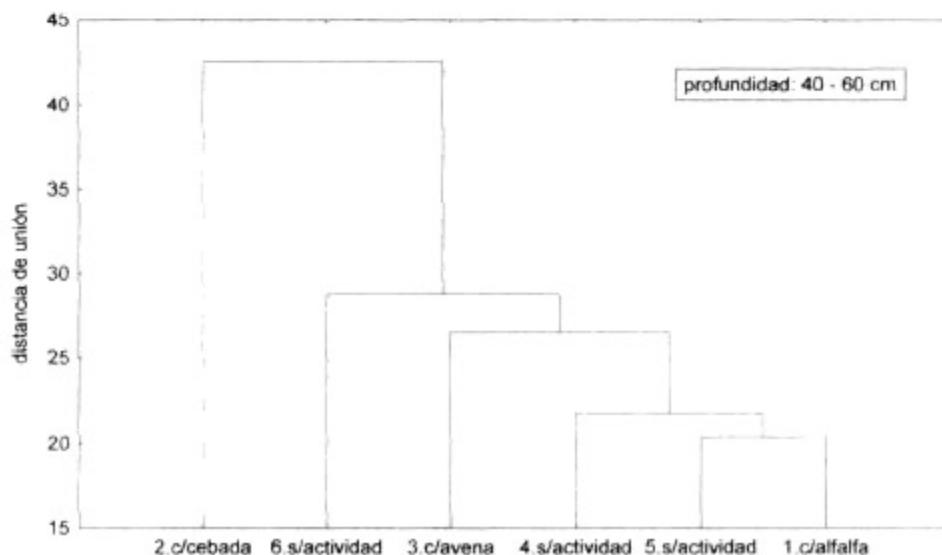


Figura 4.40 Clasificación mediante "clusters" de suelos regados con aguas residuales industriales, con relación al promedio de porcentajes de metales extraídos en la fracción 4 (unidos a la materia orgánica).

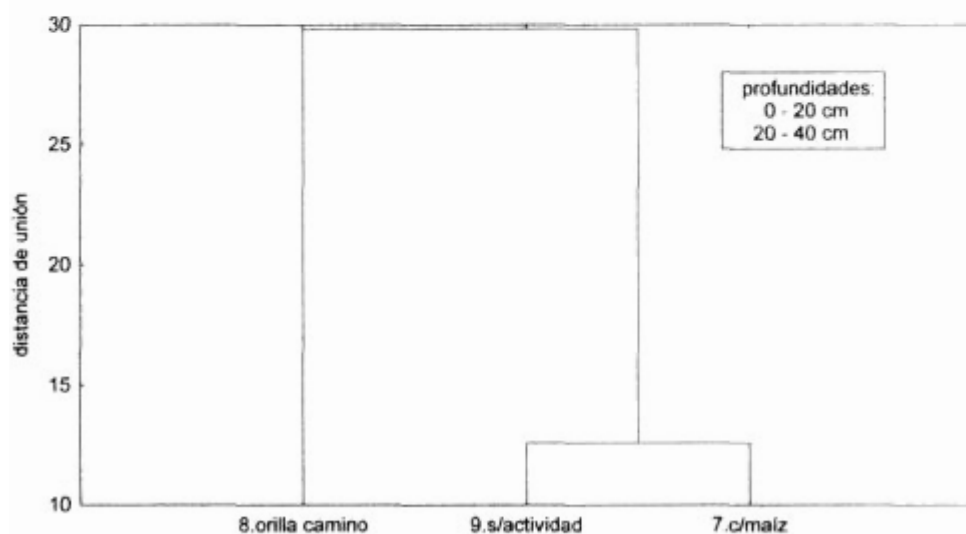


Figura 4.39b. Clasificación mediante "clusters" de suelos NO regados con aguas residuales industriales, con relación al promedio de porcentajes de metales extraídos en la fracción 4 (unidos a la materia orgánica).



**FRACCIÓN 5. METALES UNIDOS A ÓXIDOS DE FIERRO AMORFOS**  
Suelos regados con aguas residuales

En esta fracción, en las tres profundidades, la mayor parte de los metales son extraídos en porcentajes menores al 10%. El máximo porcentaje obtenido es de 38%.

Profundidad de 0 a 20 cm

Los metales extraídos menores al 10% en todos los sitios son: mercurio, hierro, cromo, arsénico, zinc, manganeso y cobre (a excepción del sitio 1), cadmio (a excepción del sitio 3), cobalto y plomo (a excepción de los sitios 1 y 2); el níquel en los sitios 1, 3 y 4.

De 10 a 20%, plomo y cobalto en los sitios 1 y 2, níquel en el 2 y 5, cadmio en el sitio 4, manganeso y cobre en el sitio 1. Y el sitio 2 el plomo es extraído en un 26.2% (Figura 4.41a).

La tendencia de extracción (Figura 4.44a) es:

Pb > Co > Fe > Zn > Cd > Cu > Mn > Cr > As > Ni > Hg

Los sitios forman dos grupos, según el diagrama de clusters (Figura 4.47), el sitio 1 y 2 son similares. El sitio 3 con cultivo de avena nuevamente se agrupa con los sitios sin cultivo como en las fracciones 1 y 2 y 3 en las tres profundidades. Esto se observa en el Cuadro 4.33.

Cuadro 4.33 Agrupación de suelos regados con aguas residuales de la fracción 5, de 0 a 20 cm

FRACCIÓN 5. UNIDOS ÓXIDOS DE FIERRO AMORFOS con relación al promedio de porcentaje de metales extraídos profundidad: 0 – 20 cm		
GRUPO	SITIOS	ACTIVIDAD
I	1 y 2	con cultivos de alfalfa y cebada
II	3 y 6	con cultivo de avena y sin actividad
	4	sin actividad
	5	sin actividad

Las correlaciones significativas de extracción de los metales entre sí y con los parámetros edafológicos se muestran en el Cuadro 4.34.

Cuadro 4.34 Correlaciones ( $p < 0.05$ ) de extracción en suelos regados con aguas residuales, en la fracción 5, de 0 – 20 cm

	r	p		r	p
De los metales entre sí					
Cr – Cd	0.9062	0.013	As – Cu	0.8154	0.048
Cr – Hg	0.9220	0.009	Co – Pb	0.8204	0.046
Cd – Hg	0.8865	0.019	Mn – Zn	-0.9384	0.006
Con los parámetros edafológicos					
Cu – pH	-0.8323	0.040	Hg – P	0.8493	0.032
Zn – pH	-0.8133	0.049	Cd – P	0.9175	0.010
Cu – M. O.	0.8592	0.028			

Profundidad de 20 a 40 cm:

La mayor parte de los metales es extraída en porcentajes inferiores al 10%. En todos los sitios, mercurio, cromo, arsénico, zinc, fierro (a excepción del sitio 4), níquel (a excepción del sitio 2), manganeso (a excepción del sitio 1), cadmio y cobalto (a excepción de los sitios 1 y 2). Plomo en los sitios 4 y 6, cobre en los sitios 2, 4, 5 y 6.

De 10 a 26%: fierro en el sitio 4, plomo en todos los sitios (a excepción del 4 y 6), níquel en el 2, cobalto y cadmio en los sitios 1 y 2, manganeso en el sitio 1 y cobre en los sitios 1 y 3 (Figura 4.42a)

La tendencia de extracción es (Figura 4.45a):

Pb > Fe > Zn > Mn > Cr > As > Co > Cu > Cd > Hg > Ni

Según el diagrama de clusters (Figura 4.48a) los sitios forman tres grupos con respecto a su extracción. Se asemejan los sitios 4 y 6, lo mismo que los sitios 5 y 3, nuevamente el sitio 3 con cultivo de avena es similar al sitio 5. Esto se muestra en el Cuadro 4.35

Cuadro 4.35. Agrupación de suelos regados con aguas residuales de la fracción 5, de 20 a 40 cm

FRACCIÓN 5. UNIDOS A ÓXIDOS DE FIERRO AMORFOS con relación al promedio de porcentaje de metales extraídos profundidad: 20 – 40 cm		
GRUPO	SITIOS	ACTIVIDAD
I	4 y 6	ambos sin actividad
II	5 y 3	sin actividad y con avena
III	2 y 1	con cebada y alfalfa

Las correlaciones significativas entre los metales y con los parámetros edafológicos, con relación a su extracción se dan en el Cuadro 4.36.

Cuadro 4.36 Correlaciones ( $p < 0.05$ ) de extracción en suelos regados con aguas residuales, en la fracción 5, de 20 – 40 cm

	r	p		r	p
De los metales entre sí					
As – Cr	0.8575	0.029	Co – Cd	0.8635	0.027
As – Pb	0.8798	0.021	Co – Ni	0.9325	0.007
As – Hg	0.8849	0.019	Cr – Pb	0.9741	0.001
Fe – Zn	0.8987	0.015			
Con los parámetros edafológicos					
Cd - M.O.	-0.8198	0.046	Fe – P	0.8596	0.028
Co – M. O.	-0.8488	0.033			

Profundidad de 40 a 60 cm

El mayor porcentaje de extracción es inferior al 10%. En todos los sitios, mercurio, hierro, cromo, arsénico, níquel, cadmio, plomo (a excepción de los sitios 2 y 3), cobalto (a excepción 2 y 4), zinc (a excepción del sitio 4) y cobre en los sitios 2, 3, y 6.

De 10 al 21%: plomo en los sitios 2 y 3, cobalto en los 2 y 4, zinc en el sitio 4 y cobre en los sitios 1, 4 y 5 (Figura 4.43a).

La tendencia de extracción es (Figura 4.46):

Mn > Pb > Fe > Zn > Co > Cu > As > Cr > Ni > Hg > Cd

Al igual que en la profundidad anterior, los sitios forman tres grupos, de acuerdo al diagrama de clusters (Figura 4.49). Todos los sitios se mezclan, no hay diferencia en cuanto a su actividad, según se observa en el Cuadro 4.37.

Cuadro 4.37 Agrupación de suelos regados con aguas residuales de la fracción 5, de 40 a 60 cm

FRACCION 5. UNIDOS A ÓXIDOS DE FIERRO AMORFOS con relación al promedio de porcentaje de metales extraídos profundidad: 40 –60 cm		
GRUPO	SITIOS	ACTIVIDAD
I	1 y 5	con cultivo de alfalfa y sin actividad
	4	sin actividadcultivo
II	3 y 6	con cultivo de avena y sin actividad
III	2	con cultivo de cebada

Las correlaciones significativas con relación a su extracción de los metales entre sí y con los parámetros edafológicos se muestran en el Cuadro 4.38.

Cuadro 4.38 Correlaciones ( $p < 0.05$ ) de extracción en suelos regados con aguas residuales, en la fracción 5, de 40 – 60 cm

	$r$	$p$
De los metales entre sí		
Cd – Mn	0.9714	0.001
Cd – Zn	0.8950	0.016
Cu – Pb	0.9257	0.008
Con los parámetros edafológicos		
Ni – pH	0.8718	0.024

**FRACCION 5. METALES UNIDOS A OXIDOS DE FIERRO AMORFOS**  
Suelos no regados por aguas residuales

En esta fracción la mayor parte de los metales se extrajeron en porcentajes menores al 5%.

Profundidad de 0 a 20 cm:

En porcentaje menor al 5%: en todos los sitios, mercurio, cromo, arsénico, níquel, cobalto, manganeso, cobre, zinc (a excepción del sitio 8) y cadmio (a excepción del sitio 9), el fierro y plomo en el sitio 7 (figura 4.41b).

De 5 a 10%, plomo y fierro en los sitios 8 y 9, cadmio en el sitio 9 y zinc en el sitio 8.

La tendencia de extracción (Figura 4.44b) es:

$Fe > Pb > Cr > Cd > Zn > As > Cu > Hg > Mn > Ni > Co$

Nuevamente los sitios se agrupan igual que en la fracción anterior (Figura 4.48b).

Existen solamente dos correlaciones significativas entre metales y con la conductividad, con relación a su extracción, de acuerdo al Cuadro 4.39

Cuadro 4.39 Correlaciones ( $p < 0.05$ ) de extracción en suelos no regados con aguas residuales, en la fracción 5, de 0 – 20 cm

	$r$	$p$
De los metales entre sí		
Pb – Hg	0.9987	0.032
Mn – As	-1.0000	0.000
Con los parámetros edafológicos		
Fe - Conduc.	-0.9998	0.013

Profundidad de 20 a 40 cm

El porcentaje de la mayor partes de los metales se encuentra abajo del 5%: mercurio, cromo, arsénico, níquel, cobalto, manganeso, cobre, cadmio (a excepción del sitio 9) y zinc (a excepción del sitio 8) (Figura 4.42b).

De 5 a 8%, fierro y plomo en todos los sitios, cadmio en el sitio 9 y zinc en el sitio 8.

La tendencia de extracción (Figura 4.45b) es:

Fe > Pb > Zn > Cd > Cu > Cr > As > Hg > Mn > Ni > Co

Los sitios se agrupan igual que el anterior, el 7 y 9 forman un grupo (Figura 4.48b).

Las correlaciones significativas de extracción de los metales entre sí y con los parámetros edafológicos, se muestran en el Cuadro 4.40.

Cuadro 4.40 Correlaciones ( $p < 0.05$ ) de extracción en suelos no regados con aguas residuales, en la fracción 5, de 20 – 40 cm

	r	p
De los metales entre si		
Pb – As	0.9993	0.024
Zn – Cr	-0.9976	0.044
Con los parámetros edafológicos		
Zn – P	0.9998	0.014
Cr – P	-0.9989	0.030
Zn – Conduc	-0.9997	0.015
Cr – Conduc	0.9990	0.029

UNIDOS A OXIDOS DE FIERRO AMORFOS  
PORCENTAJES DE EXTRACCION

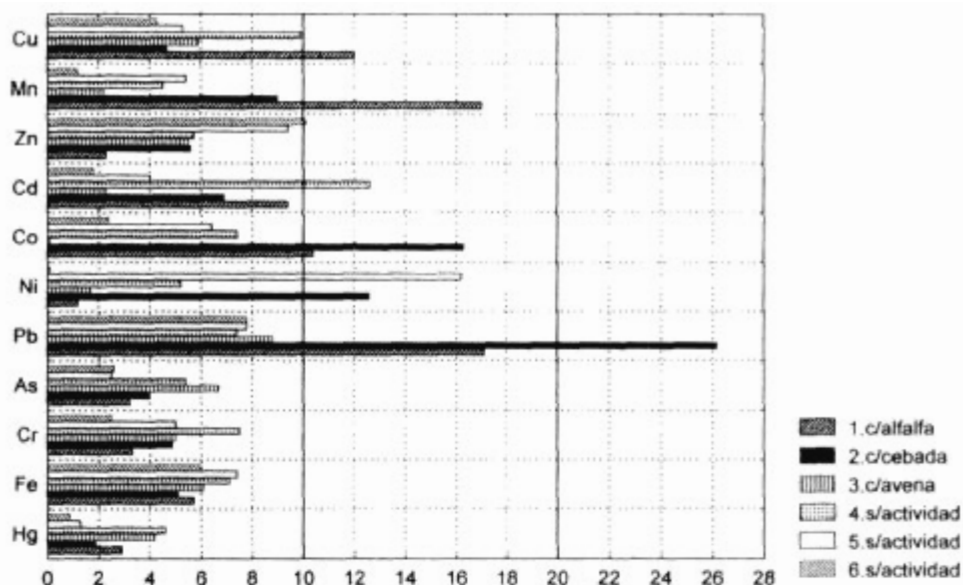


Figura 4.41a Porcentaje de metales extraídos en la fracción 5 (unidos a óxidos de hierro amorfos) en suelos regados con aguas residuales industriales, en la profundidad de 0 a 20 cm.

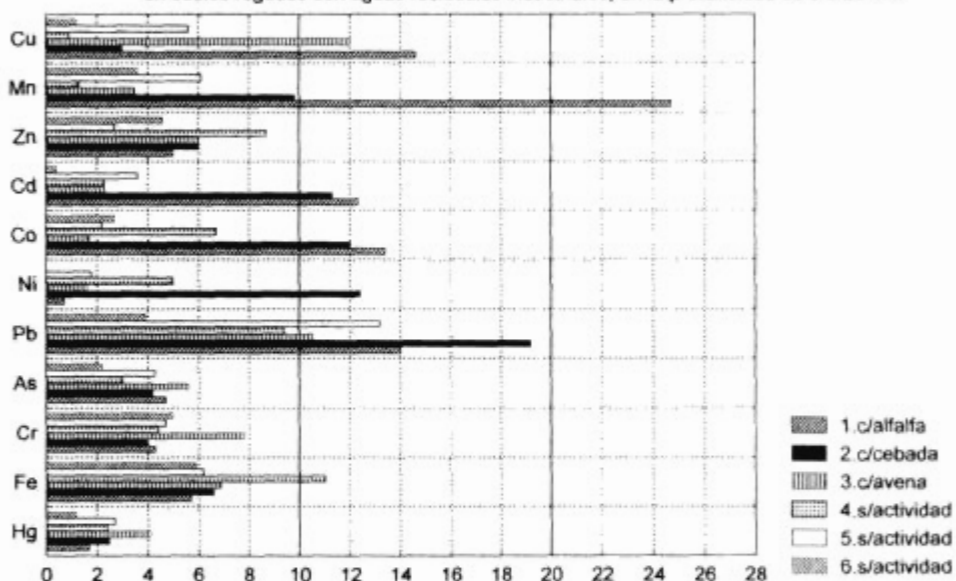


Figura 4.42a Porcentaje de metales extraídos en la fracción 5 (unidos a óxidos de hierro amorfos) en suelos regados con aguas residuales industriales en la profundidad de 20 a 40 cm.

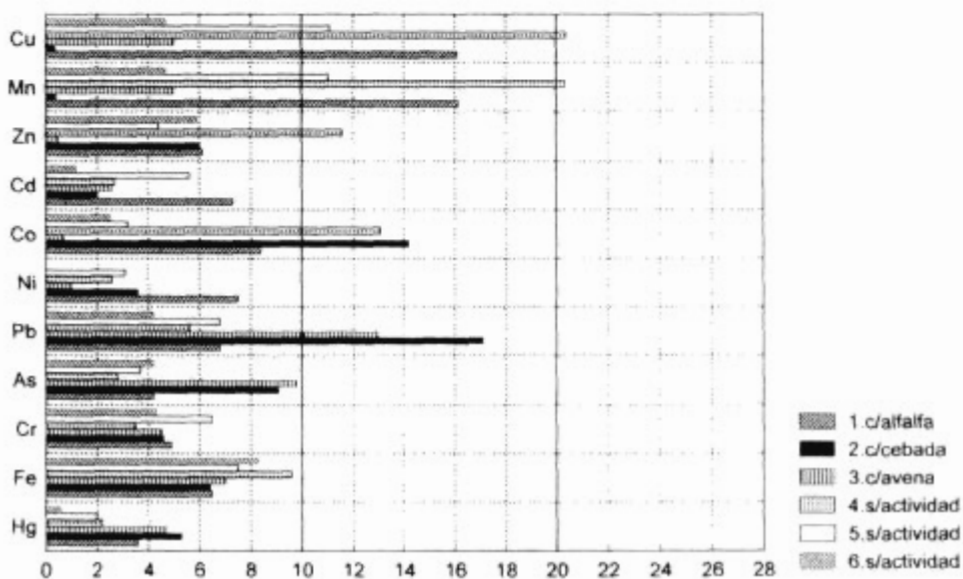


Figura 4.43a. Porcentaje de metales extraídos en la fracción 5 (unidos a óxidos de hierro amorfos) en suelos regados con aguas residuales industriales, en la profundidad de 40 a 60 cm.

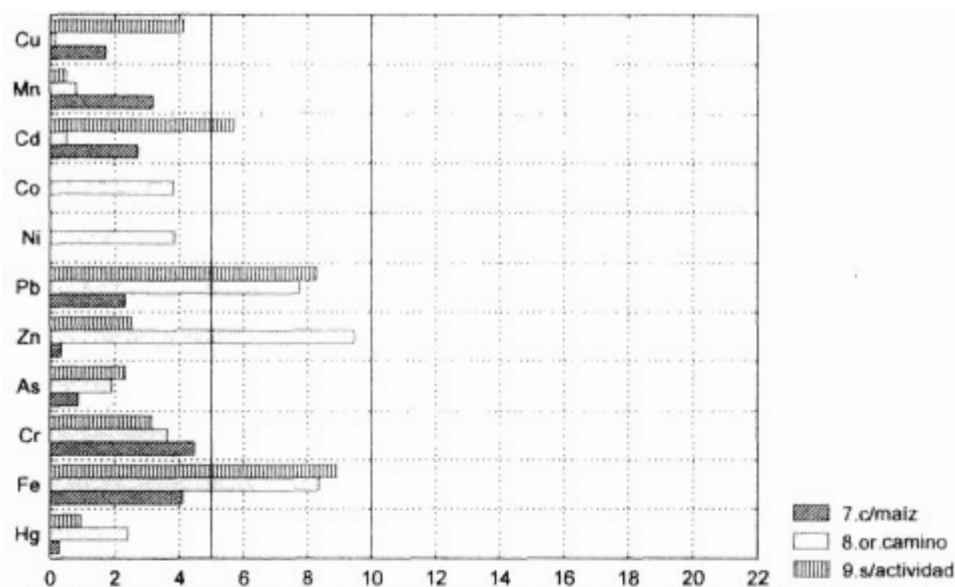


Figura 4.41b Porcentaje de metales extraídos en la fracción 5 (unidos a óxidos de hierro amorfos) en suelos NO regados con aguas residuales industriales, en la profundidad de 0 a 20 cm.

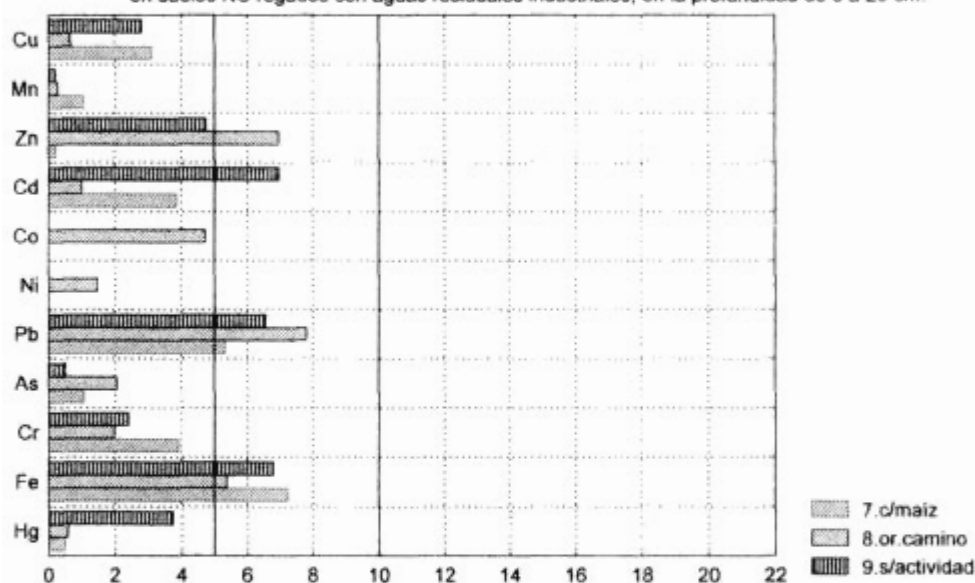


Figura 4.42b Porcentaje de metales extraídos en la fracción 5 (óxidos de hierro amorfos) en suelos NO regados con aguas residuales industriales, en la profundidad de 20 a 40 cm.

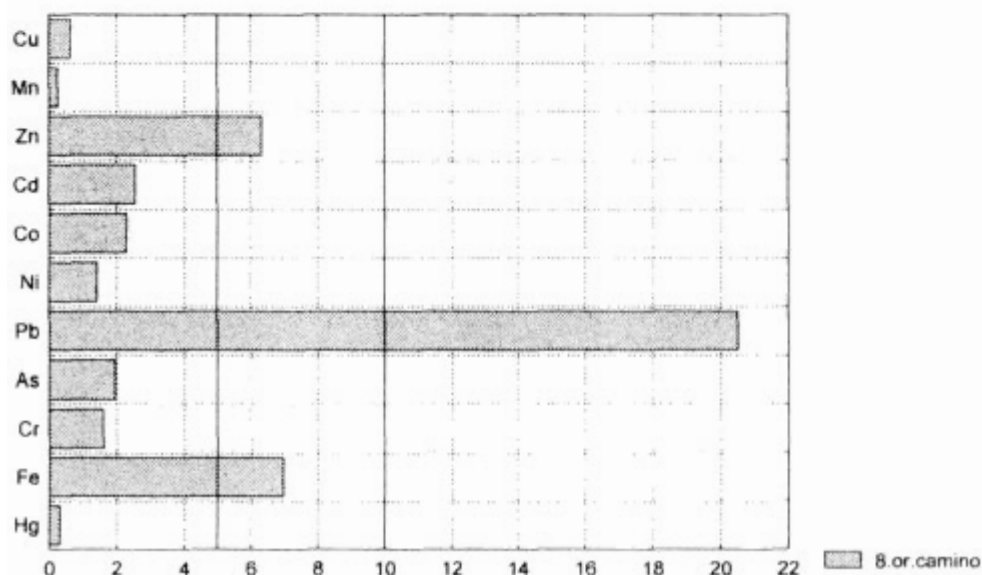


Figura 4.43b Porcentaje de metales extraídos en la fracción 5 (unidos a óxidos de hierro amorfos) en suelos no regados con aguas residuales industriales, en la profundidad de 40 a 60 cm.



UNIDOS A OXIDOS DE FIERRO AMORFOS  
TENDENCIAS DE EXTRACCION

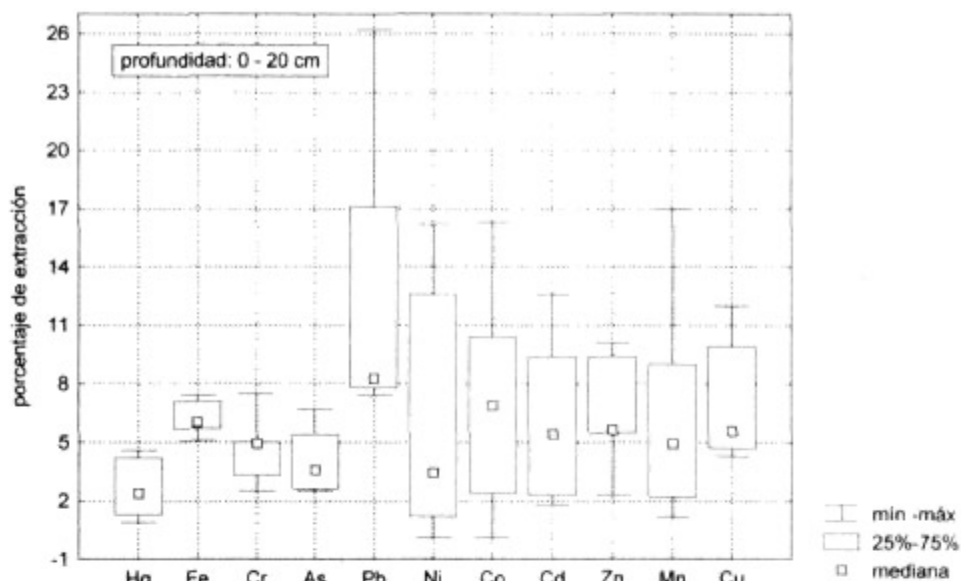


Figura 4.44a. Máximos y mínimos de la tendencia de extracción de los metales en la fracción 5 (unidos a óxidos de hierro amorfos) en suelos regados con aguas residuales industriales.

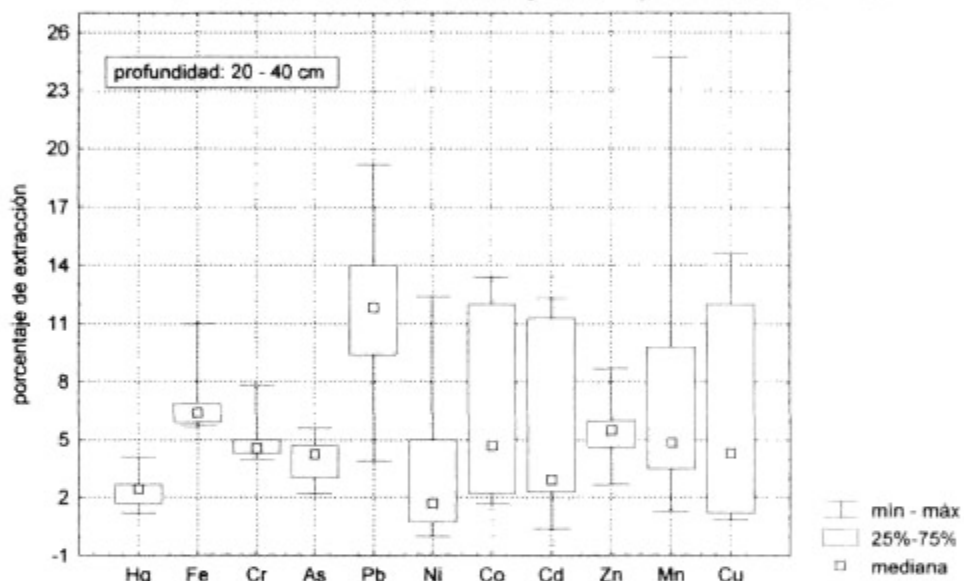


Figura 4.45a Máximos y mínimos de la tendencia de extracción de los metales en la fracción 5 (unidos a óxidos de hierro amorfos) en suelos regados con aguas residuales industriales.

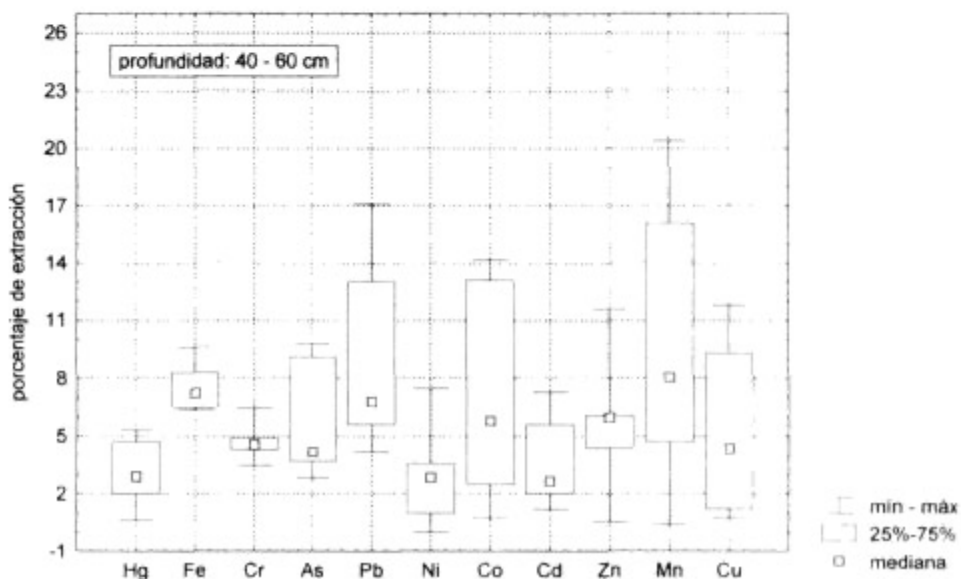


Figura 4.46a Máximos y mínimos de la tendencia de extracción de los metales en la fracción 5 (unidos a óxidos de hierro amorfos) en suelos regados con aguas residuales industriales.

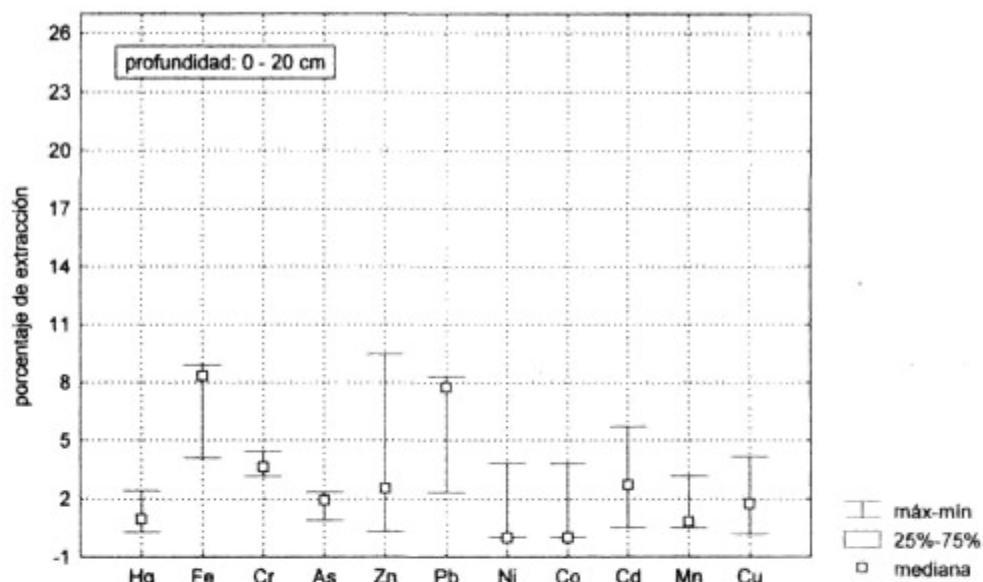


Figura 4.44b Máximos y mínimos de la tendencia de extracción de los metales en la fracción 5 (unidos a óxidos de hierro amorfos) en los suelos NO regados con aguas residuales industriales.

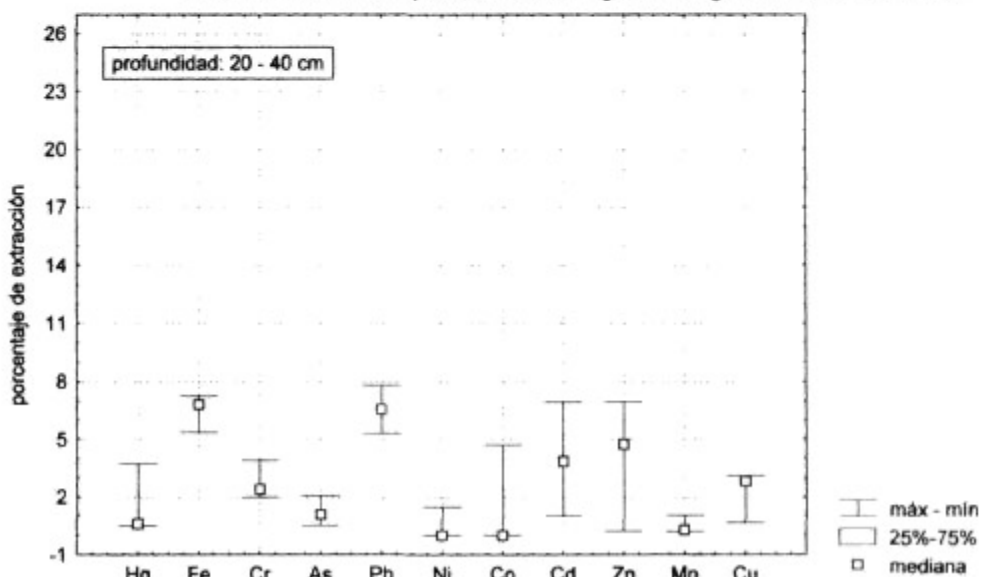


Figura 4.45b Máximos y mínimos de la tendencia de extracción de los metales en la fracción 5 (unidos a óxidos de hierro amorfos) en los suelos NO regados con aguas residuales industriales.

UNIDOS A OXIDOS DE FIERRO AMORFOS  
CLUSTERS

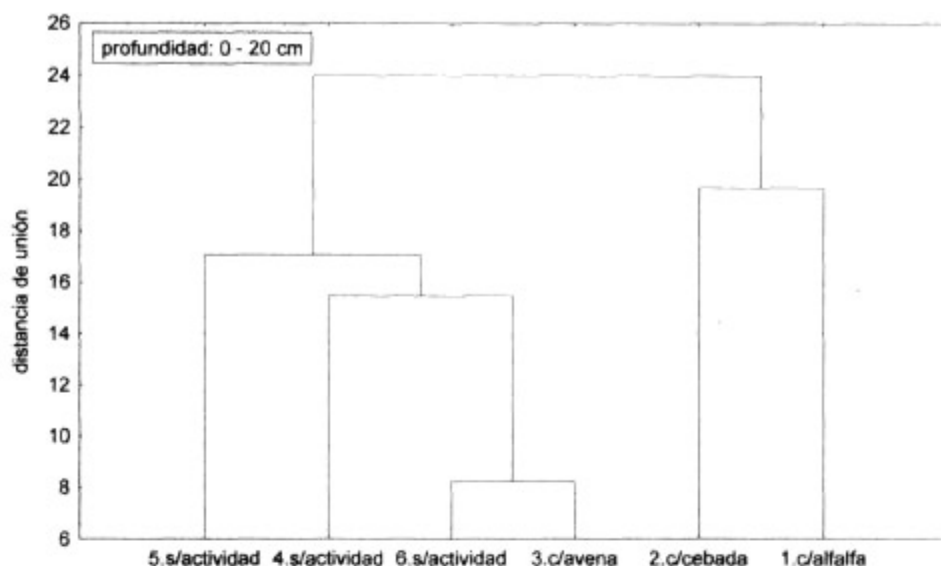


Figura 4.47 Clasificación mediante "clusters" de suelos regados con aguas residuales industriales, con relación al promedio de porcentajes de metales extraídos en la fracción 5 (unidos a óxidos de hierro amorfos).

