

4 00369



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

Facultad de Ciencias
División de Estudios de Posgrado

“ EVALUACION DE LOS NIVELES DE CONTAMINACION DEL RIO ATOYAC Y SU IMPACTO EN LOS SUELOS Y CULTIVOS POR METALES PESADOS POR EL USO DE AGUAS RESIDUALES EN EL EJIDO FLORES MAGON, MUNICIPIO DE ATLIXCO, EDO. DE PUEBLA ”.

T E S I S

Que para obtener el grado académico de Maestria en Ciencias (Edafología)

p r e s e n t a
LUCIA RODRIGUEZ DOMINGUEZ



FACULTAD DE CIENCIAS UNAM

DIRECTOR DE TESIS:
M.EN.C. ALFREDO ECHEGARAY ALEMAN

MEXICO, D.F.

2002

TESIS CON FALLA DE ORIGEN



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

DEDICATORIAS

A mis padres:

Herlinda y José

A mis abuelos:

Carmen y Antonio

A mis hermanos:

Ricardo, Martín y Carlos

A mis sobrinos:

**Alex, Claudia, Richi, Gaby, Ernesto, Carlitos y
Alberto**

AGRADECIMIENTOS

A mis padres y abuelos, que gracias a ellos he tenido la oportunidad de tener una profesión y alcanzar esta etapa importante de mi vida profesional.

A mis hermanos, por sus palabras de aliento en momentos importantes y decisivos de mi vida.

Agradezco muy especialmente al **M. en C. Teodoro Méndez García** del Laboratorio de Química de Aguas del Departamento de Edafología del Instituto de Geología de la UNAM, por la asesoría brindada y su gran apoyo para la realización del presente trabajo. Además, de sus invaluable y acertadas enseñanzas, así como sus palabras y acciones de impulso manifestadas a lo largo de mi trayectoria profesional.
Por su gran amistad y confianza.

Al M. en C. Sergio Palacios Mayorga por el apoyo brindado durante la estancia en el H. Instituto de Geología.

A la Dra. Christina Siebe Garbach por sus valiosas sugerencias y aportaciones constructivas en el trabajo final de la tesis.

A mi director de tesis M. en C. Alfredo Echegaray Alemán por sus sugerencias y comentarios para el trabajo de esta tesis.

Al Biól. Raúl López Bravo, por la ayuda brindada en el trabajo de campo y logístico.

Así mismo, también agradezco al H. Jurado integrado por:

M. en C. Alfredo Echegaray Alemán
Dr. Gilberto Hernández Silva
Dra. Christina Siebe Garbach
Dr. Lenom J. Cajuste
Dra. Silke Cram Heydrich
M. en C. Jorge A. Lugo de la Fuente
M. en C. Rosalía Ramos Bello

Por sus valiosas sugerencias para mejorar esta tesis.

Agradezco al H. Instituto de Geología de la UNAM, especialmente a la sección de Química de Suelos del Departamento de Edafología por las facilidades proporcionadas para la elaboración de esta tesis.

También agradezco a la Dirección General de Asuntos del Personal Académico (DGAPA) por la beca otorgada para la realización de los estudios de maestría.

Por último, a todas aquellas personas que de una u otra forma intervinieron en la realización de este trabajo.

ÍNDICE

RESUMEN	
1. INTRODUCCIÓN	1
2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA	
2.1. Cadmio	4
2.2. Cromo	8
2.3. Manganeseo	11
2.4. Niquel	13
2.5. Plomo	15
3. OBJETIVOS	19
4. HIPÓTESIS	20
5. CARACTERÍSTICAS DE LA ZONA DE ESTUDIO	
5.1. Fisiografía	21
5.2. Clima	21
5.3. Geología	22
5.4. Hidrografía	23
5.5. Edafología	24
5.6. Vegetación	25
5.7. Marco económico	26
6. MATERIALES Y MÉTODOS	
6.1. Localización de la zona de estudio	28
6.2. Trabajo de campo	28
6.3. Muestreo	32
6.3.1. Aguas	32
6.3.2. Suelos	32
6.3.3. Plantas	32
6.4. Fase de Laboratorio	33
6.4.1. Aguas	33
6.4.2. Metales solubles	34

6.4.3. Suelos	34
6.4.4. Metales pesados extractables y totales	35
6.4.5. Plantas	35
6.5 . Límites de detección	36
6.6. Análisis estadístico	38
7. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	
7.1. Agua	39
7.1.1. Potencial de Hidrógeno	39
7.1.2. Conductividad Eléctrica	44
7.1.3. Cationes solubles	48
7.1.3.1. Calcio	48
7.1.3.2. Magnesio	51
7.1.3.3. Sodio	54
7.1.3.4. Potasio	58
7.1.4. Aniones solubles	61
7.1.4.1. Bicarbonatos	61
7.1.4.2. Cloruros	64
7.1.4.3. Sulfatos	67
7.2. Metales solubles en agua	70
7.2.1. Plomo	70
7.2.2. Cromo	76
7.2.3. Cadmio	80
7.2.4. Níquel	84
7.2.5. Manganeso	88
7.3. Suelos	92
7.3.1. Reacción del Suelo	92
7.3.2. Cationes Intercambiables	93
7.3.2.1. Calcio y Magnesio	93
7.3.2.2. Sodio y Potasio	95
7.3.3. Capacidad de Intercambio Catiónico Total	97
7.3.4. Materia Orgánica	98

7.3.5. Nitrógeno total	100
7.3.6. Carbonatos insolubles totales	101
7.3.7. Fósforo asimilable	102
7.3.8. Textura	104
7.4. Metales extractables con DTPA	106
7.4.1. Plomo	106
7.4.2. Cromo	108
7.4.3. Cadmio	109
7.4.4. Níquel	110
7.4.5. Manganeso	112
7.5. Metales totales	114
7.5.1. Plomo	114
7.5.2. Cromo	116
7.5.3. Cadmio	118
7.5.4. Níquel	119
7.5.5. Manganeso	121
7.6. Índices de contaminación	122
7.7. Metales totales en plantas	125
7.7.1. Plomo	125
7.7.2. Cromo	127
7.7.3. Cadmio	129
7.7.4. Níquel	131
7.7.5. Manganeso	133
7.8. Discusión General	137
8. CONCLUSIONES	140
9. RECOMENDACIONES	142
10. BIBLIOGRAFÍA	143
APÉNDICE A	I
APÉNDICE B	XII
APÉNDICE C	XXX

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

RESUMEN

La zona de estudio se localiza al suroeste de la Cd. de Puebla y comprende principalmente al ejido Flores Magón, municipio de Atlixco. Se seleccionaron 16 puntos de muestreo, incluyendo el testigo, para determinar la influencia de la calidad del agua sobre los suelos y cultivos del área. En esta zona el agua residual proveniente de las descargas industriales y municipales de las ciudades de Tlaxcala, San Martín Texmelucan, Moyotzingo, Puebla, Atlixco y el Parque Industrial Quetzalcoatl, se vierte a los ríos Atoyac y Nexapa y se emplea en el riego de unas 50 hectáreas, donde se obtienen altos rendimientos principalmente de hortalizas, maíz, frijol, haba, chícharo, calabaza, alfalfa y plantas ornamentales. De los puntos de muestreo seleccionados se encontraron los siguientes resultados:

El agua residual de los ríos Atoyac, Nexapa y canales que se utiliza en el riego agrícola del municipio de Atlixco corresponde a la clase C3S1 de reacción alcalina y con ligeros problemas de salinidad, originados por los cationes y por los aniones que se detectaron en el siguiente orden decreciente: $\text{SO}_4^{2-} > \text{Ca}^{2+} > \text{HCO}_3^- > \text{Mg}^{2+} > \text{Cl}^- > \text{Na}^+ > \text{K}^+$ con concentraciones máximas de 14.02, 11.2, 10.75, 8.60, 6.90, 6.31 y 0.96 mmol L⁻¹, respectivamente. Al combinarse se forman sales alcalinas de $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$, MgSO_4 , NaCl , $\text{Mg}(\text{HCO}_3)_2$ y en menor cantidad CaCO_3 , las cuales originan un pH alcalino.

La presencia de cantidades considerables de Na^+ , HCO_3^- y Cl^- pueden originar problemas de salinidad en el suelo y afectar el desarrollo de cultivos sensibles a la salinidad.

Los metales pesados solubles se detectaron en el siguiente orden decreciente: $\text{Mn} > \text{Ni} > \text{Pb} > \text{Cr} > \text{Cd}$ con concentraciones máximas de 0.36, 0.31, 0.30, 0.099 y 0.020 mg L⁻¹, respectivamente. El Cr únicamente se detectó en concentraciones inferiores a las permisibles por la NOM-CCA-032-ECOL/93 para agua de uso agrícola y por la NOM-127-SSA1/1994 para agua de consumo

humano. Respecto al Mn, el valor máximo detectado en los canales rebasó los criterios establecidos para agua de riego agrícola. Las concentraciones máximas detectadas de Ni y Cd rebasaron los límites establecidos por la NOM-CCA-032-ECOL/93 para agua de riego agrícola. Finalmente, las concentraciones de Pb fueron inferiores al límite permisible por la NOM-CCA-032-ECOL/93 para agua de uso agrícola, pero, superaron los valores permisibles por la NOM-127-SSA1/1994 para agua de consumo humano.

Los suelos del ejido Flores Magón se caracterizaron por ser de reacción alcalina, ya que los valores de pH fluctuaron de 7.4 a 8.10. Son ricos en Ca^{2+} , Mg^{2+} y Na^+ con concentraciones máximas de 23.32, 11.66 y 1.80 cmol kg^{-1} , respectivamente. Los contenidos de materia orgánica y nitrógeno total oscilaron de 0.75 a 2.66 y de 0.04 a 0.16 %, respectivamente. Las concentraciones de la capacidad de intercambio catiónico total y el fósforo asimilable fueron altas, ya que los valores fueron del orden de 4.70 a 37.50 cmol kg^{-1} y de 7.0 a 74.2 mg kg^{-1} , respectivamente. Por su parte, las cantidades de carbonatos insolubles totales oscilaron de 1.05 a 4.22 % y la textura varió entre franco, migajón arcillo arenoso, migajón arenoso y arenoso.

Los metales extractables con DTPA-TEA - CaCl_2 pH 7.3 se detectaron en el siguiente orden decreciente: $\text{Mn} > \text{Ni} > \text{Pb} > \text{Cd}$ con concentraciones máximas de 121, 8.0, 7.3 y 0.4 mg kg^{-1} , respectivamente. Estas cantidades se encontraron dentro de los rangos normales establecidos por Mc Bride (1974).

Los metales pesados totales, extraídos con una solución ácida de HF-HClO_4 , se encontraron en el siguiente orden decreciente: $\text{Cr} > \text{Mn} > \text{Ni}$ con concentraciones máximas de 570, 460 y 104 mg kg^{-1} , respectivamente. Las concentraciones de Cr y Ni fueron consideradas como fitotóxicas de acuerdo con EPA (1979), Kabata-Pendias (1992) y Kloke (1979); mientras que el Mn se encontró dentro de los rangos establecidos como normales por los mismos autores.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Los metales totales en los cultivos se detectaron en el siguiente orden decreciente: Mn>Pb>Ni>Cr>Cd con concentraciones máximas de 155, 16, 12, 15 y 1.0 mg kg⁻¹, respectivamente. Estas concentraciones correspondieron a alfalfa, maíz, alfalfa, maíz y alfalfa, respectivamente.

Los resultados del análisis de correlación mostraron que la materia orgánica es el constituyente del suelo más importante para la inmovilización de Pb y Mn. La fracción de limo retiene al Cd y al Mn.

Para evaluar el nivel de contaminación de los suelos se utilizaron los índices de contaminación: equivalente de Zn, relación Zn/Cd y la relación extraíble/total. Según el equivalente de Zn los suelos del ejido Flores Magón fueron potencialmente tóxicos ya que rebasaron los 250 mg kg⁻¹. En cuanto a la relación Zn/Cd los cultivos de la zona del testigo y del ejido podrían presentar problemas de toxicidad por Cd, ya que los sitios presentaron una relación menor a 1000 mg kg⁻¹.

Por otro lado, el porcentaje de la relación extraíble/total, muestra que existe biodisponibilidad y movilidad de los metales Mn y Ni en el suelo. Esto se reflejó en los contenidos de estos elementos en los diferentes tejidos vegetales que se analizaron, donde los niveles de Ni superaron los rangos establecidos por Chapman (1974) y Kabata-Pendias (1992) en cebolla, alfalfa, pasto y tomate. Sin embargo, las concentraciones de Mn se encontraron dentro de los rangos normales establecidos por Kabata-Pendias (1992) y Chaney (1983), pero rebasaron los criterios propuestos por Chapman (1974) para el tomate.

1. INTRODUCCIÓN

El agua es el medio donde surgió la vida en nuestro planeta y la vida misma depende permanentemente de la existencia de ésta para todos los procesos metabólicos. Por ello, el agua ha sido considerada por muchos científicos como el escenario principal donde ocurren las reacciones biológicas fundamentales para la vida, ya que este compuesto constituye más del 95% del protoplasma celular.

Las aguas superficiales como los ríos, lagos, lagunas y estuarios han jugado un papel central en la historia, ya que han influido en la agricultura, el transporte, la industria, el vertido de desechos y los asentamientos humanos. De hecho, los ríos Tigris y Eufrates, convirtieron a Mesopotamia (que significa literalmente "entre ríos"), en la cuna de la civilización hacia la segunda mitad del IV milenio a.C. (Tebbutt, 1990).

En particular los ríos, gracias a su corriente y naturaleza ecológica son capaces de regenerarse por sí mismos al admitir cantidades asombrosas de afluentes. Sin embargo, todos los ríos tienen un límite de capacidad de asimilación de aguas residuales y fertilizantes provenientes de tierras de cultivo (Stein, 1998).