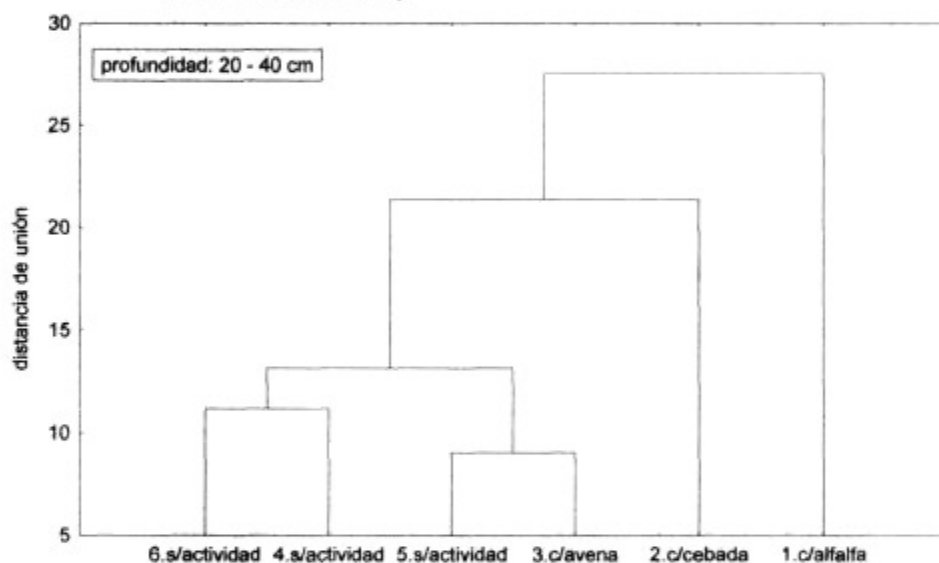


Figura 4.48a Clasificación mediante "clusters" de suelos regados con aguas residuales industriales, con relación al promedio de porcentajes de metales extraídos en la fracción 5 (unidos a óxidos de hierro amorfos).

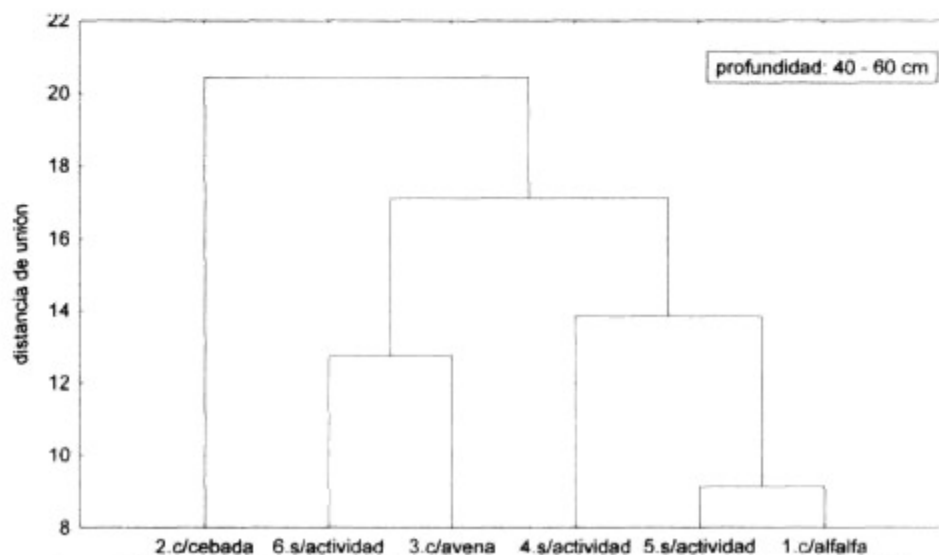


Figura 4.49. Clasificación mediante "clusters" de suelos regados con aguas residuales industriales, con relación al promedio de porcentajes de metales extraídos en la fracción 5 (unidos a óxidos de hierro amorfos).

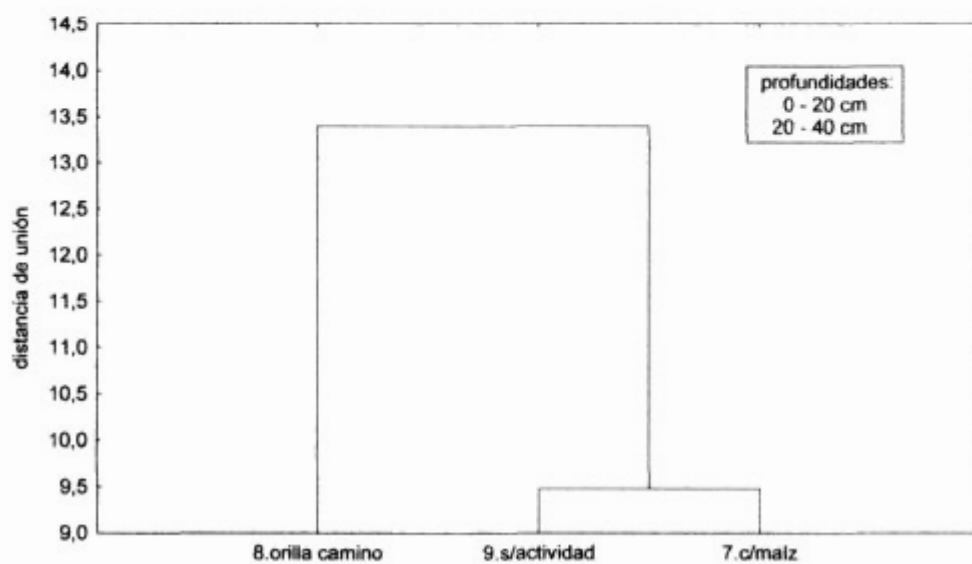


Figura 4.48b Clasificación mediante "clusters" de suelos NO regados con aguas residuales industriales, con relación al promedio de porcentajes de metales extraídos en la fracción 5 (unidos a óxidos de hierro amorfos).

**FRACCIÓN 6. METALES UNIDOS A OXIDOS DE FIERRO  
CRISTALINOS**

Suelos regados por aguas residuales

Profundidad de 0 a 20 cm

Los metales cuya extracción es menor al 10% son, en todos los sitios mercurio, arsénico, zinc, manganeso, cromo (a excepción de los sitios 5 y 6), plomo (a excepción del 2 y 3), níquel (a excepción de los sitios 2 y 6), cobalto (a excepción del sitio 4), cadmio a excepción del sitio 6 y cobre en los sitios 3, 5 y 6 (Figura 4.50a).

De 10 a 20%, fierro en todos los sitios, cromo en los sitios 5 y 6, plomo en el 2 y 3, níquel en el 2 y 6, cobre en el sitio 4.

De 20 a 33%, plomo en el sitio 2, cobalto en el 4, cadmio en el sitio 6, y cobre en los sitios 1 y 2.

La tendencia de extracción es (Figura 4.53a):

$Fe > Pb > Cr > Cu > Zn > Ni > Co > Mn > As > Cd > Hg$

Los sitios forman un solo grupo, según el diagrama de clusters (Figura 4.56). No hay diferencia en la asociación de los sitios con respecto a su actividad, como se muestra en el Cuadro 4.41.

Cuadro 4.41 Agrupación de suelos regados con aguas residuales de la fracción 6, de 0 a 20 cm

FRACCIÓN 6. UNIDOS A ÓXIDOS DE FIERRO CRISTALINOS con relación al promedio del porcentaje de metales extraídos profundidad: 0 – 20 cm		
GRUPO	SITIOS	ACTIVIDAD
I	3 y 5	con cultivo de avena y sin actividad
	1	con cultivo de alfalfa
	6	sin actividad
	2	con cultivo de cebada
	4	sin actividad

Las correlaciones significativas con relación a su extracción, entre los metales entre sí y con los parámetros edafológicos, se muestran en el Cuadro 4.42.

Cuadro 4.42 Correlaciones ( $p < 0.05$ ) de extracción en suelos regados con aguas residuales, en la fracción 6, de 0 – 20 cm

	$r$	$p$		$r$	$p$
De los metales entre sí					
Co – Mn	0.9251	0.003	Cu – Mn	0.9444	0.005
Co – Cu	0.9879	0.000	Pb – Ni	0.8489	0.033
Con los parámetros edafológicos					
Co – P	0.8945	0.016	Zn – pH	-0.9000	0.015
Mn – P	0.8334	0.039	Cu – M.O.	0.8469	0.033
Cu – P	0.9315	0.007			

#### Profundidad 20 a 40 cm

Las extracciones de metales menores al 10% son en todos los sitios, mercurio, arsénico, cobalto, cadmio, zinc (sitio 1, 10.4%), cromo (a excepción de los sitios 5 y 6), cobre (a excepción del sitio 2). Plomo en el sitio 6, y níquel en los sitios 3 y 4.

De 10 a 20%, hierro en todos los sitios, cromo en los sitios 5 y 6, plomo en los sitios 1, 3, 4 y 5, cobre en el sitio 2, y níquel en los sitios 1, 5 y 6.

De 20 a 32%, Plomo y cobre en el sitio 2 y níquel en el sitio 6 (Figura 4.51a).

La tendencia de extracción es (Figura 4.54a):



Los sitios forman 3 grupos, no hay asociación con respecto a los cultivos, de acuerdo al diagrama de clusters (4.57a), según se muestra en el Cuadro 4.43.

Cuadro 4.43. Agrupación de suelos regados con aguas residuales de la fracción 6, de 20 a 40 cm

FRACCIÓN 6. UNIDOS A ÓXIDOS DE FIERRO CRISTALINOS		
con relación al promedio del porcentaje de metales extraídos profundidad: 20 – 40 cm		
GRUPO	SITIOS	ACTIVIDAD
I	4 y 3	sin actividad y con avena
	1	con cultivo de alfalfa
II	6 y 5	ambos sin actividad
III	2	con cultivo de cebada

Las correlaciones con relación a su extracción de los metales entre si y con los parámetros edafológicos se observan en el Cuadro 4.44.



Cuadro 4.44 Correlaciones ( $p < 0.05$ ) de extracción en suelos regados con aguas residuales, en la fracción 6, de 20 – 40 cm

	r	p		r	p
De los metales entre sí					
Co – Cr	0.8964	0.016	Cd – Pb	0.9354	0.006
Co – Cu	0.9614	0.002	Cu – Cr	0.8262	0.043
Pb – Fe	0.8684	0.025			
Con los parámetros edafológicos					
Mn – P	-0.8505	0.032	Cu – M.O.	-0.8737	0.023
Cr – Cond	-0.9230	0.009			

#### Profundidad de 40 a 60 cm

En porcentaje menor al 10%, los metales extraídos en todos los sitios: mercurio, arsénico, cobalto, cadmio, manganeso, cromo (a excepción del sitio 6), y cobre (a excepción del sitio 5). Plomo en los sitios 1, 4 y 6, níquel en los sitios 3 y 4.

De 10 a 20%: fierro en todos los sitios, plomo en los sitios 2 y 3, níquel en los sitios 1 y 2, zinc en el 2 y 4, cromo en el sitio 6.

De 20 a 38%: plomo y cobre en el sitio 5, y níquel en los sitios 5 y 6 (Figura 4.52a).

La tendencia de extracción es (Figura 4.55):

Ni > Fe > Pb > Cr > Zn > Mn > Co > Cu > Cd > As > Hg

Los sitios forman dos grupos, según el diagrama de clusters (Figura 4.58), como se observa en el Cuadro 4.45.

Cuadro 4.45 Agrupación de suelos regados con aguas residuales de la fracción 6, de 40 a 60 cm

FRACCIÓN 6. UNIDOS A ÓXIDOS DE FIERRO CRISTALINOS		
con relación al promedio de porcentaje de metales extraídos profundidad: 40 – 60 cm		
GRUPO	SITIOS	ACTIVIDAD
I	1 y 4	con alfalfa y sin actividad
	2 y 3	con cebada y avena
II	5 y 6	ambos sin actividad

Las correlaciones significativas con relación a su extracción de los metales entre sí y con los parámetros edafológicos, se presentan en el Cuadro 4.46.

Cuadro 4.46 Correlaciones ( $p < 0.05$ ) de extracción en suelos regados con aguas residuales, en la fracción 6, de 40 – 60 cm

	<i>r</i>	<i>p</i>
De los metales entre sí		
Cu – Fe	-0.8485	0.033
Zn – Mn	0.8891	0.018
Cr – Cd	0.8472	0.033
Con los parámetros edafológicos		
Cd – M.O.	0.8438	0.035
Co – P	0.9770	0.001

**FRACCIÓN 6. UNIDOS A ÓXIDOS DE FIERRO CRISTALINOS**  
Suelos no regados por las aguas residuales

Profundidad de 0 a 20 cm

Los metales extraídos en un porcentaje menor al 10% son: mercurio, arsénico cadmio, manganeso, zinc y cobre; hierro y plomo en el sitio 7, níquel en el sitio 8, cobalto en los sitios 7 y 8 (Figura 4.50b).

De 10 a 20%: hierro y cromo en los sitios 8 y 9, cobalto y plomo en el sitio 9.

El sitio 8 se tiene 23% para el plomo, y 44% para el níquel en los sitios 7 y 9.

La tendencia de extracción (Figura 4.53b) es:

$Ni > Fe > Pb > Cr > Co > Mn > Zn > Cu > Cd > As > Hg$

Los sitios se agrupan como en las fracciones anteriores (Figura 4.57b), los sitios 7 y 9 forman un grupo.

Existen las siguientes correlaciones significativas con relación a su extracción de los metales entre sí y con los parámetros edafológicos, de acuerdo al Cuadro 4.47.

Cuadro 4.47 Correlaciones ( $p < 0.05$ ) de extracción en suelos no regados con aguas residuales, en la fracción 6, de 0 – 20 cm

	r	p
De los metales entre sí		
As – Cu	0.9981	0.039
Mn – Cd	-1.0000	0.005
Ni – Pb	-0.997	0.017
Con los parámetros edafológicos		
Cr – pH	-0.9995	0.021
Cr – P	1.0000	0.006

Profundidad de 20 a 40 cm:

En esta profundidad, los metales extraídos en un porcentaje menor al 10% son: en todos los sitios, mercurio, arsénico, cadmio, manganeso, el cromo en el sitio 7, níquel y cobalto en el sitio 8, y cobre en los sitios 8 y 9 (Figura 4.51b).

De 10 a 20%: en todos los sitios, hierro; cromo en los sitios 8 y 9, plomo y cobalto en los sitios 7 y 9, zinc en el sitio 9 y cobre en el sitio 7.

Los metales extraídos en porcentajes mayores al 20%: plomo en el sitio 8 y níquel en los sitios 7 y 9.

La tendencia de extracción (Figura 4.54b) puede mostrarse en la serie:

Ni > Pb > Fe > Cr > Co > Zn > Cu > Mn > Cd > As > Hg

Según el diagrama de clusters, (Figura 4.57b), se agrupan los sitios al igual que los anteriores: forman dos grupos, los sitios 7 y 9 el primero, y el segundo el sitio 8.

Existen las siguientes correlaciones significativas entre los metales extraídos y con los parámetros edafológicos, de acuerdo al Cuadro 4.48.

Cuadro 4.48 Correlaciones ( $p < 0.05$ ) de extracción en suelos no regados con aguas residuales, en la fracción 6, de 20 – 40 cm

	r	p		r	p
De los metales entre sí					
Cd – Cu	-0.9981	0.040	Pb – Zn	-1.0000	0.002
Cr – Cr	0.9987	0.032	Co – As	1.0000	0.004
Cd – Fe	-1.0000	0.005	Cr – Fe	-0.9991	0.027
Cu – Cr	-0.9999	0.008			
Con los parámetros edafológicos					
Ni – M.O.	-1.0000	0.002			

UNIDOS A OXIDOS DE FIERRO CRISTALINOS  
PORCENTAJES DE EXTRACCION

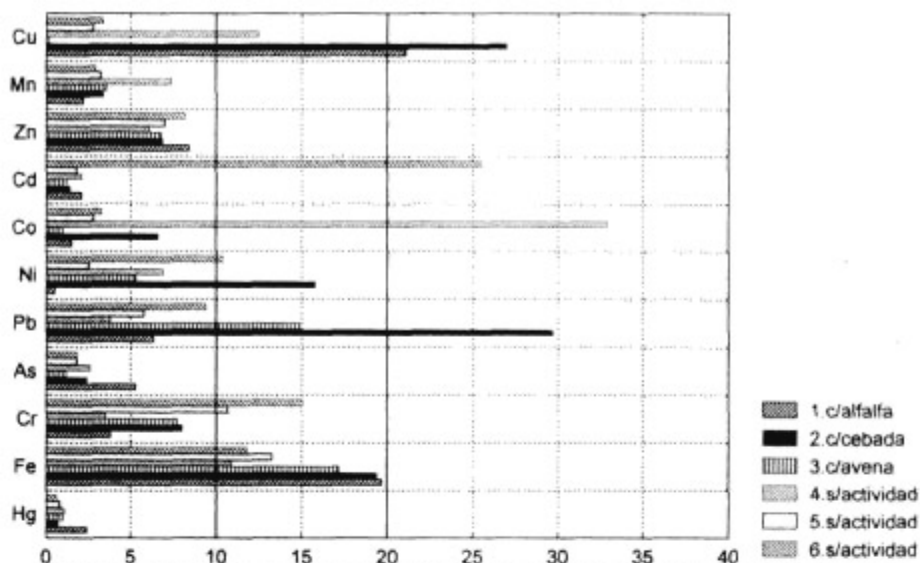


Figura 4.50a Porcentaje de metales extraídos en la fracción 6 (unidos a óxidos de hierro cristalinos) en suelos regados con aguas residuales industriales, en la profundidad de 0 a 20 cm.

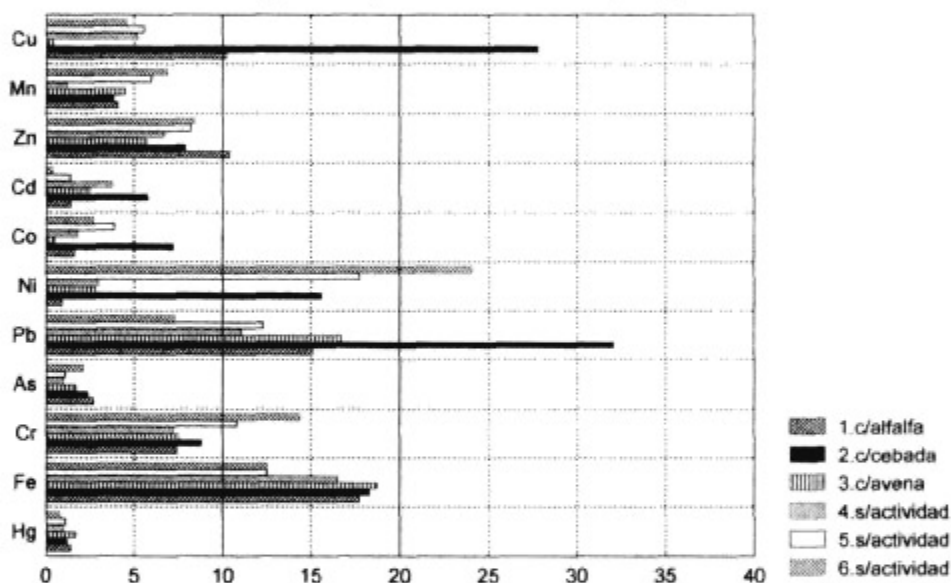


Figura 4.51a Porcentaje de metales extraídos en la fracción 6 (unidos a óxidos de hierro cristalinos) en suelos regados con aguas residuales industriales, en la profundidad de 20 a 40 cm.

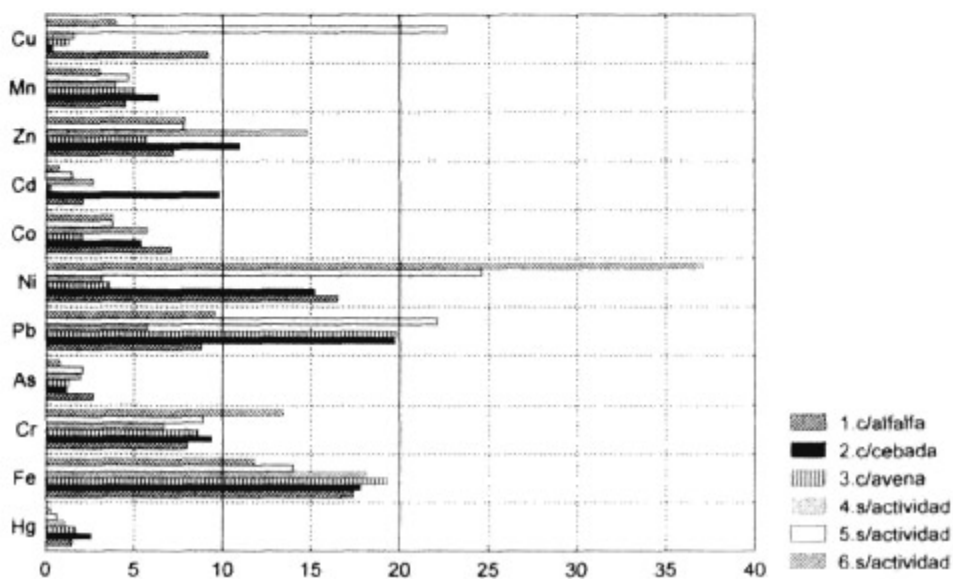


Figura 4.52a Porcentajes de metales extraídos en la fracción 6 (unidos a óxidos de hierro cristalinos) en suelos regados con aguas residuales industriales, en la profundidad de 40 a 60 cm.

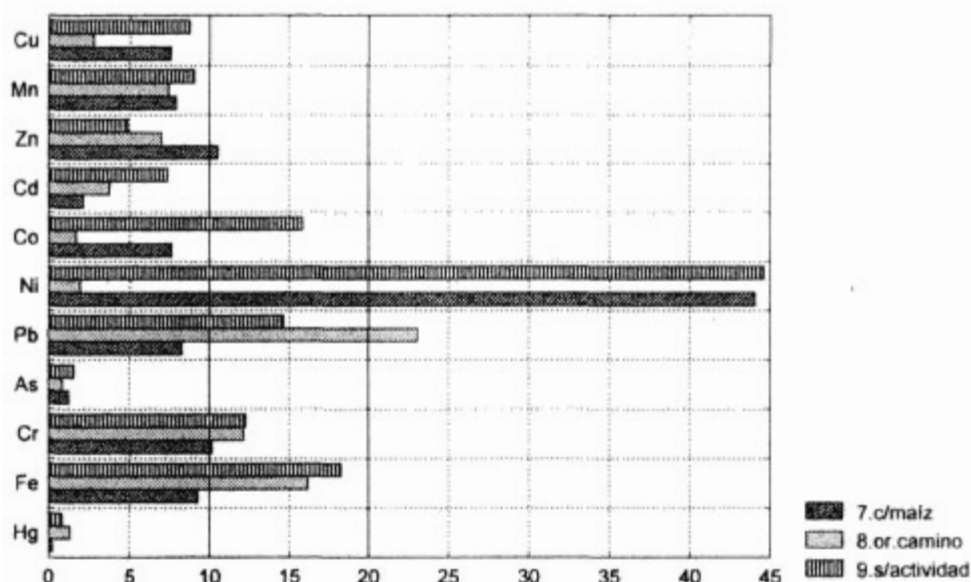


Figura 4.50b Porcentaje de metales extraídos en la fracción 6 (unidos a óxidos de hierro cristalinos) en suelos NO regados con aguas residuales industriales, en la profundidad de 0 a 20 cm.

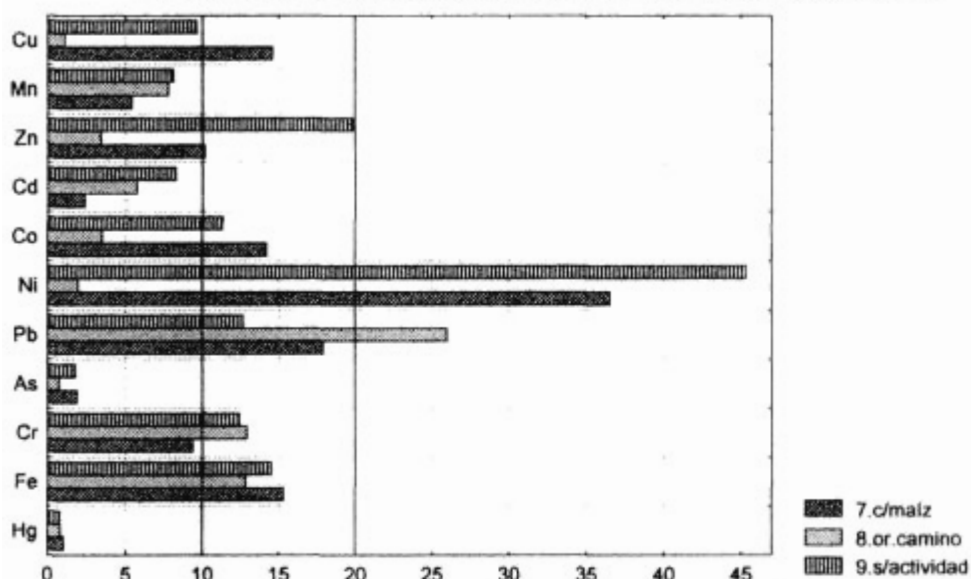


Figura 4.51b Porcentaje de metales extraídos en la fracción 6 (unidos a óxidos de hierro cristalinos) en suelos NO regados con aguas residuales industriales, en la profundidad de 20 a 40 cm.

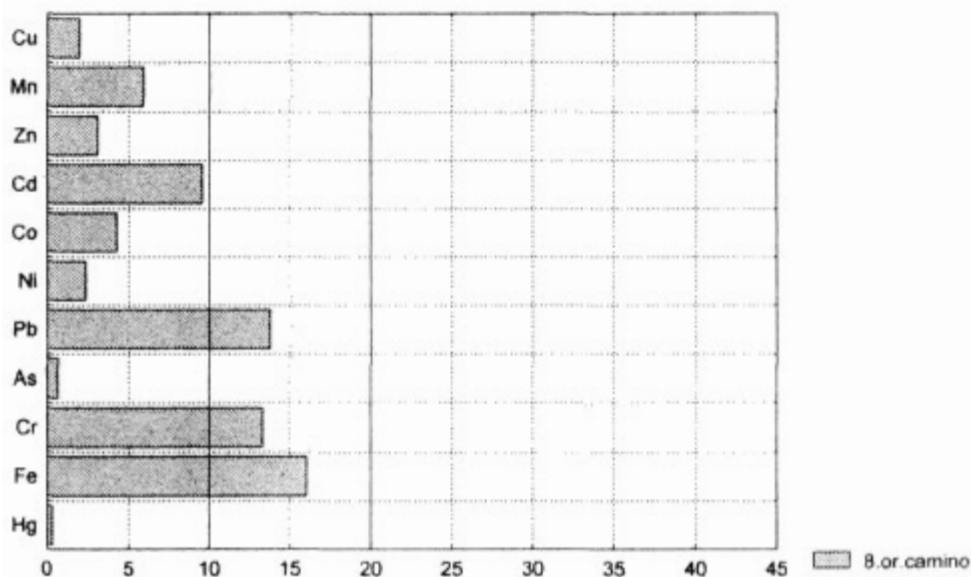


Figura 4.52b Porcentaje de metales extraídos en la fracción 6 (unidos a óxidos de hierro cristalinos) en suelos no regados con aguas residuales industriales, en la profundidad de 40 a 60 cm.

UNIDOS A OXIDOS DE FIERRO CRISTALINOS  
TENDENCIAS DE EXTRACCION

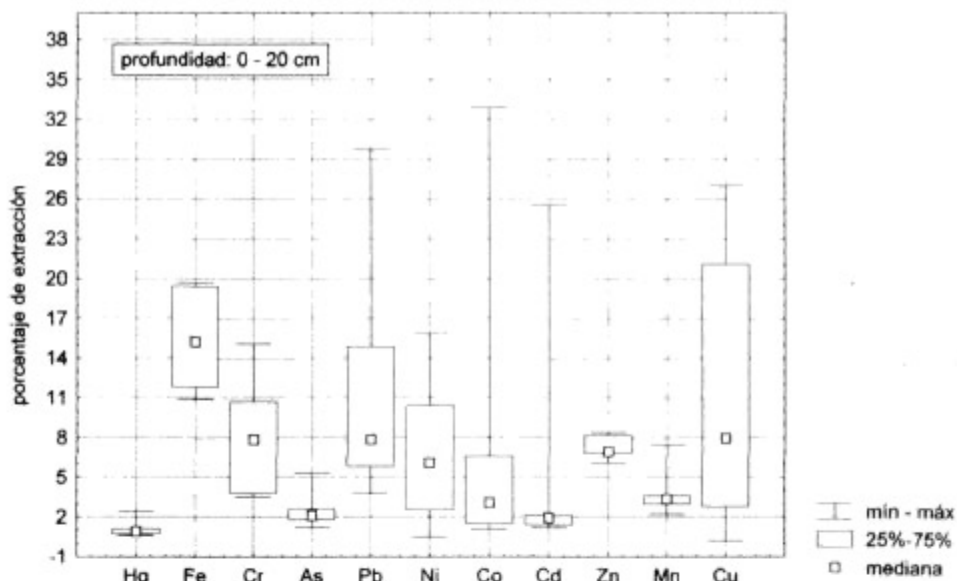


Figura 4.53a. Máximos y mínimos de la tendencia de extracción de los metales en la fracción 6 (unidos a óxidos de hierro cristalinos) en suelos regados con aguas residuales industriales.

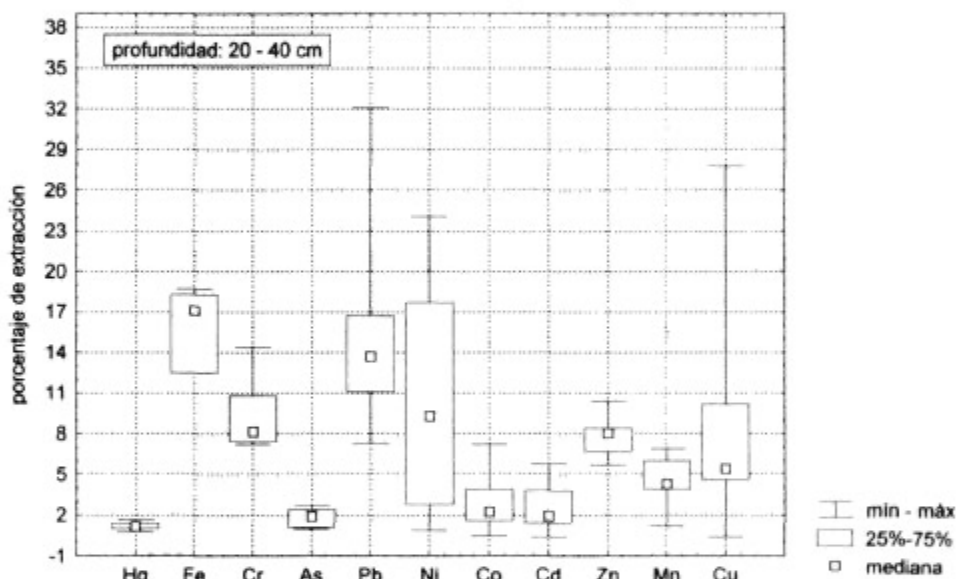


Figura 4.54a Máximos y mínimos de la tendencia de extracción de los metales en la fracción 6 (unidos a óxidos de hierro cristalinos) en suelos regados con aguas residuales industriales.

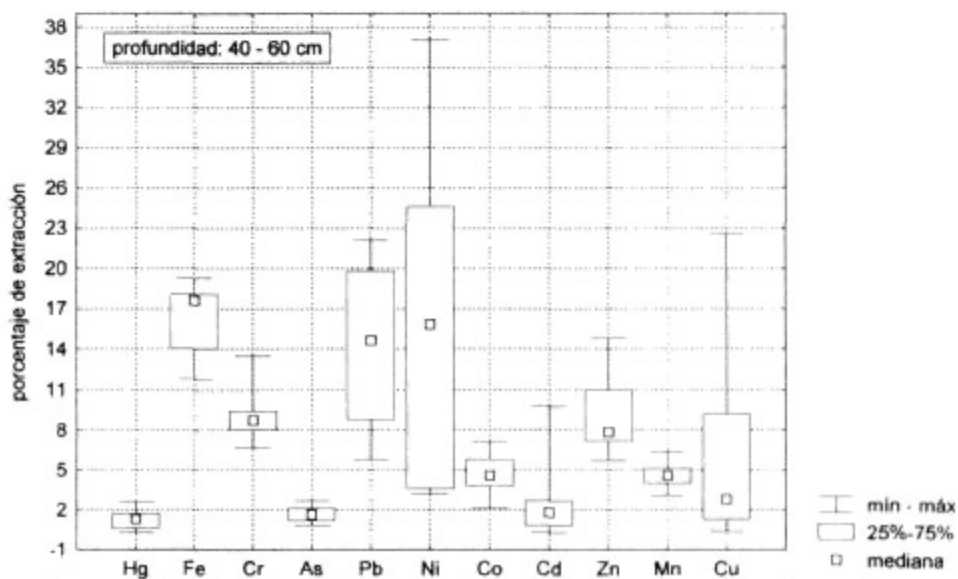


Figura 4.55 Máximos y mínimos de la tendencia de extracción de los metales en la fracción 6 (unidos a óxidos de hierro cristalinos) en suelos regados con aguas residuales industriales.



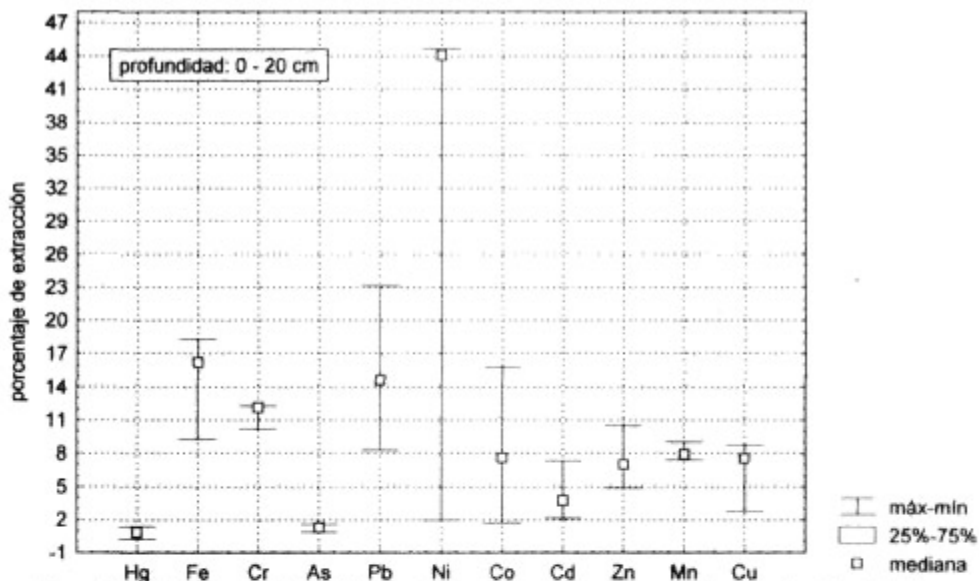


Figura 4.53b Máximos y mínimos de la tendencia de extracción de los metales en la fracción 6 (unidos a óxidos de hierro cristalinos) en los suelos NO regados con aguas residuales industriales.

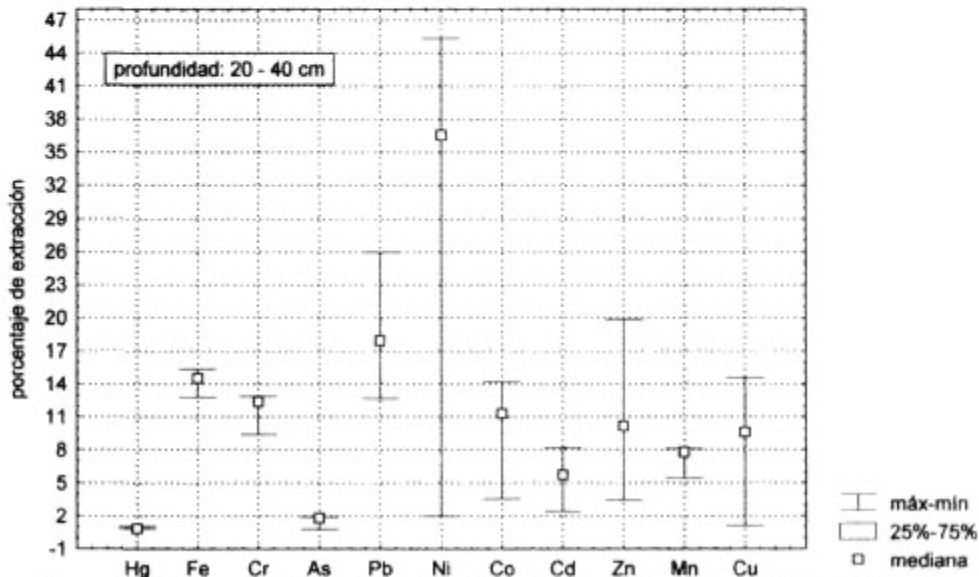


Figura 4.54b Máximos y mínimos de la tendencia de extracción de los metales en la fracción 6 (unidos a óxidos de hierro cristalinos) en los suelos NO regados con aguas residuales industriales.

UNIDOS A OXIDOS DE FIERRO CRISTALINOS  
CLUSTERS

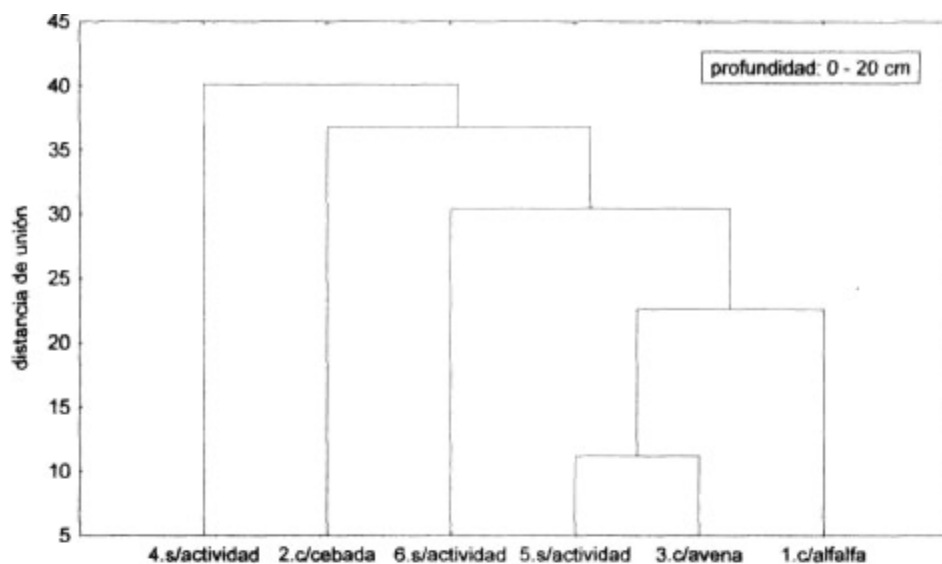


Figura 4.56 Clasificación mediante "clusters" de suelos regados con aguas residuales industriales, con relación al promedio de porcentajes de metales extraídos en la fracción 6 (unidos a óxidos de hierro cristalinos).

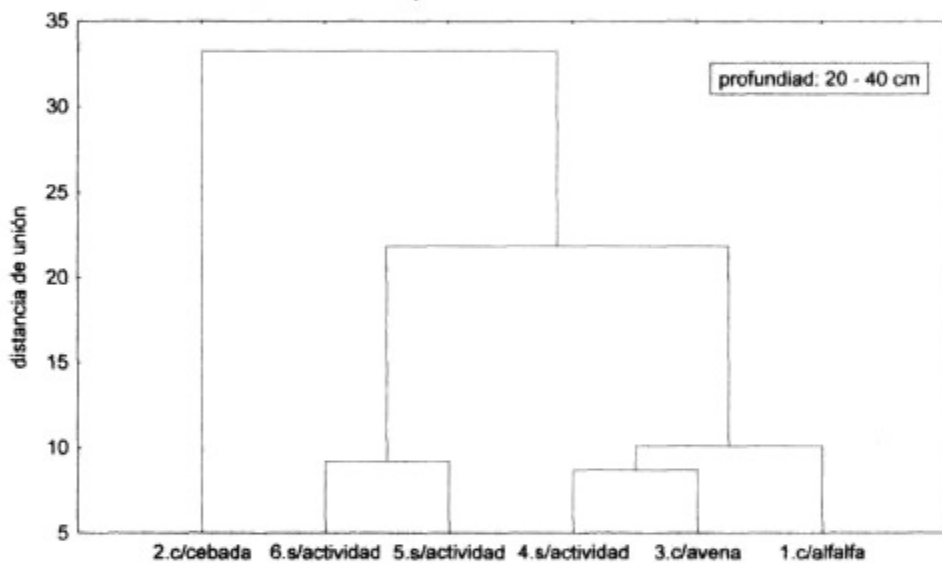


Figura 4.57a Clasificación mediante "clusters" de suelos regados con aguas residuales industriales, con relación al promedio de porcentajes de metales extraídos en la fracción 6 (unidos a óxidos de hierro cristalinos)

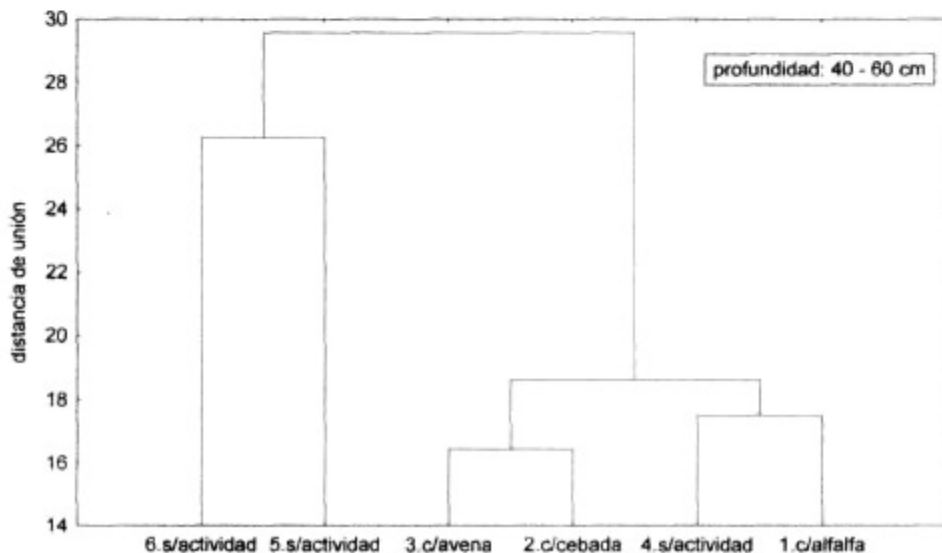


Figura 4.58 Clasificación mediante "clusters" de suelos regados con aguas residuales industriales, con relación al promedio de porcentajes de metales extraídos en la fracción 6 (unidos a óxidos de hierro cristalinos).

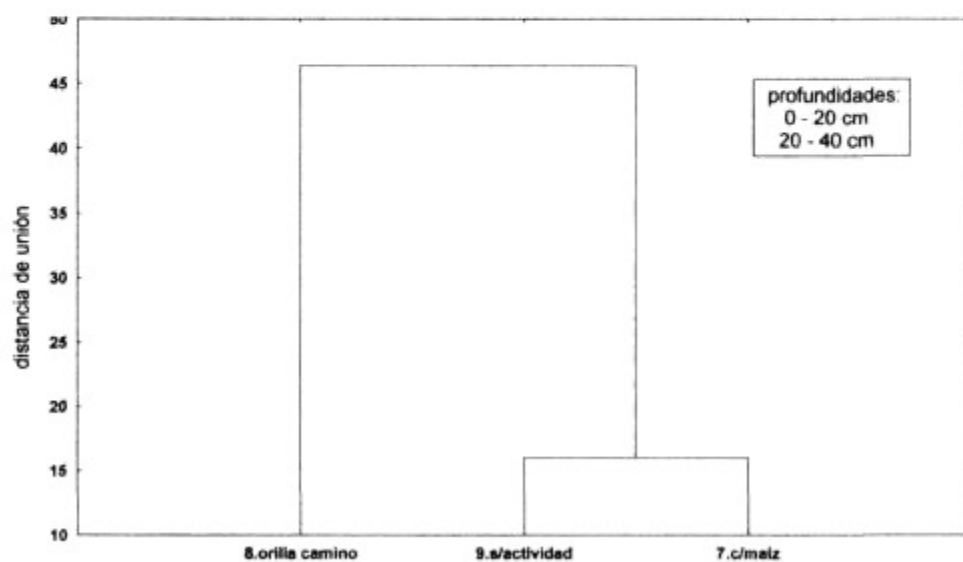


Figura 4.57b Clasificación mediante "clusters" de suelos NO regados con aguas residuales industriales, con relación al promedio de porcentajes de metales extraídos en la fracción 6 (unidos a óxidos de hierro cristalinos).

**FRACCIÓN 7. RESIDUAL**  
Suelos regados con aguas industriales

En esta fracción se encuentra la mayor parte del porcentaje de los metales.

Profundidad: 0 a 20 cm

Los metales extraídos de 9 a 60% son: en todos los sitios, cadmio, manganeso, níquel, cobre, zinc (a excepción del sitio 2), cobalto (a excepción del sitio 6), plomo (a excepción del sitio 4) y arsénico (a excepción del sitio 5).

De 60 a 80%, fierro en todos los sitios, mercurio en los sitios 2 y 3, cromo en 5, arsénico y zinc en el sitio 2, plomo en el 4 y cobalto en el sitio 6.

De 80 a 87%, mercurio en los sitios 2, 5 y 6 (Figura 4.59a).

La tendencia de extracción (Figura 4.62a) es:

Hg > Fe > As > Cr > Co > Zn > Cd > Pb > Ni > Mn > Cu

De acuerdo a los porcentajes de extracción, según el diagrama de clusters, los sitios forman 3 grupos, sin distinción de la actividad de los sitios (Figura 4.65), según se muestra en el Cuadro 4.49.

Cuadro 4.49 Agrupación de suelos regados con aguas residuales de la fracción 7, de 0 a 20 cm

FRACCIÓN 7. RESIDUAL con relación al promedio de porcentajes de metales extraídos profundidad: 0-20 cm		
GRUPO	SITIOS	ACTIVIDAD
I	1 y 3	con cultivo de alfalfa y avena
	2 y 5	con cebada y sin cultivo
	6	sin actividad
II	4	sin actividad

Las correlaciones con relación a su extracción de los metales entre sí y con los parámetros edafológicos se presentan en el Cuadro 4.50.

Cuadro 4.50 Correlaciones ( $p < 0.05$ ) de extracción en suelos regados con aguas residuales, en la fracción 7 de 0 – 20 cm

	r	p
De los metales entre si		
Cd – Cu	0.9783	0.001
As – Zn	0.9804	0.001
Fe – Mn	0.8525	0.031
Con los parámetros edafológicos		
Pb – M.O.	0.9756	0.001
Pb – P	0.8539	0.030
Zn – pH	-0.8524	0.031

#### Profundidad de 20 a 40 cm

La mayor parte de los metales son extraídos en un porcentaje inferior a 60%, en todos los sitios, plomo, manganeso, cadmio, cromo (61,5% en el sitio 5), níquel (60,9% en el sitio en el sitio 3), arsénico (a excepción de los sitios 4 y 5), cobre (a excepción del sitio 6), zinc (a excepción del sitio 2), y cobalto en los sitios 2 y 3.

De 60 a 82%, en todos los sitios, mercurio, fierro, arsénico en los sitios 4 y 5, cobre en el sitio 6, cobalto en los sitios 4, 5 y 6 y zinc en el sitio 2 (Figura 4.60a).

La tendencia de extracción (Figura 4.63a) es:

Hg > Fe > Co > Cr > As > Cd > Pb > Zn > Cu > Ni > Mn

Los sitios forman un solo grupo, similares en promedio de porcentaje de extracción, el 5 con el 1, según diagrama de clusters (Figura 4.66a), de acuerdo al Cuadro 4.51.

Cuadro 4.51 Agrupación de suelos regados con aguas residuales de la fracción 7, de 20 a 40 cm

FRACCION 7. RESIDUAL		
con relación al promedio del porcentaje de metales extraídos profundidad: 20 – 40 cm		
GRUPO	SITIOS	ACTIVIDAD
I	1 y 5	con cultivo de alfalfa y sin actividad
	4	sin actividad
	6	sin actividad
	2	con cultivo de cebada
	3	con avena

Las correlaciones seignificativas con relación a su extracción de los metales entre sí y con los parámetros edafológicos se presentan en el Cuadro 4.52.

Cuadro 4.52 Correlaciones ( $p < 0.05$ ) de extracción en suelos regados con aguas residuales, en la fracción 7, de 20 – 40 cm

	r	p		r	p
De los metales entre sí					
Co – Cr	0.8299	0.041	Hg – Fe	0.8366	0.038
Co – Mn	0.8459	0.034	Hg – Cu	-0.8527	0.031
As – Zn	0.8716	0.024	As – Ni	0.8258	0.043
Con los parámetros edafológicos					
Cr – M.O.	-0.8301	0.041	Hg – P	-0.8428	0.035

#### Profundidad de 40 a 60 cm

Al igual que en las profundidades anteriores de esta fracción, la mayor parte de los metales son extraído en un rango de 10 a 60%, en todos los sitios cromo, arsénico, níquel, manganeso, cadmio, plomo (a excepción del sitio 4), zinc (a excepción del sitio 2), cobre (a excepción de los sitios 4 y 6). Mercurio en el sitio 2 y cobalto en los sitios 2 y 4).

De 60 a 80%, fierro en todos los sitios, plomo en el sitio 4, cobre en los sitios 4 y 6, cobalto en el 3, 5 y 6, zinc en el sitio 2. Con un porcentaje de 88.80%, mercurio en el sitio 6 (Figura 4.61a).

La tendencia de extracción (Figura 4.64) es:

Hg > Fe > Pb > Cu > Co > As > Cr > Zn > Cd > Ni > Mn

Según el diagrama de clusters (Figura 4.67), los sitios forman dos grupos, uno de ellos incluye dos sitios con cultivo. Son similares el sitio 5 y 1, de acuerdo al Cuadro 4.53.

Cuadro 4.53 Agrupación de suelos regados con aguas residuales de la fracción 7, de 40 a 60 cm

FRACCION 7. RESIDUAL		
con relación al promedio de porcentaje de metales extraídos profundidad: 40 – 60 cm		
GRUPO	SITIOS	ACTIVIDAD
I	5 y 1	sin actividad y con cultivo de alfalfa
	6	sin actividad
	4	sin actividad
II	3 y 2	con cultivo de avena y sin actividad

Las correlaciones significativas con relación a su extracción de los metales entre sí y con los parámetros edafológicas se muestran en el Cuadro 4.54.

Cuadro 4.54 Correlaciones ( $p < 0.05$ ) de extracción en suelos regados con aguas residuales, en la fracción 7 de 40 - 60 cm

	$r$	$p$
De los metales entre sí		
Ni - As	0.8649	0.026
Ni - Co	0.8664	0.026
Zn - Mn	0.8825	0.020
Con los parámetros edafológicos		
Cd - Cond	0.8868	0.018

**FRACCION 7. RESIDUAL**  
Suelos no regados por las aguas residuales

Al igual que los suelos afectados, en esta fracción se extrajeron porcentajes más altos de metales.

Profundidad: 0 a 20 cm

Menor de 20%: el manganeso.

De 20 a 60%: en todos los sitios, cromo, níquel, cadmio, zinc; arsénico, a excepción del sitio 9, plomo y manganeso en los sitios 8 y 9, cobalto en el sitio 9.

De 60 a 88%: en todos los sitios, mercurio, fierro y cobre; plomo en los sitios 7 y 9, cobalto en los sitios 7 y 8 (Figura 4.59b).

La tendencia de extracción en promedio se puede observar en la siguiente serie (Figura 4.62b):

$Hg > Fe > Cu > Cio > As > Cr > Cd > Zn > Pb > Ni > Mn$

Los sitios se agrupan al igual que los anteriores, forman dos grupos, los sitios 7 y 9 forman el primero y el segundo, el sitio 8 (Figura 4.66b).

Las correlaciones significativas con relación a su extracción de los metales entre sí y con los parámetros edafológicos, se muestran en el Cuadro 4.55.



Cuadro 4.55 Correlaciones ( $p < 0.05$ ) de extracción en suelos no regados con aguas residuales, en la fracción 7, de 0 – 20 cm

	<i>r</i>	<i>p</i>
De los metales entre sí		
As – Ni	-0.9990	0.028
Co – Hg	1.0000	0.006
Zn – Fe	0.9972	0.048

Profundidad: 20 40 cm:

Todos los metales extraídos se encuentran entre el 30 y 88% (Figura 4.60b).

La tendencia de extracción conforma la serie siguiente (Figura 4.63b):

Hg > Fe > Cu > As > Cr > Co > Zn > Pb = Cd > Ni > Mn

Nuevamente los sitios forman dos grupos; el primero, los sitios 7 y 9 y el segundo lo constituye el sitio 8 (Figura 4.66b).

Las correlaciones significativas con relación a su extracción, de los metales entre sí y con los parámetros edafológicos, se presentan en el Cuadro 4.56.

Cuadro 4.56 Correlaciones ( $p < 0.05$ ) de extracción en suelos no regados con aguas residuales, en la fracción 7 de 20 –40 cm

	<i>r</i>	<i>p</i>
De los metales entre sí		
Mn – Cd	0.9983	0.037
Zn – Ni	-1.0000	0.006
Con los parámetros edafológicos		
Ni – M. O.	0.9998	0.011

RESIDUAL  
PORCENTAJES DE EXTRACCION

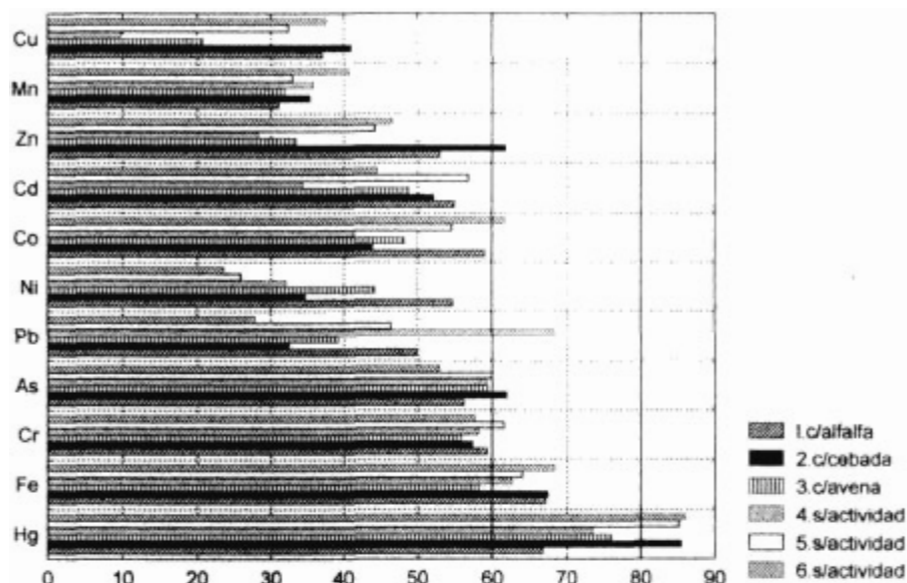


Figura 4.59a Porcentaje de metales extraídos en la fracción 7 (residual) en suelos regados con aguas residuales industriales, en la profundidad de 0 a 20 cm.

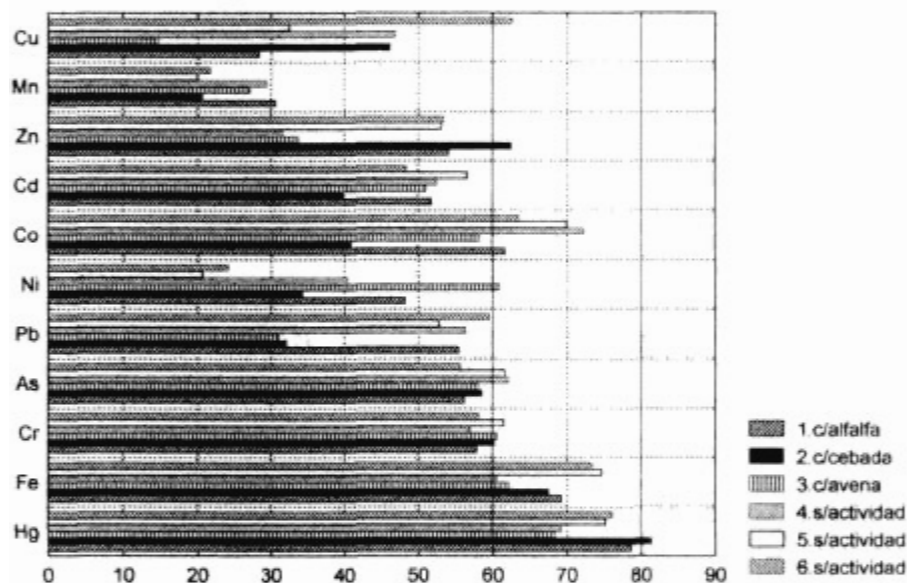


Figura 4.60a Porcentaje de metales extraídos en la fracción 7 (residual) en suelos regados con aguas residuales industriales, en la profundidad de 20 a 40 cm.

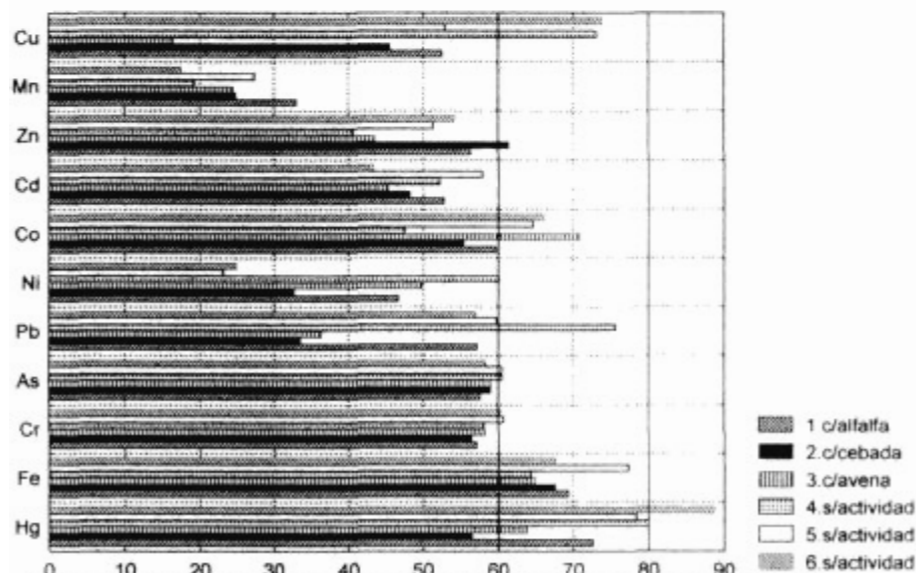


Figura 4.61a Porcentaje de metales extraídos en la fracción 7 (residual) en suelos regados con aguas residuales industriales, en la profundidad de 40 a 60 cm.

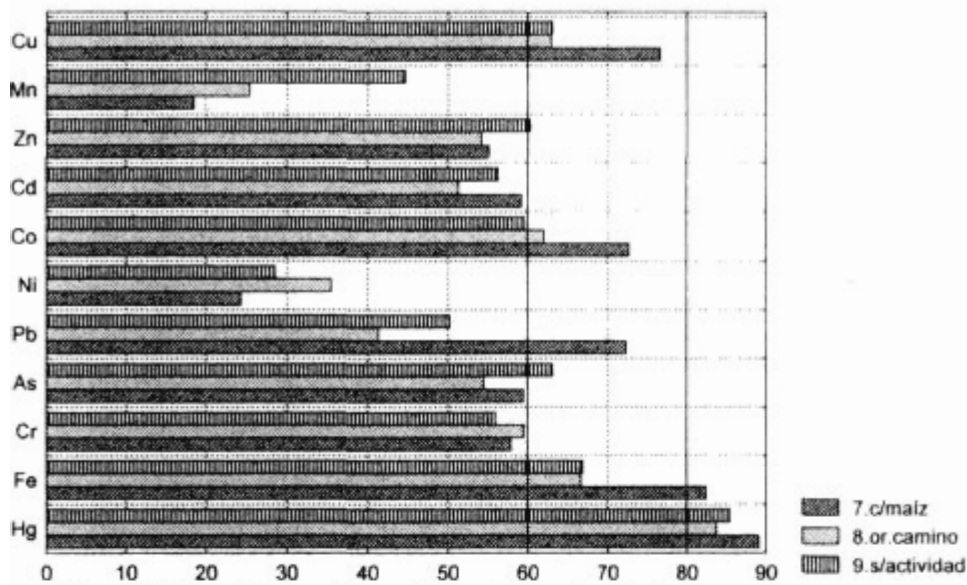


Figura 4.59b Porcentaje de metales extraídos en la fracción 7 (residual) en suelos NO regados con aguas residuales industriales, en la profundidad de 0 a 20 cm.

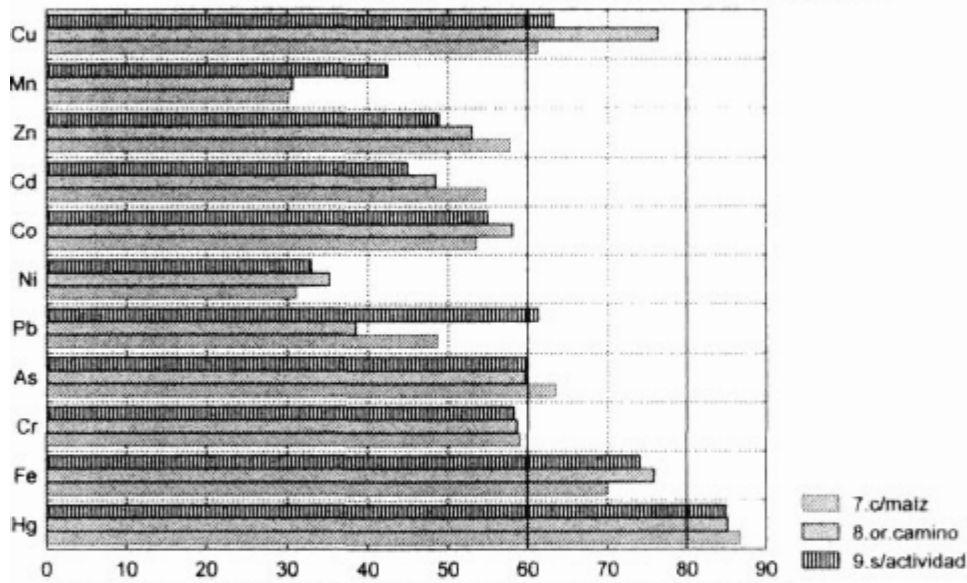


Figura 4.60b Porcentajes de metales extraídos en la fracción 7 (Residual) en suelos NO regados con aguas residuales industriales, en la profundidad de 20 a 40 cm.

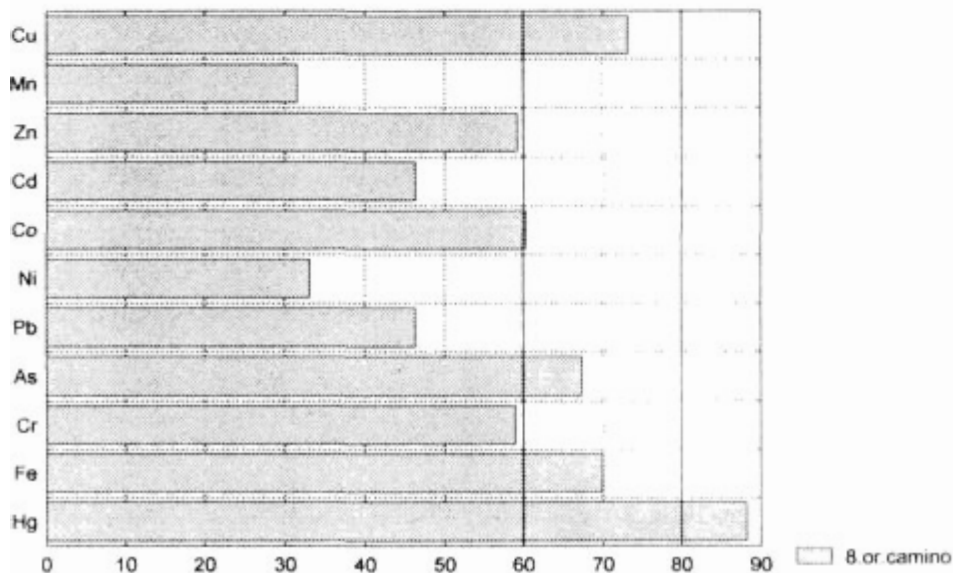


Figura 4.61b Porcentaje de metales extraídos en la fracción 7 (Residual) en suelos NO regados con aguas residuales industriales, en la profundidad de 40 a 60 cm.

RESIDUAL  
TENDENCIAS DE EXTRACCION

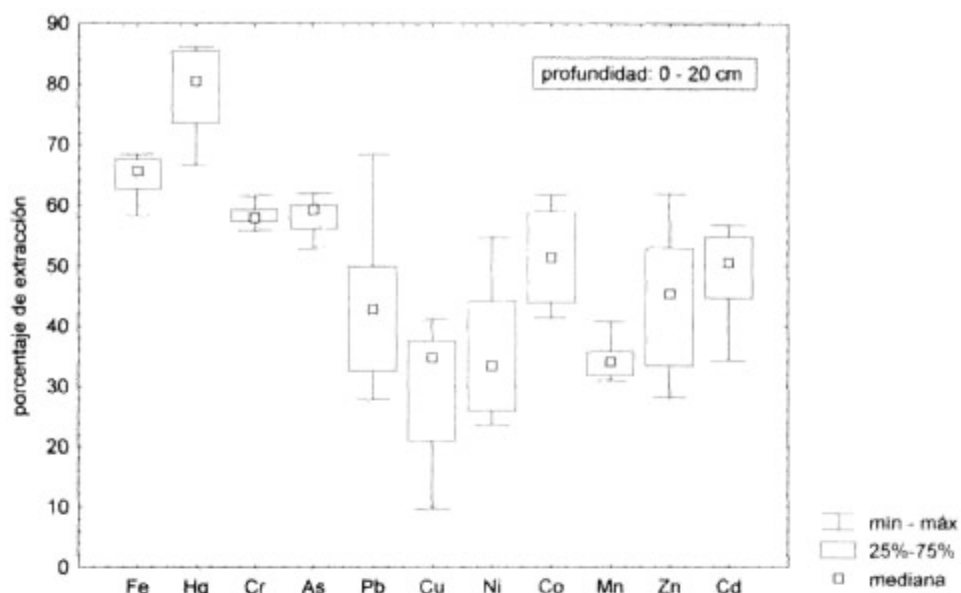


Figura 4.62a Máximos y mínimos de la tendencia de extracción de los metales en la fracción 7 (residual) en suelos regados con aguas residuales industriales.

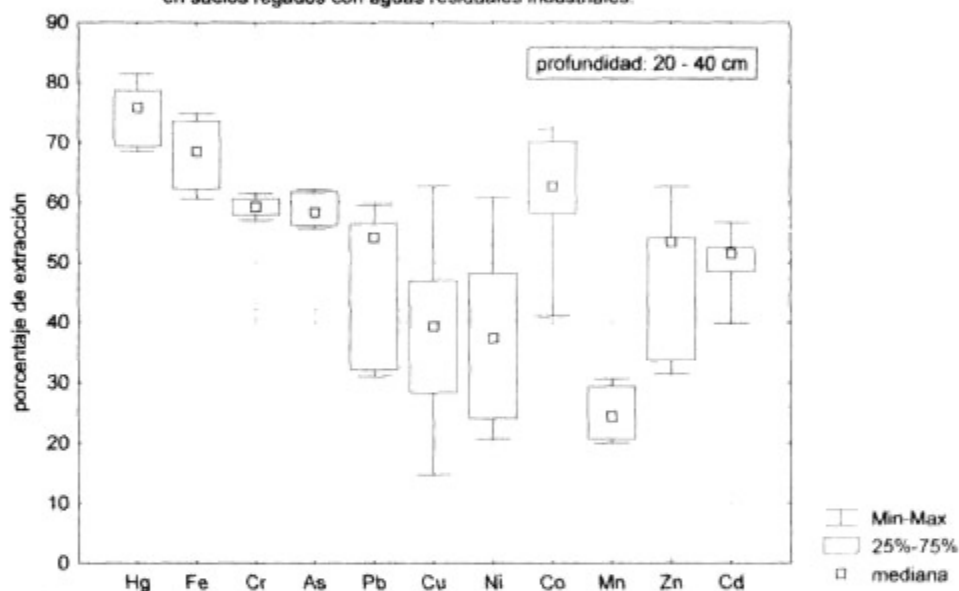


Figura 4.63a Máximos y mínimos de la tendencia de extracción de los metales en la fracción 7 (residual) en suelos regados con aguas residuales industriales.

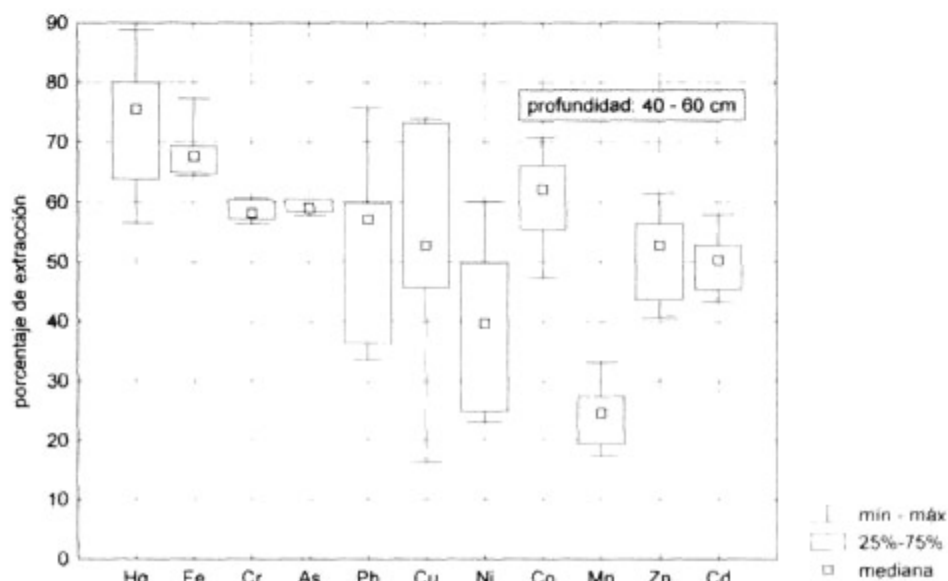


Figura 4.64 Máximos y mínimos de la tendencia de extracción de los metales en la fracción 7 (residual) en suelos regados con aguas residuales industriales.

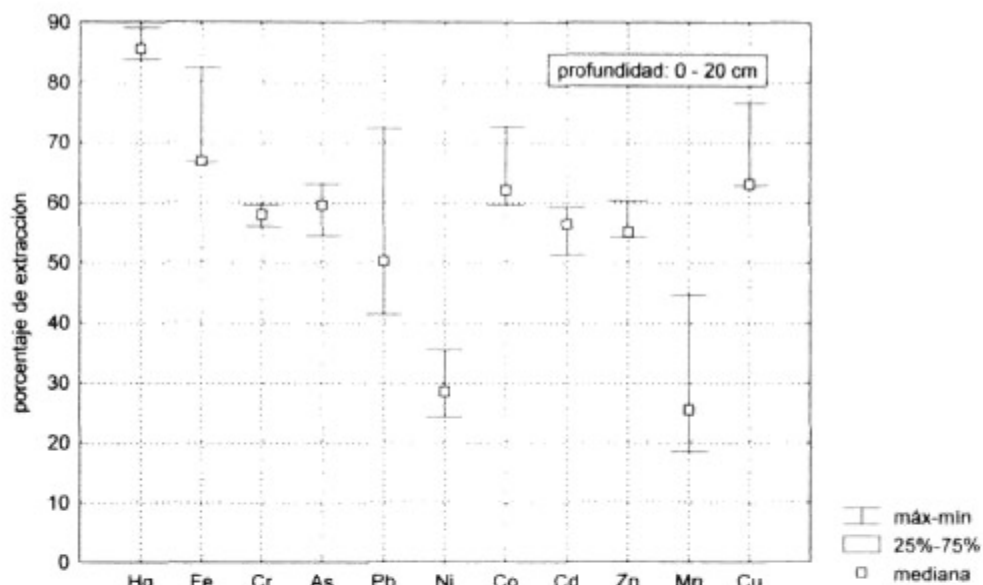


Figura 4.62b Máximos y mínimos de la tendencia de extracción de los metales en la fracción 7 (residual) en los sitios NO regados con aguas residuales industriales.

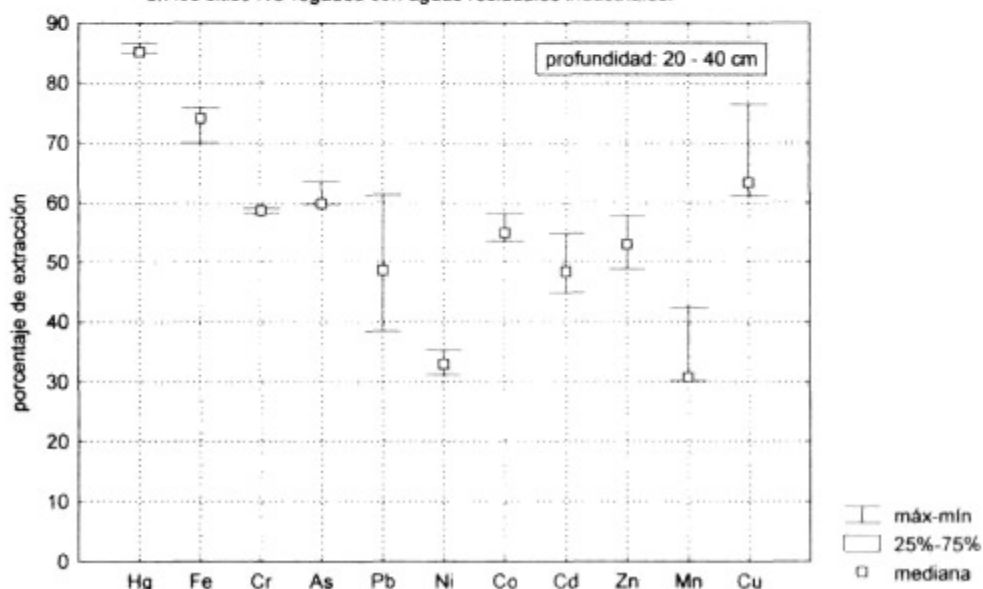


Figura 4.63b Máximos y mínimos de la tendencia de extracción de los metales en la fracción 7 (residual) en los sitios NO regados con aguas residuales industriales.

RESIDUAL  
CLUSTERS



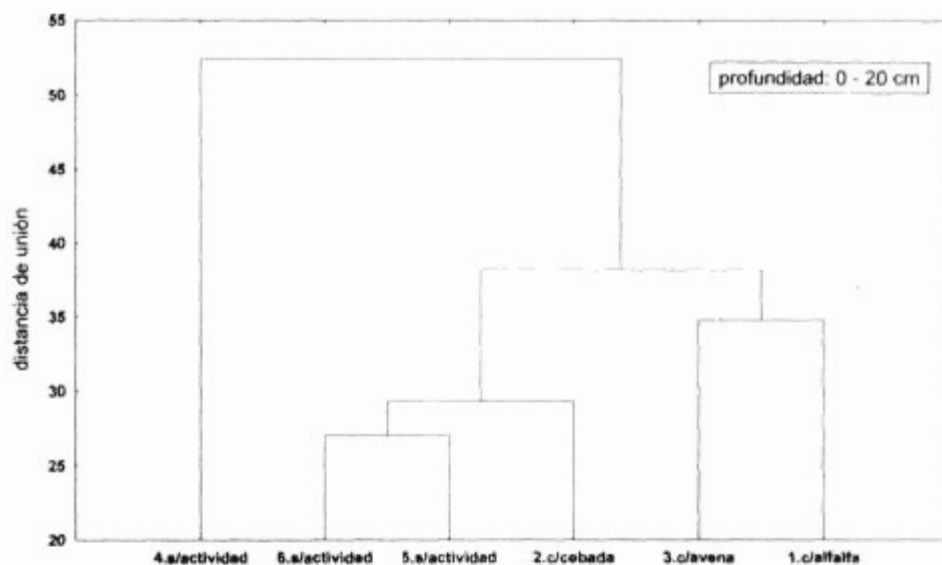


Figura 4.65 Clasificación mediante "clusters" de suelos regados con aguas residuales industriales, con relación al promedio de porcentajes de metales extraídos en la fracción 7 (residual).