La contaminación del agua por sustancias químicas puede tener graves consecuencias, ya que los ríos son muy vulnerables al envenenamiento por los productos tóxicos que generan la minería, las fundiciones y la industria, tales como metales pesados (Pb, Cr, Cd, Ni, Mn, etc.), ácidos, disolventes y PVC's (policloruros de vinilo). Estas sustancias químicas no sólo destruyen la vida en el momento en el que se produce la contaminación, sino que también se acumulan lentamente en los sedimentos y suelos (Stein, 1998).

Por otro lado, la falta de agua de buena calidad con fines agrícolas es paradójica, ya que la cantidad de este líquido sobre la tierra es enorme, cerca del 7% de la masa de la tierra es agua; sin embargo, el 97% de ésta se encuentra en los océanos y únicamente el 3% es agua dulce, de la cual más del 2% se encuentra congelada en los casquetes polares. Así, únicamente el 0.7% del agua de la tierra se encuentra formando lagos, lagunas, ríos y los acuíferos accesibles. Aunque este

porcentaje, aparentemente es bajo, no habría escasez de este recurso, si tanto el agua como la población estuvieran distribuidos uniformemente sobre la tierra.

Respecto al uso de las aguas residuales en la agricultura, una de las mayores experiencias a nivel nacional, según el IMTA (1990) es el empleo de las aguas residuales de la Zona Metropolitana de la Ciudad de México (ZMCM) en el Valle del Mezquital, Edo. de Hidalgo. De acuerdo con Méndez, *et al.* (1991) estas aguas se utilizan en el riego de más de 85,000 has, donde oficialmente únicamente se permite la siembra de cultivos forrajeros como alfalfa, maíz, cebada y avena.

El problema del uso del agua residual en la agricultura, no es exclusivo del Edo. de Hidalgo (Valle del Mezquital), sino de todos aquellos estados que en las últimas décadas han sufrido distintos grados de industrialización. Como consecuencia de esa actividad se desechan cantidades considerables de agua residual que al incorporarse a las aguas municipales constituyen grandes volúmenes que se vierten a los drenajes, en la mayoría de los casos, sin tratamiento alguno. Al ser utilizados en la agricultura afectan las propiedades físicas, químicas y biológicas de los suelos. Este es el caso de los estados de Puebla y Tlaxcala que vierten sus aguas residuales a los ríos Zahuapan y Atoyac, los cuales se utilizan con fines de riego durante su recorrido, principalmente en los municipios de San Martín Texmelucan, Moyotzingo, Cholula, Atlixco y Tecamachalco, Edo. de Puebla. En este último municipio, de acuerdo con la C.N.A. y B.G.S. (1995), se emplean las aguas residuales del río Atoyac que se almacenan temporalmente en la Presa Valsequillo, para irrigar más de 19,000 has correspondientes al DDR 030 en Tecamachalco, Edo. de Puebla, donde se produce principalmente maíz, frijol, alfalfa y hortalizas.

En Atlixco, el área que se beneficia con aguas residuales es menor y su control es menos estricto que en Tecamachalco. Atlixco no se trata de un Distrito de Riego, pero los cultivos se enfocan fundamentalmente a la producción de hortalizas, alfalfa, maíz y plantas ornamentales con altos rendimientos, debido a la incorporación de materia orgánica y nutrimentos por el agua residual (Rodríguez, *et al.* 1995).

El uso del agua residual en la agricultura, ofrece beneficios con respecto a la fertilidad del suelo, pero la incorporación de estas aguas puede originar problemas de contaminación de metales pesados. Según el IMTA (1987) la calidad sanitaria del

agua residual en México no cumple con las características de calidad relacionadas con la protección a la salud, por las altas cantidades de bacterias, virus, helmintos, entre otros patógenos.

2. REVISION BIBLIOGRAFICA

Desde las décadas de los 20's y 30's se ha investigado acerca de la esencialidad de los elementos traza en los cultivos.

Durante la 2ª Guerra Mundial se observaron problemas en los cultivos y animales por las deficiencias de micronutrientes. Después de la guerra el interés de los metales traza en el medio ambiente y en el ámbito científico se incrementó, aunque no se tenía claro el entendimiento del papel de los mismos en el metabolismo de las plantas.

Posteriormente en el período de la Postguerra se observó un incremento en las concentraciones de un número de elementos en el ambiente como consecuencia de las emisiones antropogénicas. Muchos de estos elementos se agruparon como metales pesados entre los cuales están: el Cd, Cr, Mn, Ni y Pb (Adriano, 1992).

El Cd, Cr, Ni y Pb son elementos que se encuentran principalmente como contaminantes en la atmósfera, debido a su amplio uso en la industria y como consecuencia son los más frecuentes en el ambiente.

El Mn por su parte, es un elemento esencial para algunas plantas por lo que tiene una gran aplicación en la agricultura, siendo en gran parte el responsable de la contaminación ambiental.

2.1 CADMIO

Mendoza (1981), plantea una solución para el manejo de aguas residuales en el área metropolitana del Valle de México, reportando concentraciones de Cd de 0.03 mg L^{-1} para aguas del Gran Canal y menciona que rebasa los 0.01 mg L^{-1} que establece la US-EPA (1973) para riego continuo. También analizando tres suelos del DR 03, las concentraciones de este elemento fueron de 2.3, 1.7 y 5.3 mg kg^{-1} para los sitios de Atitalaquia, Tula y Tlahuelilpan, Edo. de Hidalgo, respectivamente; además menciona una depositación anual de Cd de 0.33 mg kg^{-1}

Por otro lado, analizando muestras de alfalfa del DR 03 que han sido regadas con tres diferentes tipos de agua, el mismo autor encontró

concentraciones menores a 1.5 mg kg^{-1} en dos de los sitios y en el tercero 5.25 mg kg^{-1} de Cd para los sitios regados con agua blanca (Tula), agua mezclada (presa Requena) y agua residual (Atitalaquia), respectivamente.

Cajuste *et al.* (1991), evaluaron la distribución de metales pesados (Cu, Mn, Zn, Cd, Cr, Co, Ni y Pb) en aguas, suelos y plantas del Valle del Mezquital donde encontraron concentraciones de Cd disuelto de 0.005 , 0.002 y 0.001 mg L^{-1} en agua residual cruda, mezclada y de pozo, respectivamente. En los mismos sitios la concentración de Cd total fue de 0.013 , 0.011 y 0.003 mg L^{-1} , para los canales de Tlaminulpa, Xochitlán y el Arenal, respectivamente.

Al analizar tres suelos, el Cd extraído con DTPA-TEA- CaCl_2 pH 7 fue detectado en concentraciones de 1.5 , 0.3 y 0.04 mg kg^{-1} (0-8 cm); 1.6 , 0.2 y 0.02 mg kg^{-1} (8-20 cm de profundidad). Los contenidos de Cd total extraído con HNO_3 4M fueron los siguientes: 2.7 , 1.4 , 0.1 mg kg^{-1} (0-8 cm) y 3.1 , 1.4 , 0.1 mg kg^{-1} (8-20 cm), en Tlaminulpa, Xochitlán y Arenal (sitio control), respectivamente.

Con respecto a la concentración de Cd en el cultivo de alfalfa regado con 3 clases de agua, estas fueron de 0.4 y 0.6 mg kg^{-1} para hoja y raíz, respectivamente en el sitio de Tlaminulpa, regado con agua residual; 0.4 y 0.5 mg kg^{-1} en tallos y raíz de avena, respectivamente, para el sitio de Xochitlán, que es regado con agua mezclada y de 0.4 y 0.7 mg kg^{-1} para hoja y raíz del cultivo de alfalfa, en el sitio del Arenal (sitio control), regado con agua de pozo.

Carrillo *et al.* (1992), evaluaron la acumulación de metales pesados (Pb, Cr, Cd Ni, Cu y Mn) en una parcela del municipio de Progreso en el Valle del Mezquital regado continuamente por aproximadamente 15 años con agua residual mezclada (50 % de agua negra del canal Xochitlán y 50% de agua de escorrentía de la presa Requena), donde los niveles de Cd variaron de 0.13 a 0.14 mg L^{-1} y mencionan que este elemento rebasó ligeramente el límite permisible por la US- EPA (1973) y el de SEDUE-SARH (1987) que establecen 0.01 y 0.005 mg L^{-1} para aguas de uso continuo y aguas de reuso agrícola, respectivamente; mientras, en el sitio testigo (agua de pozo) la concentración de este elemento fue mucho menor de 0.01 mg L^{-1} .

En cuanto a las concentraciones promedio de 6 determinaciones de Cd adsorbido y fijado en el suelo, extraído con HNO_3 4M, los niveles de este elemento variaron de 1.5 a 3.0 mg kg^{-1} . Los autores mencionan que de acuerdo con Kabata-Pendias y Pendias (1992) el Cd alcanza niveles que pueden considerarse potencialmente dañinos (3 mg kg^{-1}); mientras, en el suelo testigo, lo detectaron en cantidades traza. Respecto a las formas disponibles de Cd extraídas con DTPA-TEA- CaCl_2 los valores promedio fluctuaron de 0.4 a 1.0 mg kg^{-1} y en el sitio testigo (agua de pozo) fue de 0.06 a 0.1 mg kg^{-1} .

Por su parte, la concentración de Cd en *Avena sativa* L. varió de 0.5 a 0.8 mg kg^{-1} mientras que en el sitio control fue de 0.02 a 0.04 mg kg^{-1} , encontrándose este elemento dentro de los rangos normales propuestos por Chaney (1983) que son de 0.1 a 1 mg kg^{-1} .

Flores *et al.* (1992), analizaron los contenidos de algunos metales pesados (Cd, Cu, Mn y Zn) en cinco perfiles de suelo que han sido regados por más de 40 años con aguas residuales provenientes del Valle del Mezquital (dos de los cinco perfiles los consideraron como sitios control) y detectaron que las concentraciones de Cd total variaron desde 3.9 hasta 7.9 mg kg^{-1} , en cinco sitios de muestreo; con respecto a los dos sitios testigo las concentraciones fluctuaron de 1.9 a 2.7 mg kg^{-1} de Cd total.

Siebe (1994), evaluó las tendencias de acumulación de algunos metales pesados (Cd, Cr, Pb, Cu y Zn) en tres unidades de suelos, que han sido regados con aguas residuales por más de 80 años, en el DR 03, Tula, Hgo., obteniendo concentraciones promedio de 0.006 mg L^{-1} de Cd en el agua del canal El Salto-Tlamaco, Hgo.

En cuanto a los suelos, determinó concentraciones para Cd de 0.14 (>30 cm) a 0.57 mg kg^{-1} (0-30 cm); 0.23 (>70 cm) a 1.63 mg kg^{-1} (26-44 cm) y 0.12 (>104 cm) a 0.78 mg kg^{-1} (0-15 cm) en Leptosol, Feozem y Vertisol, respectivamente para la catena de Bojayito, Tula, Hgo.

Para granos de maíz regados con agua residual del canal Tlamaco-Juandhó detectó 0.03 mg kg⁻¹ de Cd y con lluvia de temporal en la zona de Tetepango, Hgo., fue de 0.008 mg kg⁻¹.

Siebe y Cifuentes (1995), analizaron el impacto ambiental y el riesgo a la salud pública asociada al riego con aguas residuales en la parte central de México (Valle del Mezquital) y detectaron concentraciones promedio de Cd de 0.005 mg L⁻¹ para aguas residuales no tratadas del canal Tlamaco-Juandhó, Hgo., y mencionan que sobrepasan ligeramente el límite de tolerancia por la SEDUE (1989) que es de 0.001 mg L⁻¹. Mientras, para los efluentes de la presa Endhó el Cd fue ligeramente menor (0.004 mg L⁻¹).

También, realizaron una comparación en 30 cm de profundidad en dos unidades de suelos (Leptosol y Vertisol), del Valle del Mezquital, uno bajo riego de temporal donde las concentraciones de Cd fueron las siguientes: 0.15, 0.13, 0.14 mg kg⁻¹ para el Leptosol y 0.15, 0.14, 0.20 mg kg⁻¹ para el Vertisol. El otro, un suelo irrigado por más de 80 años con agua residual no tratada, donde las concentraciones fueron 1.15, 1.14, 1.65 mg kg⁻¹ para Leptosol y 1.38, 1.14, 1.15 mg kg⁻¹ para Vertisol.

Moreno *et al.* (1992), analizaron los contenidos de metales pesados (Zn, Pb, Cu y Cd) en suelos agrícolas y granos de trigo, cebada, hojas de coliflor, espinacas, brotes de maíz, hojas de vid y hojas de gramíneas del suroeste de Madrid y encontraron concentraciones de Cd de 0.01 a 0.36 mg kg⁻¹, con una media de 0.06 mg kg⁻¹ para los suelos y en el caso de las plantas las concentraciones oscilaron de 0.44 a 0.01 mg kg⁻¹, encontrándose las mínimas en granos y las máximas en hojas.

Hue and Subasinghe, (1994) determinaron la presencia de metales pesados (Cd, Cu, Fe, Ni y Zn) en lodos residuales de Hawaii; variando la concentración de 3.1 en Sand Island y Waianae a 10.5 mg kg⁻¹ de Cd, en Waimanalo con un promedio de 5.9 mg kg⁻¹; además extrajeron los mismos metales pesados del

suelo, con DTPA-TEA-CaCl₂ y la concentración para cadmio osciló de 0.95 a 1.19 mg kg⁻¹ en Sand Island y Kailua, respectivamente con un 23 % del total de Cd extraído.

El Hassanin *et al.* (1993), evaluaron la acumulación de algunos metales pesados en 2 suelos de Egipto que han sido regados por más de 67 años con aguas residuales y encontraron para el período de 0 a 5 años concentraciones de Cd total de 1.2 y 0.5 mg L⁻¹ a una profundidad de 0 a 10 cm y de 20 a 60 cm, respectivamente.

Con respecto al Cd disponible éste era de 0.12 y 0.04 mg L⁻¹ para 0 a 10 y de 20 a 60 cm de profundidad, respectivamente. En el período de riego de 0 a 67 años, las concentraciones de Cd total variaron de 3.1 (0 a 10 cm) a 0.4 mg L⁻¹ (20 a 60 cm) y el disponible desde 0.03 hasta 0.70 mg L⁻¹ (0 a 10 cm) con una acumulación en la superficie de 5.7 a 22.5 % después de 67 años.