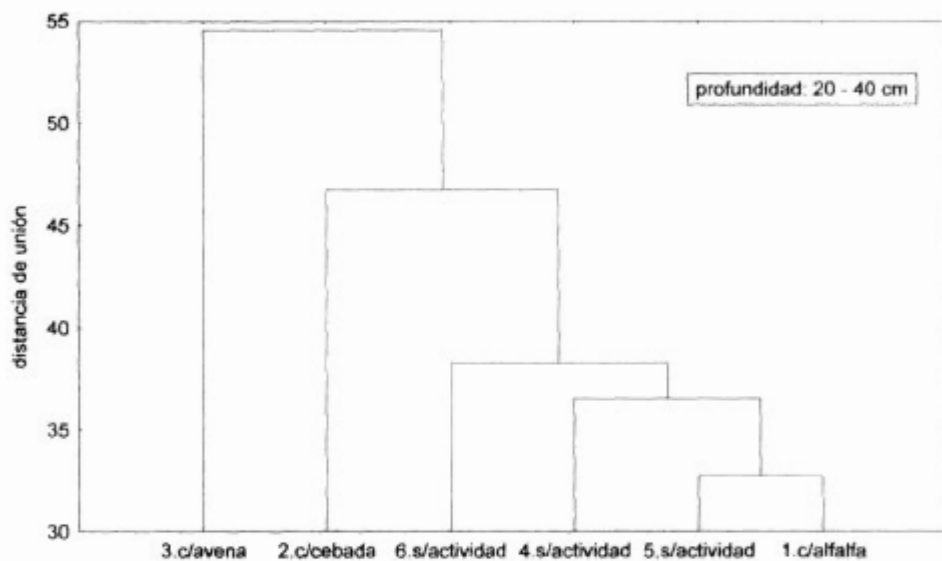


Figura 4.66a Clasificación mediante "clusters" de suelos regados con aguas residuales industriales, con relación al promedio de porcentajes de metales extraídos en la fracción 7 (residual).

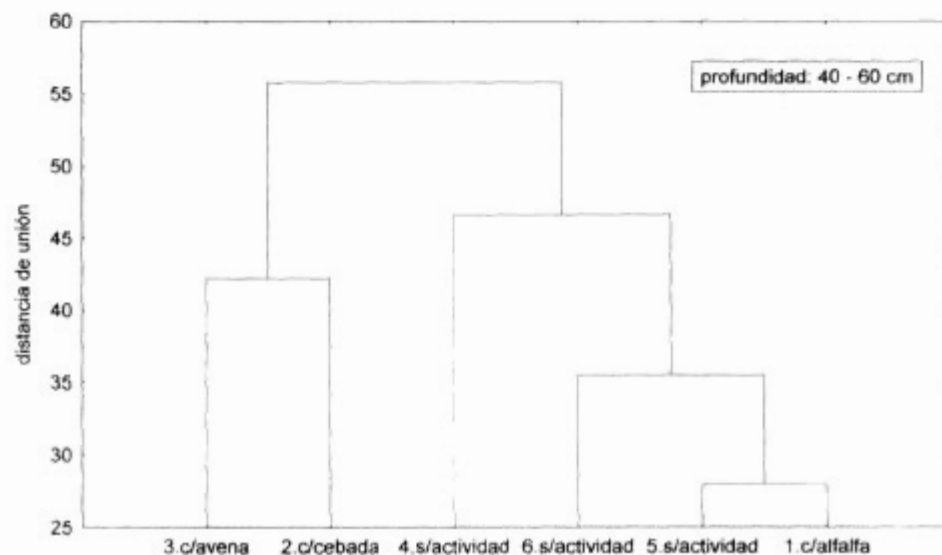


Figura 4.67 Clasificación mediante "clusters" de suelos regados con aguas residuales industriales, con relación al promedio de porcentajes de metales extraídos en la fracción 7 (residual).

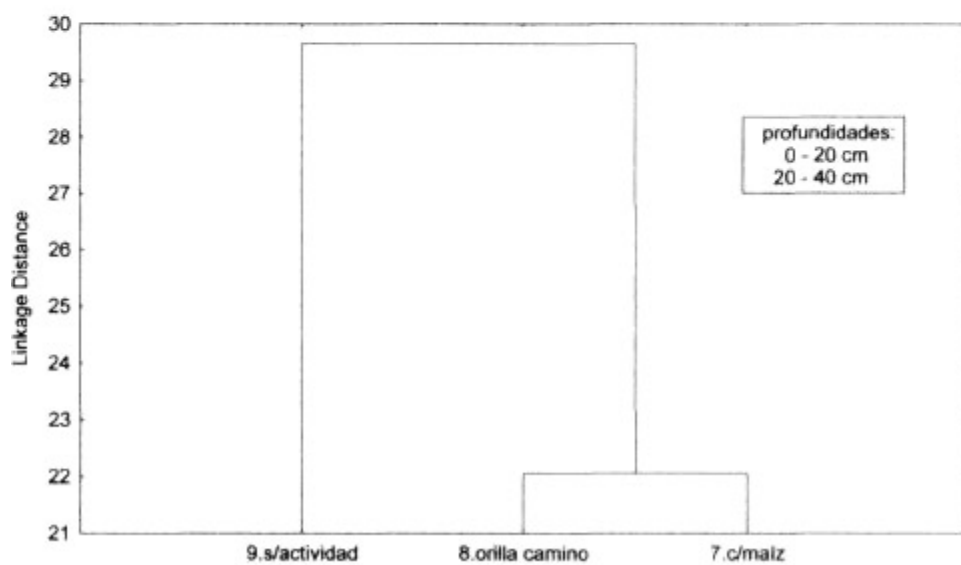


Figura 4.66b Clasificación mediante "clusters" de suelos NO regados con aguas residuales industriales, con relación al promedio de porcentajes de metales extraídos en la fracción 7 (residual).

Cuadro 4.57 Series de tendencia de extracción de las siete fracciones y de las tres profundidades

SUELO	FRACCION	SERIES A PROFUNDIDAD DE 0 A 20 CM	SERIES A PROFUNDIDAD DE 20 A 40 CM	SERIES A PROFUNDIDAD DE 40 A 60 CM
Regado con aguas residuales	Intercambiables	Mn > Cd > Ni > Zn > Co > Cu > Cr > As > Hg >> Pb >> Fe	Mn > Cd > Ni > Zn > Cu > Co > Pb > Cr > As > Hg >> Fe	Cd > Mn > Ni > Cr > As > Hg > Zn > Co > Pb > Cu >> Fe
Sin influencia de aguas residuales		Mn > Cr > As > Ni > Zn > Hg > Cu > Cd > Co > Pb > Fe	Mn > Cr > Co > As > Hg > Cd > Ni > Zn > Cu > Pb > Fe	
Regados con aguas residuales	Formando compuestos organometálicos	Cu > As > Zn > Ni > Fe > Pb > Co > Mn > Cr > Hg > Cd	Cu > Ni > As > Zn > Hg > Co > Mn > Cr > Pb > Fe > Cd	Cu > As > Ni > Zn > Hg > Co > Cr > Pb > Cd > Mn > Fe
Sin influencia de aguas residuales		As > Ni > Zn > Cd > Cu > Pb > Hg > Mn > Co > Cr > Fe	As > Ni > Cu > Zn > Pb > Cd > Hg > Mn > Co > Cr > Fe	
Regados con aguas residuales	Unidos a óxidos de manganeso	Co > As > Cu > Fe > Hg > Ni > Pb > Zn > Mn > Cr > Cd	Co > Ni > Hg > As > Mn > Pb > Cr > Zn > Fe > Cu > Cd	Ni > Mn > As > Hg > Co > Zn > Cu > Fe > Cr > Pb >> Cd
Sin influencia de aguas residuales		Cd > Cu > Ni > As > Mn > Pb > Co > Fe > Cr > Zn > Hg	Cd > Co > Cu > As > Pb > Mn > Zn > Ni > Hg > Fe > Cr	
Regados con aguas residuales	Unidos a materia orgánica	Mn > Pb > Cd > Zn > Cu > Co > Cr > Ni > As > Hg > Fe	Mn > Cd > Zn > Cu > Co > Ni > Pb > Cr > As > Hg > Fe	Mn > Cd > Zn > Pb > Ni > Cr > As > Cu > Hg > Fe
Sin influencia de aguas residuales		Mn > Zn > Ni > Pb > Co > Cd > Cr > As > Hg > Fe > Cu	Cd > Mn > Pb > Co > Zn > Ni > Cr > As > Fe > Cu > Hg	
Regados con aguas residuales	Unidos a óxidos de fierro amorfos	Pb > Co > Fe > Zn > Cd > Cu > Mn > Cr > As > Ni > Hg	Pb > Fe > Zn > Mn > Cr > As > Co > Cu > Cd > Hg > Ni	Mn > Pb > Fe > Zn > Co > Cu > As > Cr > Ni > Hg > Cd
Sin influencia de aguas residuales		Fe > Pb > Cr > Cd > Zn > As > Cu > Hg > Mn > Ni > Co	Fe > Pb > Zn > Cd > Cu > Cr > As > Hg > Mn > Ni > Co	
Regados con aguas residuales	Unidos a óxidos de fierro cristalinos	Fe > Pb > Cr > Cu > Zn > Ni > Co > Mn > As > Cd > Hg	Pb > Fe > Ni > Cr > Zn > Cu > Mn > Co > Cd > As > Hg	Ni > Fe > Pb > Cr > Zn > Mn > Co > Cu > Cd > As > Hg
Sin influencia de aguas residuales		Ni > Fe > Pb > Cr > Co > Mn > Zn > Cu > Cd > As > Hg	Ni > Pb > Fe > Cr > Co > Zn > Cu > Mn > Cd > As > Hg	
Regados con aguas residuales	Residual	Hg > Fe > As > Cr > Co > Zn > Cd > Pb > Ni > Mn > Cu	Hg > Fe > Co > Cr > As > Cd > Pb > Zn > Cu > Ni > Mn	Hg > Fe > Pb > Cu > Co > As > Cr > Zn > Cd > Ni > Mn
Sin influencia de aguas residuales		Hg > Fe > Cu > Co > As > Cr > Cd > Zn > Pb > Ni > Mn	Hg > Fe > Cu > As > Cr > Co > Zn > Pb > Cd > Ni > Mn	

#### 4.4 Correlación entre las extracciones individuales con nitrato de amonio y EDTA con las extracciones secuenciales.

De los once metales estudiados, sólo se obtuvo regresiones del nitrato de amonio con el cobre, cadmio, cobalto, plomo y manganeso; y zinc. Con el EDTA, regresiones con el cobre, cadmio, cobalto, plomo, zinc, y fierro.

En los suelos de los sitios regados con aguas residuales industriales, utilizando las regresiones lineales significativas ( $p=0.05$ ) entre las concentraciones de los metales extraídos con nitrato de amonio y las concentraciones obtenidas en las extracciones de las fracciones, se obtuvieron las siguientes ecuaciones de regresión significativas ( $p = 0.05$ ), por medio del método de regresión "stepwise":

##### Cobre:

0 a 20 cm

$$\log \text{Cu (NH}_4\text{NO}_3) = 1.379 \log \text{Cu(fracción 2)} + 0.370 \log \text{Cu(fracción 4)} - 0.042 \log \text{Cu(fracción 1)} + 5.965 \log (\text{pH}) - 4.791 \quad r^2 = 0.999$$

$$y (\text{EDTA}) = 2.403 \text{Cu(fracción 2)} - 6.341 \text{Cu(fracción 1)} + 3.701 \text{Cu(fracción 7)} - 18.746 \quad r^2 = 0.995$$

0 a 40 cm

$$y (\text{NH}_4\text{NO}_3) = 0.207 \text{Cu (fracción 4)} - 0.0107 \text{Cu (fracción 2)} + 0.163 \text{Cu(fracción 3)} - 0.040 \text{Cu(fracción 5)} - 0.063 \quad r^2 = 0.999$$

$$y (\text{EDTA}) = 3.068 \text{Cu(fracción 1)} + 4.347 \text{Cu(fracción 4)} - 2.901 \text{Cu(fracción 5)} + 1.260 \text{Cu(fracción 2)} - 0.8327 \quad r^2 = 0.999$$

40 a 60 cm

$$y(\text{EDTA}) = 1.406 \text{Cu(fracción 4)} - 1.135 \text{Cu(fracción 5)} + 0.240 \text{Cu(fracción 2)} + 0.3843 \quad r^2 = 0.993$$

##### Cadmio

0 a 20 cm

$$y(\text{NH}_4\text{NO}_3) = 1.158 \text{Cd(fracción 1)} + 0.7261 \text{Cd(fracción 7)} - 1.150 \quad r^2 = 0.959$$

$$y(\text{EDTA}) = 2.417 \text{Cd(fracción 1)} + 0.430 \quad r^2 = 0.812$$

20 a 40 cm

$$y(\text{EDTA}) = 2.786 \text{Cd(fracción 1)} - 0.2452 \quad r^2 = 0.826$$

40 a 60 cm

$$y(\text{NH}_4\text{NO}_3) = 0.2574 \text{Cd(fracción 1)} + 0.002 \quad r^2 = 0.737$$

##### Cobalto

0 a 20 cm

$$y(\text{EDTA}) = 0.3971 \text{Co (fracción 2)} + 1.226 \quad r^2 = 0.737$$

20 a 40 cm

$$y(\text{NH}_4\text{NO}_3) = 0.0612 \text{Co(fracción 1)} - 0.300 (\text{pH}) + 2.084 \quad r^2 = 0.964$$

**Plomo**

0 a 20 cm

$$\log(\text{NH}_4\text{NO}_3) = -0.2359 \text{ Pb}(\text{fracción 2}) - 0.5389 \quad r^2=0.799$$

20 a 40 cm

$$y(\text{NH}_4\text{NO}_3) = 0.3650 \text{ Pb}(\text{fracción 1}) + 0.250 \quad r^2=0.745$$

$$y(\text{EDTA}) = 1.229 \text{ Pb}(\text{fracción 2}) + 1.346 \quad r^2=0.697$$

**Manganeso**

0 a 20 cm

$$y(\text{NH}_4\text{NO}_3) = 0.3676 \text{ Mn}(\text{fracción 1}) - 0.3259 \text{ Mn}(\text{fracción 4}) + 0.5929 \text{ Mn}(\text{fracción 7}) + 0.0983 \text{ Mn}(\text{fracción 5}) + 3.0314 \quad r^2=0.999$$

40 a 60 cm

$$y(\text{NH}_4\text{NO}_3) = 0.2405 \text{ Mn}(\text{fracción 1}) - 0.9138 \text{ Mn}(\text{fracción 3}) + 4.087 \text{ Mn}(\text{fracción 6}) - 27.17(\text{pH}) + 156.57 \quad r^2=0.998$$

**Zinc**

0 a 20 cm

$$y(\text{NH}_4\text{NO}_3) = 1.530 \text{ Zn}(\text{fracción 5}) - 3.622 \quad r^2=0.902$$

20 a 40 cm

$$y(\text{NH}_4\text{NO}_3) = 0.8604 \text{ Zn}(\text{fracción 1}) + 0.5581 \text{ Zn}(\text{fracción 4}) - 0.6183 \text{ Zn}(\text{fracción 5}) - 0.4153 \text{ Zn}(\text{fracción 2}) - 1.053 \quad r^2=0.999$$

$$y(\text{EDTA}) = 1.014 \text{ Zn}(\text{fracción 2}) + 1.8123 (\text{fracción 4}) - 2.106(\text{fracción 5}) - 11.22 \quad r^2=0.998$$

40 a 60 cm

$$y(\text{NH}_4\text{NO}_3) = 3.404 \text{ Zn}(\text{fracción 2}) - 1.005 \quad r^2=0.704$$

**Fierro**

0 a 20 cm

$$y(\text{EDTA}) = 1.338 \text{ Fe}(\text{fracción 2}) + 3.619 \text{ Fe}(\text{fracción 5}) - 149.885 \quad r^2=0.885$$

20 a 40 cm

$$y(\text{EDTA}) = 1.322 \text{ Fe}(\text{fracción 2}) + 7.890 (\text{P}) + 2.900 \quad r^2=0.979$$

40 a 60 cm

$$y(\text{EDTA}) = 2.033 \text{ Fe}(\text{fracción 3}) + 31.62 (\text{materia orgánica}) + 32.49 \quad r^2=0.914$$

En la correlación con el cobre, en la profundidad de 0 a 20 cm, el  $\text{NH}_4\text{NO}_3$  extrae parte de la fracción 2, menos de la fracción 4 y una mínima parte de la fracción 1, con una fuerte influencia del pH.

En la profundidad de 20 a 40 cm para el cobre, se obtiene la mayor aportación de la materia orgánica, mitad de la fracción 3.

Para el cadmio, en la profundidad de 0 a 20 cm se correlaciona con los intercambiables y el 50 % de la fracción residual en proporción a lo aportado por los intercambiables. En la profundidad de 20 a 40 cm, con los intercambiables.

Con respecto al cobalto, de 0 a 20 cm, se correlaciona con los organometálicos, y en la profundidad de 20 a 40 cm con los intercambiables y con el pH.

De 0 a 20 cm con el plomo, se correlaciona negativamente con los organometálicos, y en la de 20 a 40 cm con los intercambiables.

Con el manganeso de 0 a 20 cm, se obtiene la mayor aportación a la ecuación de la fracción residual, menor de los intercambiables y mucho menor de los unidos a los óxidos de hierro amorfos, y en forma negativa de los unidos a la materia orgánica.

De 40 a 60 cm, para el manganeso, son los metales unidos a los óxidos de hierro cristalinos, con los que se relaciona la extracción con nitrato de amonio.

Para el zinc, en la profundidad de 0 a 20 son los unidos a los óxidos de hierro amorfos, de 20 a 40 cm los intercambiables y los unidos a materia orgánica. Y de 40 a 60 cm, los unidos a compuestos organometálicos.

## EDTA

Para el cobre, en la profundidad de 0 a 20 cm, contribuyen a la ecuación de regresión las fracciones de los organometálicos, la residual y en forma negativa la de los intercambiables. De 20 a 40 cm, la fracción de los metales unidos a la materia orgánica y la de los intercambiables, contribuyen de manera importante a la ecuación. Y en la profundidad de 40 a 60 cm, es la fracción de los unidos a la materia orgánica, y mínima la de los organometálicos.

Para el cadmio, solamente en las profundidades de 0 a 20 cm y de 20 a 40 cm hay regresiones con los intercambiables en ambas.

En la profundidad de 20 a 40 cm, el plomo y el zinc se correlacionan con los compuestos organometálicos, los unidos a materia orgánica y correlación negativa con los unidos a óxidos de hierro amorfos. Para el manganeso en la profundidad de 40 a 60 cm para la fracción de óxidos de hierro cristalinos.

Para el hierro, en la profundidad de 0 a 20 cm, son las fracciones de organometálicos y unidos a óxidos de hierro amorfos, de 20 a 40 cm, son los organometálicos y fósforo; de 40 a 60 cm, los unidos a óxidos de manganeso.

### 4.5 Contenido de metales pesados en alfalfa, cebada, avena y maíz.

Los metales determinados fueron cobre, cadmio, cobalto níquel, plomo, cromo, manganeso, zinc, hierro, mercurio, arsénico. A excepción del cadmio y plomo, fueron analizados por absorción atómica con los niveles de detección ya mencionados arriba.

El contenido mayor de metales en las plantas se encontró en las raíces y el menor en los tallos (Figuras 4.68 y 4.69). De los metales estudiados, las concentraciones de cromo y níquel encontradas en los cuatro cultivos quedan comprendidas en el rango fitotóxico de Chaney (1983),

Se muestran los resultados de los contenidos de los metales, tanto en material secado al ambiente (base seca) y los obtenidos después de calcinar las muestras de plantas a 420 °C, debido a que en la literatura es más común encontrar los datos referidos a base seca y poder efectuar discusión al respecto.

Los datos se encuentran en el apéndice 4.

#### 4.6 Factor de transferencia de los metales a los cultivos.

Con el fin de tener un criterio para diferenciar la absorción de los metales por los cultivos encontrados en la zona, se utilizó el factor de transferencia que es el cociente de la concentración de metal en la planta entre la concentración del metal en el suelo (Sauerbeck, 1991). Se observó en primer lugar que las raíces son las que muestran el mayor factor de transferencia y generalmente los tallos, menor que el de las hojas. En el cuadro 4.58 se anotan los factores de transferencia para el maíz, alfalfa, cebada y avena.

Se observó que los mayores factores de transferencia corresponden al cromo y níquel en los cuatro cultivos y para el mercurio en la alfalfa y la avena.

En comparación con los rangos de los coeficientes de los factores de transferencia citados por Sauerbeck (1991): 1 a 10 para Cd, Zn; 0.1 a 1 para Ni, Cu; 0.01 a 0.1 para Pb, Cr, Hg; son altos para cobre, cromo, plomo, níquel y mercurio y menores para el zinc y cadmio.

Los encontrados por Siebe (1994), para alfalfa cultivada en suelos del Valle de Mezquital regados con aguas residuales, son menores para el plomo e iguales para el cadmio, cobre y zinc que los obtenidos en el presente estudio del Tanque Tenorio.

## METALES EN LOS CULTIVOS



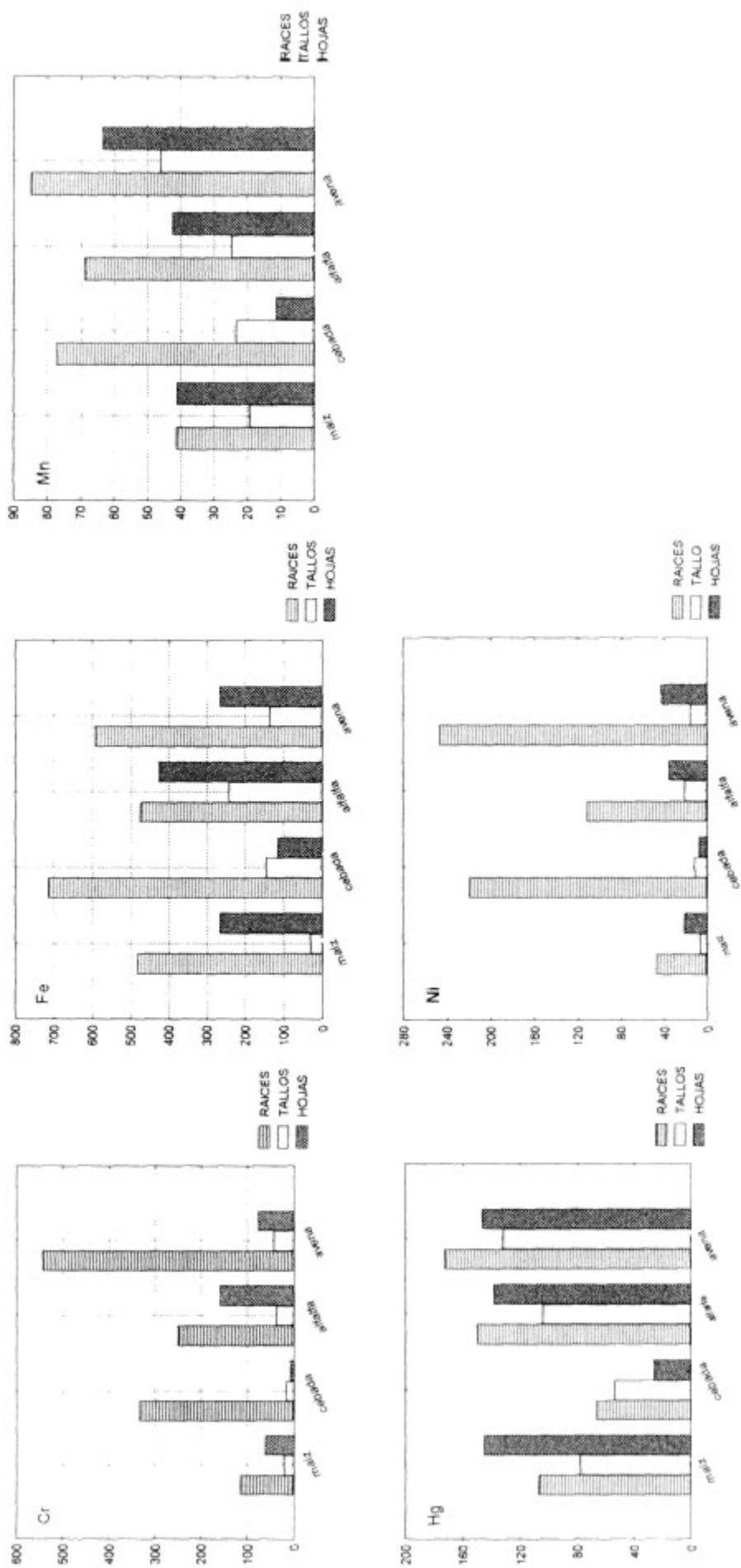


Figura 4.68 Contenido de Cr, Fe, Mn, Hg y Ni en raíces, tallos y hojas de los cultivos (mg kg<sup>-1</sup>).

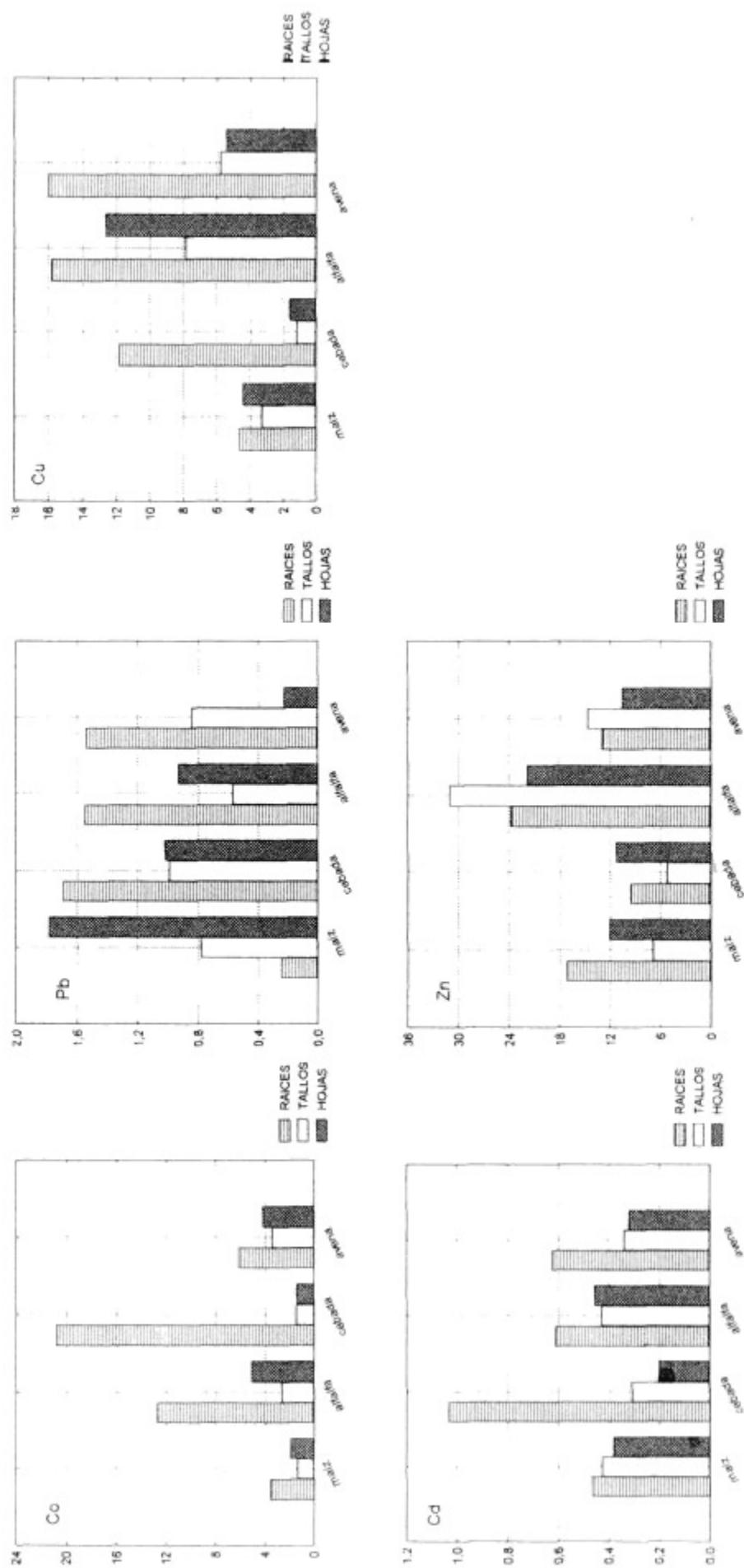


Figura 4.69 Contenido de Co, Pb, Cu, Cd y Zn en raíces, tallos y hojas de los cultivos ( $\text{mg kg}^{-1}$ ).

CUADRO 4.58 Factores de transferencia para los metales a los cultivos.

SITIO	CULTIVOS	Cu	Zn	Cr	Pb	Cd	Ni	Hg	Co	Mn	Fe
Regados con aguas residuales industriales											
1	Alfalfa										
	hojas	1.120	0.329	0.952	0.217	0.191	1.247	2.586	0.167	0.178	0.345
	tallos	0.690	0.470	0.229	0.133	0.183	0.742	1.950	0.085	0.103	0.195
	raíces	1.400	0.350	1.505	0.362	0.260	3.900	2.800	0.416	0.288	0.385
2	Cebada										
	espigas	0.129	0.142	0.029	0.191	0.069	0.131	0.160	0.027	0.055	0.113
	tallos	0.094	0.066	0.062	0.186	0.107	0.200	0.333	0.028	0.114	0.143
	raíces	0.945	0.120	1.192	0.316	0.357	3.716	0.411	0.410	0.378	0.699
3	Avena										
	hojas	0.041	0.066	0.802	0.059	0.066	0.814	1.686	0.114	1.117	0.357
	tallos	0.044	0.092	0.463	0.217	0.070	0.302	1.524	0.093	0.812	0.182
	raíces	0.122	0.081	5.745	0.398	0.128	4.669	1.988	0.167	1.490	0.795
Regados con agua de acuífero confinado											
7	Maiz										
	hojas	0.698	0.280	1.650	0.840	0.213	0.447	1.760	0.102	0.226	0.276
	tallos	0.523	0.162	0.530	0.368	0.238	0.141	0.950	0.070	0.106	0.032
	raíces	0.737	0.409	3.030	0.113	0.262	0.988	1.310	0.192	0.226	0.501

## CAPITULO 5

### DISCUSIÓN DE RESULTADOS

En este capítulo se discutirán los resultados descritos en el capítulo anterior, en el mismo orden en que fueron presentados, en relación a la información que ha permitido la caracterización edafológica, la acumulación de metales, su movilidad (especiación operacional) y biodisponibilidad (absorción de los metales por las plantas).

#### 5.1 Caracterización edafológica

Los valores encontrados en este estudio para los parámetros edafológicos varían en relación a los publicados por INEGI (1985), el que con respecto a la reacción al HCl diluido reporta en los horizontes A1 y B1 una reacción débil y una reacción fuerte respectivamente (Cuadro 3.1), encontrándose en el presente estudio una reacción débil al HCl diluido hasta los 60 cm, lo que podría indicar que los carbonatos se han lixiviado por lo menos hasta esta profundidad.

En cuanto a la textura existe un cambio respecto a la clasificación; el INEGI reporta una textura franca. En este estudio se encontró, en general una textura de migajón arcillo arenoso en los suelos regados con aguas las residuales y en los no regados con esta agua, de migajón arenoso. Existe un cambio notorio en los primeros suelos que puede deberse a la variación en el porcentaje de arena, arcilla y limo, dada por la inclusión de los agregados principalmente de la materia orgánica introducidos en el suelo por las aguas residuales y a las prácticas agrícolas. Siebe (1994) reporta un cambio de textura similar en los suelos del Distrito 03 del Valle del Mezquital que han sido regados con aguas residuales y en donde se practica también la actividad agrícola.

La conductividad eléctrica ha aumentado, aunque a excepción del sitio 1 que sobrepasa por décimas el límite superior marcado para la salinidad, continúan siendo suelos no salinos. El pH alcalino reportado por el INEGI (1985) ha cambiado, ahora estos suelos se pueden clasificar de muy ácidos a ligeramente ácidos (pH de 4.9 a 6.9).

Con respecto a lo reportado por el INEGI, el contenido de materia orgánica ha aumentado (Figura 4.1c), correspondiendo éstos a la clasificación de bajos en materia orgánica. El INEGI (1985) no da datos para el fósforo, pero los obtenidos en este estudio para el fósforo

aprovechable, (4.0 a 19.3 mg/kg) . clasifican al suelo (a excepción del sitio 4) de contenido bajo (Guerrero, 1990).

## 5.2 Acumulación de los metales totales

Como lo demuestran los resultados, en general ha habido acumulación de metales en los suelos regados con aguas residuales, sobre todo del cobre, arsénico cadmio, cobalto, cromo, fierro, y zinc; en rangos similares, manganeso y níquel (Figuras 4.2a - 4.4b)

El mercurio se ha encontrado en concentración mayor en los suelos no regados por las aguas residuales, lo que hace suponer que es un metal de origen natural en la zona o producto de actividades antropogénicas (muy probable mineras de beneficio) de principios de siglo. Sin embargo estos hechos y la ubicación específica de las actividades de beneficio no se pueden documentar por el momento. El sitio 8 (orilla del camino) presenta una concentración mayor de plomo que los otros dos sitios no regados con aguas resduales, posiblemente debido precisamente a esta actividad vehicular que existe tanto de tracción animal como de motor, que podría atribuirse a la combustión de la gasolina y a la liberación del plomo de los haluros que son relativamente solubles. Este plomo podría posteriormente asociarse con los sulfatos, carbonatos, fosfatos y con la materia orgánica del suelo (Schnitzer, 1986), así como de las emisiones provenientes de la actividad industrial.

Cajuste *et al.* (1991) en trabajo efectuado en la zona de Tlaminulpa, del Distrito 03 del Valle del Mezquital, estado de Hidalgo, en suelos regados con aguas municipales desde principios del siglo, obtuvieron concentraciones totales similares para los metales Cu, Cd, Cr, mayores para Zn, menores para el cobalto, muy altas para el plomo y muy bajas para el níquel en comparación con las encontradas en este estudio. Siebe (1994) en trabajo efectuado en el mismo Distrito pero en zonas diferentes a la de Cajuste, obtuvo valores menores para Pb, Cd, Zn y Cu, en períodos menores a 50 años de riego con aguas municipales y coinciden con los datos obtenidos por Siebe en períodos de riego de 80 años. Ambos autores también observaron una acumulación de metales.

## 5.3 Movilidad de los metales de acuerdo a la especiación operacional.

En este apartado se discutirán los porcentajes de metales extraídos en cada fracción, las series de extracción, correlaciones entre los metales, asociación de sitios de acuerdo al diagrama de "clusters" y las correlaciones de nitrato de amonio y EDTA con las fracciones.

### 5.3.1 Porcentajes de metales extraídos en las fracciones.

Los datos obtenidos en este estudio revelan diferencias en la distribución química de los metales en ambos tipos de suelo. De acuerdo a los porcentajes de extracción en cada una de estas fracciones, tanto para los sitios regados con las aguas residuales como los no afectados, puede resumirse en forma descendente en la siguiente serie:

residual > unidos a materia orgánica > intercambiables > unidos a complejos organometálicos > unidos a óxidos de fierro amorfos > unidos a óxidos de fierro cristalinos > unidos a óxidos de manganeso.

La fracción residual, definiéndola estrictamente, es aquélla constituida por los metales que no fueron extraídos en las otras fracciones. Es la fracción menos móvil y que contienen los porcentajes de extracción mayores de todo el esquema secuencial de extracciones, siendo Hg, Fe, Cu, As, Cr los que tienen el mayor porcentaje (Figuras 4.59a - 4.61b).

Después de la fracción residual, el porcentaje mayor de metales extraídos, se encuentra en la materia orgánica. Esto concuerda con lo reportado por varios investigadores, entre ellos Luo *et al.* (1998) y Siebe (1994). En esta fracción el Mn y Pb son los mas abundantes, que concuerda con lo encontrado por La Force M.J. *et al.* (1998), utilizando también para ataque de la materia orgánica peróxido de hidrógeno. Las formas orgánica del As representan uno de los porcentajes menores extraídos (McLaren, 1998), ya que generalmente el arsénico se encuentra asociado a las fracciones inorgánicas. El cobre que es reportado en varios estudios como ser extraído en mayor porcentaje en esta fracción (Luo *et al.*, 1998, Siebe 1994, Luoma *et al.*, 1981), en este estudio, el cobre fue extraído en relación a los otros metales en una proporción media en los suelos regados con aguas residuales y el menor porcentaje en los suelos no regados con aguas residuales (Figuras 4.32a - 4.34b).

En la fracción más móvil y biodisponible, la de los intercambiables, el Mn se extrajo en mayor porcentaje, según Cuadro 4.57. Esto concuerda con lo que Lena y colaboradores (1997) afirman con respecto a que el manganeso fue el más intercambiable en estudio que efectuó de 11 metales en suelos de Florida, U.S.A., La Force *et al.* (1998) extrajeron en mayor proporción Mn y Zinc, que concuerda con lo obtenido en este estudio. Pitchel (1998) reporta haber obtenido un porcentaje de Ni mayor al Zn, Cu, Cr y Pb como lo encontrado en este estudio. Fe, Pb, As y Hg son los menos intercambiables (Figuras 4.5a - 4.7b).

La afinidad del cobre por la materia orgánica que reportan varios investigadores (Luo *et al.* 1998; La Force *et al.*, 1998, Siebe, 1994; Luoma *et al.*, 1981) lo hacen en base a lo obtenido en la extracción de metales en

la materia orgánica, pero sin extraer por separado los complejos organometálicos formados del cobre y demás metales, por lo que esta asociación que hacen del cobre a la materia orgánica bien puede ser el cobre formando organometálicos, ya que en este trabajo el cobre es el que se obtiene en mayor proporción en esta fracción. Sin embargo Krishnamurti *et al.* (1995), que si efectúa la extracción del Cd de los complejos organometálicos después de la extracción de intercambiables con nitrato de magnesio, como se ha efectuado aquí, encontró que el cadmio formaba el mayor porcentaje de todas las fracciones, en contraposición a lo obtenido en este trabajo en el que el Cd es el que muestra una tendencia menor a formar complejos con los compuestos orgánicos solubles, posiblemente se deba a que los suelos en ambos estudios son bastante diferentes: lacustres (Krishnamurti) contra áridos (este estudio), (Figuras 4.14a - 4.16b).

Los óxidos de hierro amorfos parecen dominar la partición de los metales Pb, Zn, Cd, lo cual concuerda con lo encontrado por Luoma *et al.* (1981). Es también muy conocida la afinidad del plomo por los óxidos de hierro amorfos (Luoma *et al.*, 1981; Lena *et al.* 1997; La Force *et al.* 1998). Se observa una fuerte afinidad del plomo por los óxidos de hierro amorfos en ambos tipos de suelo.). La adsorción del cobalto a los óxidos de hierro amorfos es importante, sin embargo la comparte con los óxidos de manganeso (Luoma *et al.*, 1981). Los menos afines son el As, Ni y Hg (Figuras 4.41a - 4.43b).

En la fracción de óxidos de hierro cristalinos, los metales mas afines son el plomo, hierro y cromo. En la literatura revisada no se encontró que el cromo hubiera sido incluido en las extracciones secuenciales; se presume que esta asociación del cromo proviene de la sustitución del Al ó Fe en la arcilla (Sposito, 1989). Sin embargo las correlaciones del fósforo con el cromo, hace pensar que posiblemente el cromo liberado por los óxidos de hierro, es atrapado por los compuestos de fósforo. El mercurio, arsénico y cadmio son los que muestran una afinidad menor (Figuras 4.50a - 4.52b).

Los metales que se unen a la fracción de óxidos de manganeso representan el menor porcentaje de todo el esquema secuencial. Como se menciona en párrafo anterior la partición del Co lo ubica en esta fracción y la de los óxidos de hierro amorfos (Luoma *et al.* 1991). En este trabajo se obtuvo el mayor porcentaje para el Co. El As también muestra gran afinidad por los óxidos de manganeso, esto mismo lo reporta La Force, *et al.* (1998). Tessier *et al.* (1982) encontró que a esta fracción, se unían en el siguiente orden de afinidad Cu, Pb y Zn, misma afinidad que se encontró en este estudio (Figuras 4.23a - 4.25b).

### 5.3.2 Series de extracción

Dado que las series de extracción son por una parte, válidas para un esquema de extracción dado, y a que solamente proporcionan una idea de la afinidad de los metales por la fracción, se discuten las series de las fracciones en relación a las profundidades y la razón de las afinidades cuando es posible encontrar tal (Cuadro 4.57).

Las series de extracción de los metales intercambiables son semejantes en las primeras dos profundidades, en los suelos regados con aguas residuales, en contraposición con las de los suelos no afectados. Esta característica es muy posible que se la dé los sitios con cultivo, debido a la homogeneidad que existe en los primeros 40 cm, por las prácticas agrícolas (Figuras 4.8a - 4.10).

La serie de los intercambiables varía inversamente con la electronegatividad de estos metales en su valencia dos. Los valores más altos los tienen el arsénico, mercurio, plomo y fierro, que ocupan los últimos lugares en la serie. Congruente también es el primer lugar que ocupa en la serie el manganeso, el cual suele ser un macronutriente ó un elemento altamente tóxico cuando los niveles de concentración sobrepasan los límites fitotóxicos.

En los suelos regados con aguas residuales, no existe similitud en las series de los organometálicos en las profundidades estudiadas. En los suelos no regados con aguas residuales, las series son algo similares, esta uniformidad pudiera tomarse como una lentitud en el proceso de humificación, que podría ser atribuible a una actividad de microorganismos menor que la de los suelos regados con aguas residuales (Figura 4.17a - 4.19a).

Norvell (1983) encontró en estudios de quelación de metales, que el cobre forma complejos húmicos más estables que el zinc. Esto se refleja en estas series en las que el cobre ocupa el primer lugar. Bourrelier *et al.* (1998) reporta al arsénico como un elemento tóxico que puede ser primeramente oxidado, después reducido y llegar hasta la formación de compuestos volátiles por varios microorganismos, lo que lo hace ser un elemento bastante móvil, quizás esto aclare un poco la presencia del arsénico en los primeros lugares de esta serie de organometálicos. Sin embargo, aunque sobre el mercurio existe también una fuerte influencia de microorganismos, en este caso, parece ser que no es tan marcada como en el arsénico, ya que el mercurio se encuentra ocupando lugares medios en la serie.

La correlación negativa del fierro, cobre, zinc y cadmio (en la profundidad de 0 a 20 cm), y del cromo (en la profundidad de 20 a 40 cm) con la materia orgánica, podría indicar que existe una saturación de estos



metales en la parte humificada de la materia orgánica, no llegando al límite de competencia de los metales entre sí, ya que sus correlaciones significativas se mantienen positivas

La afinidad por unirse a los óxidos de manganeso varía en las tres profundidades. Según Sposito (1989) los compuestos de fósforo, en especial los fosfatos forman un puente de unión entre el metal y el sustrato de los óxidos de manganeso, así como los ácidos orgánicos como el ácido oxálico para formar complejos de superficie. La fuerte correlación de los metales cobre, zinc, cromo, cadmio y manganeso con el fósforo y con la materia orgánica en la profundidad de 0 a 20 cm, hace suponer que éstos se han unido a los fosfatos, y a ácidos orgánicos, formando compuestos de coordinación de esfera externa con los metales (Figuras 4.26a – 4.28).

El contenido menor de metales encontrados en esta fracción de óxidos de manganeso, se debe a los valores bajos del potencial de electrodo,  $pe$ , de los sustratos de óxidos e hidróxidos de manganeso que impide su disolución y la liberación de los metales unidos a éstos, según Bourrelief *et al.* (1998); puede asumirse entonces, que los metales liberados de esta fracción sean los que se encuentran unidos a los compuestos fosforados que a su vez se encuentran unidos a los óxidos de manganeso.

El cobalto y níquel muestran mayor tendencia a unirse a los óxidos de manganeso y en menor proporción, el cadmio en los suelos regados con aguas residuales. En los no regados con aguas residuales, es el cadmio el que muestra mayor afinidad. Las series en estos suelos son muy diferentes. El arsénico es reportado por La Force *et al.* (1998), ser uno de los elementos afín a los óxidos de manganeso y McLaren comenta que se asume que el arsénico se encuentra asociado predominante a los constituyentes inorgánicos del suelo. El arsénico en esta serie se encuentra en segundo lugar.

En la fracción de metales unidos a la materia orgánica, La Force *et al.* (1998), quienes utilizaron peróxido de hidrógeno en la extracción, encontraron que el arsénico se obtenía en bajas concentraciones comparado con los óxidos de manganeso; que el manganeso, zinc y el plomo eran los más abundantes. En este estudio el arsénico se encuentra en el antepenúltimo lugar de la serie y el manganeso, plomo y zinc ocupan el primero, segundo y cuarto lugar de ésta. Las series de los suelos regados con aguas residuales en las dos primeras profundidades son similares. Estas a su vez son muy diferentes de las series de los suelos no regados con aguas residuales; posiblemente se deba al menor contenido de materia orgánica en los suelos no regados con aguas residuales. Dado el lugar que ocupan en esta serie, se presume que el cobre y zinc tienen un  $pe$  de  $-2,5$  Bourrelief *et al.* (1998) mientras que el fierro que es el menos afín, tendrá un  $pe=+5.0$ . Comparando el orden de

los metales extraídos en esta serie con el de la anterior de los óxidos de manganeso, se observa una tendencia inversa en la ubicación de los metales (Figuras 4.35a - 4.37).

A los óxidos de hierro amorfos se encuentran unidos compuestos orgánicos fosforados, que proveen de sitios para la sorción de metales (Sposito, 1989). En los suelos regados con aguas residuales, las series de las tres profundidades son muy diferentes entre sí, posiblemente esto se deba precisamente a la variación de la materia orgánica, compuestos orgánicos fosforados y en menor cuantía al pH. En el presente estudio se observan en las primeras dos profundidades una correlación del mercurio y cadmio con el fósforo. El que muestran mayor afinidad es el plomo y la menor el mercurio y níquel. En los suelos no regados con aguas residuales, se muestra una similitud entre el hierro y plomo que se ubican al inicio de la serie y entre el cobalto, níquel, manganeso y mercurio que se encuentran al final (Figuras 4.44a - 4.46).

La afinidad que se observa del plomo por los óxidos de hierro (cristalino y amorfos), es posible se deba a que el plomo se encuentra en concentraciones trazas en los minerales primarios como inclusiones en los fosfatos; y como sustituciones isomórficas en los fosfatos y del hierro y manganeso en los óxidos (Sposito, 1989), y a la adsorción de estos fosfatos en los óxidos de hierro y manganeso, en la coprecipitación de los minerales secundarios (Figuras 4.53a - 4.55).

Al igual que en los óxidos de manganeso, estas correlaciones con el fósforo indican que los compuestos de fósforo unidos a los óxidos de hierro, son los que proveen de sitios de adsorción a los metales (Sposito, 1989). Según Stevenson et al (1983), existe competencia entre el cobre y el zinc por los sitios de adsorción de los compuestos de fósforo, esto se refleja en los suelos no regados con aguas residuales en la profundidad de 20 a 40 cm, en los que las concentraciones de cobre son menores y han dejado algunos sitios libres que puede ocupar el zinc. Así mismo, se observa una correlación entre la materia orgánica y el fósforo con el cobre en los suelos regados con aguas residuales, indicando la afinidad del cobre por la materia orgánica y la adsorción de éste a los óxidos de manganeso a través de los compuestos de fósforo.

En ambos suelos, el porcentaje de extracción de metales es mayor en la fracción de óxidos de hierro cristalinos (goehita) que en la de los amorfos (hematita), esto hace suponer que existe más de hierro cristalino, hierro "viejo", producto del envejecimiento o aumento de las capas amorfas de hierro (FitzPatrick, 1980; Sposito, 1989).

En el residual (fracción 7), las series son semejantes en las profundidades tanto para los suelos regados con aguas residuales, como para los no afectados, observándose que el mercurio y el hierro ocupan los

primeros lugares, mientras que el cobre, níquel y manganeso fueron los más móviles, de acuerdo al esquema de extracción presentado (Figuras 4.62a - 4.64).

### 5.3.3 Correlaciones entre los metales.

Los coeficientes de las correlaciones entre los metales son altos debido a que el número de sitios estudiados para los suelos regados con aguas residuales  $N = 6$  y para los no regados con aguas residuales  $N = 3$  es reducido, a causa de los factores limitantes de tiempo y costo de la técnica del esquema de extracción secuencial usada. Quizás con recursos humanos y técnicos avanzados, el número de muestras se podría incrementar y obtener correlaciones en que el coeficiente de correlación dependa tanto del tamaño de la muestra como de la fuerza de relación.

En las correlaciones significativas ( $p < 0.05$ ) de extracción de los metales entre sí en las diferentes fracciones se observaron afinidades y antagonismos que pueden reflejar sus asociaciones pedogénicas del suelo y sus características químicas, de acuerdo a la ubicación de estos metales en la tabla periódica, ya que las correlaciones de los metales no son específicas de una fracción en particular.

Fue muy común observar las asociaciones químicas del Cd con Zn, Cu, con los del grupo del Fe (Fe, Ni, Co) y Mn, con el cromo en asociación litófila (se concentran en la corteza terrestre y presentan gran afinidad por el oxígeno), y con el Hg con asociación calcófila (afinidad por el azufre), y con el Pb ya sea calcófila o litófila.

Mn con Cr, Cd, Cu, Ni Fe y Co que muestran afinidad química dado que se encuentran al lado del Cr y a los metales siderófilos (afinidad por el hierro) Co y Ni; el Cd que exhibe una conducta similar al Zn, contiguo al Cu, en la tabla periódica. El Mn con el As en la misma forma geológica del fósforo ya que tienen conductas similares estos dos últimos. El cobre muestra afinidad química por el Cr, Mn, metales siderófilos (Fe, Co, Ni) y por el grupo del Zn (Zn y Cd) contiguos. Con el As y Pb debido a su asociación geoquímica.

El Co tiene afinidad química con el Fe ya que pertenece a la misma familia y con el grupo del zinc. El Co presenta una asociación calcófila con el Hg, con el Pb y As ya sea calcófila o litófila

La correlación de Zn con Mn, Cr, Fe se debe a una afinidad química, según lo muestra su ubicación en la tabla periódica; con el As debido a una asociación calcófila y con el Pb en forma litófila o calcófila.

La afinidad del Fe con Zn y Cr es química; con el As, Pb y Hg pudiera deberse a una asociación litófila o calcófila

El plomo tiene una asociación calcófila o litófila con el Cr, Hg y As; con el Ni además puede ser siderófila ; y con el Cu una asociación calcófila.

El mercurio aunque pertenece al grupo del Zn, no posee las mismas características que el Zn y Cd; por tanto, la asociación del Hg con el Cr es litófila, con el As calcófila.

El Cromo muestra afinidad litófila por el Arsénico.

Existen también competencias entre ellos, como lo demuestran las correlaciones negativas de: Mn con Zn, Cr y As; Fe con Ni, Cu, Zn, Cd; Zn con Ni y Cr; Cd con Cu, Fe y Cr; Pb con Cr y Zn; Hg con Cu; Cu con Cr; y Ni con As.

#### 5.3.4 Asociación de sitios de acuerdo al diagrama de "clusters"

Como se mencionó anteriormente, se ha utilizado los diagramas de "clusters" para asociar los sitios de acuerdo al promedio de extracción de metales y su desviación estándar.

Se observa que las fracciones 1, 2, 4 y 5, en las profundidades de 0 a 20 cm y de 20 a 40 cm (en la fracción 1), se asocian en dos grupos, cada uno con los mismo sitios en las fracciones citadas. En el primer grupo quedan comprendidos los sitios con cultivo de alfalfa y de cebada y en el segundo los sitios restantes. Podría decirse que estos cultivos tienen una afinidad similar en promedio por los metales, lo que coincide con los factores de transferencia del cuadro No. 4.58, y esto a su vez `posiblemente se deba a que sus raíces tienen similares capacidades de intercambio catiónico. Por otra parte, en las fracciones 1, 2 y 5 los complejos que se forman son de esfera externa, fácilmente accesibles de ser tomados por los cultivos.

En cambio, el sitio con cultivo de avena queda incluido en el grupo de los sitios sin cultivo. Este sitio muestra una marcada diferencia en la conductividad que cae en el rango de suelo salino. El contenido de materia orgánica es mayor que los sitios 1 y 2 y semejante a los demás sitios. Quizás este aumento en la materia orgánica hace que una mayor parte de los metales sea retenida en esta fracción que en los anteriores sitios. Los factores de transferencia de la avena son muy diferentes de los de la alfalfa y cebada.

En la profundidad de 0 a 20 cm, en las fracciones 3 y 6, se forma un solo grupo. Podría decirse que las reacciones de óxido reducción son las que rigen estas fracciones y en general posiblemente las reacciones de óxido-reducción sean similares, dado que la fracción 6 corresponde a los óxidos de hierro cristalinos.

De 20 a 40 cm, presentan la misma asociación los sitios en las fracciones 2, 3 y 7, todos los sitios forman un solo grupo, los sitios 1 y 5 dentro de este grupo, tienen el mismo promedio y desviación estándar, misma asociación que se mantiene en la profundidad de 40 a 60 cm en las fracciones 2, 4, 5 y 7. Se presume que a esta profundidad, estas fracciones mantienen ya la misma proporción. Podría inferirse que disminuye la acción de los microorganismos de los compuestos húmicos y fúlvicos de la fracción 2 y decrece también la formación de compuestos orgánicos fosforados que constituyan los sitios de adsorción de metales de los óxidos de hierro amorfos, asemejándose a la fracción residual que se considera la más inmóvil, de acuerdo al esquema de extracción utilizado.

Con relación a la fracción 6, los sitios se asocian diferente a las de las demás fracciones en las tres profundidades, advirtiéndose que existe una asociación algo semejante en las profundidades de 20 a 40 cm y de 40 a 60 cm, a excepción del sitio 2. De 0 a 20 cm es completamente diferente. Podría considerarse que estos óxidos de hierro cristalinos en la profundidad de 0 a 20 se inicia una modificación en la tendencia de adsorción de metales, posiblemente debido a proceso de intemperización.

A la profundidad de 20 a 40 cm, en las fracciones 3 y 7 existe una asociación similar. Con respecto a la fracción 3, en las otras profundidades son diferentes entre sí la forma de asociación de los sitios aunque solamente se forma un grupo. Se considera que las reacciones de oxidación-reducción biológicas principalmente, son diferentes y escasas.

5.3.5 Correlaciones de los metales extraídos con nitrato de amonio con los metales extraídos en las fracciones en los suelos regados con aguas residuales.

De las regresiones utilizadas, se observa que el EDTA no es un buen extractante del cobre y zinc biodisponible ya que disuelve los compuestos orgánicos a los que pudieran estar unidos (Lebourg *et al.*, 1996), esto se refleja en las ecuaciones de regresión correspondientes, con las contribuciones de la fracciones 4 y 7 que no son biodisponibles. En cambio para el cobalto y plomo, el EDTA se correlaciona un poco mejor con las fracciones móviles, la regresión indica que la fracción 2 es la que contribuye a la biodisponibilidad del cobalto y plomo, mientras que en el caso del hierro son las fracciones 2 y 5.

El nitrato de amonio parece ser un extractante únicamente para el plomo, en que las fracciones 1 y 2 son las biodisponibles.

Sin embargo, se considera que aún en los metales en los que hubo correlación con las fracciones móviles, estas soluciones extractivas no muestran una consistencia en la biodisponibilidad en las tres profundidades estudiadas, que da lugar a una incertidumbre acerca de la biodisponibilidad de las fracciones, definidas de las correlaciones efectuadas con estas soluciones extractivas.

#### 5.4 Biodisponibilidad de los metales por las plantas.

Aquí se discute el contenido de metales en las plantas y su absorción por las mismas.

##### 5.4.1 Contenido de metales en las plantas.

Cajuste *et al.* (1991) en trabajo efectuado en el Valle del Mezquital, reporta valores para la alfalfa regada con aguas residuales municipales, menores que los encontrados en este estudio para el cobre, manganeso, cromo, níquel, y mayores para el cobalto, plomo y zinc, en rangos similares, el cadmio. Los valores reportados por Siebe (1994), para el cobre, plomo, cadmio y zinc son mayores que los aquí encontrados. Mendoza (1981) en la misma zona, anota en su estudio valores mayores que los de este estudio, para el cobre, fierro, manganeso, plomo y zinc, menores para el cromo y níquel.

Según la compilación de datos relativos al contenido de metales en cebada, avena y maíz, efectuada por Jones *et al.*, (1991), los valores aquí observados en la cebada para el cobre quedan incluidos en rango de bajo a suficiente, para manganeso y zinc suficiente. En la avena, el cobre, manganeso y zinc en el rango de suficiente, y fierro en el de alto. Para el maíz (regado con aguas residuales) cobre y fierro alto, manganeso y zinc, suficiente.

Las hojas de *Leptospermum scoparium* se ha encontrado que contienen 2470 mg/kg de Cr (peso calcinado) en suelos serpentiniticos y en las hojas de *Sutera fodina* con 48,000 mg/kg (peso calcinado), Pitchel *et al.* (1998). En el presente estudio se ha encontrado contenidos de cromo en raíz, tallo y hojas en rangos de 1,328 – 952; 136 – 353 y 836 – 470 (a excepción de la cebada) mg/kg (peso seco de calcinación), respectivamente; en la cebada se analizaron las espigas, con 161 (p.s.c.). Según Kapata-Pendias and Pendias (1992), el contenido de cromo en las plantas está controlado principalmente por la fracción soluble (el Cr (VI) es el mas soluble), Pitchel *et al.* (1998), encontró en la fracción intercambiable de 13.2% del Cr total, aquí un porcentaje de 9 a 10%.

Jones (1991), establece que los metales aluminio, cadmio, cobre, fierro, mercurio, manganeso, plomo y zinc, cuando están presentes en altos contenidos en el sustrato, se tienden a acumular en las raíces, haciendo

el análisis de la raíz un método adecuado para detectar concentraciones tóxicas de estos elementos.

Aunque, en la definición de los rangos fitotóxicos, debe tenerse en cuenta la relación que existe entre la especie, la parte analizada, su edad, tiempo de muestreo, en la interpretación y comparación de resultados, los datos de Chaney (1983) que se presentan aquí es con el objetivo de que sirvan de guía en la comparación de los obtenidos en este estudio.

En este estudio, se encontró que de los once metales estudiados, solamente el cromo y el níquel fueron absorbidos por las plantas en concentraciones que quedan comprendidas en el rango fitotóxico de Chaney. El contenido de cromo en la alfalfa en las raíces, tallos y hojas es {250, 38, 158  $\mu\text{g/g}$  vs ( $>20\mu\text{g/g}$  de Chaney)}, para las raíces en la cebada {(334  $\mu\text{g/g}$  vs. ( $>20\mu\text{g/g}$  de Chaney)}, las raíces, tallos y hojas de la avena {(545, 44, 76  $\mu\text{g/g}$  vs ( $>20 \mu\text{g/g}$  de Chaney)}; para las raíces y hojas del maíz {115, 62.5  $\mu\text{g/g}$  vs. ( $>20\mu\text{g/g}$  de Chaney)}. El níquel en la alfalfa para raíces y tallos {(112, 35.6  $\mu\text{g/g}$ ) vs (25 – 100  $\mu\text{g/g}$  de Chaney)}, para las raíces en la cebada {219  $\mu\text{g/g}$  vs (25 – 100  $\mu\text{g/g}$  de Chaney)}. Las raíces y hojas en la avena {247, 43  $\mu\text{g/g}$  vs (25 – 100  $\mu\text{g/g}$  de Chaney) y en las raíces del maíz (47.2  $\mu\text{g/g}$  vs (25 – 100  $\mu\text{g/g}$  de Chaney)}

#### 5.4.2 Absorción de metales por las plantas

Se observó que los mayores factores de transferencia corresponden al cromo y níquel en los cuatro cultivos; para el mercurio en la alfalfa, avena y maíz; y para el cobre en la alfalfa (Cuadro 4.58).

Estos factores de transferencia indican que de los metales estudiados, el cromo y níquel son absorbidos en mayor proporción por los cuatro cultivos, el mercurio por la alfalfa, avena y maíz y el cobre por la alfalfa.

En comparación con los rangos de los coeficientes de los factores de transferencia citados por Sauerbeck (1991): 1 a 10 para Cd, Zn; 0.1 a 1 para Ni, Cu; 0.01 a 0.1 para Pb, Cr, Hg, los valores obtenidos en este estudio son altos para cobre (0.04 – 1.4), cromo (0.03 – 3.0), plomo (0.11 – 0.84), níquel (0.14 – 4.7) y mercurio (0.95 – 2.8) y menores para el zinc (0.07 – 0.47) y cadmio (0.07 – 0.36).

Los encontrados por Siebe (1994), para alfalfa cultivada en suelos del Valle de Mezquital regados con aguas residuales, son menores para el plomo e iguales para el cadmio, cobre y zinc que los obtenidos en el presente estudio del Tanque Tenorio.

Dado que los coeficientes de Sauberbeck (1991) fueron obtenidos en experimentos de suelo tratados con aguas de desecho industrial o

domésticas, en Alemania, es más conveniente comparar los resultados de este estudio con los de Siebe (1994) en el que las condiciones de los suelos son más similares a los de este estudio que los de Sauberbeck.



## CONCLUSIONES

De los resultados obtenidos en el presente trabajo, se concluye que:

Los sitios no influenciados por las aguas residuales industriales, presentan concentraciones menores de los metales tanto en su forma total como en las diferentes fracciones estudiadas, que las de los suelos regados con estas aguas residuales. Así mismo, estas concentraciones, en ambos suelos, no difiere de manera importante en las profundidades estudiadas (0 a 20, 20 a 40 y 40 a 60 cm.). Esto demuestra que ha habido una acumulación de metales en los suelos, debido al riego de éstos con las aguas residuales industriales.

Tanto en los suelos regados con aguas residuales como en los no influenciados, el porcentaje mayor de los metales se encuentra unidos a las fracciones menos móviles, la residual y la materia orgánica. La movilidad mayor de los metales se caracteriza por ser del tipo intercambiable. A pesar de ser pobres en materia orgánica, el porcentaje de extracción de los metales en la fracción de los compuestos organometálicos supera a los de las fracciones de óxido reducción tanto de los óxidos de hierro como de los de manganeso.

De los diagramas de clusters, la mayor disponibilidad de los metales por la alfalfa y la cebada, se encuentra en los primeros 40 cm; en la profundidad de 40 a 60 cm todos los sitios regados con aguas residuales se comportan de manera similar en cuanto a la extracción de metales. La avena tiene una conducta en relación a la absorción promedio de metales muy diferente a los de la alfalfa y la cebada, ya que siempre se encuentra asociada con los sitios sin actividad. En los sitios no influenciados por las aguas residuales, los sitios se agrupan de igual manera en cuanto al promedio de porcentajes de metales extraídos en todas las fracciones, a excepción de la de óxidos de manganeso.

La acumulación de los metales en las raíces es diferente en los cultivos estudiados, decrece en los siguientes órdenes: en la alfalfa (Ni + Hg + Cr + Cu) > (Co + Fe + Pb + Zn + Mn + Cd); en la cebada (Cr + Ni) > (Cu + Fe + Hg + Co + Mn + Cd + Pb) > Zn; en la avena: (Cr + Ni + Hg + Mn + Fe) > (Pb + Co + Cd + Cu + Zn); en el maíz: (Cr + Hg) > (Ni + Cu + Fe + Zn + Cd + Mn + Pb + Co). En general, los metales con mayor acumulación relativa por las plantas son: níquel, cromo, y mercurio.

## REFERENCIAS

- Beckett, P.H.T. 1989. The use of extracts in studies on trace metals in soils, sewage sludges, and sludge-treated soils. *Advances in Soil Science*. Vol. 9: 143-176.
- Bourrelier Paul-Henri and J. Berthelin. 1998. Contamination des sols para les éléments en traces: les risques et leur gestion. *Technique and Documentation*. Paris. 440 p.
- Cajuste L.J., R. Carrillo G., E. Cota G. and R. Laird. 1991. The distribution of metals from wastewater in the mexican Valley of Mezquital. *Water, Air, and Soil Pollution*. 57-58:763-771.
- Candelaria, L.M., A.C. Chang and C. Amrhein. 1995. Measuring Cadmium ion activities in sludge-amended soils. *Soil Sci*. 159:162-175.
- 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.
- Chaney, R.L. 1983. Potential effect of waste constituents on food chain. *In: Land Treatment of Hazardous Wastes*. Noyes Data Corp. Dark Ridge, N.Y. 152-240.
- Davies B. E. 1992. Inter-relationships between soil properties and the uptake of Cadmium, Lead and Zinc from contaminated soils by radish (*Raphanus sativus L.*). *Water, Air, and Soil Pollu*. 63:331-342. Netherlands.
- Dean J. A. 1972. *Lange's Handbook of Chemistry*. McGraw-Hill Company. 13<sup>th</sup> Edition. U.S.A. pp. 5-71-5-91.
- Etcheber, H. A. C. M. Bourg and O. Donard. 1983. Critical aspects of selective extractons of trace metals from estuarine and sludge-amended soil. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 54:385-394.
- FitzPatrick, E. A. 1980. *Suelos, su formación, clasificación y distribución*. 3a Ed. CECSA. México. 430p.
- Flores V. L. M., J. Ducaroir, A.M. Jaunet and M. Robert. 1996. Study of the distribution of copper in an acid sandy vineyard soil by three different methods. *European Journal of Soil Science*. 47: 523-532.

- Förstner, U. 1985. Chemical forms and reactivities of metals in sediments. Chemical methods for assessing bio-available metals in sludges and soils. Commission of European Communities Ed. R. Leschber, R. D. Davis and P. L'Hermite. Elsevier. London pp 1-30.
- Guerrero, G. A. 1990. El suelo, los abonos y la fertilización de los cultivos. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid, España. 206 p.
- Hickey, M. G. and J. A. Kittrick 1984. Chemical partitioning of cadmium, copper, nickel and zinc in soils and sediments containing high levels of heavy metals. *Journal of Environmental Quality* 13: 372-376.
- INEGI. 1985. Síntesis Geográfica de San Luis Potosí.
- Jackson, M.L. 1976. Análisis químico de suelos. Trad. Dr. José Beltrán Martínez. 3a. Ed. Ediciones Omega, Barcelona.662 p.
- Jones J.B., Wolf B. and Mills H.A.1991. Plant Analysis Handbook. Micro - Macro Publishing Inc. U.S.A. 225 p.
- Kabata-Pendias, A. and H. Pendias 1992.. Trace elements in soils and plants. CRC Press. U.S.A. 125 p.
- Keller, C and J.C. Védy .1994. Distribution of copper and cadmium fractions in two forest soils. *Journal of Environmental Quality*. 23: 987-999
- Krishnamurti G S. R., P.M. Huang, K.C.J. Van Rees, L. M. Kozak and H P W Rostad.1995. Speciation of Particulate-bound Cadmium of Soils and Its Bioavailability. *Analyst*. Vol. 120:659-665.
- La Force M.J., S.E. Fendorf, G.C. Li, G.M. Schneider, and R.F.Rosenzweig 1998. A laboratory evaluation of trace element mobility from. Flooding and nutrient loading of Coeur d'Alene River Sediments *J.Environmental Qual.* 27:318-328.
- Lebourg A., T. Sterckeman, H.Ciesielski, N. Proix. 1996. Intérêts de différents réactifs d'extraction chimique pour l'évaluation de la biodisponibilité des métaux en traces du sol. *Agronomie* 16: 1 – 15.
- Lena Q. M., Angela L. Choate, and Gade N. Rao. 1997. Effects of Incubation and Phosphate Rock on Lead Extractability and Speciation in Contaminated Soils. *J. Environmental Quality* 26:801-807.
- Lena Q. Ma, Fang Tan, and Willie G. Harris. 1997. Concentrations and distributions of eleven metals in Florida soils. *J. Environmental Quality* 26: 769-775.

- Luo Y.M. and P Christie. 1998. Bioavailability of copper and zinc in soils treated with alkaline stabilized sewage sludges. *J. Environmental Quality*. 27:335-342.
- Luoma Samuel N. 1981. A Statistical assessment of the form of the trace metals in oxidized estuarine sediments employing chemical extractants. *The Science of Total Environment* 17: 165-196.
- Martínez R. V. J. y G. Cuellar G. 1979. Correlación de superficie y subsuelo de la cuenca geohidrológica de San Luis Potosí, S.L.P. Folleto Técnico No. 65. Instituto de Geología y Metalurgia. UASLP. (ed.).
- McLaren R.G., R. Naidu, J. Smith, and K.G. Tiller. 1997. Fractionation and distribution of arsenic in soils contaminated by cattle dip. *J. Environmental Quality*. 27: 348-354.
- Mendoza, M.H. 1981. Land Treatment: A viable solution for management of wastewater in the metropolitan area of the Valley of México. *In* Municipal Wastewater in Agriculture. F.M. D'Itri, J. Aguirre-Martinez and M. Athié-Lambarri (eds.). Academic Press, New York . pp. 351-372.
- Montante-Montelongo, A.D. 1998. Estudio geoquímico de metales traza en una laguna artificial de aguas residuales. Tesis de Maestría. Facultad de Ciencias Químicas. UASLP. San Luis Potosí, S.L.P., México. 148 pp
- Norvell, W.A. 1983. Equilibrio de los quelatos metálicos en soluciones del suelo. *In*: Micronutrientes en Agricultura. Trad. C. Vaqueiro J.J. Mortvedt, P.M. Giordano y W.L.Lindsay (eds.). AGT Editor, S.A. pp.87-126.
- Pichtel J. And Carol A. Salt. 1998. Vegetative growth and trace metal accumulation on metalliferous wastes. *J. Environmental Quality* 27:918-624.
- Quevauviller P., G. Rauret, A. Ure, R. Rubio, J. López-Sánchez, H. Fiedler, and H. Muntau. 1995. Preparation of Candidate Certified Reference Materials for the Quality Control of EDTA-and Acetic Acid-Extractable Trace Metal Determinations in Sewage Sludge-Amended Soil and Terra Rossa Soil. *Mikrochim. Acta* 120: 289-300.
- Quevauviller P., G. Rauret, H. Muntau, A. M. Ure, R. Rubio, J. F. López Sánchez, D. Fiedler, and B. Griepink. 1994. Evaluation of a sequential extraction procedure for the determination of extractable trace metal contents in sediments. *Fresenius J. Anal. Chem.* 349:808-814.

- Quevauviller P., M.Lachica, E. Barahona, G. Rauret, A. Ure, A. Gomez, and H. Muntau. 1996. Interlaboratory comparison of EDTA and DTPA procedures prior to certification of extractable trace elements in calcareous soil. *The Science of the Total Environment*. 178:127-132.
- Sager M. 1992. Chemical speciation and environmental mobility of heavy metals in sediments and soils. In: *Hazardous Metals in the Environment*. M. Stoeppler (Ed.)
- Sauerbeck, D.R. 1991. Plant, element and soil properties governing uptake and availability of heavy metals derived from sewage sludge. *Water, Air, and Soil Pollution*. 57-58:227-237.
- Schnitzer, M. 1968. Reactions between organic matter and inorganic soil constituents. *Int.Cong.Soil Sci., Trans. 9<sup>th</sup> (Adelaide, Aust.)* 1:635-644.
- Shamshuddin J. and E. A. Auxtero. 1991. Soil solution compositions and mineralogy of some active acid sulfate soils in Malaysia as affected by laboratory incubation with lime. *Soil Sci.* 152:365-376.
- Siebe G. C. 1994. Akkumulation, Mobilität und Verfügbarkeit von Schwermetallen in langjährig mit städtischen Abwässern bewässerten Böden in Zentralmexiko. *Hohenheimer Bodenkundliche Hefte*. 17. Institute für Bodenkunde und Standortslehre. Universität Hohenheim. Stuttgart. 213p.
- Sposito, G.. 1989. *The Chemistry of Soils*. Oxford University Press. U.S.A. 277 p.
- Sposito, G. and J. Cover. 1988. SOILCHEM a computer program for the calculation of chemical speciation in soils. University of California Riverside and Berkeley.(disco e instructivo)
- St-Cyr L. and A.A. Crowder. 1990. Manganese and copper in the root plaque of *Phragmites australis* (CAV.) Trin. ex Steudel. *Soil Sci.* 149 191-198.
- Stevenson F. J. y M. S. Ardakani. 1983. Reacciones de la materia orgánica que involucran los micronutrientes en suelos. In: *Micronutrientes en Agricultura*. Trad. C. Vaqueiro. J.J. Mortvedt, P.M. Giordano y W.L.Lindsay (eds.). AGT Editor, S.A. pp.87-126.
- Tessier A. 1992. Sorption of trace elements on natural particles in oxic environments. In *Environmental Particles*. J. Buffle y H.P. van Leeuwen (ed.). pp.426-447.

- Tessier A., P.G.C. Campbell, M. Bisson (1979). Sequential extraction procedure for the speciation of particulate trace metals. *In Analytical Chemistry*. 51:844 -851.
- Tessier A., P.G.C. Campbell, M. Bisson (1982). Particulate trace metal speciation in stream sediments and relationships with grain size: implications for geochemical exploration. *Journal of Geochemical Exploration* 16: 77-104.
- Tessier A., R. Carignan, B. Dubreuil, F. Rapin (1989). Partitioning of Zinc between the water column and the oxic sediments in lakes. *In Geochimica et Cosmochimica Acta*. 53:1511-1522.
- Ure A. M., Ph. Quevauviller, H. Muntau and B. Griepink. 1993. Speciation of heavy metals in soils and sediments. An account of the improvement and harmonization of extraction techniques undertaken under the auspices of the BCR of the Commission of the European Communities. *Intern. J. Environ. Anal. Chem.* Vol 51: 135-151.
- Ure A. M., C.M. Davidson and R. P. Thomas 1995, Single and sequential extraction schemes for trace metal speciation in soil and sediment. *Techniques and Instrumentation in Analytical Chemistry*. 17: 505-523.
- Villarroel J. R. De, A.C. Chang and C. Amrhein. 1993. Cd and Zn phytoavailability of a field- stabilized sludge-treated soil. *Soil Sci.* 155:197-205.
- Whalley C and A. Grant. 1994. Assessment of the phase selectivity of the European Community Bureau of Reference (BCR) sequential extraction procedure for metals in sediment. *Analytica Chimica Acta* 291:287-295.
- Wilkinson, H. F. 1983. Movimiento de los micronutrientes hacia las raíces de las plantas. In *Micronutrientes en Agricultura*. AGT Editor, S. A. México.
- Williams, D. E., J. Vlamis, A. H. Pukitie, and J. E. Corey. 1980. Trace element accumulation and distribution in the soil profile from massive applications of sewage sludge. *Soil Science* 129: 119-132.
- Williams, D. E., J. Vlamis, A. H. Pukite, and J. E. Corey. 1984. Metal movement in sludge treated soil after six years of sludge addition: I. Cadmium, Copper, lead and zinc. *Soil Science* 137: 351-359.

Williams, D. E., J. Vlamis, A. H. Pukite, and J. E. Corey. 1985. Metal movement in sludge-treated soils after six years of sludge addition: Nickel, iron, manganese, chromium and mercury. *Soil Science* 140: 120-125.