En las aguas residuales, el contenido de Cd osciló de 0.010 a 0.015 mg L⁻¹ en las 2 áreas estudiadas.

2.2 CROMO

Mendoza (1981), analizando las aguas del Gran Canal en el Valle de México, reporta para Cr 0.35 mg L⁻¹, mencionando que rebasa el límite que establece la US -EPA (1973) que es de 0.10 mg L⁻¹ para aguas de riego continuo. Con respecto a los tres suelos estudiados en el DR 03, encontró concentraciones de 43.0, 21.0 y 69.0 mg kg⁻¹ para los sitios de Atitalaquia, Tula y Tlahuelilpan, existiendo una acumulación anual de 4.28 mg kg⁻¹.

También, al analizar muestras de alfalfa del DR 03 que han sido regadas con agua blanca (Tula), agua mezclada (presa Requena) y agua residual (Atitalaquia), registró en los dos primeros sitios concentraciones de menos de 5.0 mg kg⁻¹ y en el tercero 21.8 mg kg⁻¹, respectivamente.

Cajuste *et al.* (1991), analizando las aguas residuales del Valle del Mezquital detectaron concentraciones de Cr disuelto de 0.11, 0.04 y 0.003 mg L⁻¹

para el agua residual cruda del canal de Tlaminulpa, agua mezclada del canal de Xochitlán y la presa Requena y de pozo del sitio el Arenal, respectivamente. En tanto que las concentraciones totales de Cr en los mismos sitios fue de 0.68, 0.30 y 0.03 mg L⁻¹.

También, analizando los suelos de esa misma zona, las cantidades extraídas con DTPA-TEA-CaCl₂ pH 7 fueron de 0.4, 0.2 y 0.10 mg kg⁻¹ (0-8 cm de profundidad) y de 0.4, 0.3 y 0.10 mg kg⁻¹ (8-20 cm), en los suelos de Tlaminulpa, Xochitlán y Arenal (sitio control), respectivamente. Con respecto al Cr total, determinado con HNO₃ 4M las concentraciones en esos mismos sitios y para las mismas profundidades fueron de 115, 31, 16 mg kg⁻¹ y de 114, 32, 15 mg kg⁻¹, respectivamente. El contenido de Cr en el suelo, según los autores, se debe a que el Cr extraído con HNO₃ 4M está asociado con la MO en forma sólida suspendida en el agua de riego.

En relación al Cr en el cultivo de alfalfa, las concentraciones de este elemento fueron las siguientes: 4.0 y 1.5 mg kg⁻¹ para hoja y raíz, respectivamente en el sitio de Tlaminulpa, regado con agua residual; 2.0 y 4.5 mg kg⁻¹ en tallo y raíz de avena en Xochitlán, regado con agua mezclada y de 3.5 y 2.6 mg kg⁻¹ en hoja y raíz de alfalfa del sitio control en el Arenal, regada con agua de pozo. Estas cantidades sobrepasan las concentraciones normales establecidas por Chaney (1983) que son de 0.1-1 mg kg⁻¹.

Carrillo *et al.* (1992), encontraron concentraciones de Cr que oscilaron de 0.037 a 0.046 mg L⁻¹ en el agua residual mezclada del canal de Xochitlán y de la presa Requena del Valle del Mezquital y en el sitio testigo (agua de pozo) fue de 0.002 mg L⁻¹, no rebasando el límite máximo permisible por SEDUE-SARH (1987), para aguas de reuso y el de la US-EPA (1973), para aguas de uso continuo en la agricultura, que establecen 5.0 y 1.0 mg L⁻¹, respectivamente.

Analizando los suelos regados con aguas residuales, las concentraciones promedio de Cr adsorbido y fijado, extraído con HNO₃ 4M variaron de 35 a 94 mg kg⁻¹, donde los autores mencionan que existe una acumulación de 94 mg kg⁻¹ en un periodo de aproximadamente 15 años que han sido regados con esas

aguas; mientras que en el sitio testigo se detectó en cantidades de traza. En cuanto al Cr disponible, extraído con DTPA-TEA-CaCl₂, las concentraciones promedio de seis determinaciones fluctuaron de 0.2 a 0.4 mg kg⁻¹ y en el sitio testigo lo detectaron en forma de trazas. Con respecto a los tejidos vegetales de *Avena sativa* L., las concentraciones de Cr variaron de 1.5 a 6.5 mg kg⁻¹, rebasando las concentraciones normales establecidas por Chaney (1983) que son de 0.1 a 1 mg kg⁻¹; mientras en el sitio testigo fue de 0.1 mg kg⁻¹.

Las altas concentraciones de Cr en los sitios regados con agua residual mezclada, según los autores, se debe a que el pH del suelo (7-9) favorece la oxidación de Cr III a Cr VI que es muy soluble y fácilmente traslocable a la planta.

Siebe (1994), analizando las aguas residuales del canal El Salto-Tlamanca, Hgo., encontró concentraciones promedio de Cr de 0.13 mg L⁻¹. En cuanto a los tres suelos analizados en la catena de Bojayito chico regados con agua residual del DR 03, la concentración de Cr en el Leptosol fue de 52 mg kg⁻¹ (0 a 30 cm de profundidad), de 111 mg kg⁻¹ en el Feozem (26 a 44 cm) y en el Vertisol fue de 65 mg kg⁻¹ (0 a 15 cm).

Siebe y Cifuentes (1995), detectaron concentraciones promedio de Cr de 0.11 mg L⁻¹ en aguas residuales no tratadas del canal Tlamanca-Juandhó, Hgo., y en los efluentes de la presa Endhó, éstas concentraciones fueron en promedio de 0.001 mg L⁻¹, los autores mencionan que tales concentraciones están muy por abajo del límite de tolerancia de la SEDUE (1989) que es de 1 mg L⁻¹.

Vathiyathan y Ramanathan (1993), detectaron concentraciones de 30 a 250 µg/g de Cr en 28 muestras de sedimento del río Cauvery en la India; este último presentó además un transporte de arrastre de 490 ton/año en forma de partícula.

2.3 MANGANESO

Mendoza (1981), reporta concentraciones de 0.32 mg/L para Mn, en el agua del Gran Canal de Desagüe, proveniente del Valle de México y menciona que este elemento rebasa ligeramente las 0.2 mg/L que establece la US-EPA (1973) para aguas de riego continuo. También, al analizar muestras de alfalfa del DR 03 que han sido regadas con agua blanca (Tula), agua mezclada (presa Requena) y agua residual (Atitalaquia), encontró concentraciones de 116, 103 y 89.8 mg kg⁻¹, respectivamente.

Cajuste *et al.* (1991), al analizar las aguas residuales del Valle del Mezquital detectaron concentraciones de Mn disuelto de 0.323, 0.031 y 0.001 mg L⁻¹ y en cuanto a las concentraciones totales de Mn fueron de 0.364, 0.042 y 0.003 mg L⁻¹ para agua residual cruda de Tlaminulpa, mezclada de Xochitlán y agua de pozo del Arenal, respectivamente.

Con respecto a los tres suelos analizados en Tlaminulpa, Xochitlán y Arenal (sitio control) las cantidades extraídas con DTPA-TEA-CaCl₂ pH 7 de 0 a 8 cm de profundidad fueron de 5 a 14 mg kg⁻¹ y de 8 a 20 cm fue de 5.50 a 7.0 mg kg⁻¹ y los valores totales de Mn extraído con HNO₃ 4M fueron de 466, 320 362 y 416; 281, 358 mg kg⁻¹, para la capa superficial y el subsuelo.

Respecto a los niveles de Mn en el cultivo de alfalfa, las cantidades fueron las siguientes: 44.8 y 21 mg kg⁻¹ para hoja y raíz, respectivamente en el sitio de Tlaminulpa, regado con agua residual; 31.6 y 88.3 mg kg⁻¹ para tallo y raíz de avena, regada con agua mezclada del canal de Xochitlán y la presa Requena y de 35.3 y 24.4 mg kg⁻¹ para hoja y raíz de alfalfa, del sitio el Arenal regada con agua de pozo.

Carrillo *et al.* (1992), detectaron niveles de Mn que variaron de 0.08 a 0.15 mg L⁻¹ en el agua residual mezclada del canal de Xochitlán y de la presa Requena del Valle del Mezquital, no rebasando las concentraciones permisibles por la US- EPA (1973) para aguas de uso continuo, que es de 0.2 mg L⁻¹. Mientras en el sitio testigo (agua de pozo) la concentración fue menor de 0.002 mg L⁻¹.

Al analizar los suelos regados con aguas residuales, las cantidades promedio de Mn adsorbido y fijado al suelo, determinado con HNO_3 , oscilaron de 189 a 485 mg kg^{-1} y en el sitio control fue de 45 mg kg^{-1} . Con respecto a los niveles promedio de Mn disponible extraído con DTPA-TEA- CaCl_2 estos variaron de 8.0 a 24.0 mg kg^{-1} , mientras que en el testigo fue de 2.0 a 2.5 mg kg^{-1} .

En cuanto a los tejidos de *Avena sativa* L., las concentraciones fluctuaron de 13.0 a 57.0 mg kg^{-1} ; mientras, en el sitio control fue de 5.9 a 7.0 mg kg^{-1} . De acuerdo con Chaney (1983) las concentraciones se encuentran dentro del rango que es de 15 a 150 mg kg^{-1} .

Flores *et al.* (1992), al analizar los suelos que han sido regados con agua residual proveniente del Valle del Mezquital, encontraron que las concentraciones de Mn total en los 5 sitios de muestreo fluctuaron desde 575 hasta 775 mg kg^{-1} en el horizonte superficial y en los dos sitios testigo variaron desde 93 hasta 1437 mg kg^{-1} . Los autores mencionan que existe una acumulación de Mn y explican que se debe a que el área es altamente mineralizada y en particular el manganeso está presente en forma natural.

Hue and Subasinghe (1994), detectaron concentraciones de 44 a 609 mg kg^{-1} para Mn con un promedio de 218 mg kg^{-1} en los lodos residuales de Hawaii. Este mismo elemento lo extrajeron con DTPA y sus valores fueron de 5.3 a 172 mg kg^{-1} .

Vathiyanathan y Ramanathan (1993), analizaron los sedimentos del río Cauvery, India y detectaron concentraciones de 240 a 1170 $\mu\text{g/g}$ de Mn y mencionaron que es el segundo elemento en abundancia detectado, después del hierro; además, encontraron 5300 ton/año que son transportadas en forma de partícula.

2.4 NIQUEL

Mendoza (1981), menciona concentraciones de Ni de 0.19 mg/L para las aguas del Gran Canal de Desagüe del área Metropolitana del Valle de México.

Por otra parte, analizando tres distintos suelos del DR 03, detectó concentraciones de 23.0, 17.0 y 33.0 mg kg⁻¹, mencionando una acumulación anual de 2.32 mg kg⁻¹.

Asimismo, al analizar muestras de alfalfa del DR 03 que han sido regadas con agua blanca (Tula), agua mezclada (presa Requena) y agua residual (Atitalaquia), detectó que la concentración fue de menos de 5.0 mg kg⁻¹ para los tres sitios.

Cajuste *et al.* (1991), detectaron concentraciones de Ni disuelto de 0.08, 0.07 y 0.001 mg L⁻¹ en agua residual cruda del canal de Tlaminulpa, agua mezclada del canal de Xochitlán con la de la presa Requena y de pozo (Arenal), respectivamente, en el Valle del Mezquital. En los dos primeros sitios, las cantidades de Ni total fueron de 0.69 y 0.35 mg kg⁻¹, mientras, en el tercero no se detectó.

Con respecto al Ni extraído con DTPA-TEA-CaCl₂ pH 7 en los tres suelos analizados, las concentraciones en dos diferentes profundidades fueron las siguientes: de 0.09 a 0.4 (0 a 8 cm) y 0.09 a 0.8 mg kg⁻¹ (8 a 20 cm). En cuanto al Ni total en los suelos, extraído con HNO₃ 4M las cantidades fueron de 1.1 a 5.4 (0-8 cm) y de 0.8 a 5.0 mg kg⁻¹ (8-20 cm) para Tlaminulpa, Xochitlán y el Arenal (sitio control), respectivamente.

En relación al Ni en el cultivo de alfalfa, las concentraciones fueron las siguientes: 11.9 y 5.7 mg kg⁻¹ para hoja y raíz, respectivamente, regada con agua residual del canal de Tlaminulpa; 1.4 y 1.6 mg kg⁻¹ en tallo y raíz de avena, regada con agua del canal de Xochitlán y de 3.7 mg kg⁻¹ en la hoja de alfalfa, regada con agua de pozo en el Arenal. Estas cantidades de Ni, según los autores, se deben al incremento en la aplicación de agua residual a los suelos. Aunque, estas concentraciones aparentemente no son fitotóxicas al cultivo de alfalfa en el sitio de

Tlaminulpa, estas sobrepasan las concentraciones normales establecidas por Chaney (1983) que son de 0 a 5 mg kg⁻¹.

Carrillo *et al.* (1992), al analizar las aguas residuales del Valle del Mezquital encontraron niveles de Ni que variaron de 0.21 a 0.64 mg L⁻¹; los autores mencionan que este elemento rebasa el límite permisible por la US- EPA (1973), para aguas de uso continuo en la agricultura, la cual establece 0.5 mg L⁻¹; mientras, en el sitio testigo (agua de pozo) la concentración fue menor de 0.001 mg L⁻¹.

Con respecto a los suelos estudiados que han sido regados con aguas residuales por aproximadamente 15 años, las concentraciones de Ni adsorbido determinado con HNO₃ 4M fluctuaron de 1.8 a 4.0 mg kg⁻¹, mientras que en el testigo fue de 1.0 mg kg⁻¹. En relación al Ni extraído con DTPA-TEA-CaCl₂, los valores promedio oscilaron de 0.1 a 0.5 mg kg⁻¹ y en el sitio control fue de 0.03 a 0.09 mg kg⁻¹.