## APENDICES



APENDICE A.1  
PARAMETROS EDAFOLOGICOS DE LA  
ZONA DEL TANQUE TENORIO

Cuadro A.1.1 Parámetros edafológicos de la zona del Tanque Tenorio

Sitio	Profundidad cm	Textura	pH	Conductividad mS cm <sup>-1</sup>	Fósforo aprovechable mg/kg	Materia Orgánica %
Suelos regados con aguas residuales						
1. c/alfalfa	0 - 20	Migajón arcilloso	6.8	4.49	14.6	1.40
	20 - 40	Migajón arcilloso	6.8	3.12	8.0	0.62
	40 - 60	Migajón arcilloso	6.9	2.17	13.3	0.22
2. c/cebada	0 - 20	Migajón arcilloso arenoso	5.8	0.68	6.7	0.62
	20 - 40	Migajón arcilloso arenoso	5.8	0.87	5.3	0.31
	40 - 60	Migajón arcilloso arenoso	6.4	0.68	8.0	1.09
3. c/avena	0 - 20	Migajón arenoso	4.5	7.05	4.7	2.65
	20 - 40	Migajón arcillo arenoso	4.8	3.73	12.0	1.33
	40 - 60	Migajón arenoso	5.8	2.51	4.0	0.48
4. s/actividad	0 - 20	Migajón arcillo arenoso	4.6	3.88	50.7	6.84
	20 - 40	Migajón arcillo arenoso	5.8	4.19	36.0	0.96
	40 - 60	Migajón arcillo arenoso	6.4	3.35	10.7	0.59
5. s/actividad	0 - 20	Migajón arcillo arenoso	6.1	3.05	19.3	2.65
	20 - 40	Migajón arcillo arenoso	6.3	2.74	10.7	0.81
	40 - 60	Migajón arcillo arenoso	6.8	1.49	5.3	0.44
6. s/actividad	0 - 20	Migajón arcillo arenoso	5.6	3.73	8.0	2.19
	20 - 40	Migajón arcillo arenoso	5.7	1.90	12.7	1.17
	40 - 60	Migajón arcillo arenoso	5.8	1.79	5.3	0.55
Suelos no influenciados por las aguas residuales						
7. c/maíz	0 - 20	Migajón arenoso	6.9	2.47	6.0	1.23
	20 - 40	Migajón arenoso	6.7	1.52	4.0	0.96
8. orilla de camino	0 - 20	Migajón arenoso	5.6	< 0.5	9.3	1.50
	20 - 40	Migajón arenoso	5.8	0.87	10.7	1.36
	40 - 60	Migajón arenoso	6.2	1.00	12.0	1.09
9. s/actividad	0 - 20	Areno migajón	5.7	< 0.5	8.9	1.19
	20 - 40	Areno migajón	5.7	0.95	7.8	0.99

APENDICE A.2  
METALES TOTALES EN LOS SUELOS DE LA  
ZONA DEL TANQUE TENORIO

Cuadro A.2.1 Metales totales en los suelos de la zona del Tanque Tenorio

sitio	Profundidad cm	unidad	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Cd	Hg	Pb	As
Suelos regados con aguas residuales industriales													
1. c/alfalfa	0 - 20	mg/kg	158	228	1218	30	28	11	61	2.15	52	4.13	57
	20 - 40	mg/kg	163	213	1217	28	36	10	52	2.31	113	4.20	61
	40 - 60	mg/kg	166	171	1215	30	43	9	68	2.29	99	4.31	64
2. c/cebada	0 - 20	mg/kg	268	196	1277	50	57	12	74	2.61	158	5.14	71
	20 - 40	mg/kg	253	313	1302	45	59	12	81	2.63	108	4.34	77
	40 - 60	mg/kg	249	128	1220	29	51	7	36	1.77	60	3.61	67
3. c/avena	0 - 20	mg/kg	159	173	1243	36	52	126	155	4.77	110	9.73	77
	20 - 40	mg/kg	125	202	1239	26	35	72	150	5.51	80	7.97	74
	40 - 60	mg/kg	109	168	1221	23	39	19	72	3.41	59	5.61	68
4. s/actividad	0 - 20	mg/kg	289	155	1228	32	46	126	169	4.69	96	9.64	72
	20 - 40	mg/kg	155	174	1227	36	33	23	131	2.57	61	6.20	64
	40 - 60	mg/kg	133	265	1151	23	23	11	77	2.92	121	4.25	52
5. s/actividad	0 - 20	mg/kg	130	152	1154	23	52	32	83	2.70	166	6.75	59
	20 - 40	mg/kg	114	228	993	20	55	16	68	2.75	90	2.32	45
	40 - 60	mg/kg	108	181	1006	20	54	9	58	1.93	100	2.46	48
6. s/actividad	0 - 20	mg/kg	124	182	1127	24	54	18	79	2.69	181	7.95	62
	20 - 40	mg/kg	111	209	1095	22	55	9	57	2.00	105	4.87	51
	40 - 60	mg/kg	105	209	1159	22	54	7	44	2.38	177	4.99	56
Suelos no influenciados por las aguas residuales													
7. c/maiz	0 - 20	mg/kg	96	181	958	19	48	6	42	1.78	182	2.12	59
	20 - 40	mg/kg	87	110	1118	25	38	7	37	2.00	211	7.18	62
8. orilla de camino	0 - 20	mg/kg	105	174	1099	22	36	6	39	1.82	195	6.3	59
	20 - 40	mg/kg	98	136	1050	24	39	4	35	2.88	200	6.57	55
	40 - 60	mg/kg	93	128	1056	24	39	5	37	2.63	151	5.18	65
9. s/actividad	0 - 20	mg/kg	95	56	1018	19	42	6	24	2.37	147	2.01	55
	20 - 40	mg/kg	91	47	966	21	34	3	47	1.51	155	4.15	47

APENDICE A.3  
FRACCIONAMIENTO DE METALES Y  
EXTRACCIONES INDIVIDUALES CON  
 $\text{NH}_4\text{NO}_3$  Y EDTA

Cuadro A.3.1 Cu-fraccionamiento y extracciones individuales con  $\text{NH}_4\text{NO}_3$  y EDTA

sitio	Profundidad cm	unidad	Cu1	Cu2	Cu3	Cu4	Cu5	Cu6	Cu7	SUMA	Cu T.H.M.	Cu $\text{NH}_4\text{NO}_3$	Cu EDTA
Suelos regados con aguas residuales industriales													
1. c/alfalfa	0 - 20	mg/kg	0.11	1.52	0.06	1.69	1.35	2.38	4.18	11.29	11.08	0.10	3.46
		%	0.97	13.46	0.54	14.97	11.96	21.08	37.02	100	102		
		mg/kg	0.05	2.65	0.05	2.27	1.56	1.09	3.03	10.69	10.35	0.05	1.26
40 - 60	%	mg/kg	0.45	24.79	0.45	21.18	14.59	10.20	26.34	100	103		
		mg/kg	0.33	1.40	0.90	0.49	0.50	0.87	4.98	9.47	9.25	0.05	1.15
		mg/kg	3.48	14.78	9.50	5.17	5.28	9.19	52.60	100	103		
2. c/cebada	0 - 20	mg/kg	0.04	2.15	0.02	1.19	0.59	3.38	5.15	12.52	12.10	0.10	2.05
		%	0.32	17.17	0.16	9.51	4.71	27.00	41.13	100	102		
		mg/kg	0.05	1.93	0.02	1.29	0.43	3.98	6.60	14.30	12.45	0.01	1.31
40 - 60	%	mg/kg	0.35	13.50	0.14	9.02	3.01	27.83	46.15	100	114		
		mg/kg	0.14	1.88	0.02	1.29	0.93	0.03	3.60	7.89	7.28	0.10	1.47
		mg/kg	1.77	23.83	0.25	16.35	11.79	0.38	45.63	100	108		
3. c/avena	0 - 20	mg/kg	19.72	50.85	0.24	23.59	9.00	0.31	27.29	131	126	8.63	79.44
		%	15.05	38.82	0.18	18.01	6.87	0.24	20.83	100	72	1.95	47.24
		mg/kg	8.30	27.28	0.19	19.12	9.00	0.28	11.10	75.25	100		
40 - 60	%	mg/kg	11.02	36.25	0.25	25.40	11.96	0.37	14.75	100			
		mg/kg	0.33	9.23	0.05	4.50	1.80	0.25	3.20	19.36	19	0.05	6.90
		mg/kg	1.70	47.68	0.26	23.24	9.30	1.29	16.53	100	104		
4. s/actividad	0 - 20	mg/kg	6.19	33.05	6.96	41.30	12.83	16.18	12.50	129	126	3.25	67.45
		%	4.80	25.62	5.39	32.01	9.95	12.54	9.69	100	103		
		mg/kg	1.26	6.13	0.39	3.32	0.22	1.24	11.09	23.65	23.05	0.16	9.08
40 - 60	%	mg/kg	5.33	25.92	1.65	14.04	0.93	5.24	46.89	100	103		
		mg/kg	0.41	0.20	1.23	0.87	0.08	0.16	8.02	10.97	10.86	0.10	1.70
		mg/kg	3.74	1.82	11.21	7.93	0.73	1.46	73.11	100	101		
5. s/actividad	0 - 20	mg/kg	2.30	9.80	2.90	4.20	1.70	0.90	10.46	32.26	31.86	0.70	30.55
		%	7.13	30.38	8.99	13.02	5.27	2.79	32.42	100	101		
		mg/kg	1.13	5.07	0.08	2.48	0.90	1.24	5.25	16.15	15.53	0.05	4.41
40 - 60	%	mg/kg	7.00	31.39	0.49	15.36	5.57	7.68	32.51	100	104		
		mg/kg	0.03	1.26	0.02	0.56	0.30	2.02	4.73	8.92	8.65	0.05	0.95
		mg/kg	0.34	14.13	0.22	6.28	3.36	22.65	53.02	100	103		

Cu1 extracción con  $\text{MgNO}_3$ 

Cu2 extracción con Na-pirofosfato

Cu3 extracción con  $\text{NH}_2\text{OH}\cdot\text{Cl}$ Cu4 extracción con  $\text{H}_2\text{O}_2\text{-MgNO}_3$ Cu5 extracción con  $\text{NH}_4\text{-oxalato}$  (oscuridad)Cu6 extracción con  $\text{NH}_4\text{-oxalato}$ 

Cu7 residual

Cu T.H.M. Cobre total. ataque ácido en horno de microondas

No secuencial

Cu( $\text{NH}_4\text{NO}_3$ ) extracción individual

Cu (EDTA) extracción individual

sitio	Profundidad cm	unidad	Cu1	Cu2	Cu3	Cu4	Cu5	Cu6	Cu7	SUMA	Cu T.H.M.	Cu NH <sub>4</sub> NO <sub>3</sub>	Cu EDTA
Suelos regados con aguas residuales industriales													
6. s/actividad	0 - 20	mg/kg	1.54	4.13	0.67	3.89	0.81	0.63	7.04	18.71	18.16	0.101	5.46
		%	8.23	22.07	3.58	20.79	4.33	3.37	37.63	100	103		
	20 - 40	mg/kg	0.47	1.07	0.58	0.79	0.11	0.43	5.81	9.26	9.09	0.05	2.36
		%	5.08	11.56	6.26	8.53	1.19	4.64	62.74	100	102		
	40 - 60	mg/kg	0.30	0.60	0.20	0.35	0.08	0.28	5.12	6.93	6.82	0.05	0.79
		%	4.33	8.66	2.89	5.05	1.15	4.04	73.88	100	102		
Suelos no influenciados por las aguas residuales													
7. c/maiz	0 - 20	mg/kg	0.25	0.34	0.14	0.17	0.11	0.48	4.88	6.37	6.30	0.05	0.63
		%	3.92	5.34	2.20	2.67	1.73	7.54	76.60	100	101		
	20 - 40	mg/kg	0.15	0.73	0.25	0.30	0.21	0.99	4.16	6.79	6.64	0.05	0.58
		%	2.21	10.75	3.68	4.42	3.09	14.58	61.27	100	102		
8. orilla de camino	0 - 20	mg/kg	0.70	0.11	0.29	0.88	0.01	0.16	3.64	5.79	5.64	0.05	0.68
		%	12.09	1.90	5.01	15.20	0.17	2.76	62.87	100	103		
	20 - 40	mg/kg	0.37	0.01	0.02	0.57	0.03	0.05	3.40	4.45	4.40	0.05	0.47
		%	8.32	0.22	0.45	12.81	0.67	1.12	76.41	100	101		
	40 - 60	mg/kg	0.35	0.07	0.02	0.67	0.03	0.09	3.35	4.58	4.50	0.05	0.31
		%	7.64	1.53	0.44	14.63	0.66	1.97	73.13	100	102		
9. s/actividad	0 - 20	mg/kg	0.11	1.03	0.02	0.19	0.27	0.57	4.11	6.52	6.35	0.05	0.31
		%	1.69	15.80	3.68	2.91	4.14	8.74	63.04	100	103		
	20 - 40	mg/kg	0.03	0.41	0.24	0.10	0.09	0.31	2.04	3.22	3.13	0.05	0.31
		%	0.93	12.73	7.45	3.11	2.80	9.63	63.35	100	103		

Cu1 extracción con MgNO<sub>3</sub>  
 Cu2 extracción con Na-pirofosfato  
 Cu3 extracción con NH<sub>2</sub>OH-Cl  
 Cu4 extracción con H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>-MgNO<sub>3</sub>  
 Cu5 extracción con NH<sub>4</sub>-oxalato (oscuridad)  
 Cu6 extracción con NH<sub>4</sub>-oxalato  
 Cu7 residual  
 Cu T H M Cobre total, ataque ácido en horno de microondas  
 No secuencial  
 Cu(NH<sub>4</sub>NO<sub>3</sub>) extracción individual  
 Cu (EDTA) extracción individual

Cuadro A.3.2 Cd-fraccionamiento y extracciones individuales con NH<sub>4</sub>NO<sub>3</sub> y EDTA

sitio	Profundidad cm	unidad	Cd1	Cd2	Cd3	Cd4	Cd5	Cd6	Cd7	SUMA	Cd T.H.M	Cd NH <sub>4</sub> NO <sub>3</sub>	Cd EDTA
Suelos regados con aguas residuales industriales													
1. c/alfalfa	0 - 20	mg/kg	0.21	n.d.	0.02	0.56	0.22	0.05	1.29	2.35	2.31	0.05	0.60
		%	8.93	n.d.	0.85	23.84	9.37	2.12	54.89	100	102		
	20 - 40	mg/kg	0.07	n.d.	0.01	0.68	0.27	0.03	1.14	2.20	2.20	0.04	0.45
		%	3.18	n.d.	0.45	30.91	12.28	1.37	51.81	100	102		
40 - 60	mg/kg	0.07	0.18	0.24	0.39	0.17	0.05	1.23	2.33	2.29	0.04	0.45	
	%	3.00	7.73	10.30	16.74	7.30	2.15	52.78	100	102			
2. c/cebada	0 - 20	mg/kg	0.05	n.d.	n.d.	1.09	0.20	0.04	1.51	2.89	2.61	0.11	0.27
		%	1.73	n.d.	n.d.	37.72	6.92	1.38	52.25	100	111		
	20 - 40	mg/kg	0.05	n.d.	n.d.	1.28	0.35	0.18	1.23	3.09	2.63	0.06	0.37
		%	1.62	n.d.	n.d.	41.42	11.33	5.83	39.80	100	117		
40 - 60	mg/kg	0.04	n.d.	n.d.	0.78	0.04	0.20	0.99	2.05	1.77	0.06	0.35	
	%	1.95	n.d.	n.d.	38.05	1.95	9.76	48.29	100	115			
3. c/avena	0 - 20	mg/kg	1.49	0.19	0.01	0.63	0.11	0.06	2.38	4.87	4.77	2.29	4.25
		%	30.60	3.90	0.21	12.93	2.26	1.23	48.87	100	102		
	20 - 40	mg/kg	1.54	0.21	n.d.	1.76	0.13	0.14	2.91	5.69	5.51	1.89	4.63
		%	27.07	3.69	n.d.	13.36	2.28	2.46	51.14	100	103		
40 - 60	mg/kg	1.04	0.19	n.d.	0.58	0.09	0.01	1.58	3.49	3.40	0.34	1.72	
	%	29.80	5.44	n.d.	16.62	2.58	0.29	45.27	100	103			
4. s/actividad	0 - 20	mg/kg	1.23	0.23	0.39	0.62	0.61	0.10	1.66	4.84	4.69	1.63	3.51
		%	25.41	4.75	8.06	12.81	12.60	2.07	34.30	100	103		
	20 - 40	mg/kg	0.46	0.30	0.08	0.24	0.06	0.10	1.37	2.61	2.57	0.32	1.17
		%	17.62	11.49	3.07	9.20	2.30	3.83	52.49	100	102		
40 - 60	mg/kg	0.48	0.11	n.d.	0.43	0.32	0.08	1.55	2.97	2.92	0.08	0.52	
	%	16.16	3.70	n.d.	14.48	10.77	2.70	52.19	100	102			
5. s/actividad	0 - 20	mg/kg	0.54	0.05	n.d.	0.43	0.11	0.05	1.55	2.73	2.70	0.17	1.79
		%	19.78	1.83	n.d.	15.75	4.03	1.83	56.78	100	101		
	20 - 40	mg/kg	0.51	n.d.	n.d.	0.56	0.10	0.04	1.58	2.79	2.75	0.11	0.60
		%	18.28	n.d.	n.d.	20.07	3.58	1.44	56.63	100	101		
40 - 60	mg/kg	0.21	n.d.	n.d.	0.47	0.11	0.03	1.13	1.95	1.93	0.04	0.52	
	%	10.77	n.d.	n.d.	24.10	5.64	1.54	57.95	100	101			

n.d. no detectado

Cd1 extracción con MgNO<sub>3</sub>

Cd2 extracción con Na-pirofosfato

Cd3 extracción con NH<sub>2</sub>OH-ClCd4 extracción con H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>-MgNO<sub>3</sub>Cd5 extracción con NH<sub>4</sub>-oxalato (oscuridad)Cd6 extracción con NH<sub>4</sub>-oxalato

Cd7 residual

Cd T.H.M. Cadmio total, ataque ácido  
en horno de microondas  
No secuencialCd(NH<sub>4</sub>NO<sub>3</sub>) extracción  
individual  
Cd(EDTA) extracción  
individual



Cuadro A.3.2 ..... (continuación)

sitio	Profundidad cm	unidad	Cd1	Cd2	Cd3	Cd4	Cd5	Cd6	Cd7	SUMA	Cd T.H.M.	Cd NH <sub>4</sub> NO <sub>3</sub>	Cd EDTA
Suelos regados con aguas residuales industriales													
6. s/actividad	0 - 20	mg/kg	0.47	n.d.	n.d.	0.50	0.06	0.09	1.54	2.66	2.70	0.13	0.62
		%	17.56	n.d.	n.d.	18.88	2.33	3.31	57.92	100	98.84		
	20 - 40	mg/kg	0.65	n.d.	n.d.	0.49	0.01	0.01	1.09	2.25	2.00	0.06	0.45
		%	28.89	n.d.	n.d.	21.78	0.44	0.44	48.45	100	112		
	40 - 60	mg/kg	0.58	n.d.	n.d.	0.77	0.03	0.02	1.07	2.47	2.38	0.06	0.33
		%	23.48	n.d.	n.d.	31.17	1.21	0.81	43.33	100	104		
Suelos no influenciados por las aguas residuales													
7. cimaiz	0 - 20	mg/kg	0.03	0.11	0.28	0.24	0.05	0.04	1.09	1.84	1.78	0.06	0.37
		%	1.63	5.98	15.22	13.04	2.72	2.17	59.24	100	103		
	20 - 40	mg/kg	0.11	0.11	0.16	0.43	0.08	0.05	1.14	2.08	2.00	0.06	0.37
		%	5.29	5.29	7.69	20.67	3.85	2.40	54.81	100	104		
8. orilla de camino	0 - 20	mg/kg	0.42	0.02	n.d.	0.39	0.01	0.07	0.96	1.87	1.82	0.05	0.49
		%	22.46	1.07	n.d.	20.86	0.53	3.74	51.34	100	103		
	20 - 40	mg/kg	0.50	0.03	n.d.	0.80	0.03	0.17	1.44	2.97	2.88	0.04	0.37
		%	16.84	1.01	n.d.	26.93	1.01	5.73	48.48	100	103		
	40 - 60	mg/kg	0.35	0.02	n.d.	0.76	0.07	0.26	1.26	2.72	2.63	0.08	0.34
		%	12.86	0.74	n.d.	27.94	2.57	9.56	46.33	100	103		
9. s/actividad	0 - 20	mg/kg	0.09	0.20	0.23	0.23	0.14	0.18	1.38	2.45	2.37	0.06	0.29
		%	3.67	8.16	9.39	9.39	5.71	7.35	56.33	100	104		
	20 - 40	mg/kg	0.05	0.16	0.21	0.21	0.11	0.13	0.71	1.58	1.51	0.06	0.22
		%	3.16	10.12	13.29	13.29	6.96	8.23	44.95	100	105		

n.d. no detectado

Cd1 extracción con MgNO<sub>3</sub>

Cd2 extracción con Na-pirofosfato

Cd3 extracción con NH<sub>2</sub>OH-ClCd4 extracción con H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>-MgNO<sub>3</sub>Cd5 extracción con NH<sub>4</sub>-oxalato (oscuridad)Cd6 extracción con NH<sub>4</sub>-oxalato

Cd7 residual

Cd T.H.M. Cadmio total, ataque ácido

en horno de microondas

Cd(NH<sub>4</sub>NO<sub>3</sub>) extracción

individual

Cd(EDTA) extracción

individual

No secuencial

Cuadro A.3.3 Co-fraccionamiento y extracciones individuales con NH<sub>4</sub>NO<sub>3</sub> y EDTA

sitio	Profundidad cm	unidad	Co1	Co2	Co3	Co4	Co5	Co6	Co7	SUMA	Co T H M.	Co NH <sub>4</sub> NO <sub>3</sub>	Co EDTA
Suelos regados con aguas residuales industriales													
1. c/alfalfa	0 - 20	mg/kg	0.26	0.05	0.22	8.34	3.18	0.46	17.99	30.5	29.80	0.08	1.50
		%	0.85	0.16	0.72	27.35	10.43	1.51	58.98	100	102		
	20 - 40	mg/kg	0.12	n.d.	0.10	6.52	3.88	0.47	17.89	28.98	28.25	0.08	1.25
		%	0.41	n.d.	0.35	22.5	13.39	1.62	61.73	100	103		
	40 - 60	mg/kg	0.21	n.d.	n.d.	7.28	2.54	2.14	18.05	30.22	29.75	0.12	1.25
		%	0.69	n.d.	n.d.	24.09	8.41	7.08	59.73	100	102		
2. c/cebada	0 - 20	mg/kg	6.92	n.d.	1.60	8.34	8.24	3.35	22.25	50.70	49.87	0.11	1.50
		%	13.65	n.d.	3.16	16.45	16.25	6.61	43.88	100	102		
	20 - 40	mg/kg	1.51	n.d.	0.87	16.36	5.38	3.23	18.41	45.76	44.66	0.53	2.00
		%	3.3	n.d.	1.9	35.75	11.76	7.06	40.23	100	102		
	40 - 60	mg/kg	0.67	n.d.	1.35	5.27	4.15	1.57	16.16	29.17	28.55	0.15	1.50
		%	2.30	n.d.	4.63	18.07	14.23	5.38	55.39	100	102		
3. c/avena	0 - 20	mg/kg	7.00	6.01	1.20	4.50	0.05	0.38	17.82	36.96	36.30	0.76	3.91
		%	18.93	16.26	3.25	12.18	0.14	1.03	48.21	100	102		
	20 - 40	mg/kg	4.49	2.99	1.09	2.04	0.45	0.14	15.61	26.81	25.79	0.91	2.25
		%	16.75	11.15	4.07	7.61	1.68	0.52	58.22	100	104		
	40 - 60	mg/kg	0.18	2.61	0.99	2.28	0.15	0.48	16.20	22.89	22.75	0.28	2.00
		%	0.78	11.40	4.33	9.96	0.66	21	70.77	100	100.6		
4 s/actividad	0 - 20	mg/kg	2.11	0.99	1.51	2.11	2.72	12.08	15.19	36.71	36.24	1.21	2.00
		%	5.75	2.70	4.11	5.75	7.41	32.90	41.38	100	102		
	20 - 40	mg/kg	0.12	1.02	0.72	2.81	1.62	0.45	17.62	24.36	22.68	0.35	1.75
		%	0.49	4.19	2.96	11.53	6.65	1.85	72.33	100	107		
	40 - 60	mg/kg	5.48	2.99	0.49	1.97	4.24	1.87	15.42	32.46	32.38	0.13	1.75
		%	16.88	9.21	1.51	6.07	13.06	5.76	47.51	100	100		
5 s/actividad	0 - 20	mg/kg	1.26	1.23	3.54	2.53	1.51	0.65	12.88	23.60	23.32	0.15	1.50
		%	5.34	5.21	15.00	10.72	6.40	2.75	54.58	100	101		
	20 - 40	mg/kg	0.54	2.74	0.29	1.38	0.45	0.81	14.52	20.73	20.45	0.15	1.50
		%	2.60	13.22	1.40	6.66	2.17	3.91	70.04	100	101		
	40 - 60	mg/kg	0.61	2.64	0.37	2.13	0.64	0.77	13.07	20.23	19.98	0.08	1.50
		%	3.02	13.05	1.82	10.53	3.16	3.81	64.61	100	101		

Co1 extracción con MgNO<sub>3</sub>

Co2 extracción con Na-pirofosfato

Co3 extracción con NH<sub>2</sub>OH-ClCo4 extracción con H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>-MgNO<sub>3</sub>Co5 extracción con NH<sub>4</sub>-oxalato (oscuridad)Co6 extracción con NH<sub>4</sub>-oxalato

Co7 residual

Co T H M. Cobalto total, ataque ácido  
en horno de microondas  
No secuencialCo(NH<sub>4</sub>NO<sub>3</sub>) extracciónindividual  
Co(EDTA) extracción  
individual

Cuadro A.3.3 .....

(continuación)

sitio	Profundidad cm	unidad	Co1	Co2	Co3	Co4	Co5	Co6	Co7	SUMA	Co T.H.M.	Co NH <sub>4</sub> NO <sub>3</sub>	Co EDTA
Suelos regados con aguas residuales industriales													
6 s/actividad	0 - 20	mg/kg	2.30	1.93	0.24	3.39	0.59	0.80	14.89	24.14	23.88	0.58	1.00
		%	9.53	8.00	0.99	14.04	2.44	3.31	61.69	100	101		
	20 - 40	mg/kg	1.96	1.88	1.21	2.00	0.62	0.62	14.45	22.74	22.15	0.46	1.25
		%	8.62	8.26	5.32	8.80	2.73	2.73	63.54	100	103		
	40 - 60	mg/kg	1.74	1.77	n.d.	2.64	0.56	0.84	14.69	22.24	0.37	1.00	
		%	7.82	7.96	n.d.	11.87	2.52	3.78	66.05	100	102		
Suelos no influenciados por las aguas residuales													
7 c/maiz	0 - 20	mg/kg	0.41	0.42	0.15	2.74	n.d.	1.43	13.68	18.83	18.50	0.58	0.75
		%	2.18	2.23	0.80	14.55	n.d.	7.59	72.65	100	102		
	20 - 40	mg/kg	0.94	0.60	0.23	6.35	n.d.	3.58	13.52	25.22	24.75	0.46	1.00
		%	3.73	2.38	0.91	25.18	n.d.	14.20	53.60	100	102		
8 orilla de camino	0 - 20	mg/kg	2.34	1.68	0.31	2.86	0.85	0.38	13.77	22.19	21.79	0.15	0.83
		%	10.55	7.57	1.40	12.89	3.83	1.71	62.05	100	102		
	20 - 40	mg/kg	1.96	1.37	1.40	3.45	1.15	0.86	14.15	24.34	23.95	0.08	1.00
		%	8.05	5.63	5.75	14.18	4.72	3.53	58.14	100	102		
	40 - 60	mg/kg	2.03	1.24	1.63	3.18	0.56	1.04	14.72	24.40	23.95	0.08	1.00
		%	8.32	5.08	6.68	13.03	2.30	4.26	60.33	100	102		
9 s/actividad	0 - 20	mg/kg	1.57	n.d.	0.67	2.58	n.d.	3.10	11.68	19.60	18.95	0.10	0.75
		%	8.01	n.d.	3.42	13.16	n.d.	15.82	59.59	100	103		
	20 - 40	mg/kg	2.62	n.d.	0.90	3.72	n.d.	2.42	11.78	21.44	20.64	0.08	0.50
		%	12.22	n.d.	4.20	17.35	n.d.	11.29	54.94	100	104		

n.d. no detectado

Co1 extracción con MgNO<sub>3</sub>

Co2 extracción con Na-pirofosfato

Co3 extracción con NH<sub>2</sub>OH-ClCo4 extracción con H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>-MgNO<sub>3</sub>Co5 extracción con NH<sub>4</sub>-oxalato (oscuridad)Co6 extracción con NH<sub>4</sub>-oxalato

Co7 residual

Co T.H.M. Cobalto total, ataque ácido

en horno de microondas

No secuencial

Co(NH<sub>4</sub>NO<sub>3</sub>) extracción

individual

Co(EDTA) extracción

individual

Cuadro A.3.4 Cr-fraccionamiento y extracciones individuales con NH<sub>4</sub>NO<sub>3</sub> y EDTA

sitio	Profundidad cm	unidad	Cr1	Cr2	Cr3	Cr4	Cr5	Cr6	Cr7	SUMA	Cr T.H.M.	Cr NH <sub>4</sub> NO <sub>3</sub>	Cr EDTA
Suelos regados con aguas residuales industriales													
1. c/alfalfa	0 - 20	mg/kg	16.3	2.91	2.98	33.7	5.56	6.30	98.5	166.2	158	0.14	0.60
		%	9.81	1.75	1.79	20.3	3.35	3.79	59.3	100	105		
	20 - 40	mg/kg	17.4	6.98	2.38	25	7.3	12.5	98.3	170	163	0.13	0.59
		%	10.2	4.11	1.40	14.7	4.30	7.35	57.9	100	104		
	40 - 60	mg/kg	19.6	6.98	2.86	23.1	8.53	14.1	99.8	174.8	166.3	0.14	0.43
		%	11	3.99	1.64	13.2	4.88	8.04	57.1	100	105		
2. c/cebada	0 - 20	mg/kg	22.8	15.7	1.43	43.3	13.7	22.5	161	280	268	0.16	0.72
		%	8.13	5.60	0.51	15.4	4.9	8.02	57.41	100	105		
	20 - 40	mg/kg	20.87	13.81	3.13	31.4	10.3	22.5	154.5	256.2	253.2	0.28	0.70
		%	8.14	5.39	1.22	12.24	4.00	8.77	60.2	100	101		
	40 - 60	mg/kg	17.4	12.2	2.86	46.2	12.2	25	149.6	265.4	249.4	0.12	0.52
		%	6.60	4.60	1.07	17.4	4.60	9.41	56.4	100	106		
3. c/avena	0 - 20	mg/kg	17.2	7.33	1.90	26.9	8.4	13	94.8	169.6	159.5	0.30	1.56
		%	10.1	4.32	1.12	15.9	4.96	7.66	55.9	100	106		
	20 - 40	mg/kg	10.7	3.49	0.78	15.4	9.76	9.38	76.14	125.6	125	0.29	1.04
		%	8.48	2.78	0.62	12.3	7.77	7.47	60.63	100	100		
	40 - 60	mg/kg	11.2	3.77	0.29	17.3	5.12	9.76	66.2	113.7	108.7	0.29	0.78
		%	9.87	3.32	0.25	15.2	4.51	8.59	58.24	100	105		
4. s/actividad	0 - 20	mg/kg	19.6	29	5.24	39.2	22.7	10.6	176	302	289	0.56	5.20
		%	6.47	9.57	1.73	13	7.50	3.52	58.2	100	105		
	20 - 40	mg/kg	15.2	8.02	3.57	25	7.32	11.9	94.3	165.3	155.3	0.15	1.12
		%	9.21	4.85	2.16	15.1	4.43	7.19	57.03	100	106		
	40 - 60	mg/kg	15.2	5.23	0.95	23.1	4.88	9.40	81.6	140	133	0.15	0.63
		%	10.8	3.72	0.68	16.4	3.48	6.70	58.1	100	105		
5. s/actividad	0 - 20	mg/kg	12	3.83	0.85	13.4	6.66	14.2	81.5	132.4	130	0.14	2.60
		%	9.03	2.89	0.64	10.1	5.03	10.7	61.6	100	102		
	20 - 40	mg/kg	10.9	3.51	0.83	11.6	5.45	12.5	71.4	116	113.5	0.13	0.89
		%	9.36	3.02	0.72	9.99	4.69	10.8	61.5	100	102		
	40 - 60	mg/kg	8.61	2.87	0.68	14.5	7.22	9.98	67.7	111.6	108	0.11	0.72
		%	7.72	2.57	0.61	13	6.47	8.9	60.7	100	103		

Cr1 extracción con MgNO<sub>3</sub>  
 Cr2 extracción con Na-pirofosfato  
 Cr3 extracción con NH<sub>2</sub>OH-Cl

Cr4 extracción con H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>-MgNO<sub>3</sub>  
 Cr5 extracción con NH<sub>4</sub>-oxalato (oscuridad)  
 Cr6 extracción con NH<sub>4</sub>-oxalato

Cr7 residual  
 Cr T.H.M. Cromo total, ataque ácido  
 en horno de microondas  
 No secuencial

Cr(NH<sub>4</sub>NO<sub>3</sub>) extracción  
 individual  
 Cr(EDTA) extracción  
 individual

Cuadro A.3.4 .....

(continuación)

sitio	Profundidad cm	unidad	Cr1	Cr2	Cr3	Cr4	Cr5	Cr6	Cr7	SUMA	Cr T.H.M.	Cr NH <sub>4</sub> NO <sub>3</sub>	Cr EDTA
Suelos regados con aguas residuales industriales													
6.s/actividad	0 - 20	mg/kg	12.2	3.83	0.43	16	3.33	19.9	75.8	131	124	0.15	1.11
		%	9.26	2.91	0.33	12.2	2.53	15.1	57.7	100	106		
	20 - 40	mg/kg	11.5	1.91	0.61	11.7	5.7	16.5	66.5	114	111	0.15	1.28
		%	10.1	1.67	0.53	10.2	4.96	14.4	58.2	100	103		
	40 - 60	mg/kg	11.3	1.28	0.61	10.1	4.55	14.3	64	106	105	0.14	0.83
		%	10.7	1.21	0.57	9.55	4.29	13.47	60.26	100	101		
Suelos no influenciados por las aguas residuales													
7.c/maíz	0 - 20	mg/kg	10.9	6.4	0.61	9.36	4.44	10.1	57.5	99.2	96.3	0.13	0.75
		%	10.9	6.5	0.61	9.43	4.47	10.2	57.9	100	103		
	20 - 40	mg/kg	9.66	7.4	n.d.	7.63	3.49	8.39	52.80	89.4	86.7	0.12	0.70
		%	10.8	8.3	n.d.	8.54	3.91	9.39	59.01	100	103		
8.orilla de camino	0 - 20	mg/kg	10.4	2.87	0.80	12.3	3.89	13	63.6	107	105	0.14	0.67
		%	9.8	2.69	0.75	11.5	3.64	12.15	54.5	100	102		
	20 - 40	mg/kg	11.5	3.01	n.d.	12.2	2.01	13	59.1	100	97.99	0.13	0.59
		%	11.4	2.99	n.d.	12.1	1.99	12.9	58.6	100	103		
	40 - 60	mg/kg	9.17	2.99	n.d.	13.3	1.58	13	57.4	97.4	93.1	0.11	0.60
		%	9.42	3.07	n.d.	13.6	1.62	13.3	59	100	105		
9.s/actividad	0 - 20	mg/kg	11.4	2.56	n.d.	15.56	3.26	12.66	57.74	103	95.2	0.10	0.53
		%	11.1	2.48	n.d.	15.1	3.16	12.27	56	100	108		
	20 - 40	mg/kg	10.5	2.66	n.d.	12.26	2.26	11.68	54.9	94.7	91.5	0.10	0.59
		%	11.1	2.82	n.d.	13	2.40	12.4	58.3	100	103		

Cr1 extracción con MgNO<sub>3</sub>

Cr2 extracción con Na-pirofosfato

Cr3 extracción con NH<sub>2</sub>OH-ClCr4 extracción con H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>-MgNO<sub>3</sub>Cr5 extracción con NH<sub>4</sub>-oxalato (oscuridad)Cr6 extracción con NH<sub>4</sub>-oxalato

Cr7 residual

Cr T.H.M. Cromo total, ataque ácido  
en horno de microondas  
No secuencialCr(NH<sub>4</sub>NO<sub>3</sub>) extracción

individual

Cr(EDTA) extracción  
individual

Cuadro A.3.5 Fe-fraccionamiento y extracciones individuales con NH<sub>4</sub>NO<sub>3</sub> y EDTA

sitio	Profundidad cm	unidad	Fe1	Fe2	Fe3	Fe4	Fe5	Fe6	Fe7	SUMA	Fe T.H.M	Fe NH <sub>4</sub> NO <sub>3</sub>	Fe EDTA
Suelos regados con aguas residuales industriales													
1. c/alfalfa	0 - 20	mg/kg	1.10	6.63	6.51	77.2	70.8	244.7	834.1	1241	1218	0.57	128
		%	0.09	0.53	0.52	6.22	5.71	19.7	67.2	100	102		
	20 - 40	mg/kg	1.33	6.52	4.66	76.4	70.87	219.2	856.1	1235	1217	0.80	52
		%	0.11	0.53	0.38	6.19	5.73	17.8	69.3	100	101.47		
	40 - 60	mg/kg	1.06	5.06	3.88	76.1	42.0	218.8	873.8	1	1215	0.45	48
		%	0.08	0.440	0.31	6.05	6.50	14.35	69.3	100	104		
2. c/cebada	0 - 20	mg/kg	1.37	16.28	4.10	82.9	66.14	252.1	878	1301	1277	1.02	72
		%	0.11	1.25	0.32	6.37	5.08	19.4	67.5	100	102		
	20 - 40	mg/kg	1.16	8.34	4.47	86.5	87.38	242.2	896.6	1327	1302	0.80	60
		%	0.09	0.63	0.34	6.51	6.59	18.26	67.6	100	102		
	40 - 60	mg/kg	1.06	8.5	11.67	80.3	79.50	221.5	840	1242	1220	0.58	90
		%	0.09	0.68	0.94	6.46	6.40	17.8	67.6	100	104		
3.c/avena	0 - 20	mg/kg	1.63	113.5	41.7	79.4	78.33	220.2	744.8	1280	1243	0.91	245
		%	0.13	8.87	3.26	6.21	6.12	17.21	58.20	100	103		
	20 - 40	mg/kg	1.06	45.9	23.6	83.6	88.28	238.1	789.9	1270	1239	0.34	144
		%	0.08	3.62	1.85	6.58	6.95	18.7	62.2	100	103		
	40 - 60	mg/kg	1.13	15	13.15	79.0	86.09	235.7	791.3	1221	1221	0.69	68
		%	0.09	1.22	1.08	6.47	7.05	19.3	64.8	100	100		
4.s/actividad	0 - 20	mg/kg	1.36	156.8	35.5	50.3	88.9	137.1	788.4	1258	1228	0.53	379
		%	0.11	12.5	2.82	3.99	7.06	10.9	62.7	100	102		
	20 - 40	mg/kg	1.09	61.1	19.66	68.4	138.1	207.1	761.2	1256	1227	0.23	366
		%	0.09	4.87	1.56	5.44	11.0	16.5	60.6	100	102		
	40 - 60	mg/kg	1.42	16.9	9.33	69.3	116.8	219.2	778.7	1212	1151	0.34	69
		%	0.12	1.39	0.78	5.72	9.63	18.1	64.3	100	105		
5.s/actividad	0 - 20	mg/kg	1.06	86.1	32.7	59.1	87	157	755.1	1178	1154	0.57	311
		%	0.09	7.31	2.77	5.01	7.39	13.3	64.1	100	102		
	20 - 40	mg/kg	0.82	15.3	9.80	40.1	63.2	126.3	757.1	1013	993	0.57	129
		%	0.08	1.51	0.97	3.96	6.24	12.47	74.8	100	102		
	40 - 60	mg/kg	0.99	4.2	2.33	4.68	77.3	144.6	795.8	1030	1006	0.47	50
		%	0.10	0.41	0.23	0.45	7.5	14.1	77.3	100	102		

Fe1 extracción con MgNO<sub>3</sub>

Fe2 extracción con Na-pirofosfato

Fe3 extracción con NH<sub>2</sub>OH-ClFe4 extracción con H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>-MgNO<sub>3</sub>Fe5 extracción con NH<sub>4</sub>-oxalato (oscuridad)Fe6 extracción con NH<sub>4</sub>-oxalato

Fe7 residual

Fe T.H.M. Fierro total, ataque ácido  
en horno de microondas  
No secuencialFe(NH<sub>4</sub>NO<sub>3</sub>) extracciónindividual  
Fe(EDTA) extracción  
individual

Cuadro A.3.5 .....