En cuanto a los tejidos vegetales de *Avena sativa* L., los valores variaron de 2.0 a 8.6 mg kg⁻¹, rebasando las concentraciones normales establecidas por Chaney (1983) que son de 0.1 a 5 mg kg⁻¹; mientras que en el sitio control fue de 0.5 a 0.6 mg kg⁻¹.

Graña *et al.* (1991), determinaron el contenido de Ni total en suelos de cultivo y determinaron concentraciones de 5 y 124 mg kg⁻¹ con un promedio de 28 mg kg⁻¹.

Hue and Subasinghe (1994), analizaron las concentraciones de Ni en lodos residuales de Hawaii, y detectaron concentraciones de 24.6 a 43.9 mg kg⁻¹ con un promedio de 36.7 mg kg⁻¹. En el suelo, este elemento lo extrajeron con DTPA encontrando valores de 0.95 a 8.76 mg kg⁻¹.

Vathiyathan y Ramanathan (1993), examinaron la distribución y el transporte de Ni en el río Cauvery detectando concentraciones de 15 a 260 µg/g

en los sedimentos y mencionan que 540 ton/año son transportadas al río en forma de partícula.

2.5 PLOMO

Mendoza (1981), analizando las aguas del Gran Canal de Desagüe provenientes de la Zona Metropolitana del Valle de México, detectó concentraciones de 0.17 mg L^{-1} , menciona que estas concentraciones se encuentran dentro los límites establecidos por la US-EPA (1973) para aguas de uso continuo en la agricultura.

También, al analizar muestras de alfalfa del DR 03 encontró concentraciones de menos de 25 mg kg^{-1} para cultivos regados con agua blanca (Tula), agua mezclada (presa Requena) y agua residual (Atitalaquia).

Cajuste *et al.* (1991), evaluando el agua residual del Valle del Mezquital en tres distintos sitios reportan concentraciones de Pb disuelto de 0.06, 0.04 y 0.001 mg L^{-1} ; mientras el Pb total en dos de esos mismos sitios fue de 188 y 91 mg kg^{-1} para agua residual cruda del canal de Tlaminulpa, agua mezclada del canal de Xochitlán y la presa Requena y de pozo (sitio control) en el Arenal, respectivamente.

Por su parte los valores de Pb extraído con DTPA-TEA- CaCl_2 pH 7 fueron de 0.70 a 17.0 mg kg^{-1} de 0 a 8 cm de profundidad y de 0.60 a 18.0 mg kg^{-1} de 8 a 20 cm. Para el Pb total determinado con HNO_3 4M las cantidades fueron de 300, 49, 36 y 282, 50, 32 mg kg^{-1} a esas mismas profundidades, respectivamente para los suelos de Tlaminulpa, Xochitlán y el Arenal (sitio control). Las altas concentraciones de Pb total, según los autores, se deben a que este elemento se encuentra asociado con la materia orgánica en forma sólida y suspendida en el agua de riego.

Respecto a las concentraciones de Pb en el cultivo de alfalfa fueron las siguientes: 14.5 y 8.0 mg kg^{-1} para hoja y raíz, respectivamente, regada con agua residual del canal de Tlaminulpa; 2.0 y 4.5 mg kg^{-1} para tallo y raíz en avena.

regada con agua mezclada del canal de Xochitlán y de la presa Requena y de 3.5 y 2.6 mg kg⁻¹ para hoja y raíz de alfalfa, regada con agua de pozo en el sitio el Arenal. Aunque los niveles de Pb aparentemente no son fitotóxicos (10 a 300 mg kg⁻¹) para el cultivo de alfalfa en el sitio de Tlaminulpa (agua residual), las cantidades de este elemento sobrepasan las concentraciones establecidas por Chaney (1983) que van de 2 a 5 mg kg⁻¹.

Carrillo *et al.* (1992), con respecto al Pb en las aguas residuales mezcladas del canal de Xochitlán y la presa Requena del Valle del Mezquital, detectaron concentraciones que van desde 0.040 hasta 0.052 mg L⁻¹, mientras que en el sitio control, estas fueron menores de 0.005 mg L⁻¹, no rebasando los límites establecidos por la SEDUE-SARH (1987) y la US-EPA (1973), para aguas de reuso agrícola y uso continuo en la agricultura, que son de 5 mg L⁻¹ para ambas.

Al analizar los suelos de la misma zona de estudio encontraron concentraciones promedio de Pb adsorbido y fijado al suelo que fluctuaron desde 58 hasta 242 mg kg⁻¹, determinado con HNO₃ 4M y rebasó las concentraciones normales establecidas por Allaway (1968) que son de 2 a 200 mg kg⁻¹, en contraste con el sitio control que fue de 24 mg kg⁻¹. Con respecto al Pb extraído con DTPA-TEA-CaCl₂ los valores promedio variaron de 2.0 a 12.0 mg kg⁻¹, mientras que en el testigo fue de 0.3 mg kg⁻¹. Las altas concentraciones de Pb, según los autores puede deberse a la aplicación periódica de agua residual a los suelos.

En relación a los tejidos vegetales de *Avena sativa* L., los valores de Pb en los sitios regados con agua residual oscilaron desde 7.0 hasta 17.0 mg kg⁻¹, rebasando las concentraciones normales establecidas por Chaney (1983) que van de 2 a 5 mg/Kg, en comparación con el sitio control que fueron desde 0.001 hasta 0.5 mg kg⁻¹.

Siebe (1994), para el agua residual del canal El Salto-Tlamaco en el DR 03 reportó concentraciones promedio de Pb de 0.15 mg L⁻¹, no rebasando el límite de tolerancia de la NOM (1993) que es de 5 mg L⁻¹.

En los 3 tipos de suelo analizados en Bojayito chico, regado con agua residual del DR 03 en Tula, Hgo., detectó concentraciones para el Pb de 24, 50 y 40 mg kg⁻¹ a profundidades de 0 a 30, 0 a 26 y 0 a 15 cm, para Leptosol, Feozem y Vertisol, respectivamente.

Para los granos de maíz cultivo que fue regado con agua residual del canal Tlamaco-Juandhó, el autor encontró concentraciones promedio de 0.03 mg kg⁻¹, en cambio para los sitios de temporal en la zona de Tetepango, Hgo., las concentraciones estuvieron por debajo del límite de detección que es de 0.02 mg kg⁻¹.

Siebe y Cifuentes (1995), al analizar agua residual no tratada del canal Tlamaco-Juandhó, en el Valle del Mezquital, detectaron concentraciones promedio de Pb de 0.11 mg L⁻¹ y en los efluentes de la presa Endhó la concentración de este elemento fue de 0.03 mg L⁻¹. Estas concentraciones, señalan los autores, se encuentran dentro del límite que establece la SEDUE (1989) que es de 5 mg L⁻¹.

Al comparar dos tipos de suelo en el Valle del Mezquital, a una profundidad de 0 a 30 cm, uno bajo cultivo de temporal, las concentraciones de Pb fueron las siguientes: 11.0, 12.5 y 5.8 mg kg⁻¹ para el Leptosol; 12.8, 12.8 y 5.8 mg kg⁻¹ para el Vertisol. Sin embargo, para los mismos suelos regados con agua residual por más de 80 años, detectaron concentraciones de 35.8, 34.8, 40.5 mg kg⁻¹ y 42.0, 52.5 y 27.8 mg kg⁻¹, para los 2 suelos, respectivamente.

Moreno *et al.* (1992), reportan valores para Pb de 17 a 182 mg kg⁻¹ con un promedio de 50 mg kg⁻¹ para suelos agrícolas de Madrid y mencionan que las concentraciones más elevadas se encontraron en muestras próximas a fábricas de muebles, pinturas, barnices, etc. Para las plantas, ellos detectaron valores de 0.04 y 29.21 mg kg⁻¹ correspondiendo el valor más alto a vegetación en barbecho y el menor a granos de trigo, vegetación en barbecho y hojas de coliflor, respectivamente.

El Hassanin *et al.* (1993), reportan concentraciones de Pb total en suelos de Egipto que fluctuaron de 7.2 (20-60 cm) a 49.2 mg L⁻¹ (0-10 cm), para un período de 0 a 5 años de riego con aguas residuales. El Pb extraído con DTPA fue de 3.0 y 0.5 mg L⁻¹ a una profundidad de 0 a 10 y de 20 a 60 cm, respectivamente.

En el período de 0 a 67 años el contenido de Pb total osciló de 12.2 (20-60 cm) a 120.2 mg L⁻¹ (0-10 cm) y el Pb extraído con DTPA de 0.8 a 4.8 mg L⁻¹ a las mismas profundidades. Mencionan también, una acumulación en la superficie (0-10 cm) de 4 a 11% de 6 a 67 años y de 6 a 9 % de 1 a 5 años en dos suelos de Egipto.

Para las aguas residuales el contenido de Pb varió de 0.30 a 0.43 mg L⁻¹ en los dos sitios de Egipto estudiados.

Vathiyathan y Ramanathan (1993), reportan concentraciones de Pb de 5 a 60 µg/g en los sedimentos del río Cauvery y mencionan que 93 ton/año de sedimentos son acarreadas al río en suspensión.

3. OBJETIVOS

El presente trabajo se realizó con base en los siguientes objetivos:

OBJETIVO GENERAL

Evaluar los niveles de algunos metales pesados en el agua de los ríos Atoyac y Nexapa y su impacto en los suelos y cultivos por el uso del agua residual en el ejido Flores Magón, municipio de Atlixco, Edo. de Puebla.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Describir el comportamiento de las variables determinadas en el agua de los ríos Atoyac y Nexapa en el transcurso del año.
- Caracterizar desde el punto de vista químico tanto a las aguas de riego como a los suelos.
- Evaluar la calidad química del agua del río Atoyac y de los canales con fines de riego agrícola.
- Cuantificar los niveles de metales pesados (Cd, Cr, Mn, Ni y Pb) solubles tanto en el agua de los ríos Atoyac y Nexapa así como en los canales de riego.
- Evaluar los niveles de metales pesados extractables y totales en el suelo del ejido, Flores Magón.
- Correlacionar los contenidos de metales pesados con algunas propiedades químicas del suelo.
- Aplicar los índices de contaminación para determinar en el suelo la toxicidad por metales pesados.
- Cuantificar los niveles de metales totales en los cultivos representativos de la zona de estudio

4. HIPÓTESIS

Las aguas residuales de origen doméstico empleadas en la agricultura proporcionan altos rendimientos en los cultivos por el aporte de materia orgánica, nitrógeno, fósforo y otros nutrimentos. Al mezclarse con las aguas residuales de tipo industrial, estas últimas deterioran la calidad de las aguas municipales.

Por otro lado, pueden perjudicar a los cultivos por la introducción de elementos tóxicos a las plantas, por lo que se estima que la presencia de metales pesados en el sistema natural agua-suelo-planta del ejido Flores Magón representa un riesgo.

Los metales pesados se han estado acumulando en los suelos agrícolas del Valle de Atlixco.

5. CARACTERÍSTICAS DE LA ZONA DE ESTUDIO

5.1. FISIOGRAFÍA

La región de Puebla se caracteriza por una enorme masa de rocas volcánicas de todos tipos, acumuladas en innumerables sucesos volcánicos iniciados a mediados del Terciario (hace unos 35 millones de años) y continuados hasta el presente. La constituyen grandes sierras volcánicas, coladas lávicas, amplios escudos-volcanes de basalto, depósitos de arenas y cenizas dispersos entre llanuras. Presenta también, la cadena de grandes estratovolcanes, entre ellos el Popocatepetl y el Iztaccíhuatl (INEGI, 1987).

En el Eje Neovolcánico quedan incluidas las cuencas de Puebla y Atlixco-Izúcar, que están interrumpidas y separadas por lomeríos con suaves pendientes.

La cuenca de Puebla está situada al oeste y suroeste del volcán Matlalcuéytl, a una altitud de 2,200 msnm. Es una llanura aluvial con lomeríos bajos, cuyo piso en la porción oeste está constituido por rocas basálticas.

Al norte, la cuenca está limitada por una gran meseta con cañadas y al oeste por la Sierra Nevada. En esta sierra, el volcán Iztaccíhuatl (5,230 msnm), lo comparten los Edos. de Puebla y México y el Popocatepetl (5,465 msnm), compartido además por el Edo. de Morelos.

La cuenca de Atlixco-Izúcar, a una altitud menor de los 2,000 msnm, colinda al occidente con una gran meseta con cañadas y una pequeña sierra compleja de origen volcánico fundamentalmente, al sur de ésta última tiene comunicación con la llanura de Cuautia a través de una angosta franja (López, 1979 e INEGI, 1987).

5.2. CLIMA

Puebla presenta casi todas las variedades climáticas existentes, este fenómeno es consecuencia de factores geográficos: la entidad se localiza en la región intertropical, lugar donde predominan los vientos alisios por un lado, y por otro, está rodeada de importantes sistemas montañosos, cuya morfología presenta grandes contrastes de altitud. Por último, la influencia marítima principalmente en la

porción septentrional, área expuesta a la acción de los vientos húmedos del mar (INEGI, 1987)

Atlixco presenta la transición entre los climas templados del norte del estado y los cálidos del sur; presenta 2 variantes de clima: templado y cálido.

C(w)₂(w): clima templado subhúmedo con lluvias en verano; temperatura media anual entre 12 y 18 °C; la temperatura del mes más frío es entre -3 y 18 °C; la precipitación del mes más seco es mayor de 10 mm; la precipitación invernal con respecto a la anual es menor de 5 %. Este clima ocupa un 33.21 % de la superficie municipal (INEGI, 1994).

A(c)w₁(w): clima semicálido subhúmedo con lluvias en verano; temperatura media anual entre 18 y 22 °C; la temperatura del mes más frío es mayor de 18 °C; la precipitación del mes más seco es menor de 60 mm; la lluvia invernal con respecto a la anual es menor de 5 %. Este clima se presenta en la región centro y sur, ocupando el 36.82 % del municipio (INEGI, 1994).

De acuerdo con García (1988) el clima de Atlixco es de tipo Cb(w1)(w)igw" que corresponde a un clima templado subhúmedo con lluvias en verano; la temperatura media anual es entre 12 y 18 °C; la temperatura del mes más frío es entre -3 y 18 °C; la precipitación del mes más seco es de 2.7 mm; la lluvia invernal con respecto a la anual es menor de 5 %. Con una oscilación anual de temperatura menor de 5 °C; temperatura de tipo Ganges, con presencia de canícula.

5.3. GEOLOGÍA

El área de estudio se ubica en la Provincia del Eje Neovolcánico, la cual es una enorme franja de rocas volcánicas de diversos tipos y texturas, como derrames lávicos, tobas, brechas y cenizas volcánicas, que fueron emitidas sucesivamente por un gran número de volcanes durante el Cenozoico y que actualmente forman un extenso y grueso paquete superpuesto a las rocas del Mesozoico (INEGI, 1987).

En Puebla existen diversos afloramientos de rocas ígneas, sedimentarias y metamórficas, así como depósitos de suelos aluviales y lacustres. Estas unidades están distribuidas en diferentes provincias geológicas.

De acuerdo a la carta Geológica escala 1:50,000 elaborada por INEGI (1983), la mayor parte del ejido Flores Magón es suelo de aluvión, además existen tobas de textura piroclástica de color amarillento, que están asociadas a brechas volcánicas basálticas.

Por otra parte, en la zona de estudio se encuentran materiales del Cenozoico. **Cenozoico Medio Volcánico:** Está constituido por rocas superpuestas extrusivas, andesíticas y tobas. Se localizan en la Sierra Nevada y además predomina la influencia del Popocatepetl.

Cenozoico Superior Volcánico: Predominan depósitos de lava, tobas basálticas y basaltos, así como material piroclástico y cenizas. Hay recubrimientos de sedimentos coluviales recientes (Secretaría de Gobernación, 1988).

5.4. HIDROGRAFÍA

Uno de los factores vitales para el desarrollo económico del Edo. de Puebla ha sido el agua, tanto superficial como subterránea, donde de acuerdo con Palacios (1982) el río Atoyac es la corriente principal, ya que a su paso por la ciudad de Puebla, en la época de secas, éste lleva alrededor de unos 30, 000 l/s; mientras en la época de lluvias el volumen se triplica.

La topografía accidentada ha permitido construir, sobre el cauce de las corrientes, obras hidráulicas importantes, siendo mínimo su aprovechamiento en la agricultura, pues sólo el 15% del área agrícola se riega con el agua de estos almacenamientos.

El agua del subsuelo también es importante, ya que se utiliza con fines industriales y domésticos en el Valle de Puebla.

Concretamente, el municipio de Atlixco pertenece por completo a la subcuenca del río Nexapa, la principal corriente que nace de la unión de dos ríos que son el Huilapa y Xalapixco, los cuales nacen en San Martín Texmelucan y reciben los escurrimientos de la barranca la Leona, el Cuescomate, el Cantarranas y el río Ahuehuayo.

También el río Nexapa recibe aguas residuales derivadas del río Atoyac en la presa Luis Echeverría. Cabe destacar que existe todo un sistema de canales de

riego distribuidos por todo el municipio, como El Sifón, La Candelaria, Los Molinos y Catecuxco (Secretaría de Gobernación, 1988).

5.5. EDAFOLOGÍA

De acuerdo con INEGI, (1987) en el Eje Neovolcánico se encuentra un gran número de unidades edáficas debido a su complejidad litológica. Sin embargo, en el municipio de Atlixco se presentan cinco unidades de suelos principales bien identificados.

Fluvisoles eútricos (Je): Son suelos profundos originados por acumulación de material aluvial de depositación reciente. En general, carecen de horizonte de diagnóstico; presentan bajo nivel de fertilidad, con textura media o ligeramente arcillosos, se encuentran cercanos a los afluentes del río Nexapa.

Feozem háplico (Hh): Son suelos con el horizonte superior oscuro, ricos en materia orgánica y nutrimentos, presentan texturas predominantemente francas o franco arenosas; y son adecuados para cultivos que toleran exceso de agua, con fertilidad de moderada a alta y se presentan en las zonas planas del noreste, ocupando una extensión considerable.

Cambisoles eútricos, vérticos y dístricos (B): Son suelos jóvenes poco desarrollados, presentando en el subsuelo acumulación de materiales como arcilla, carbonato de calcio, etc. En general, son fértiles con rendimientos de moderados a altos. Los dístricos son menos fértiles, muy ácidos y bajos en nutrimentos. Se encuentran asociados a Andosoles. Se ubican principalmente en el extremo noreste cubriendo un área reducida.

Rendzinas (E): Son suelos poco profundos, se encuentran sobre rocas calizas, su capa superficial es abundante en humus y tienen una buena fertilidad. Se encuentran en la mayor parte de las zonas montañosas del sureste.

De acuerdo a la carta de Suelos de Puebla, elaborada por INEGI, (1987) escala 1:50,000, en la zona de estudio se localizan Cambisoles eútricos, los cuales presentan características distintivas, como es la presencia de un horizonte B cámbico, el cual se diferencia del material de origen por la formación de estructura, y

de la capa superficial, denominada horizonte A ócrico que no ha alcanzado un espesor considerable (25 cm).

La textura de estos suelos es de migajón arenoso en la superficie y de migajón arcillo-arenoso a medida que aumenta la profundidad. Son ligeramente ácidos a ligeramente alcalinos.

5.6. VEGETACIÓN

En el municipio de Atlixco y específicamente en la zona de estudio, los principales tipos de vegetación son pastizales naturales e inducidos, matorrales, chaparral, *Prosopis acacia*, etc.

En general, los principales tipos de vegetación que se desarrollan en el estado de Puebla son: selva baja caducifolia, en el suroeste; selva alta perenifolia, en el norte y noroeste; selva mediana subperenifolia, en el suroeste; bosque de pino, encino, mixtos, de oyamel y mesófilo de montaña, en el noroeste, oeste y este; matorral crasicaule, chaparral y mezquital en el sur del estado, además de pastizales cultivados e inducidos, que se encuentran intercalados con las comunidades antes mencionadas. El 60 % del estado se encuentra cubierto por vegetación y 39 % se dedica a las actividades agrícolas.

La vegetación se distribuye de acuerdo a un patrón altitudinal, lo cual incide también en el tipo de clima. Gran parte de la vegetación ha sido intensamente explotada, por lo que se encuentra en diferentes etapas de sucesión, formándose así comunidades secundarias.

Las comunidades vegetales importantes, después de las selvas, son los bosques, que cubren un 15 % del territorio estatal y se distribuyen principalmente al norte, sobre las laderas de la Sierra Madre Oriental y el Eje Neovolcánico y en menor cantidad en la Sierra Madre del Sur. Estos bosques prosperan en regímenes climáticos templado subhúmedo y húmedo con una precipitación de 800 a 2000 mm. El bosque de mayor distribución es el de pino-encino, le siguen los de encino-pino, pino, oyamel y mesófilo de montaña. Entre los pinares, los más comunes son: *Pinus ayacahuite*, *Pinus cembroides*, *Pinus leiophila*, *Pinus michoacana cornuta*, *Pinus montezumae*, *Pinus patula*, *Pinus pseudostrobus* y *Pinus teocote*. Entre las especies

de encinos están: *Quercus sororia*, *Quercus furfuracea*, *Quercus excelsa*, *Quercus calophila* y *Quercus polymorpha* (Rzedowsky, 1978, Sánchez, 1980 e INEGI, 1987).

5.7. MARCO ECONÓMICO

Actividades económicas

Atlixco tiene una gran actividad en el sector agrícola y en la floricultura. El cuadro 5.1 muestra la superficie sembrada y cosechada de los principales cultivos en el año agrícola 1995/96 (en hectáreas).

Cuadro 5.1.

CULTIVO	Superficie sembrada			Superficie cosechada		
	Total	Riego	Temporal	Total	Riego	Temporal
Maíz (total)	627 802	48 249	579 553	622 385	48 249	574 136
	4 880	380	4 500	4 880	380	4 500
Frijol (total)	59 392	6 575	52 817	58 332	6 565	51 767
	240	124	116	240	124	116
Alfalfa (total)	12 115	12 115	-	11 965	11 965	-
	870	870	-	870	870	-
Trigo (total)	-	-	-	-	-	-
Cebada (total)	-	-	-	-	-	-
Sorgo (total)	7 483	73	7 410	7 483	73	7 410
	90	-	90	90	-	90
Haba (total)	10 274	1 143	9 131	10 125	1 104	9 021
	-	-	-	-	-	-
Cacahuete (total)	23 595	620	22 975	23 595	620	22 975
	160	40	120	160	40	120
Chile (total)	2 460	565	1 895	2 460	565	1 895
	15	15	-	15	15	-
Jitomate (total)	2 418	2 044	374	2 359	1 985	374
	67	20	47	67	20	47
Lechuga (total)	1 456	1 456	-	1 456	1 456	-
	-	-	-	-	-	-
Col (total)	1 391	1 366	25	1 391	1 366	25
	-	-	-	-	-	-

Cuadro 5.1. Continuación.....

Zanahoria (total)	1 363	1363	-	1 303	1 303	-
	-	-	-	-	-	-
Calabacita (total)	1 945	1 766	179	1 927	1 748	179
	421	401	20	421	401	20
Tomate (total)	5 880	4 531	1 349	5 214	3 865	1 349
	470	370	100	470	370	100
Cebolla (total)	2 125	2 090	35	2 125	2 090	35
	593	593	-	593	593	-
Cilantro (total)	1 190	1 190	-	1 190	1 190	-
	405	405	-	405	405	-
Ejote (total)	981	919	62	981	919	62
	80	80	-	80	80	-
Aguacate (total)*	2 291	780	1 511	2 2291	780	1 511
	171	171	-	171	171	-
Durazno (total)*	1 812	94	1 718	1 787	94	1 695
	-	-	-	-	-	-
Limón (total)*	522	186	336	522	186	336
	-	-	-	-	-	-
Gladiola (total)	1 117	1 117	-	1 117	1 117	-
	330	330	-	330	330	-
Zempoalxochitl (total)	1 995	295	1700	1 995	295	1 700
	430	40	390	430	40	390

* Cultivos perenes y se trata de superficie plantada

6. MATERIALES Y MÉTODOS

6.1. LOCALIZACIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO

El municipio de Atlixco al cual pertenece el ejido Flores Magón se localiza en la porción suroeste del estado de Puebla. Sus coordenadas geográficas son los paralelos 18° 50' y 19° 00' de latitud norte y los meridianos 98° 18' y 98° 35' de longitud oeste. Tiene una superficie de 229.22 Km² y representa el 0.82% de la superficie del estado (INEGI, 1994).

El municipio de Atlixco colinda al norte con los municipios de Tochimilco, Tianguismanalco y Santa Isabel Cholula; al este con Santa Isabel Cholula, Ocoyucan, Teopantlán y San Diego la Mesa Tochimilzingo, Huaquechula y Atzitzihuacan y, al oeste con Atzitzihuacan y Tochimilco (fig. 6.1).

6.2. TRABAJO DE CAMPO

Tomando en cuenta la información proporcionada por el DDR 05 de Cholula, sobre la importancia agrícola del municipio de Atlixco, la zona de estudio se encuentra en el ejido Flores Magón, el cual cuenta con 150 has por ser una de las áreas de mayor producción agrícola, donde se emplean aguas residuales.

Antes de realizar la toma de muestras se llevaron a cabo varios recorridos de reconocimiento de la zona, donde se delimitaron unas 50 has, empleando la carta topográfica escala 1:50,000 (INEGI, 1987). Los puntos de muestreo tanto de aguas, suelos como de plantas se ubicaron en la zona en forma selectiva, para determinar la influencia de la calidad de las aguas sobre los suelos y cultivos, por los diversos aportes provenientes de núcleos urbanos, industriales y otros cursos de agua, ubicándose 16 puntos de muestreo del agua de los ríos y canales y 15 sitios de muestreo de suelos y plantas, respectivamente (fig. 6.2).