(continuación)

sitio	Profundidad cm	unidad	Fe1	Fe2	Fe3	Fe4	Fe5	Fe6	Fe7	SUMA	Fe T.H.M.	Fe NH <sub>4</sub> NO <sub>3</sub>	Fe EDTA
Suelos regados con aguas residuales industriales													
6.s/actividad	0 - 20	mg/kg	1.46	95.3	16.6	47.5	69	136.1	792	1158	1127	0.92	279
		%	0.13	8.23	1.43	4.11	5.95	11.75	68.4	100	103		
	20 - 40	mg/kg	0.80	42.2	6.50	41.7	66.2	141.7	830	1130	1095	0.59	172
		%	0.07	3.74	0.58	3.69	5.86	12.54	73.5	100	103		
	40 - 60	mg/kg	1.06	25.9	11.5	56.5	100	193.5	810.6	1199	1159	0.80	82
		%	0.09	2.16	0.96	4.71	8.34	16.14	67.6	100	103		
Suelos no influenciados por las aguas residuales													
7.c/maíz	0 - 20	mg/kg	0.55	9.40	3.35	26.8	39.4	89.3	792.1	961	958	0.23	78
		%	0.06	0.98	0.35	2.79	4.10	9.29	82.4	100	100		
	20 - 40	mg/kg	1.09	27.8	4.17	50.3	81.4	172	786	1123	1118	0.57	88
		%	0.10	2.47	0.37	4.48	7.25	15.3	70	100	100		
8.orilla de camino	0 - 20	mg/kg	1.25	31.1	12.67	57.7	97.4	188.8	777	1166	1099	0.46	105
		%	0.11	2.67	1.09	4.95	8.35	16.19	66.6	100	106		
	20 - 40	mg/kg	0.93	13.65	7.12	42.8	57.8	137.8	816	1076	1050	0.24	91
		%	0.09	1.27	0.66	3.97	5.38	12.81	75.9	100	102		
	40 - 60	mg/kg	1.25	13.5	8.5	58.7	81.4	188	816	1167	1056	0.49	67
		%	0.11	1.16	0.73	5.03	6.97	16.1	69.9	100	110		
9.s/actividad	0 - 20	mg/kg	1.17	16.9	7.83	40.1	98.8	203	741.5	1109	1018	0.33	32
		%	0.11	1.52	0.71	3.61	8.90	18.30	66.9	100	108		
	20 - 40	mg/kg	0.92	9.30	2.80	34.8	69.9	149	761	1028	966	0.22	22
		%	0.09	0.91	0.27	3.39	6.80	14.5	74	100	106		

Fe1 extracción con MgNO<sub>3</sub>

Fe2 extracción con Na-pirifosfato

Fe3 extracción con NH<sub>2</sub>OH-ClFe4 extracción con H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>-MgNO<sub>3</sub>Fe5 extracción con NH<sub>4</sub>-oxalato (oscuridad)Fe6 extracción con NH<sub>4</sub>-oxalato

Fe7 residual

Fe T.H.M. Hierro total, ataque ácido

en horno de microondas

No secuencial

Fe(NH<sub>4</sub>NO<sub>3</sub>) extracción

individual

Fe(EDTA)

extracción

individual

Cuadro A.3.6 Mn-fraccionamiento y extracciones individuales con  $\text{NH}_4\text{NO}_3$  y EDTA

sitio	Profundidad cm	unidad	Mn1	Mn2	Mn3	Mn4	Mn5	Mn6	Mn7	SUMA	Mn1 T.H.M.	Mn1 $\text{NH}_4\text{NO}_3$	Mn1 EDTA
Suelos regados con aguas residuales industriales													
1. c/alfalfa	0 - 20	mg/kg	6.59	1.14	2.19	108.92	40.58	5.29	74.15	238.86	228.10	17.9	128
		%	2.76	0.48	0.92	45.60	16.99	2.21	31.04	100	105		
	20 - 40	mg/kg	12.18	2.00	1.91	74.10	54.79	9.03	67.93	221.94	213.24	5.2	97
		%	5.48	0.90	0.86	3.39	24.70	4.07	30.60	100	104		
	40 - 60	mg/kg	7.20	2.22	1.28	72.41	28.88	7.99	59.12	179.10	170.68	2.5	94
		%	4.02	1.24	0.72	40.43	16.13	4.46	33.01	100	104		
2. c/cebada	0 - 20	mg/kg	2.44	6.89	3.44	94.07	18.34	7.02	72.19	204.39	195.74	18.4	42
		%	1.20	3.37	1.68	46.02	8.97	3.44	35.32	100	104		
	20 - 40	mg/kg	6.57	20.83	1.53	188.56	32.64	12.84	68.82	231.79	312.68	36.8	140
		%	1.98	6.28	0.46	56.83	9.84	3.87	20.74	100	106		
	40 - 60	mg/kg	1.19	1.39	1.81	87.72	0.56	8.56	33.54	134.77	127.75	16.9	73
		%	0.88	1.03	1.34	65.09	0.42	6.35	54.89	100	106		
3. c/avena	0 - 20	mg/kg	71.86	1.94	0.56	36.75	3.96	6.33	56079	178.19	173.40	51.7	96
		%	40.33	1.09	0.32	20.62	2.22	3.55	31.87	100	103		
	20 - 40	mg/kg	99.05	3.57	1.14	33.17	7.47	9.59	57.13	211.12	202.41	52.4	113
		%	46.92	1.69	0.54	15.71	3.54	4.54	27.06	100	104		
	40 - 60	mg/kg	41.53	3.05	5.55	63.85	8.68	8.90	42.74	174.30	167.51	39.7	131
		%	23.83	1.75	3.18	36.63	4.98	5.11	24.52	100	104		
4. s/actividad	0 - 20	mg/kg	48.83	9.41	9.41	14.82	7.07	11.62	56.41	157.57	154.70	51.1	93
		%	30.99	5.97	5.97	9.41	4.49	7.37	35.80	100	102		
	20 - 40	mg/kg	68.25	12.78	6.38	34.31	2.41	2.15	52.68	178.96	174.10	50.4	113
		%	38.14	7.14	3.57	19.16	1.35	1.20	29.44	100	103		
	40 - 60	mg/kg	39.75	5.84	8.29	100.18	55.64	11.01	52.64	273.35	264.86	30.1	139
		%	14.54	2.14	3.03	36.65	20.35	4.03	19.26	100	103		
5. s/actividad	0 - 20	mg/kg	52.13	8.55	0.23	32.29	8.54	5.26	520.44	159.44	152.21	44.3	92
		%	32.70	5.36	0.14	20.25	5.36	3.30	32.89	100	105		
	20 - 40	mg/kg	59.72	8.86	4.65	91.05	14.85	14.46	48.25	241.84	227.93	37.2	116
		%	24.69	3.66	1.93	37.65	6.14	5.98	19.95	100	106		
	40 - 60	mg/kg	10.42	3.61	3.47	87.37	20.42	8.73	50.63	184.65	181.15	6.3	110
		%	5.64	1.96	1.88	47.31	11.06	4.73	27.42	100	102		

Mn1 extracción con  $\text{MgNO}_3$ 

Mn2 extracción con Na-pirofosfato

Mn3 extracción con  $\text{NH}_2\text{OH}\cdot\text{Cl}$ Mn4 extracción con  $\text{H}_2\text{O}_2\text{-MgNO}_3$ Mn5 extracción con  $\text{NH}_4\text{-oxalato}$  (oscuridad)Mn6 extracción con  $\text{NH}_4\text{-oxalato}$ 

Mn7 residual

Mn T.H.M. Mn total, ataque ácido  
en horno de microondas

No secuencial

Mn( $\text{NH}_4\text{NO}_3$ ) extracción individual

Mn(EDTA) extracción individual



sitio	Profundidad cm	unidad	Mn1	Mn2	Mn3	Mn4	Mn5	Mn6	Mn7	SUMA	Mn T.H.M.	Mn NH <sub>4</sub> NO <sub>3</sub>	Mn EDTA
Suelos regados con aguas residuales industriales													
6. s/actividad	0 - 20	mg/kg	46.83	6.41	3.20	16.20	1.59	3.98	53.80	132.01	126.22	46	70
		%	35.47	4.86	2.42	12.27	1.21	3.02	40.75	100	105		
	20 - 40	mg/kg	73.42	10.47	10.47	33.07	6.73	12.91	40.67	187.74	181.57	48	94
		%	39.10	5.58	5.58	17.61	3.59	6.88	21.66	100	103		
	40 - 60	mg/kg	71.20	31.72	7.19	57.80	10.51	7.00	39.23	224.65	209.06	39	66
		%	31.69	14.12	3.20	25.73	4.68	3.12	17.46	100	107		
Suelos no influenciados por las aguas residuales													
7. c/maiz	0 - 20	mg/kg	27.54	18.37	33.30	55.73	6.08	15.18	35.43	191.63	181.41	5.9	54
		%	14.37	9.57	17.39	29.08	3.17	7.92	18.50	100	106		
	20 - 40	mg/kg	25.43	17.00	7.55	23.14	1.23	6.26	34.93	115.54	110.27	15.9	57
		%	22.01	14.71	6.53	20.04	1.06	5.42	30.23	100	105		
8. orilla de camino	0 - 20	mg/kg	37.74	5.29	3.33	69.40	1.43	13.01	44.54	174.74	174	21.9	61
		%	21.59	3.03	1.91	39.72	0.82	7.45	25.48	100	100.42		
	20 - 40	mg/kg	28.30	1.76	2.00	53.57	0.39	10.88	43.03	139.93	136	16.3	56
		%	20.22	1.26	1.43	38.28	0.28	7.78	30.75	100	103		
	40 - 60	mg/kg	30.98	1.45	0.74	51.32	0.37	7.99	42.81	135.66	128	19.2	64
		%	22.83	1.07	0.55	37.83	0.27	5.89	31.56	100	106		
9. s/actividad	0 - 20	mg/kg	11.79	1.18	0.47	12.28	0.29	5.11	25.13	56.25	56.13	15.8	65
		%	20.96	2.10	0.84	21.83	0.52	9.08	44.67	100	100.20		
	20 - 40	mg/kg	11.93	1.49	0.42	9.88	0.10	3.90	20.51	48.23	46.94	12.7	59
		%	24.73	3.09	0.87	20.49	0.21	8.09	42.52	100	103		

Mn1 extracción con MgNO<sub>3</sub>  
Mn2 extracción con Na-pirofosfato  
Mn3 extracción con NH<sub>2</sub>OH-Cl  
Mn4 extracción con H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>-MgNO<sub>3</sub>  
Mn5 extracción con NH<sub>4</sub>-oxalato (oscuridad)  
Mn6 extracción con NH<sub>4</sub>-oxalato  
Mn7 residual  
Mn T.H.M. Mn total, ataque ácido en horno de microondas  
No secuencial  
Mn(NH<sub>4</sub>NO<sub>3</sub>) extracción individual  
Mn(EDTA) extracción individual

Cuadro A.3.7 Ni-fraccionamiento y extracciones individuales con  $\text{NH}_4\text{NO}_3$  y EDTA

sitio	Profundidad cm	unidad	Ni1	Ni2	Ni3	Ni4	Ni5	Ni6	Ni7	SUMA	Ni T.H.M.	Ni $\text{NH}_4\text{NO}_3$	Ni EDTA
Suelos regados con aguas residuales industriales													
1. c/alfalfa													
	0 - 20	mg/kg	1.00	1.77	0.19	9.51	0.33	0.14	15.63	28.57	28.31	0.14	1.55
		%	3.5	6.2	0.67	33.29	1.15	0.49	54.70	100	100.91		
	20 - 40	mg/kg	1.81	7.82	0.54	8.35	0.26	0.32	17.77	36.87	35.97	0.22	1.37
		%	4.9	21.21	1.46	22.65	0.71	0.87	48.20	100	102.50		
	40 - 60	mg/kg	0.72	4.45	1.04	6.58	3.29	7.23	20.43	43.74	42.85	0.14	1.55
		%	1.65	10.17	2.38	15.04	7.52	16.53	46.71	100	102		
2. c/cebada													
	0 - 20	mg/kg	5.73	7.52	2.38	6.15	7.41	9.33	20.44	58.96	56.74	0.50	1.37
		%	9.72	12.75	4.04	10.43	12.57	15.82	34.67	100	104		
	20 - 40	mg/kg	4.25	4.33	1.52	14.63	8.08	10.19	22.40	65.40	59.40	0.57	1.92
		%	6.5	6.62	2.32	22.37	12.36	15.58	34.25	100	110		
	40 - 60	mg/kg	4.49	9.2	1.32	10.19	1.88	7.92	17.00	52.00	50.87	0.29	1.10
		%	8.64	17.69	2.53	19.60	3.62	15.23	32.69	100	103		
3. c/avena													
	0 - 20	mg/kg	12.84	6.35	0.84	5.73	0.91	2.83	23.40	52.90	51.95	7.18	10.42
		%	24.27	12.00	1.59	10.83	1.72	5.35	44.24	100	102		
	20 - 40	mg/kg	6.43	2.79	0.34	2.83	0.57	1.02	21.82	35.80	35.00	6.03	9.54
		%	17.96	7.79	0.95	7.91	1.59	2.85	60.95	100	103		
	40 - 60	mg/kg	7.50	4.64	1.06	4.92	0.40	1.44	19.78	39.74	39.12	1.08	3.57
		%	18.87	11.68	2.67	12.38	1.01	3.62	49.77	100	104		
4. s/actividad													
	0 - 20	mg/kg	13.20	5.20	2.20	5.30	2.40	3.20	14.86	46.36	45.73	1078	15.56
		%	28.47	11.22	4.75	11.43	5.18	6.90	32.05	100	101		
	20 - 40	mg/kg	10.00	4.20	1.80	1.70	1.40	1.00	13.67	33.77	33.01	2.66	5.86
		%	29.91	12.44	5.33	5.03	4.15	2.96	40.48	100	102		
	40 - 60	mg/kg	2.62	2.47	0.60	2.25	0.61	0.75	14.00	23.30	23.17	0.43	1.74
		%	11.24	10.60	2.58	9.66	2.62	3.22	60.08	100	105		
5. s/actividad													
	0 - 20	mg/kg	13.10	9.83	0.33	7.10	8.19	1.36	13.97	53.88	51.62	1.15	6.52
		%	24.32	18.24	0.61	13.18	15.20	2.52	25.93	100	104		
	20 - 40	mg/kg	10.40	12.58	1.25	10.53	1.07	10.30	12.03	58.16	55.14	0.36	2.5
		%	17.88	21.63	2.15	18.10	1.85	17.71	20.68	100	105		
	40 - 60	mg/kg	5.67	9.37	1.7	11.35	1.80	14.09	13.32	57.30	54.43	0.22	1.10
		%	9.90	16.35	2.97	19.81	3.14	24.58	23.25	100	105		

n.d. no detectado

Ni1 extracción con  $\text{MgNO}_3$ 

Ni2 extracción con Na-pirofosfato

Ni3 extracción con  $\text{NH}_2\text{OH}\cdot\text{Cl}$ Ni4 extracción con  $\text{H}_2\text{O}_2\text{-MgNO}_3$ Ni5 extracción con  $\text{NH}_4\text{-oxalato}$  (oscuridad)Ni6 extracción con  $\text{NH}_4\text{-oxalato}$ 

Ni7 residual

Ni: T.H.M. Niquel total, ataque ácido

en horno de microondas

No secuencial

Ni( $\text{NH}_4\text{NO}_3$ ) extracción

individual

Ni(EDTA) extracción

individual

Cuadro A.3.6 .....

(continuación)

sitio	Profundidad cm	unidad	Mn1	Mn2	Mn3	Mn4	Mn5	Mn6	Mn7	SUMA	Mn T.H.M.	Mn NH <sub>4</sub> NO <sub>3</sub>	Mn EDTA
Suelos regados con aguas residuales industriales													
6 s/actividad	0 - 20	mg/kg	46.83	6.41	3.20	16.20	1.59	3.98	53.80	132.01	126.22	46	70
		%	35.47	4.86	2.42	12.27	1.21	3.02	40.75	100	105		
	20 - 40	mg/kg	73.42	10.47	10.47	33.07	6.73	12.91	40.67	187.74	181.57	48	94
		%	39.10	5.58	5.58	17.61	3.59	6.88	21.66	100	103		
	40 - 60	mg/kg	71.20	31.72	7.19	57.80	10.51	7.00	39.23	224.65	209.06	39	66
		%	31.69	14.12	3.20	25.73	4.68	3.12	17.46	100	107		
Suelos no influenciados por las aguas residuales													
7.c/maíz	0 - 20	mg/kg	27.54	18.37	33.30	55.73	6.08	15.18	35.43	191.63	181.41	5.9	54
		%	14.37	9.57	17.39	29.08	3.17	7.92	18.50	100	106		
	20 - 40	mg/kg	25.43	17.00	7.55	23.14	1.23	6.26	34.93	115.54	110.27	15.9	57
		%	22.01	14.71	6.53	20.04	1.06	5.42	30.23	100	105		
8.orilla de camino	0 - 20	mg/kg	37.74	5.29	3.33	69.40	1.43	13.01	44.54	174.74	174	21.9	61
		%	21.59	3.03	1.91	39.72	0.82	7.45	25.48	100	100.42		
	20 - 40	mg/kg	28.30	1.76	2.00	53.57	0.39	10.88	43.03	139.93	136	16.3	56
		%	20.22	1.26	1.43	38.28	0.28	7.78	30.75	100	103		
	40 - 60	mg/kg	30.98	1.45	0.74	51.32	0.37	7.99	42.81	135.66	128	19.2	64
		%	22.83	1.07	0.55	37.83	0.27	5.89	31.56	100	106		
9 s/actividad	0 - 20	mg/kg	11.79	1.18	0.47	12.28	0.29	5.11	25.13	56.25	56.13	15.8	65
		%	20.96	2.10	0.84	21.83	0.52	9.08	44.67	100	100.20		
	20 - 40	mg/kg	11.93	1.49	0.42	9.88	0.10	3.90	20.51	48.23	46.94	12.7	59
		%	24.73	3.09	0.87	20.49	0.21	8.09	42.52	100	103		

Mn1 extracción con MgNO<sub>3</sub>

Mn2 extracción con Na-pirofosfato

Mn3 extracción con NH<sub>2</sub>OH-ClMn4 extracción con H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>-MgNO<sub>3</sub>Mn5 extracción con NH<sub>4</sub>-oxalato (oscuridad)Mn6 extracción con NH<sub>4</sub>-oxalato

Mn7 residual

Mn T.H.M. Mn total, ataque ácido  
en horno de microondas  
No secuencialMn(NH<sub>4</sub>NO<sub>3</sub>) extracción

individual

Mn(EDTA) extracción  
individual

Cuadro A.3.7 Ni-fraccionamiento y extracciones individuales con  $\text{NH}_4\text{NO}_3$  y EDTA

sitio	Profundidad cm	unidad	Ni1	Ni2	Ni3	Ni4	Ni5	Ni6	Ni7	SUMA	Ni T.H.M.	Ni $\text{NH}_4\text{NO}_3$	Ni EDTA	
Suelos regados con aguas residuales industriales														
1. c./alfalfa	0 - 20	mg/kg	1.00	1.77	0.19	9.51	0.33	0.14	15.63	28.57	28.31	0.14	1.65	
		%	3.5	6.2	0.67	33.29	1.15	0.49	54.70	100	100.91			
		mg/kg	1.81	7.82	0.54	8.35	0.26	0.32	17.77	36.87	35.97	0.22	1.37	
40 - 60	%	mg/kg	4.9	21.21	1.46	22.65	0.71	0.87	48.20	100	102.50			
		mg/kg	0.72	4.45	1.04	6.58	3.29	7.23	20.43	43.74	42.85	0.14	1.65	
		%	1.65	10.17	2.38	15.04	7.52	16.53	46.71	100	102			
2. c./cebada	0 - 20	mg/kg	5.73	7.52	2.38	6.15	7.41	9.33	20.44	58.96	56.74	0.50	1.37	
		%	9.72	12.75	4.04	10.43	12.57	15.82	34.67	100	104			
		mg/kg	4.25	4.33	1.52	14.63	8.08	10.19	22.40	65.40	59.40	0.57	1.92	
40 - 60	%	mg/kg	6.5	6.62	2.32	22.37	12.36	15.58	34.25	100	110			
		mg/kg	4.49	9.2	1.32	10.19	1.88	7.92	17.00	52.00	50.87	0.29	1.10	
		%	8.64	17.69	2.53	19.60	3.62	15.23	32.69	100	103			
3. c./avena	0 - 20	mg/kg	12.84	6.35	0.84	5.73	0.91	2.83	23.40	52.90	51.95	7.18	10.42	
		%	24.27	12.00	1.59	10.83	1.72	5.35	44.24	100	102			
		mg/kg	6.43	2.79	0.34	2.83	0.57	1.02	21.82	35.80	35.00	6.03	9.54	
40 - 60	%	mg/kg	17.96	7.79	0.95	7.91	1.59	2.85	60.95	100	103			
		mg/kg	7.50	4.64	1.06	4.92	0.40	1.44	19.78	39.74	39.12	1.08	3.57	
		%	18.87	11.68	2.67	12.38	1.01	3.62	49.77	100	104			
4. s./actividad	0 - 20	mg/kg	13.20	5.20	2.20	5.30	2.40	3.20	14.86	46.36	45.73	1078	15.66	
		%	28.47	11.22	4.75	11.43	5.18	6.90	32.05	100	101			
		mg/kg	10.00	4.20	1.80	1.70	1.40	1.00	13.67	33.77	33.01	2.66	5.86	
40 - 60	%	mg/kg	2.62	2.47	0.60	5.03	4.15	2.96	40.48	100	102			
		mg/kg	11.24	10.60	2.58	9.66	2.62	3.22	60.08	100	105			
		mg/kg	13.10	9.83	0.33	7.10	8.19	1.36	13.97	53.88	51.62	1.15	8.52	
5. s./actividad	0 - 20	mg/kg	24.32	18.24	0.61	13.18	15.20	2.52	25.93	100	104			
		%	10.40	12.58	1.25	10.53	1.07	10.30	12.03	58.16	55.14	0.36	2.75	
		mg/kg	17.88	21.63	2.15	18.10	1.85	17.71	20.68	100	105			
40 - 60	%	mg/kg	5.67	9.37	1.7	11.35	1.80	14.09	13.32	57.30	54.43	0.22	1.10	
		mg/kg	9.90	16.35	2.97	19.81	3.14	24.58	23.25	100	105			

NOTA: todos los datos

Ni1 extracción con  $\text{MgNO}_3$

Ni2 extracción con Na pirifosfato

Ni3 extracción con  $\text{NH}_4\text{OH}$  (C)

Ni4 extracción con  $\text{H}_2\text{O}_2$ - $\text{MgNO}_3$

Ni5 extracción con  $\text{NH}_4$  oxalato (oscuridad)

Ni6 extracción con  $\text{NH}_4$  oxalato

Ni7 residual

Ni8 Niquel total, ataque ácido

en horno de microondas

NO secuencial

Ni( $\text{NH}_4\text{NO}_3$ ) extracción

individual

Ni(EDTA)

extracción individual

Cuadro A.3.7 .....

(continuación)

sitio	Profundidad cm	unidad	Ni1	Ni2	Ni3	Ni4	Ni5	Ni6	Ni7	SUMA	Ni T.H.M.	Ni NH <sub>4</sub> NO <sub>3</sub>	Ni EDTA
<b>Suelos regados con aguas residuales industriales</b>													
6.s/actividad	0 – 20	mg/kg	5.90	28.23	0.19	2.82	0.04	5.88	13.31	56.36	54.24	0.22	3.44
		%	10.46	50.09	0.34	5.00	0.07	10.42	23.62	100	104		
	20 – 40	mg/kg	12.73	21.99	7.10	1.74	n.d.	n.d.	13.80	57.36	55.29	0.48	2.93
		%	22.19	38.34	12.38	3.03	n.d.	n.d.	24.06	100	104		
	40 - 60	mg/kg	2.53	6.97	9.50	2.33	n.d.	20.87	14.01	56.21	53.82	0.44	1.03
		%	4.50	12.40	16.90	4.15	n.d.	37.12	24.93	100	104		
<b>Suelos no influenciados por las aguas residuales</b>													
7.c/maíz	0 – 20	mg/kg	1.87	4.76	1.53	7.94	n.d.	22.45	12.38	50.93	47.75	0.22	2.60
		%	3.67	9.35	3.00	15.59	n.d.	44.08	24.31	100	107		
	20 – 40	mg/kg	1.80	4.73	0.34	5.76	n.d.	14.30	12.20	39.13	37.85	0.19	2.15
		%	4.60	12.09	0.87	14.72	n.d.	36.54	31.18	100	104		
8.orilla de camino	0 – 20	mg/kg	7.16	3.44	1.72	9.55	1.43	0.73	13.25	37.28	35.71	0.29	3.97
		%	19.21	9.22	4.61	25.62	3.84	1.96	35.54	100	104		
	20 – 40	mg/kg	6.50	4.00	1.80	12.60	0.60	0.80	14.35	40.65	38.81	0.14	2.59
		%	15.99	9.84	4.43	30.99	1.48	1.97	35.30	100	105		
	40 - 60	mg/kg	7.75	2.84	1.70	12.86	0.57	0.95	13.21	39.88	38.51	0.14	2.41
		%	19.43	7.12	4.26	32.25	1.43	2.38	33.13	100	104		
9.s/actividad	0 – 20	mg/kg	2.21	4.89	0.63	4.23	n.d.	19.86	120.70	44.52	41.93	0.62	0.82
		%	4.96	10.98	1.42	9.50	n.d.	44.61	28.53	100	106		
	20 – 40	mg/kg	1.24	4.02	0.16	2.34	n.d.	16.25	11.83	35.84	33.86	0.15	0.54
		%	3.46	11.22	0.45	6.53	n.d.	45.34	33.00	100	106		

n.d. no detectado

Ni1 extracción con MgNO<sub>3</sub>

Ni2 extracción con Na-pirofosfato

Ni3 extracción con NH<sub>2</sub>OH-ClNi4 extracción con H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>-MgNO<sub>3</sub>Ni5 extracción con NH<sub>4</sub>-oxalato (oscuridad)Ni6 extracción con NH<sub>4</sub>-oxalato

Ni7 residual

Ni T.H.M. Niquel total, ataque ácido  
en horno de microondas  
No secuencialNi(NH<sub>4</sub>NO<sub>3</sub>) extracción

individual

Ni(EDTA)

extracción  
individual

Cuadro A.3.8 Pb-fraccionamiento y extracciones individuales con  $\text{NH}_4\text{NO}_3$  y EDTA

sitio	Profundidad cm	unidad	Pb1	Pb2	Pb3	Pb4	Pb5	Pb6	Pb7	SUMA	Pb T.H.M.	Pb $\text{NH}_4\text{NO}_3$	Pb EDTA
Suelos regados con aguas residuales industriales													
1. c/alfalfa	0 - 20	mg/kg	0.02	0.03	0.03	1.07	0.73	0.27	2.13	4.28	4.13	0.58	2.87
		%	0.47	0.70	0.70	25	17.06	6.31	49.76	100	103		
	20 - 40	mg/kg	0.01	0.07	0.02	0.57	0.60	0.65	2.38	4.29	4.20	0.32	1.14
		%	0.07	1.60	0.47	13.27	14.02	15.05	55.52	100	102		
2. c/cebada	40 - 60	mg/kg	0.09	0.25	0.26	0.60	0.30	0.39	2.53	4.42	4.31	0.29	1.26
		%	2.04	5.66	5.88	13.57	6.79	8.82	57.24	100	103		
	0 - 20	mg/kg	0.13	n.d.	0.04	0.55	1.37	1.55	1.70	5.34	5.14	0.22	1.43
		%	2.43	n.d.	0.75	10.30	25.66	29.03	31.83	100	104		
3. c/avena	20 - 40	mg/kg	0.05	n.d.	0.06	1.66	0.94	1.57	0.61	4.89	4.34	0.22	1.32
		%	1.02	n.d.	1.23	33.95	19.22	32.11	12.47	100	112		
	40 - 60	mg/kg	0.02	n.d.	0.02	1.09	0.65	0.75	1.28	3.81	3.61	0.24	1.61
		%	0.52	n.d.	0.52	28.61	17.06	19.69	33.60	100	106		
4. s/actividad	0 - 20	mg/kg	0.95	1.18	0.09	1.44	0.87	1.47	3.87	9.87	9.73	0.29	3.91
		%	9.63	11.96	0.91	14.59	8.81	14.89	39.21	100	101		
	20 - 40	mg/kg	0.85	1.06	0.12	1.38	0.86	1.36	2.53	8.16	7.97	0.58	2.76
		%	10.42	12.99	1.47	16.91	10.54	16.67	31.00	100	102		
5. s/actividad	40 - 60	mg/kg	0.23	0.14	0.04	1.35	1.74	1.13	2.08	5.71	5.61	0.67	2.50
		%	4.03	2.45	0.70	23.64	12.96	19.79	36.43	100	102		
	0 - 20	mg/kg	0.37	0.55	0.21	0.84	0.71	0.37	6.59	9.64	9.64	0.36	3.62
		%	3.84	5.71	2.18	8.71	7.36	3.84	68.36	100	100		
5. s/actividad	20 - 40	mg/kg	0.21	0.31	0.07	0.87	0.59	0.70	3.56	6.31	6.20	0.24	2.07
		%	3.33	4.91	1.11	13.79	9.35	11.09	56.42	100	102		
	40 - 60	mg/kg	0.15	0.02	0.01	0.38	0.24	0.25	3.25	1.30	4.25	0.39	1.67
		%	3.49	0.47	0.23	8.84	5.58	5.81	75.58	100	101		
5. s/actividad	0 - 20	mg/kg	0.10	0.22	0.73	1.71	0.54	0.40	3.20	6.90	6.75	0.53	3.28
		%	1.45	3.19	10.58	24.78	7.82	5.80	46.38	100	102		
	20 - 40	mg/kg	0.15	0.04	0.02	0.30	0.31	0.29	1.24	2.35	2.32	0.38	1.72
		%	6.38	1.7	0.85	12.77	13.19	12.34	52.77	100	101		
40 - 60	mg/kg	0.09	0.04	n.d.	0.15	0.17	0.55	1.49	2.46	2.46	0.48	0.55	2.09
		%	3.61	1.61	n.d.	6.02	6.83	22.09	59.84	100	101		
		%											

n.d. no detectado

Pb1 extracción con  $\text{MgNO}_3$ 

Pb2 extracción con Na-pirofosfato

Pb3 extracción con  $\text{NH}_2\text{OH}\cdot\text{Cl}$ Pb4 extracción con  $\text{H}_2\text{O}_2\text{-MgNO}_3$ Pb5 extracción con  $\text{NH}_4\text{-oxalato}$  (oscuridad)Pb6 extracción con  $\text{NH}_4\text{-oxalato}$ 

Pb7 residual

Pb T.H.M. Plomo total, ataque ácido

en horno de microondas

No secuencial

Pb( $\text{NH}_4\text{NO}_3$ ) extracción

individual

Pb(EDTA) extracción

individual

Cuadro A.3.7 .....

(continuación)

sitio	Profundidad cm	unidad	Ni1	Ni2	Ni3	Ni4	Ni5	Ni6	Ni7	SUMA	Ni T.H.M.	Ni NH <sub>4</sub> NO <sub>3</sub>	Ni EDTA
Suelos regados con aguas residuales industriales													
6.s/actividad	0 - 20	mg/kg	5.90	28.23	0.19	2.82	0.04	5.88	13.31	56.36	54.24	0.22	3.44
		%	10.46	50.09	0.34	5.00	0.07	10.42	23.62	100	104		
	20 - 40	mg/kg	12.73	21.99	7.10	1.74	n.d.	n.d.	13.80	57.36	55.29	0.48	2.93
		%	22.19	38.34	12.38	3.03	n.d.	n.d.	24.06	100	104		
	40 - 60	mg/kg	2.53	6.97	9.50	2.33	n.d.	20.87	14.01	56.21	53.82	0.44	1.03
		%	4.50	12.40	16.90	4.15	n.d.	37.12	24.93	100	104		
Suelos no influenciados por las aguas residuales													
7.c/maiz	0 - 20	mg/kg	1.87	4.76	1.53	7.94	n.d.	22.45	12.38	50.93	47.75	0.22	2.60
		%	3.67	9.35	3.00	15.59	n.d.	44.08	24.31	100	107		
	20 - 40	mg/kg	1.80	4.73	0.34	5.76	n.d.	14.30	12.20	39.13	37.85	0.19	2.15
		%	4.60	12.09	0.87	14.72	n.d.	36.54	31.18	100	104		
8.orilla de camino	0 - 20	mg/kg	7.16	3.44	1.72	9.55	1.43	0.73	13.25	37.28	35.71	0.29	3.97
		%	19.21	9.22	4.61	25.62	3.84	1.96	35.54	100	104		
	20 - 40	mg/kg	6.50	4.00	1.80	12.60	0.60	0.80	14.35	40.65	38.81	0.14	2.59
		%	15.99	9.84	4.43	30.99	1.48	1.97	35.30	100	105		
	40 - 60	mg/kg	7.75	2.84	1.70	12.86	0.57	0.95	13.21	39.88	38.51	0.14	2.41
		%	19.43	7.12	4.26	32.25	1.43	2.38	33.13	100	104		
9.s/actividad	0 - 20	mg/kg	2.21	4.89	0.63	4.23	n.d.	19.86	120.70	44.52	41.93	0.62	0.82
		%	4.96	10.98	1.42	9.50	n.d.	44.61	28.53	100	106		
	20 - 40	mg/kg	1.24	4.02	0.16	2.34	n.d.	16.25	11.83	35.84	33.86	0.15	0.54
		%	3.46	11.22	0.45	6.53	n.d.	45.34	33.00	100	106		

n. d. no detectado

Ni1 extracción con MgNO<sub>3</sub>

Ni2 extracción con Na-pirofosfato

Ni3 extracción con NH<sub>2</sub>OH-ClNi4 extracción con H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>-MgNO<sub>3</sub>Ni5 extracción con NH<sub>4</sub>-oxalato (oscuridad)Ni6 extracción con NH<sub>4</sub>-oxalato

Ni7 residual

Ni T.H.M. Niquel total, ataque ácido  
en horno de microondas  
No secuencialNi(NH<sub>4</sub>NO<sub>3</sub>) extracción

individual

Ni(EDTA)

extracción  
individual

Cuadro A.3.8 Pb-fraccionamiento y extracciones individuales con  $\text{NH}_4\text{NO}_3$  y EDTA

sitio	Profundidad cm	unidad	Pb1	Pb2	Pb3	Pb4	Pb5	Pb6	Pb7	SUMA	Pb T.H.M.	Pb $\text{NH}_4\text{NO}_3$	Pb EDTA
Suelos regados con aguas residuales industriales													
1. c/alfalfa	0 - 20	mg/kg	0.02	0.03	0.03	1.07	0.73	0.27	2.13	4.28	4.13	0.58	2.87
		%	0.47	0.70	0.70	25	17.06	6.31	49.76	100	103		
		mg/kg	0.01	0.07	0.02	0.57	0.60	0.65	2.38	4.29	4.20	0.32	1.14
		%	0.07	1.60	0.47	13.27	14.02	15.05	55.52	100	102		
		mg/kg	0.09	0.25	0.26	0.60	0.30	0.39	2.53	4.42	4.31	0.29	1.26
2. c/cebada	0 - 20	%	2.04	5.66	5.88	13.57	6.79	8.82	57.24	100	103		
		mg/kg	0.13	n.d.	0.04	0.55	1.37	1.55	1.70	5.34	5.14	0.22	1.43
		%	2.43	n.d.	0.75	10.30	25.66	29.03	104	100	104		
		mg/kg	0.05	n.d.	0.06	1.66	0.94	1.57	0.61	4.89	4.34	0.22	1.32
		%	1.02	n.d.	1.23	33.95	19.22	32.11	12.47	100	112		
3. c/avena	0 - 20	mg/kg	0.02	0.02	0.02	1.09	0.65	0.75	1.28	3.81	3.61	0.24	1.61
		%	0.52	n.d.	0.52	28.61	17.06	19.69	33.60	100	106		
		mg/kg	0.95	1.18	0.09	1.44	0.87	1.47	3.87	9.87	9.73	0.29	3.91
		%	9.63	11.96	0.91	14.59	8.81	14.89	39.21	100	101		
		mg/kg	0.85	1.06	0.12	1.38	0.86	1.36	2.53	8.16	7.97	0.58	2.76
4. s/actividad	0 - 20	%	10.42	12.99	1.47	16.91	10.54	16.67	31.00	100	102		
		mg/kg	0.23	0.14	0.04	1.35	1.74	1.13	2.08	5.71	5.61	0.67	2.50
		%	4.03	2.45	0.70	23.64	12.96	19.79	36.43	100	102		
		mg/kg	0.37	0.55	0.21	0.84	0.71	0.37	6.59	9.64	9.64	0.36	3.62
		%	3.84	5.71	2.18	8.71	7.36	3.84	68.36	100	100		
5. s/actividad	0 - 20	mg/kg	0.21	0.31	0.07	0.87	0.59	0.70	3.56	6.31	6.20	0.24	2.07
		%	3.33	4.91	1.11	13.79	9.35	11.09	56.42	100	102		
		mg/kg	0.15	0.02	0.01	0.38	0.24	0.25	3.25	1.30	4.25	0.39	1.67
		%	3.49	0.47	0.23	8.84	5.58	5.81	75.58	100	101		
		mg/kg	0.10	0.22	0.73	1.71	0.54	0.40	3.20	6.90	6.75	0.53	3.28
20 - 40	40 - 60	%	1.45	3.19	10.58	24.78	7.82	5.80	46.38	100	102		
		mg/kg	0.15	0.04	0.02	0.30	0.31	0.29	1.24	2.35	2.32	0.38	1.72
		%	6.38	1.7	0.85	12.77	13.19	12.34	52.77	100	101		
		mg/kg	0.09	0.04	n.d.	0.15	0.17	0.55	1.49	2.46	0.48	0.55	2.09
		%	3.61	1.61	n.d.	6.02	6.63	22.09	59.84	100	101		

n.d. no detectado

Pb1: extracción con  $\text{Mg}(\text{NO}_3)_2$ Pb2: extracción con  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_8$ Pb3: extracción con  $\text{NH}_4\text{OH-HCl}$ Pb4: extracción con  $\text{H}_2\text{O}_2$ ,  $\text{Mg}(\text{NO}_3)_2$ Pb5: extracción con  $\text{NH}_4$  oxalato (oscurecido)Pb6: extracción con  $\text{NH}_4$ -oxalato