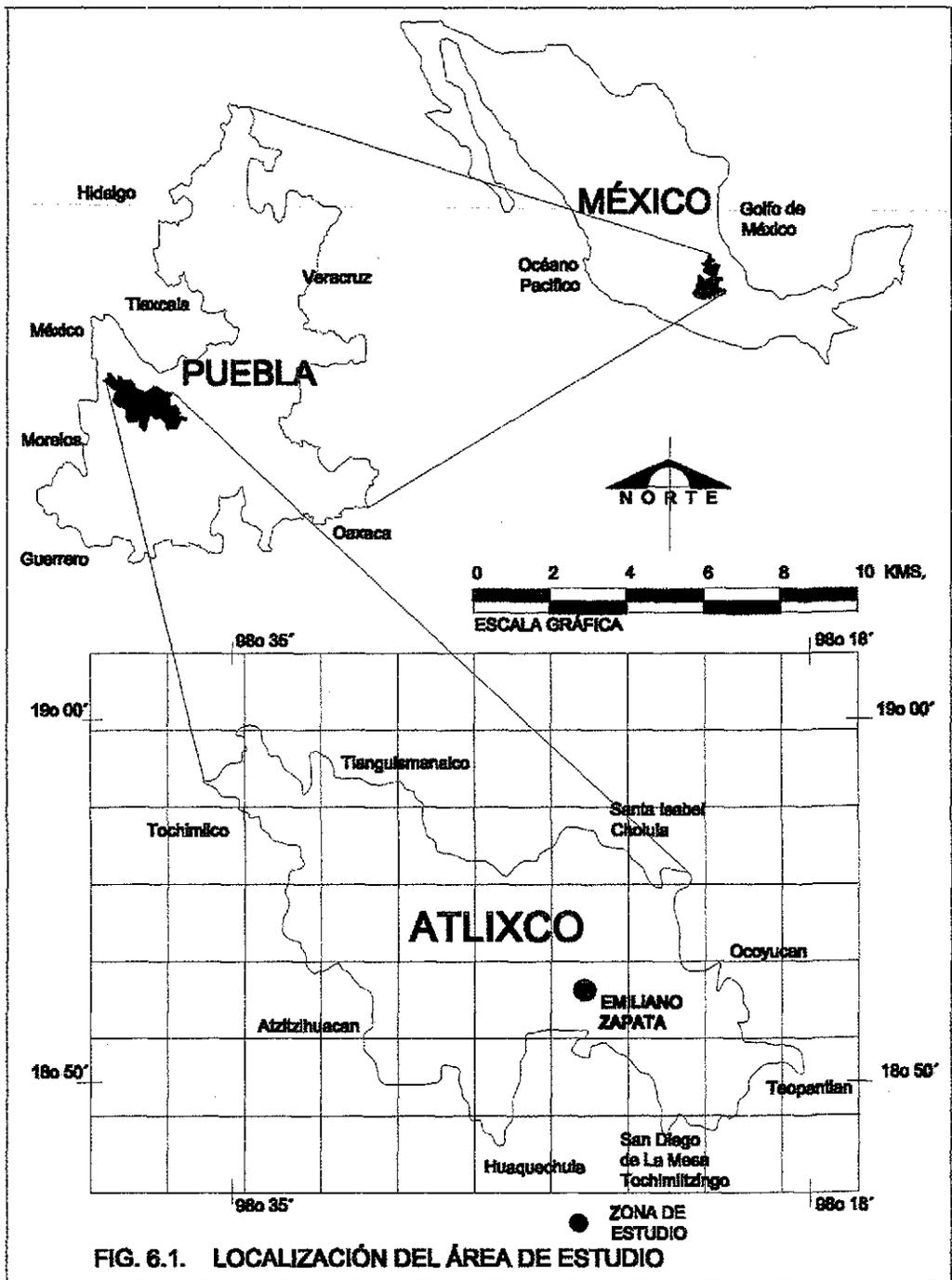
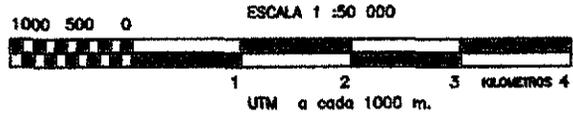
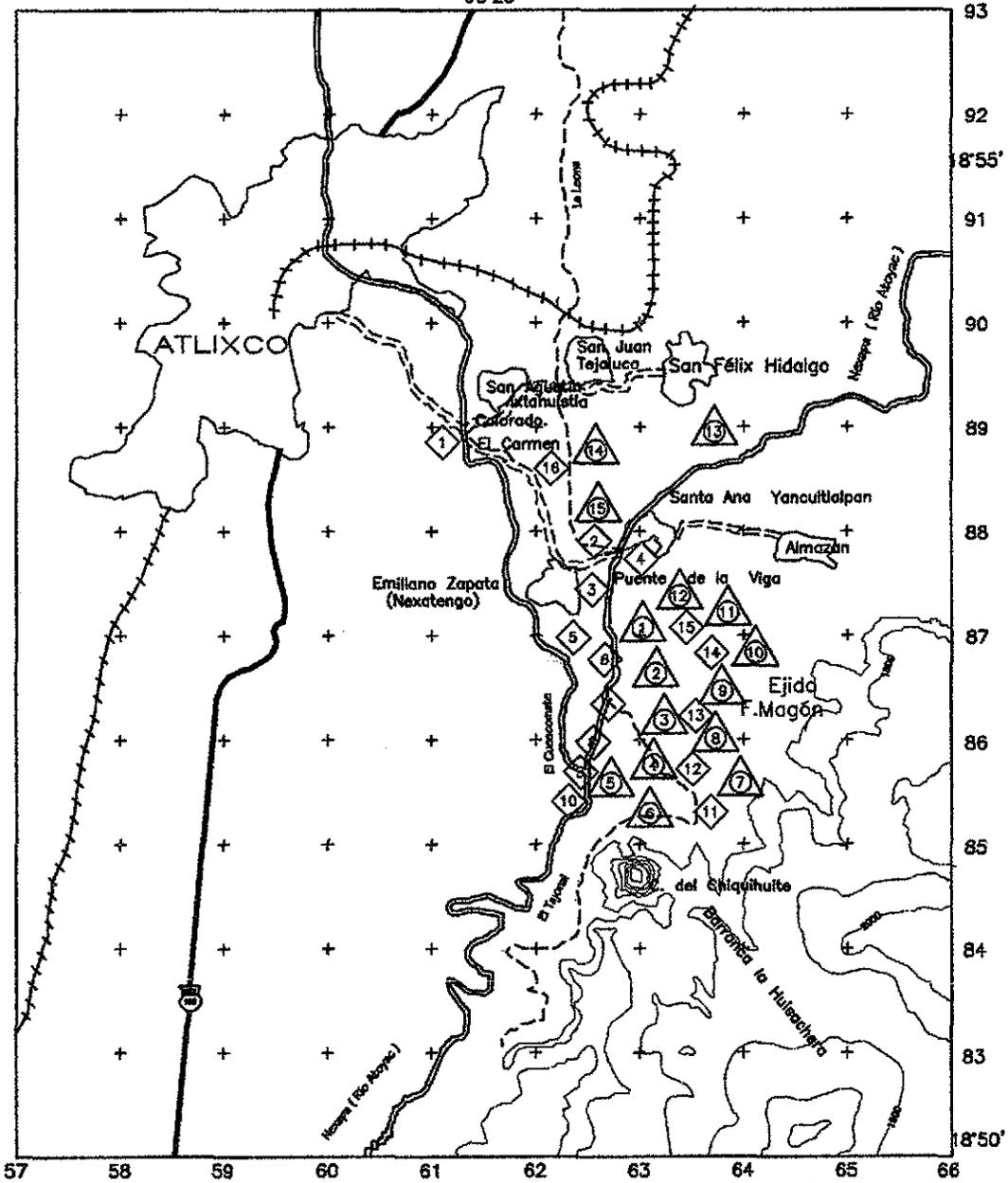


FIG. 6.1. LOCALIZACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

FIG. 6.2. UBICACION DE LOS SITIOS DE MUESTREO
98°25'



- Carretera Federal
- - - Terracería
- · - · Ferrocarril de Serv. Pub.
- ||||| Ecorrimiento
- Curvas de nivel
- - - Límite Urbano
- Río
- ◇ Agua, No. de muestra
- △ Suelo, No. de muestra
- Planta, No. de muestra

El cuadro 6.1 muestra la forma de como se agruparon los 16 puntos de muestreo de agua para formar los tres diferentes sitios y realizar los análisis estadísticos.

Cuadro 6.1

A1- testigo	A3 - canales	A4 - noria
A2- testigo	A 5-15 - canales	
A16- testigo		

- A1) Puente Colorado (agua municipal del río Nexapa)
- A2) Ameyal (agua de manantial)
- A3) Puente de Vigas (agua residual del río Atoyac)
- A4) Noria (agua para consumo humano)
- A5-15) Canales de riego (agua residual del río Atoyac)
- A16) San Agustín Ixtahuistla (agua de pozo)

Los puntos de muestreo de suelo se ubicaron lo más cercano posible a los puntos de agua, ubicándose quince sitios.

El cuadro 6.2 muestra la forma de como se agruparon los 15 puntos de muestreo para formar los dos diferentes sitios y realizar los análisis estadísticos.

Cuadro 6.2

S1-12 - ejido F. Magón	(Fluvisol eútrico)
S13- testigo	(Feozem háplico)
S14- testigo	(Feozem háplico)
S15- testigo	(Feozem háplico)

- S-1a 12) En el ejido Flores Magón (riego con agua de los canales)
- S-13) San Félix Hidalgo (riego con agua de pozo)
- S-14) San Agustín Ixtahuistla (riego con agua de pozo)
- S-15) Ribera del río (riego con agua del río Nexapa)

Respecto a las plantas, se ubicaron 15 puntos de muestreo de la misma manera que los suelos.

El cuadro 6.3 muestra la forma de como se agruparon los 15 puntos de muestreo para formar los dos diferentes sitios y realizar los análisis estadísticos.

Cuadro 6.3

P1-12 - ejido F. Magón

P13- testigo

P14- testigo

P15- testigo

P1-12) En el ejido Flores Magón (cultivos con riego del agua de los canales)

P-13) San Félix Hidalgo (cultivos con riego de agua de pozo)

P-14) San Agustín Ixtahuistla (cultivos con riego de agua de pozo)

P-15) Ribera del río (cultivos con riego del agua del río Nexapa)

Cuadro 6.4. Coordenadas UTM de los sitios del agua de riego

A1: Puente Colorado	5 61 400 20 89 150	A9: Canal	5 62 450 20 85 850
A2: Ameyal	5 62 650 20 87 950	A10: Canal	5 62 500 20 85 550
A3: Puente de Vigas	5 62 650 20 87 650	A11: Canal	5 63 400 20 85 350
A4: Noria	5 62 900 20 87 900	A12: Canal	5 63 400 20 85 700
A5: Canal	5 62 550 20 87 100	A13: Canal	5 63 300 20 86 100
A6: Canal	5 62 700 20 86 750	A14: Canal	5 63 400 20 86 450
A7: Canal	5 62 700 20 86 450	A15: Canal	5 63 350 20 86 800
A8: Canal	5 62 550 20 86 150	A16: Canal	5 62 150 20 88 700

Cuadro 6.5. Coordenadas UTM de los sitios del suelo

S1: ejido F. Magón	5 62 800 20 87 000	S9: ejido F. Magón	5 63 800 20 86 200
S2: ejido F. Magón	5 62 900 20 86 700	S10: ejido F. Magón	5 63 850 20 86 550
S3: ejido F. Magón	5 63 000 20 86 300	S11: ejido F. Magón	5 63 750 20 86 850
S4: ejido F. Magón	5 62 900 20 85 900	S12: ejido F. Magón	5 63 650 20 87 200
S5: ejido F. Magón	5 62 700 20 85 750	S13: San Félix Hgo.	5 63 450 20 88 850
S6: ejido F. Magón	5 62 800 20 85 450	S14: San Agustín I.	5 62 550 20 88 700
S7: ejido F. Magón	5 63 800 20 85 400	S15: Ribera del río	5 62 700 20 88 200
S8: ejido F. Magón	5 63 700 20 85 900		

Cuadro 6.6. Coordenadas UTM de los sitios de las plantas

P1: ejido F. Magón	5 62 800 20 87 000	P9: ejido F. Magón	5 63 800 20 86 200
P2: ejido F. Magón	5 62 900 20 86 700	P10: ejido F. Magón	5 63 850 20 86 550
P3: ejido F. Magón	5 63 000 20 86 300	P11: ejido F. Magón	5 63 750 20 86 850
P4: ejido F. Magón	5 62 900 20 85 900	P12: ejido F. Magón	5 63 650 20 87 200
P5: ejido F. Magón	5 62 700 20 85 750	P13: San Félix Hgo.	5 63 450 20 88 850
P6: ejido F. Magón	5 62 800 20 85 450	P14: San Agustín I.	5 62 550 20 88 700
P7: ejido F. Magón	5 63 800 20 85 400	P15: Ribera del río	5 62 700 20 88 200
P8: ejido F. Magón	5 63 700 20 85 900		

6.3. MUESTREO

6.3.1. Aguas

El muestreo de agua se realizó durante nueve meses en los 16 puntos de muestreo tanto en los canales de riego como en los ríos Atoyac y Nexapa. Las muestras se tomaron por duplicado en botellas de plástico de 1 litro de capacidad, agregándole a una de las muestras HNO_3 como conservador hasta un pH de 2, manteniéndose en refrigeración a 4 °C para las determinaciones de cationes solubles y metales pesados como recomienda la US-EPA (1974). Posteriormente, en el laboratorio, de la otra muestra se realizaron los análisis de rutina.

Cabe mencionar que muchos canales se encontraban secos al realizar el muestreo, por lo que no se tienen datos de esos sitios.

6.3.2. Suelos

La toma de muestras de suelo se programó antes de la época de siembra, obteniéndose 15 muestras en forma selectiva, lo más cercano a los sitios de agua. Las muestras se tomaron a una profundidad de 0-20 cm, debido a que generalmente los metales pesados se encuentran en la capa arable.

Para la toma de las muestras se empleó una pala recta y plana, colocándose la muestra en bolsas de plástico de aproximadamente 2 kg. En el laboratorio se procesaron (fueron secadas al aire sobre papel limpio, molidas con una mano de madera, mezcladas (método del cuarteo) y por último tamizadas por una malla de acero inoxidable de 2 mm de diámetro). Finalmente, las muestras se sometieron a los análisis correspondientes de caracterización.

6.3.3. Plantas

Se realizaron tres muestreos trimestrales de los cultivos más representativos de la zona (alfalfa, maíz, cebolla, rábanos y plantas ornamentales como: terciopelo y gladiola).

El muestreo incluyó hojas, tallos y raíces, que se colectaron por separado, ya que los distintos órganos vegetales tienen diferente selectividad para acumular

elementos (Richards, 1994). Las muestras se colocaron en bolsas de papel. Posteriormente en el laboratorio se lavaron con agua de la llave para eliminar la tierra, luego se metieron en agua acidulada por 15 minutos y después se enjuagaron con bastante agua destilada. Después, las muestras se colocaron en la estufa en bolsas de papel a una temperatura de 50 °C durante 48 h aproximadamente. El material vegetal se molió en un molino de acero inoxidable, para evitar una posible contaminación por metales pesados, y por último se guardaron para los análisis respectivos.

6.4. FASE DE LABORATORIO

A las muestras obtenidas de cada muestreo se les realizaron las siguientes determinaciones:

6.4.1. Aguas

Las muestras previamente filtradas a través de papel filtro como recomiendan la US-EPA (1974) y APHA-AWWA-WPCF (1992) fueron caracterizadas desde el punto de vista químico, mediante los siguientes análisis:

- pH; con un potenciómetro para campo Conductronic PC 18. Este parámetro preferentemente se tomó en campo y se ratificó en el laboratorio con un potenciómetro Corning pH/ion analyzer 350.
- CE; *in situ* utilizando un conductímetro de campo Conductronic PC 18, ésta determinación en el laboratorio se realizó con un puente estándar de Wheatstone.
- Cationes solubles de calcio, magnesio, sodio y potasio. Los dos primeros se analizaron por titulación con EDTA 0.01N, mientras los dos últimos por flamometría mediante un flamómetro Corning 410.
- Aniones: bicarbonatos, cloruros y sulfatos. Los HCO_3^- se cuantificaron por titulación con H_2SO_4 0.001N, utilizando como indicador anaranjado de metilo. Los Cl⁻ se analizaron también por titulación con AgNO_3 0.005N empleando como indicador cromato de potasio. Finalmente, los SO_4^{2-} se determinaron volumétricamente por precipitación con BaCl_2 1N como indica la APHA-AWWA-WPCF (1992).

6.4.2. Metales solubles

En las muestras de agua, una vez filtradas (con papel filtro Whatman No. 42) y aciduladas se analizaron los metales pesados solubles (Cd, Cr, Mn, Ni y Pb) de acuerdo con las metodologías propuestas por la US-EPA (1974) y la cuantificación se realizó por espectrofotometría de absorción atómica empleando una lámpara de corrección de fondo de deuterio, en un espectrofotómetro de flama Perkin Elmer 3110.

6.4.3. Suelos

A las muestras de suelos, se les realizaron los siguientes análisis:

- Textura; por el método de Bouyoucos (Bouyoucos, 1951).
- pH; relación 1:2.5 con H₂O y con KCl 1N; se determinó con un potenciómetro Corning pH/ion analyzer 350 (Jackson, 1982).
- Ca²⁺, Mg²⁺, Na⁺ y K⁺ intercambiables por percolación con acetato de amonio 1N pH 7.0 y en el extracto de percolación se determinó el calcio y el magnesio por titulación con EDTA 0.01N empleando como indicadores murexida y negro de eriocromo T, respectivamente, como indica Jackson (1982), mientras que el sodio y el potasio se determinaron por flamometría en un espectroflamómetro Corning 400, en el mismo extracto como indica el autor anterior.
- CICT; por percolación con acetato de amonio 1N pH 7.0, destilando el amonio por Kjeldahl y cuantificándolo por titulación con H₂SO₄ 0.01N empleando como indicador rojo de metilo y verde de bromocresol como indica Jackson (1982).
- MO; por vía húmeda por el método de Walkley and Black (Jackson, 1982).
- Fósforo asimilable, por tratarse de suelos alcalinos, se empleó el método de Olsen (Jackson, 1982).
- Nitrógeno total; por el método Kjeldahl, según Black (1965).
- Carbonatos totales; agregando NaOH 0.25N a la muestra de suelo y titulando el exceso de NaOH con HCl 0.5N, empleando fenolftaleína como indicador, como recomienda Jackson (1982) y Richards (1994).

6.4.4. Metales pesados

Los metales pesados extractables (Cd, Cr, Mn, Ni y Pb) se extrajeron con DTPA. Para este análisis se pesaron 10 g de suelo seco y tamizado, los cuales se pasaron a un matraz Erlenmeyer de 125 ml y se le adicionaron 20 ml de la solución extractante de DTPA-TEA-CaCl₂ pH 7.3. Luego se agitaron mecánicamente por 2 h a una velocidad de 120 ciclos/min, después, la suspensión fue filtrada a través de un papel filtro Whatman No. 42, recibándose el filtrado en un matraz aforado de 50 ml. En este filtrado, se analizaron los metales pesados utilizando un espectrofotómetro de absorción atómica de flama Perkin Elmer 3110 (Lindsay and Norvell, 1978). Para estas determinaciones se empleó también una lámpara de corrección de fondo de deuterio.

Para los metales pesados totales en los suelos se realizó una digestión ácida, utilizando HF-HClO₄. Se utilizaron 0.1 g de suelo molido y seco, los cuales se pusieron en crisoles de platino para agregarles 0.5 ml de ácido perclórico concentrado y 5 ml de ácido fluorhídrico al 48 %, luego se colocaron sobre una parrilla a una temperatura de aproximadamente 200 °C y se evaporaron casi a sequedad. Después, se les agregó 5 ml de HCl concentrado para disolver el precipitado, posteriormente, se retiraron de la parrilla y se dejaron enfriar para inmediatamente después lavar la muestra con 10 ml de HCl 6N y H₂O destilada varias veces, enjuagando el crisol, pasando la solución a un matraz volumétrico de 50 ml, aforándolo a su volumen con agua destilada. Por último, se transfirió la muestra a un recipiente de plástico para almacenarlo y posteriormente se analizaron los metales pesados por absorción atómica de flama utilizando un espectrofotómetro Perkin Elmer 3110 empleando una lámpara de deuterio como corrección de fondo (Jackson, 1982).

6.4.5. Plantas

A las plantas se les analizaron únicamente los metales pesados (Cd, Cr, Mn, Ni y Pb). Para la determinación de éstos se realizó una cenización por vía seca.

Después de secar el material vegetal molido en la estufa a 65-70 °C por aproximadamente 2 h, se pesó 1 g del mismo y se colocó en crisoles de porcelana,

donde se calcinó en una mufla a alrededor de 400 °C por 2 h (con la posible volatilización de Cd y Pb). Posteriormente, se dejaron enfriar y se disolvieron las cenizas en 5 ml de HCl 2N, lavando el crisol varias veces con H₂O destilada, pasando la solución a través de un papel filtro Whatman No. 42 en un matraz aforado de 50 ml; transfiriéndose después la solución a un recipiente de plástico para guardarlo y posteriormente se realizó la cuantificación de los respectivos metales pesados, al igual que en agua y suelo, en el espectrofotómetro de absorción atómica de flama Perkin Elmer 3110 (Walsh, 1971).

6.5. Límites de Detección

Para establecer los límites de detección de los metales extractables con DTPA, totales en suelos y en vegetales se realizó una regla de tres, debido a que no se disponían al menos de cinco valores de los estándares para realizar la curva de calibración y sólo en algunos metales se contaba con tres lecturas para el blanco, en lugar de los diez que se requieren. Por lo que se tuvo que ocupar sólo los datos que se tenían y se calculó el límite de detección de la siguiente manera:

METALES EXTRACTABLES CON DTPA

Plomo

$$\begin{array}{l} 20 \text{ ppm} \text{ ————— } 18.75 \text{ (promedio)} \\ x \text{ ————— } 0.1 \text{ (absorción)} \\ x = 0.106 \times 10 = 1.06 \text{ mg kg}^{-1} \end{array}$$

Cromo

$$\begin{array}{l} 2 \text{ ppm} \text{ ————— } 1.65 \\ x \text{ ————— } 0.001 \\ x = 0.00120 \times 10 = 0.120 \times 3 = 0.036 \\ \sim 0.04 \text{ mg kg}^{-1} \end{array}$$

Cadmio

$$\begin{array}{l} 2 \text{ ppm} \text{ ————— } 1.88 \\ x \text{ ————— } 0.01 \\ x = 0.0106 \times 10 = 0.106 \text{ mg kg}^{-1} \end{array}$$

Níquel

$$\begin{array}{l} 5 \text{ ppm} \text{ ————— } 1.14 \\ x \text{ ————— } 0.1 \\ x = 0.436 \times 10 = 4.36 \text{ mg kg}^{-1} \end{array}$$

Manganeso

$$2 \text{ ppm} \quad \text{—————} \quad 1.69$$

$$x \quad \text{—————} \quad 1.0$$

$$x = 1.18 \times 10 = 11.8 \sim 12 \text{ mg kg}^{-1}$$

METALES TOTALES EN SUELO

Plomo

$$20 \text{ ppm} \quad \text{—————} \quad 0.212$$

$$x \quad \text{—————} \quad 0.001$$

$$x = 0.094 \times 500 = 47.16 \times 2 = 94.36 \\ \sim 100 \text{ mg kg}^{-1}$$

Cromo

$$2 \text{ ppm} \quad \text{—————} \quad 0.099$$

$$x \quad \text{—————} \quad 0.001$$

$$x = 0.02 \times 500 = 10.10 \times 2 = 20.2 \\ \text{mg kg}^{-1}$$

Cadmio

$$2 \text{ ppm} \quad \text{—————} \quad 0.35$$

$$x \quad \text{—————} \quad 0.001$$

$$x = 0.0055 \times 500 = 2.78 \times 2 = 5.57 \\ \sim 6 \text{ mg kg}^{-1}$$

Niquel

$$5 \text{ ppm} \quad \text{—————} \quad 0.210$$

$$x \quad \text{—————} \quad 0.001$$

$$x = 0.023 \times 500 = 11.9 \times 2 = 23.8 \\ \sim 24 \text{ mg kg}^{-1}$$

Manganeso

$$2 \text{ ppm} \quad \text{—————} \quad 0.22$$

$$x \quad \text{—————} \quad 0.001$$

$$x = 0.00884 \times 500 = 4.42 \times 2 = 8.84 \sim 10 \text{ mg kg}^{-1}$$

METALES TOTALES EN PLANTAS

Plomo

$$20 \text{ ppm} \quad \text{—————} \quad 0.252$$

$$x \quad \text{—————} \quad 0.001$$

$$x = 0.079 \times 50 = 3.96 \times 2 = 7.93 \\ \sim 8 \text{ mg kg}^{-1}$$

Cromo

$$2 \text{ ppm} \quad \text{—————} \quad 0.096$$

$$x \quad \text{—————} \quad 0.001$$

$$x = 0.02 \times 50 = 1.04 \text{ mg kg}^{-1}$$

$$\begin{array}{l} \text{Cadmio} \\ 2 \text{ ppm} \text{ ————— } 0.361 \\ x \text{ ————— } 0.001 \\ x = 0.00554 \times 50 = 0.277 \\ \sim 0.3 \text{ mg kg}^{-1} \end{array}$$

$$\begin{array}{l} \text{Níquel} \\ 5 \text{ ppm} \text{ ————— } 0.149 \\ x \text{ ————— } 0.001 \\ x = 0.033 \times 50 = 1.67 \\ \sim 2 \text{ mg kg}^{-1} \end{array}$$

$$\begin{array}{l} \text{Manganeso} \\ 2 \text{ ppm} \text{ ————— } 0.207 \\ x \text{ ————— } 0.01 \\ x = 0.096 \times 50 = 4.83 \sim 5 \text{ mg kg}^{-1} \end{array}$$

6.6. Análisis Estadístico

Los datos obtenidos de los parámetros determinados en agua, suelo y planta, se procesaron estadísticamente; para lo cual se incluyó estadística descriptiva e inferencial y análisis multivariado.

Los datos de agua, suelo y plantas se presentaron en resúmenes estadísticos, para examinar de forma general cada parámetro; estos resúmenes incluyeron: promedio, valor mínimo, valor máximo, desviación estándar y error estándar.

Se realizó el análisis de varianza de un factor y sus respectivas pruebas de rango múltiple para observar el comportamiento espacial y temporal de los datos.

Por último, todas las variables se sometieron a un análisis de correlación, mediante el cual se determinó el grado de asociación entre las variables y su significancia estadística; esto con la finalidad de identificar que variables se relacionaron con los metales pesados del agua, suelo y planta.

Todos estos análisis se llevaron a cabo en el programa estadístico Statgraphics Plus Ver. 5.2.

7. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

7.1. AGUA

Para el análisis de las variables del agua se tiene que sólo en el mes de may94 se colectaron las muestras de los 16 sitios de muestreo, ya que en el resto de los meses, algunos canales se encontraron sin agua. Por lo tanto, sólo ese mes se analizó estadísticamente y en los demás meses se hizo una descripción del comportamiento de las variables en el transcurso del año.

7.1.1. Actividad de los iones hidrógeno

El pH es una variable importante en la evaluación de la calidad del agua, debido a que influye en muchos procesos químicos y biológicos dentro de un cuerpo de agua (Chapman y Kimstach, 1992).

El pH del agua que se utiliza en el riego de la mayor parte de las zonas agrícolas del municipio de Atlixco, Edo. de Puebla, tiende a la alcalinidad durante el transcurso del año. Según Jones y Wolf (1984), corresponden a un pH alcalino, lo cual de acuerdo con Rodríguez (1992) se debe principalmente al aporte de iones de reacción alcalina como el Na^+ , Ca^{2+} y Mg^{2+} presentes en el agua de los ríos Atoyac y Zahuapan (ver tabla 1, apéndice A y fig. 7.1).