Pb7: residual

Pb T.H.M. Plomo total

ataque ácido en horno de microondas

Pb( $\text{NH}_4\text{NO}_3$ ) extracción individual

Pb(EDTA) extracción individual



sitio	Profundidad cm	unidad	Pb1	Pb2	Pb3	Pb4	Pb5	Pb6	Pb7	SUMA	Pb T.H.M.	Pb NH <sub>4</sub> NO <sub>3</sub>	Pb EDTA
Suelos regados con aguas residuales industriales													
6. s/actividad	0 - 20	mg/kg	0.55	1.34	0.12	2.48	0.64	0.77	2.27	8.17	7.95	0.22	1.65
		%	6.73	16.40	1.47	30.36	7.83	9.43	27.78	100	103		
	20 - 40	mg/kg	0.17	0.47	0.05	0.75	0.19	0.36	2.93	4.92	4.87	0.28	1.46
		%	3.46	9.55	1.02	15.24	3.86	7.32	59.55	100	101		
	40 - 60	mg/kg	0.17	0.56	0.06	0.72	0.22	0.50	2.96	5.19	4.99	0.24	0.82
		%	3.27	10.79	1.16	13.87	4.24	9.63	57.04	100	104		
Suelos no influenciados por las aguas residuales													
7. c/maiz	0 - 20	mg/kg	0.01	0.08	0.03	0.25	0.05	0.18	1.57	2.17	2.12	0.14	0.02
		%	0.46	3.69	1.38	11.52	2.31	8.29	72.35	100	102		
	20 - 40	mg/kg	0.06	0.53	0.08	1.45	0.40	1.35	3.67	7.54	7.18	0.53	0.82
		%	0.80	7.03	1.06	19.20	5.32	17.91	48.68	100	105		
8 orilla de camino	0 - 20	mg/kg	0.19	0.32	0.09	1.19	0.50	1.49	2.67	6.45	6.30	0.43	1.10
		%	2.95	4.96	1.40	18.44	7.75	23.10	41.40	100	102		
	20 - 40	mg/kg	0.10	0.45	0.08	1.25	0.53	1.76	2.61	6.78	6.57	0.29	0.82
		%	1.46	6.64	1.18	18.44	7.82	25.96	38.50	100	103		
	40 - 60	mg/kg	0.04	0.18	0.19	0.62	1.09	0.73	2.46	5.31	5.18	0.43	0.73
		%	0.75	3.39	3.58	11.68	20.52	13.75	46.33	100	103		
9. s/actividad	0 - 20	mg/kg	0.02	0.18	0.02	0.33	0.17	0.30	1.03	2.05	2.01	0.34	0.82
		%	0.98	8.78	0.98	16.10	8.29	14.63	50.24	100	102		
	20 - 40	mg/kg	0.06	0.22	0.07	0.48	0.28	0.54	2.62	4.27	4.15	0.49	0.99
		%	1.41	5.15	1.64	11.24	6.56	12.65	61.35	100	103		

Pb1 extracción con MgNO<sub>3</sub>  
 Pb2 extracción con Na-pirofosfato  
 Pb3 extracción con NH<sub>2</sub>OH-Cl

Pb4 extracción con H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>-MgNO<sub>3</sub>  
 Pb5 extracción con NH<sub>4</sub>-oxalato (oscuridad)  
 Pb6 extracción con NH<sub>4</sub>-oxalato

Pb7 residual  
 Pb T.H.M. Plomo total, ataque ácido  
 en horno de microondas  
 No secuencial

Pb(NH<sub>4</sub>NO<sub>3</sub>) extracción  
 individual  
 Pb(EDTA) extracción  
 individual

Cuadro A.3.9 Zn-fraccionamiento y extracciones individuales con NH<sub>4</sub>NO<sub>3</sub> y EDTA

sitio	Profundidad cm	unidad	Zn1	Zn2	Zn3	Zn4	Zn5	Zn6	Zn7	SUMA	Zn T.H.M.	Zn NH <sub>4</sub> NO <sub>3</sub>	Zn EDTA
Suelos regados con aguas residuales industriales													
1. c/alfalfa	0 - 20	mg/kg	2.85	5.45	1.05	14.79	1.51	5.6	35.27	66.52	61.13	0.32	11.6
		%	4.28	8.19	1.59	22.23	2.27	8.42	53.02	100	109		
	20 - 40	mg/kg	1.46	6.56	0.47	8.72	2.79	5.84	30.47	56.31	52.07	0.15	3.76
		%	2.59	11.65	0.83	15.49	4.95	10.37	54.12	100	108		
	40 - 60	mg/kg	1.25	9.90	1.70	9.30	4.45	5.27	41.00	72.87	68.28	0.15	2.76
		%	1.72	13.59	2.33	12.76	6.11	7.23	56.26	100	106		
2. c/cebada	0 - 20	mg/kg	3.50	7.43	1.07	8.30	4.48	5.48	49.11	79.37	73.88	0.29	2.29
		%	4.41	9.36	1.35	10.46	5.64	6.90	61.88	100	107		
	20 - 40	mg/kg	3.50	7.42	1.41	8.50	5.32	6.95	55.43	88.53	80.76	0.18	1.19
		%	3.95	8.38	1.59	9.60	6.01	7.85	62.62	100	109		
	40 - 60	mg/kg	1.52	2.19	0.78	3.84	2.35	4.28	23.94	38.90	36.23	0.16	1.85
		%	3.91	5.63	2.01	9.87	6.04	11.00	61.54	100	107		
3. c/avena	0 - 20	mg/kg	33.27	46.85	0.72	5.97	8.86	10.80	53.41	159.88	155.00	11.1	43
		%	20.81	29.30	0.45	3.73	5.54	6.76	33.41	100	103		
	20 - 40	mg/kg	28.35	38.41	0.73	19.50	9.60	9.10	53.83	159.52	149.86	10.9	43
		%	17.78	24.08	0.46	12.22	6.02	5.70	33.74	100	106		
	40 - 60	mg/kg	1.88	21.66	0.42	15.36	0.40	4.48	34.09	78.29	71.87	8.1	31
		%	2.40	27.67	0.54	19.62	0.51	5.72	43.54	100	108		
4. s/actividad	0 - 20	mg/kg	35.2	43.51	3.85	25.4	10.08	9.00	49.93	176.97	168.97	11.3	44
		%	19.89	24.59	2.18	14.35	5.70	5.08	28.21	100	104		
	20 - 40	mg/kg	16.00	24.16	1.37	29.12	11.61	9.00	42.18	133.44	131.42	10.8	41
		%	11.99	18.11	1.03	21.82	8.70	6.74	31.61	100	102		
	40 - 60	mg/kg	5.24	2.06	1.70	17.70	9.40	12.00	33.06	81.16	77.31	1.05	12.7
		%	6.46	2.54	2.09	21.81	11.58	14.79	40.73	100	105		
5. s/actividad	0 - 20	mg/kg	2.82	11.40	0.81	18.75	8.06	6.00	37.84	85.68	82.93	8.7	42.6
		%	3.29	13.31	0.95	21.88	9.41	7.00	44.16	100	103		
	20 - 40	mg/kg	2.60	10.36	0.49	11.65	1.88	5.75	37.20	69.93	67.92	1.95	16.8
		%	3.72	14.81	0.70	16.66	2.69	8.22	53.20	100	103		
	40 - 60	mg/kg	3.65	9.88	0.61	8.07	2.68	4.76	31.38	61.03	57.92	0.33	3.01
		%	5.98	16.19	1.00	13.22	4.39	7.80	51.42	100	105		

Zn1 extracción con MgNO<sub>3</sub>

Zn2 extracción con Na-pirofosfato

Zn3 extracción con NH<sub>2</sub>OH-ClZn4 extracción con H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>-MgNO<sub>3</sub>Zn5 extracción con NH<sub>4</sub>-oxalato (oscuridad)Zn6 extracción con NH<sub>4</sub>-oxalato

Zn7 residual

Zn T.H.M. Zinc total, ataque ácido  
en horno de microondas  
No secuencialZn(NH<sub>4</sub>NO<sub>3</sub>) extracciónindividual  
Zn(EDTA) extracción  
individual

Cuadro A.3.9 ..... (continuación)

sitio	Profundidad cm	unidad	Zn1	Zn2	Zn3	Zn4	Zn5	Zn6	Zn7	SUMA	Zn T.H.M.	Zn NH <sub>4</sub> NO <sub>3</sub>	Zn EDTA
Suelos regados con aguas residuales industriales													
6 s/actividad	0 - 20	mg/kg	2.50	9.79	0.10	16.93	8.47	6.83	38.87	83.49	79.18	10.1	31.6
		%	2.99	11.73	0.12	20.28	10.14	8.18	46.56	100	105		
	20 - 40	mg/kg	1.52	5.58	0.56	12.11	2.69	4.98	31.61	59.05	57.23	2.89	11.3
		%	2.57	9.45	0.95	20.51	4.56	8.43	53.53	100	103		
	40 - 60	mg/kg	0.83	2.21	0.34	11.10	2.69	3.56	24.50	45.23	43.81	0.52	2.19
		%	1.84	4.88	0.75	24.54	5.95	7.87	54.17	100	103		
Suelos no influenciados por las aguas residuales													
7 c/maíz	0 - 20	mg/kg	0.93	5.61	0.26	7.86	0.15	4.53	23.72	43.06	42.36	0.09	2.07
		%	2.16	13.03	0.61	18.25	0.34	10.52	55.09	100	102		
	20 - 40	mg/kg	1.25	4.35	0.27	6.75	0.09	4.04	23.03	39.78	37.14	0.15	1.47
		%	3.14	10.94	0.68	16.97	0.23	10.15	57.89	100	107		
8 orilla de camino	0 - 20	mg/kg	1.43	2.40	0.23	7.74	3.81	2.82	21.80	40.23	38.65	0.28	2.79
		%	3.55	5.98	0.58	19.24	9.47	7.00	54.18	100	104		
	20 - 40	mg/kg	0.78	2.06	1.50	9.01	2.54	1.25	19.32	36.46	35.02	0.17	2.26
		%	2.14	5.65	4.11	24.71	6.97	3.43	52.99	100	104		
	40 - 60	mg/kg	0.91	2.75	1.46	7.50	2.54	1.25	23.79	40.2	37.07	0.10	1.50
		%	2.26	6.84	3.63	18.66	6.32	3.11	59.18	100	108		
9 s/actividad	0 - 20	mg/kg	1.3	2.07	0.49	4.42	0.65	1.25	15.45	25.63	23.75	0.23	0.56
		%	5.07	8.07	1.91	17.25	2.54	4.88	60.28	100	108		
	20 - 40	mg/kg	2.20	4.76	0.51	5.40	2.30	9.63	23.71	48.52	46.94	0.18	0.48
		%	4.53	9.81	1.05	11.13	4.74	19.85	48.89	100	103		

Zn1 extracción con MgNO<sub>3</sub>

Zn2 extracción con Na-pirofosfato

Zn3 extracción con NH<sub>2</sub>OH-ClZn4 extracción con H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>-MgNO<sub>3</sub>Zn5 extracción con NH<sub>4</sub>-oxalato (oscuridad)Zn6 extracción con NH<sub>4</sub>-oxalato

Zn7 residual

Zn T.H.M. Zinc total, ataque ácido en horno de microondas

No secuencial

Zn(NH<sub>4</sub>NO<sub>3</sub>) extracción individual

Zn(EDTA) extracción individual

Cuadro A.3.10 Hg-fraccionamiento y extracciones individuales con NH<sub>4</sub>NO<sub>3</sub> y EDTA

sitio	Profundidad cm	unidad	Hg1	Hg2	Hg3	Hg4	Hg5	Hg6	Hg7	SUMA	Hg T.H.M.	Hg NH <sub>4</sub> NO <sub>3</sub>	Hg EDTA
Suelos regados con aguas residuales industriales													
1. c/alfalfa													
	0 - 20	mg/kg	5.63	3.75	1.18	4.36	1.54	1.31	35.7	53.5	52.15	5.02	25.4
		%	10.52	7.01	2.21	8.15	2.88	2.45	66.8	100	103		
	20 - 40	mg/kg	5.60	6.00	2.60	7.24	2.00	1.60	92	117	113.5	7.5	30.2
		%	4.79	5.13	2.22	1.19	1.70	1.37	78.6	100	103		
	40 - 60	mg/kg	6.62	6.75	2.6	7.24	3.75	1.6	75.6	104	99.5	10	27.5
		%	6.36	6.48	2.50	6.95	3.60	1.54	72.6	100	104		
2. c/cebada													
	0 - 20	mg/kg	5.35	6.75	1.3	5.99	3.0	1.1	138.4	162	158	9.8	17.6
		%	3.30	4.17	0.80	3.70	1.85	0.68	85.6	100	103		
	20 - 40	mg/kg	4.28	5.36	1.56	5.19	2.80	1.3	89.8	110.3	108.2	10.8	13.1
		%	3.88	4.86	1.41	4.71	2.54	1.18	81.4	100	102		
	40 - 60	mg/kg	5.09	7.50	1.95	7.24	3.21	1.6	34.5	61.1	59.6	6.6	19
		%	8.3	12.3	3.19	11.9	5.26	2.62	56.5	100	103		
3. c/avena													
	0 - 20	mg/kg	5.09	6.70	1.95	7.78	4.75	1.10	86.8	114.2	110	5.8	17.3
		%	4.46	5.87	1.71	6.81	4.16	0.97	76	100	104		
	20 - 40	mg/kg	5.34	7.50	1.95	7.49	3.5	1.5	59	86.3	79.7	6.3	10.2
		%	6.18	8.69	2.26	8.68	4.05	1.74	68.4	100	108		
	40 - 60	mg/kg	4.58	6.00	1.95	6.62	3.00	1.10	41	64.2	59	5.3	40
		%	7.13	9.34	3.04	10.3	4.67	1.71	63.8	100	109		
4. s/actividad													
	0 - 20	mg/kg	6.62	5.25	1.95	7.48	4.75	1.11	75.3	102.5	93.6	10.4	19.9
		%	6.46	5.13	1.90	7.30	4.63	1.08	73.5	100	107		
	20 - 40	mg/kg	5.10	5.10	1.30	5.70	1.5	0.6	43.7	63	61.2	7.5	15.8
		%	8.10	8.10	2.07	9.05	2.38	0.95	69.4	100	103		
	40 - 60	mg/kg	5.35	6.70	1.95	6.74	2.75	1.40	99.6	124.5	120.6	13.8	21.2
		%	4.30	5.38	1.57	5.41	2.21	1.13	80	100	103		
5. s/actividad													
	0 - 20	mg/kg	5.14	8.01	1.35	7.13	2.25	1.31	144	169.4	166.8	7.3	16.8
		%	3.03	4.78	0.80	4.21	1.33	0.77	85.13	100	103		
	20 - 40	mg/kg	5.35	7.00	1.13	5.99	2.50	1.00	70	93	90	6.7	11
		%	5.75	7.53	1.22	6.44	2.69	1.08	75.3	100	103		
	40 - 60	mg/kg	5.49	6.60	1.17	6.29	2.05	0.63	80.5	103	100	7.6	9.8
		%	5.34	6.43	1.14	6.12	2.00	0.61	78.4	100	103		

Hg1 extracción con MgNO<sub>3</sub>

Hg2 extracción con Na perfosfato

Hg3 extracción con NH<sub>4</sub>-OH-ClHg4 extracción con H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>-MgNO<sub>3</sub>Hg5 extracción con NH<sub>4</sub> oxalato (oscuridad)Hg6 extracción con NH<sub>4</sub>-oxalato

Hg7 residual

Hg T.H.M. Mercurio total, ataque ácido

en horno de microondas

No. secuencial

Hg(NH<sub>4</sub>NO<sub>3</sub>) extracción

individual

Hg(EDTA) extracción individual

Cuadro A.3.10 ..... (continuación)

sitio	Profundidad cm	unidad	Hg1	Hg2	Hg3	Hg4	Hg5	Hg6	Hg7	SUMA	Hg T.H.M.	Hg NH <sub>4</sub> NO <sub>3</sub>	Hg EDTA
Suelos regados con aguas residuales industriales													
6.s/actividad	0 - 20	mg/kg	7.13	7.00	1.50	7.24	1.56	1.07	157.42	182.92	181.44	7.2	22.1
		%	3.90	3.83	0.82	3.96	0.85	0.58	86.06	100	101		
	20 - 40	mg/kg	6.87	7.11	1.80	7.49	1.26	0.80	81.20	106.53	104.60	7.1	5.0
		%	6.45	6.67	1.69	7.03	1.18	0.75	76.23	100	102		
	40 - 60	mg/kg	5.09	6.50	1.70	5.99	1.11	0.60	165.86	186.85	176.79	11.2	5.3
		%	2.72	3.48	0.91	3.21	0.59	0.32	88.77	100	106		
Suelos no influenciados por las aguas residuales													
7.c/maiz	0 - 20	mg/kg	5.75	6.10	0.65	6.60	0.51	0.50	164.14	184.25	182.12	2.50	4.0
		%	3.12	3.31	0.35	3.58	0.29	0.27	89.08	100	101		
	20 - 40	mg/kg	6.62	9.10	1.79	7.46	1.08	2.21	184.81	213.07	210.89	6.8	3.6
		%	3.11	4.27	0.84	3.50	0.51	1.04	86.73	100	101		
8.orilla de camino	0 - 20	mg/kg	7.38	6.31	3.90	6.99	4.75	2.67	165.36	197.36	194.62	3.5	5.0
		%	3.74	3.20	1.98	3.54	2.41	1.35	83.78	100	101		
	20 - 40	mg/kg	8.13	8.96	1.87	8.38	1.20	1.71	173.50	203.75	199.51	5.0	3.8
		%	3.99	4.40	0.92	4.11	0.59	0.84	85.15	100	102		
	40 - 60	mg/kg	4.84	6.00	1.33	4.74	0.50	0.53	135	152.94	150.49	5.0	2.9
		%	3.16	3.92	0.87	3.10	0.33	0.35	88.27	100	102		
9.s/actividad	0 - 20	mg/kg	5.27	6.90	0.71	6.03	1.44	1.27	127.62	149.24	147.30	6.2	2.6
		%	3.53	4.62	0.49	4.04	0.96	0.85	85.51	100	101		
	20 - 40	mg/kg	5.56	7.50	1.50	5.90	2.02	1.30	164.59	158.37	155.31	5.4	2.0
		%	3.51	4.73	0.95	3.73	1.28	0.82	84.98	100	102		

Hg1 extracción con MgNO<sub>3</sub>  
 Hg2 extracción con Na-pirafosfato  
 Hg3 extracción con NH<sub>2</sub>OH-Cl  
 Hg4 extracción con H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>-MgNO<sub>3</sub>  
 Hg5 extracción con NH<sub>4</sub>-oxalato (oscuridad)  
 Hg6 extracción con NH<sub>4</sub>-oxalato  
 Hg7 residual  
 Hg T.H.M. Mercurio total, ataque ácido en horno de microondas  
 No secuencial  
 Hg(NH<sub>4</sub>NO<sub>3</sub>) extracción individual  
 Hg(EDTA) extracción individual

Cuadro A.3.11 As-fraccionamiento y extracciones individuales con NH<sub>4</sub>NO<sub>3</sub> y EDTA

sitio	Profundidad cm	unidad	As1	As2	As3	As4	As5	As6	As7	SUMA	As T.H.M.	As NH <sub>4</sub> NO <sub>3</sub>	As EDTA
Suelos regados con aguas residuales industriales													
1. c/alfalfa	0 - 20	mg/kg	5.13	9.17	1.46	5.20	1.88	3.13	33.3	59.2	56.6	2.3	9.3
		%	8.66	15.5	2.47	8.78	3.17	5.29	56.2	100	105		
	20 - 40	mg/kg	5.50	9.45	1.39	6.72	2.96	1.74	35.6	63.4	60.9	1.5	10
		%	8.68	14.9	2.28	10.6	4.67	2.75	56.2	100	104		
	40 - 60	mg/kg	6.19	8.93	2.25	6.54	2.79	1.79	38.7	67.2	64	2.3	8.1
		%	9.21	13.3	3.35	9.73	4.15	2.66	57.6	100	105		
2. c/cebada	0 - 20	mg/kg	6.02	9.45	1.74	5.50	2.87	1.74	44.6	71.9	71.4	1.5	5.0
		%	8.37	13.14	2.42	7.65	4.00	2.42	62	100	101		
	20 - 40	mg/kg	6.23	11.6	2.09	7.58	3.36	1.91	46.4	79.1	76.8	2.2	7.2
		%	7.88	14.6	2.64	9.58	4.25	2.42	58.6	100	103		
	40 - 60	mg/kg	5.23	11.6	1.39	6.20	2.70	0.82	40.7	68.6	66.9	1.7	4.3
		%	7.62	16.8	2.03	9.04	3.93	1.20	59.35	100	103		
3. c/avena	0 - 20	mg/kg	6.05	11	1.91	6.91	5.27	0.96	46.9	79	76.6	2.5	6.6
		%	7.66	13.9	2.42	8.75	6.67	1.22	59.4	100	103		
	20 - 40	mg/kg	6.49	11.3	1.67	7.64	4.39	1.31	45.6	78.4	74.4	2.2	7.0
		%	8.27	14.5	2.13	9.74	5.60	1.67	58.1	100	105		
	40 - 60	mg/kg	5.75	11	1.34	6.82	2.78	0.90	41.35	69.92	68.12	1.6	5.5
		%	8.2	15.7	1.92	9.75	3.98	1.30	59.13	100	103		
4. s/actividad	0 - 20	mg/kg	6.46	9.45	1.91	7.06	4.09	1.96	44.8	75.7	72.2	1.9	4.1
		%	8.53	12.5	2.52	9.32	5.40	2.59	59.16	100	105		
	20 - 40	mg/kg	6.02	8.93	1.39	5.93	2.00	0.65	41	65.9	63.8	2.4	3.0
		%	9.14	13.6	2.11	9.00	3.04	0.99	62.2	100	103		
	40 - 60	mg/kg	4.36	7.88	1.39	5.67	1.56	1.09	33.7	55.6	52.4	2.5	2.2
		%	7.84	14.2	2.50	10.2	2.80	1.96	60.5	100	106		
5. s/actividad	0 - 20	mg/kg	5.23	8.93	1.39	5.93	1.48	1.09	36.1	60.2	59.4	1.5	9.6
		%	8.69	14.8	2.31	9.9	2.5	1.81	60	100	101		
	20 - 40	mg/kg	3.90	6.89	0.40	4.38	2.02	0.50	29.10	47.2	45.1	1.8	10
		%	8.26	14.6	0.85	9.28	4.28	1.06	61.7	100	105		
	40 - 60	mg/kg	3.9	7.1	0.83	5.16	1.88	1.04	30.5	50.5	47.7	2.5	7.3
		%	7.73	14.2	1.65	10.2	3.72	2.1	60.5	100	106		

As1 extracción con MgNO<sub>3</sub>As<sub>2</sub>' extracción con Na profusatoAs3 extracción con NH<sub>4</sub>OH ClAs4 extracción con H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>-MgNO<sub>3</sub>As<sub>5</sub>' extracción con NH<sub>4</sub> oxalato (oscuridad)As6 extracción con NH<sub>4</sub>-oxalato

As7 residual

As T.H.M. Arsénico total, ataque ácido  
en horno de microondas  
No secuencialAs(NH<sub>4</sub>NO<sub>3</sub>) extracciónAs(EDTA) extracción  
individual

Cuadro A.3.11.....

(continuación)

sitio	Profundidad cm	unidad	As1	As2	As3	As4	As5	As6	As7	SUMA	As T.H.M.	As NH <sub>4</sub> NO <sub>3</sub>	As EDTA
Suelos regados con aguas residuales industriales													
6.s/actividad	0 - 20	mg/kg	7.12	11.6	2.03	6.28	1.62	1.13	33.5	63.23	62	1.8	4.1
		%	11.3	18.4	3.21	9.93	2.56	1.79	52.9	100	102		
	20 - 40	mg/kg	3.9	10.2	0.87	5.58	1.13	1.09	28.7	51.5	51.3	2.1	5.0
		%	7.57	19.9	1.69	10.8	2.20	2.12	55.7	100	100		
	40 - 60	mg/kg	4.31	10.2	1.57	4.97	2.43	0.44	33.5	57.5	56.4	1.7	5.3
		%	7.5	17.8	2.73	8.65	4.23	0.77	58.3	100	102		
Suelos no influenciados por las aguas residuales													
7.c/maiz	0 - 20	mg/kg	4.6	11.7	1.25	5.96	0.53	0.78	36.4	61	58.8	2.7	4.0
		%	7.52	19.1	2.05	9.75	0.87	1.28	59.5	100	104		
	20 - 40	mg/kg	4.29	10.4	0.96	5.47	0.68	1.20	40	63	62.3	2.3	3.6
		%	6.81	16.5	1.52	8.68	1.08	1.90	63.51	100	101		
8.orilla de camino	0 - 20	mg/kg	4.60	12.3	2.09	6.59	1.14	0.52	32.6	59.8	58.5	2.1	5.0
		%	7.69	20.5	3.50	11	1.91	0.87	54.5	100	102		
	20 - 40	mg/kg	3.97	11	1.39	5.32	1.20	0.44	34.6	57.9	55.2	1.9	3.8
		%	6.86	19	2.40	9.19	2.07	0.77	59.7	100	105		
	40 - 60	mg/kg	4.11	8.92	1.39	5.32	1.29	0.44	44.2	65.7	64.5	1.3	2.9
		%	6.26	13.6	2.11	8.10	1.96	0.67	67.3	100	102		
9.s/actividad	0 - 20	mg/kg	3.55	8.39	1.04	5.23	1.29	0.88	34.8	55.2	54.7	1.9	2.6
		%	6.4	15.2	1.88	9.48	2.34	1.60	63.1	100	100		
	20 - 40	mg/kg	3.71	9.19	1.04	4.71	0.26	0.88	29.5	49.3	46.8	1.9	2.0
		%	7.53	18.6	2.11	9.56	0.53	1.79	59.8	100	105		

As1 extracción con MgNO<sub>3</sub>

As2 extracción con Na-pirofosfato

As3 extracción con NH<sub>2</sub>OH-ClAs4 extracción con H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>-MgNO<sub>3</sub>As5 extracción con NH<sub>4</sub>-oxalato (oscuridad)As6 extracción con NH<sub>4</sub>-oxalato

As7 residual

As T.H.M. Arsénico total, ataque ácido

en horno de microondas

No secuencial

As(NH<sub>4</sub>NO<sub>3</sub>) extracción

individual

As(EDTA) extracción

individual

APENDICE A.4  
METALES TOTALES EN LOS CULTIVOS



Cuadro A.4.1 Contenido de cobre en las plantas

		COBRE ( $\mu\text{g/g}$ )			
Sitio	Cultivo	Materia Calcinada (420°C)	Materia Seca. (al ambiente)	Diferencias con respecto al riego con agua del acuífero confinado	
Regados con aguas residuales industriales					
1	alfalfa (hojas)	84	12.60	+ 46	+ 8.2
	alfalfa (tallos)	75.5	7.87	+ 47.5	+ 4.57
	alfalfa (raíces)	99.2	15.82	+ 61.2	+ 11.2
2	cebada (espigas)	34.2	1.61	- 3.8	- 1.69
	cebada (tallos)	11.3	1.18	+ 16.7	+ 2.12
	cebada (raíces)	61	11.8	+ 23	+ 7.2
3	avena (hojas)	33.5	5.41	- 4.5	+ 1.01
	avena (tallos)	43	5.78	+ 15	+ 2.48
	avena (raíces)	99.7	16	+ 61.7	+ 11.4
Regado con agua del acuífero confinado					
7	maíz (hojas)	38	4.40		
	maíz (tallos)	28	3.30		
	maíz (raíces)	38	4.64		

Cuadro A.4.2 Contenido de cadmio en las plantas

Sitio	Cultivo	CADMIO ( $\mu\text{g/g}$ )			
		Materia Calcinada (420°C)	Materia Seca (al ambiente)	Diferencias con respecto Al riego con agua del Acuífero confinado	
Regados con aguas residuales industriales					
1	alfalfa (hojas)	4.43	0.46	+ 2.06	+ 0.08
	alfalfa (tallos)	4.09	0.43	+ 0.38	0.00
	alfalfa (raíces)	6.63	0.61	+ 2.83	+ 0.14
2	cebada (espigas)	4.08	0.20	+ 1.71	- 0.18
	cebada (tallos)	2.60	0.31	- 1.11	- 0.12
	cebada (raíces)	4.77	1.03	+ 0.97	+ 0.56
3	avena (hojas)	1.96	0.32	- 0.41	- 0.06
	avena (tallos)	2.56	0.34	- 1.15	- 0.09
	avena (raíces)	6.40	0.62	+ 2.6	+ 0.15
Regados con agua del acuífero confinado					
7	maíz (hojas)	2.37	0.38		
	maíz (tallos)	3.71	0.43		
	maíz (raíces)	3.80	0.47		

Cuadro A.4.3 Contenido de cobalto en las plantas

		COBALTO ( $\mu\text{g/g}$ )			
Sitio	Cultivo	Materia Calcinada (420°C)	Materia Seca (al ambiente)	Diferencias con respecto al riego con agua del acuífero confinado	
Regados con aguas residuales industriales					
1	alfalfa (hojas)	44	5.10	+ 27	+ 3.21
	alfalfa (tallos)	20.5	2.60	+ 9.5	+ 1.30
	alfalfa (raíces)	66	12.7	+ 36	+ 9.15
2	cebada (espigas)	28	1.39	+ 11	- 0.59
	cebada (tallos)	12.1	1.44	+ 1.1	+ 0.14
	cebada (raíces)	86.3	20.8	+ 56.3	+ 17.3
3	avena (hojas)	27	4.21	+ 10	+ 2.32
	avena (tallos)	13	3.43	+ 2	+ 2.13
	avena (raíces)	37	6.15	+ 7	+ 2.6
Regados con agua del acuífero confinado					
7	maíz (hojas)	17	1.89		
	maíz (tallos)	11	1.30		
	maíz (raíces)	30	3.55		

Cuadro A.4.4 Contenido de cromo en las plantas

		CROMO ( $\mu\text{g/g}$ )			
Sitio	Cultivo	Materia Calcinada (420°C)	Materia Seca (al ambiente)	Diferencias con respecto al riego con agua del acuífero confinado	
Regado con aguas residuales industriales					
1	alfalfa (hojas)	779	158	+ 243	+ 95.5
	alfalfa (tallos)	353	38	+ 216	+ 18
	alfalfa (raíces)	1030	250	+ 541	+ 135
2	cebada (espigas)	161	8.2	- 375	- 54.3
	cebada (tallos)	145	17.3	+ 8	- 2.7
	cebada (raíces)	1236	334	+ 747	+ 219
3	avena (hojas)	471	76	- 65	+ 13.5
	avena (tallos)	322	44	+ 185	+ 24
	avena (raíces)	1329	545	+ 840	+ 430
Regados con agua del acuífero confinado					
7	maíz (hojas)	536	62.5		
	maíz (tallos)	137	20		
	maíz (raíces)	489	115		

Cuadro A.4.5 Contenido de fierro en las plantas

Sitio	Cultivo	FIERRO ( $\mu\text{g/g}$ )			
		materia calcinada (420°C)	Materia Seca. (al ambiente)	Diferencias con respecto al riego con agua del acuífero confinado	
Regados con aguas residuales industriales					
1	alfalfa (hojas)	2375	425	+ 1260	+ 160
	alfalfa (tallos)	1589	241	+ 1254	+ 211
	alfalfa (raíces)	2822	475	+ 553	+ 6
2	cebada (espigas)	1007	116	- 108	- 149
	cebada (tallos)	2403	146	+ 2068	+ 116
	cebada (raíces)	4125	713	+ 1856	+ 232
3	avena (hojas)	1346	266	+ 231	+ 1
	avena (tallos)	1011	136	+ 676	+ 106
	avena (raíces)	2328	592	+ 59	+ 111
Regado con agua del acuífero confinado					
7	maíz (hojas)	1115	265		
	maíz (tallos)	335	30		
	maíz (raíces)	2269	481		

Cuadro A.4.6 Contenido de manganeso en las plantas

Sitio	Cultivo	MANGANESO ( $\mu\text{g/g}$ )			
		Materia Calcinada ( $420^{\circ}\text{C}$ )	Materia Seca (al ambiente)	Diferencias con respecto al riego con agua del acuífero confinado	
Regados con aguas residuales industriales					
1	alfalfa (hojas)	281	42	- 74	+ 1
	alfalfa (tallos)	236	24.6	+ 72.6	+ 5.3
	alfalfa (raíces)	230	68.8	+ 10.6	+ 27.6
2	cebada (espigas)	211	11.3	+ 144	+ 29.7
	cebada (tallos)	190	23.3	+ 26.6	+ 4
	cebada (raíces)	308	77	+ 88.6	+ 35.8
3	avena (hojas)	395	63	+ 40	+ 22
	avena (tallos)	344	46	+ 180.6	+ 26.7
	avena (raíces)	774	84.8	+ 554.6	+ 43.6
Regado con agua del acuífero confinado					
7	maíz (hojas)	355	41		
	maíz (tallos)	163.4	19.3		
	maíz (raíces)	219.4	41.2		

Cuadro A.4.7 Contenido de níquel en las plantas

		NIQUEL ( $\mu\text{g/g}$ )			
Sitio	Cultivo	Materia Calcinada (420°C)	Materia Seca. (al ambiente)	Diferencias con respecto al riego con agua del acuífero confinado	
Regados con aguas residuales industriales					
1	alfalfa (hojas)	245	35.6	+ 59	+ 14.2
	alfalfa (tallos)	197	21.2	+ 152.3	+ 14.5
	alfalfa (raíces)	362	112	+ 58	+ 64.8
2	cebada (espigas)	159	7.75	+ 27	-13.7
	cebada (tallos)	92	11.8	+ 47.3	+ 5.1
	cebada (raíces)	921	219	+ 617	+ 172
3	avena (hojas)	260	43.1	+ 74	+ 21.7
	avena (tallos)	77.7	16	+ 33	+ 9.3
	avena (raíces)	499	247	+ 195	+ 199.8
Regado con agua del acuífero confinado					
7	maíz (hojas)	186	21.4		
	maíz (tallos)	44.7	6.7		
	maíz (raíces)	304	47.2		

Cuadro A.4.8 Contenido de plomo en las plantas

Sitio	Cultivo	PLOMO ( $\mu\text{g/g}$ )			
		Materia Calcinada (420°C)	Materia Seca (al ambiente)	Diferencias con respecto al riego con agua del acuífero confinado	
Regados con aguas residuales industriales					
1	alfalfa (hojas)	5.17	0.93	+ 10.23	+ 0.85
	alfalfa (tallos)	2.96	0.57	+ 3.62	- 0.21
	alfalfa (raíces)	12.9	1.55	+ 11.03	+ 1.31
2	cebada (espigas)	19.7	1.02	+ 4.3	- 0.76
	cebada (tallos)	8.36	0.99	+ 1.78	+ 0.21
	cebada (raíces)	9.66	1.69	+ 5.74	- 0.09
3	avena (hojas)	1.41	0.23	- 13.99	+ 1.55
	avena (tallos)	6.30	0.84	-0.28	+ 0.06
	avena (raíces)	15.6	1.54	+ 13.73	+ 1.30
Regados con agua del acuífero inferior.					
7	maíz (hojas)	15.4	1.78		
	maíz (tallos)	6.58	0.78		
	maíz (raíces)	1.87	0.24		



Cuadro A.4.9 Contenido de zinc en las plantas

		ZINC ( $\mu\text{g/g}$ )			
Sitio	Cultivo	Materia Calcinada (420°C)	Materia Seca. (al ambiente)	Diferencias con respecto al riego con agua del acuífero confinado	
Regados con aguas residuales industriales					
1	alfalfa (hojas)	122	22	+ 76	+ 10
	alfalfa (tallos)	297	31	+ 203	+ 24.1
	alfalfa (raíces)	96	23.7	+ 37	+ 6.7
2	cebada (espigas)	119	11.3	+ 73	- 0.7
	cebada (tallos)	46.6	5.2	+ 47.4	- 1.7
	cebada (raíces)	51.8	9.6	- 7.2	- 7.4
3	avena (hojas)	65	10.5	+ 19	- 1.5
	avena (tallos)	109	14.6	- 15	- 7.7
	avena (raíces)	96.4	12.9	+ 37.4	- 4.1
Regado con agua del acuífero confinado					
7	maíz (hojas)	46	12		
	maíz (tallos)	94	6.9		
	maíz (raíces)	59	17		

Cuadro A.4.10 Contenido de mercurio en las plantas

		MERCURIO ( $\mu\text{g/g}$ )			
Sitio	Cultivo	Materia Calcinada (420°C)	Materia Seca. (al ambiente)	Diferencias con respecto al riego con agua del acuífero confinado	
Regados con aguas residuales industriales					
1	alfalfa (hojas)	987	138	- 298	- 7
	alfalfa (tallos)	923	104	+ 198	+ 26
	alfalfa (raíces)	1042	150	+ 9	+ 43
2	cebada (espigas)	107	25.9	- 1178	- 119
	cebada (tallos)	452	53.9	- 273	- 24.1
	cebada (raíces)	600	66.7	- 685	- 78.3
3	avena (hojas)	1160	146	- 125	+ 1
	avena (tallos)	975	132	+ 250	+ 54
	avena (raíces)	1355	173	+ 322	+ 66
Regado con agua del acuífero confinado					
7	maíz (hojas)	1285	145		
	maíz (tallos)	725	78		
	maíz (raíces)	1033	107		