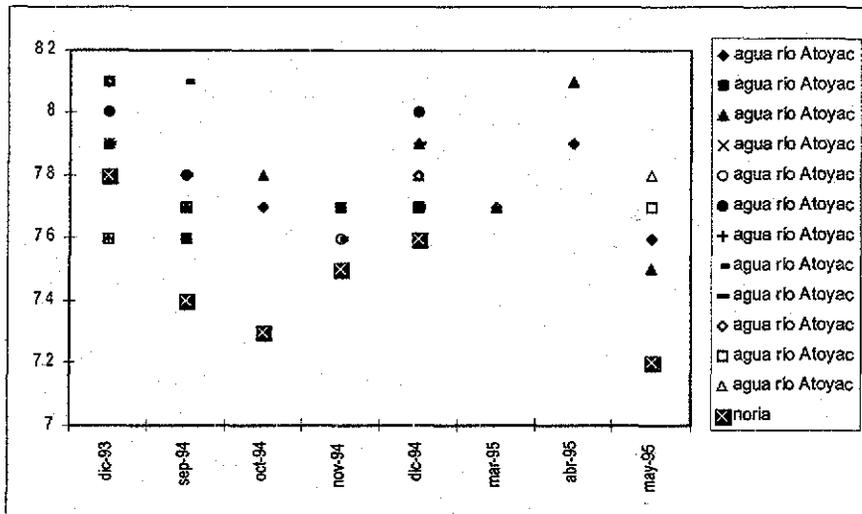
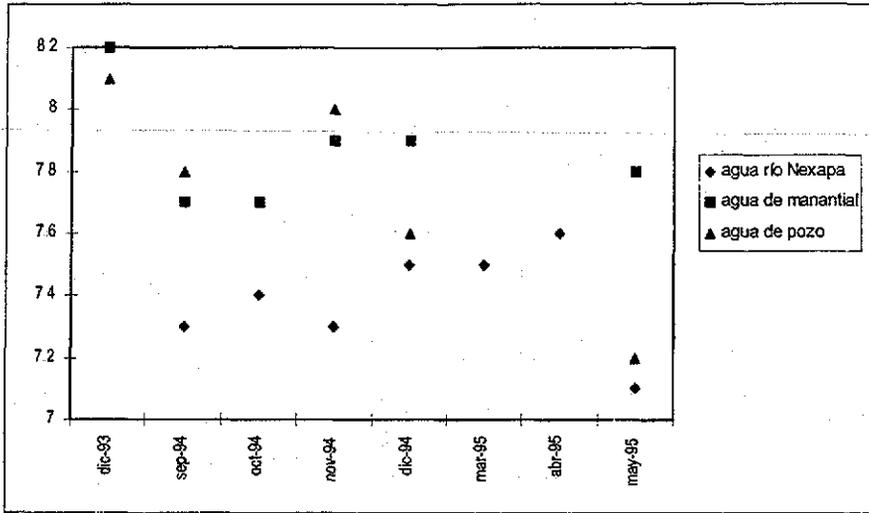


Fig. 7.1. Comportamiento mensual del pH del agua del ejido Flores, Magón, Atlixco, Puebla

Los valores del pH en el testigo, en el mes de may94 presentaron un mínimo de 7.4 y un máximo de 7.9 con un valor promedio de 7.56 (+- 0.166), en los canales un mínimo de 7.6 y un máximo de 7.9 con un valor promedio de 7.75

(+ 0.028) y en la noria un mínimo de 7.2 y un máximo de 7.2 con un valor promedio de 7.2 (+ 0.0) (ver cuadro 1, apéndice B y fig. 7.2).

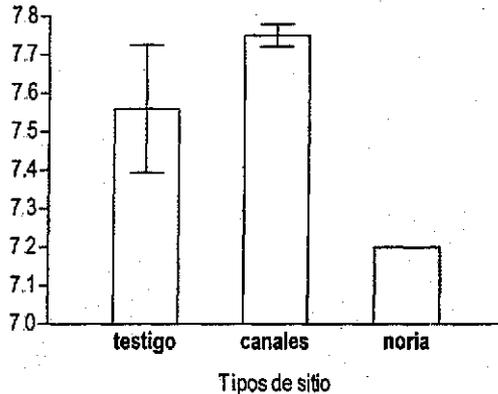


Fig. 7.2. Promedio (+ un error estándar) del pH del agua en el mes de may94 del ejido Flores Magón, Atlixco, Puebla.

Chapman y Kimstach (1992) mencionan que el pH en aguas naturales varía entre 6.0 y 8.5. Por otra parte Bustos *et al.* (1992) detectaron valores promedio de 8.1 y 7.3 en aguas de los ríos Tajo y Jarama, España, respectivamente. Los valores promedio de pH de este estudio son ligeramente menores a los reportados por estos autores. Los valores de pH son ligeramente más altos que los mencionados por Mendoza (1981) y Sánchez, (1985) para el agua residual de la Zona Metropolitana de la Ciudad de México que se emplea en el Valle del Mezquital, Hgo. donde reportaron valores que fluctuaron de 7.3 a 7.4 y de 7.1 a 7.5, respectivamente. Sin embargo, son inferiores a los encontrados en el Lago de Chapala en tres estaciones monitoreadas durante 20 años (1974-1993), donde se publicaron valores que fluctuaron de 7.0 a 9.1, de 6.3 a 9.2 y de 7.0 a 8.9, respectivamente para las tres estaciones (Hansen, 1992 y Maya y Hansen, 1995).

Numerosas investigaciones han demostrado el efecto positivo de la alcalinidad del agua y el suelo respecto a la precipitación de los metales pesados. Tal es el caso del Distrito de Riego 063 en el Valle del Mezquital, donde el pH ha

estado favoreciendo la precipitación de los metales pesados (Cajuste, *et al.* 1991; Flores, *et al.* 1992 y Hernández *et al.* (1994).

En el estado de Puebla existen pocas evidencias de investigaciones tendientes a evaluar el efecto del agua residual en los suelos agrícolas. Sin embargo, al respecto Rodríguez (1992), Guajardo, *et al.* (1992), Rodríguez, *et al.* (1995) y Méndez, *et al.* (1995) coinciden en que el pH alcalino del agua residual del río Atoyac que se utiliza en el riego agrícola favorece la precipitación de los metales pesados. Aunado a ello, de acuerdo con Rodríguez, *et al.* (1995) y Méndez, *et al.* (1995), los suelos donde se emplea este tipo de agua (Atlixco-Tecamachalco) son de reacción alcalina, cuyo pH fluctúa de 7.1 a 8.1 y de 7.7 a 8.5, respectivamente.

Tomando en cuenta los valores del pH de los meses muestreados y el promedio de los 3 tipos de sitios del mes de may94, se tiene que todos son de buena calidad ya que se encontraron dentro del intervalo establecido por la NTE-CCA-032/91 para uso agrícola que establece valores de 6.5-9.0 (ver tabla 1, apéndice A). Sin embargo, tomando en cuenta que existen ciertos cultivos cuyo rango de tolerancia de pH es muy estrecho, como es el caso de algunas plantas ornamentales como el clavel (*Dianthus caryophyllus*) y la rosa (*Rosa sp.*), el pH del suelo y del agua no son los adecuados, ya que estas plantas toleran más bien valores de pH ácidos. Lo mismo ocurre con la papa, zanahoria, lechuga, jitomate y otras hortalizas.

El análisis de varianza indicó que existen diferencias significativas (con $P < 0.05$) entre las medias de los valores de pH en los diferentes tipos de sitio en el mes de may94 (ver cuadro 6, apéndice B). La prueba de rango múltiple de Bonferroni (al 95 % de confianza) muestra que las mayores diferencias significativas se presentaron entre los canales y la noria y entre el testigo y la noria (ver apéndice C). Al no haber grandes diferencias significativas entre el testigo y los canales, indica que el agua de alguno de los sitios que integran el testigo probablemente se vió influenciado por alguna descarga de agua residual, lo cual reflejó un aumento en la concentración de esta variable.

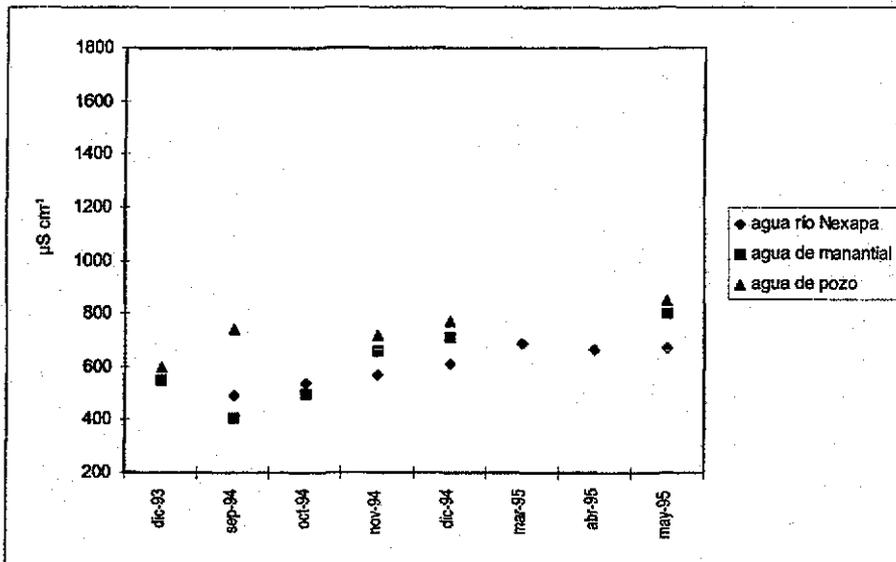
Las concentraciones del pH en el agua del ejido Flores Magón presentaron una relación moderada con el Pb soluble y el Cr soluble, con coeficientes de correlación de -0.5794 y -0.5728. Estas relaciones fueron estadísticamente significativas (con $P < 0.05$), e inversamente proporcionales a los valores del pH. También una relación moderada con el Ni soluble y el Ni total del suelo, con coeficientes de correlación de 0.5256 y 0.5264, respectivamente (ver cuadro 12, apéndice B). Estas relaciones fueron estadísticamente significativas (con $P < 0.05$) y directamente proporcionales a los valores del pH.

7.1.2. Conductividad Eléctrica

La conductividad eléctrica (CE) permite establecer puntos de contaminación (como por ejemplo alrededor de un efluente de descarga) o la extensión de la influencia de una corriente de agua (Chapman y Kimstach, 1992).

La conductividad eléctrica es una variable de gran importancia, tanto para evaluar al agua con fines de potabilidad como agrícola, ya que refleja el contenido de sales solubles en el agua (Richards, 1994).

Los valores de la CE en el transcurso del año presentaron cierta homogeneidad, a excepción de los meses de marzo, abril y mayo del 95, donde se detectaron concentraciones por arriba de los $1000 \mu\text{S cm}^{-1}$. Estas concentraciones altas corresponden a la época de secas, donde el flujo de agua en algunos canales disminuyó, reflejándose en un aumento de la salinidad (ver tabla 2, apéndice A y fig. 7.3).



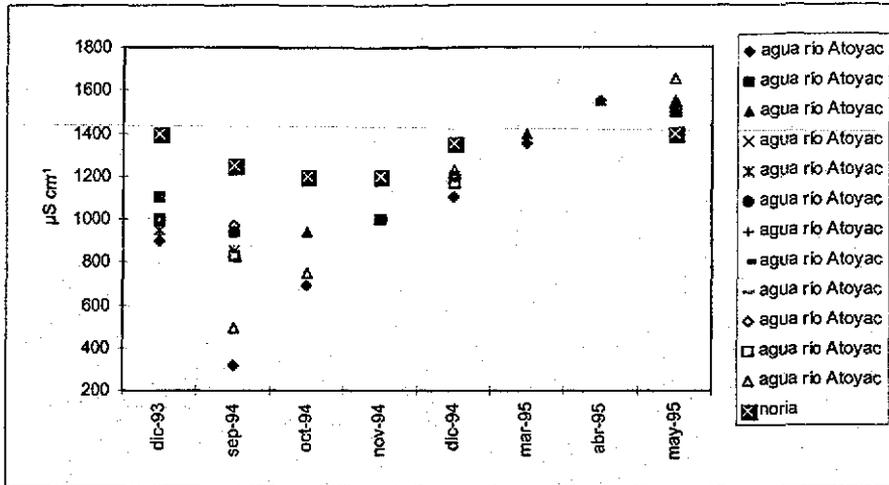


Fig. 7.3. Comportamiento mensual de la CE del agua del ejido Flores Magón, Atlixco, Puebla.

Estos valores de acuerdo con Richards (1994) son aguas de uso condicionado en cultivos sensibles como: los frutales, el aguacate y plantas cuyos frutos tienen semillas. Pero, de acuerdo con Jones y Wolf (1984), los valores de la CE corresponden a agua de calidad media, ya que se encuentran entre 750 y 3000 $\mu\text{S cm}^{-1}$.

Los valores de la CE en el testigo durante el mes de may94 presentaron un mínimo de 240 $\mu\text{S cm}^{-1}$, un máximo de 520 $\mu\text{S cm}^{-1}$ y un valor promedio de 397 $\mu\text{S cm}^{-1}$ (+- 82.52), en los canales un mínimo de 930 $\mu\text{S cm}^{-1}$ y un máximo de 1100 $\mu\text{S cm}^{-1}$ con un valor promedio de 972.5 $\mu\text{S cm}^{-1}$ (+- 13.32) y la noria un mínimo de 1350 $\mu\text{S cm}^{-1}$ y un máximo de 1350 $\mu\text{S cm}^{-1}$ con un valor promedio de 1350 $\mu\text{S cm}^{-1}$ (+- 0.0) (ver cuadro 1, apéndice B y fig. 7.4).

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

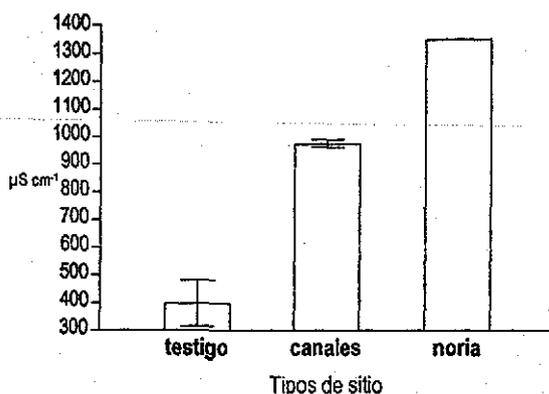


Fig. 7.4. Promedio (\pm un error estándar) de la conductividad eléctrica del agua en el mes de may94 del ejido Flores Magón, Puebla.

En el mes de may94, el testigo presentó agua de buena calidad, ya que la NTE-CCA-031/91 para aguas de riego agrícola tolera $1000 \mu\text{mhos cm}^{-1}$. Mientras que los canales la rebasaron muy ligeramente. Por su parte la noria, cuya agua se utiliza para consumo humano se localiza en las orillas del río Atoyac, con una profundidad de aproximadamente 10 m, por lo cual se cree que las sales que trae consigo el agua del río se podrían estar concentrando en dicha noria. No obstante, esta variable no es sancionada por la NOM-127-SSA-1994 para uso y consumo humano.

Por otra parte Bustos *et al.* (1992) reportan valores promedio de conductividad de 1333 y $873 \mu\text{S cm}^{-1}$ en los ríos Tajo y Jarama, respectivamente. Por lo que los valores promedio de la CE en el mes de may94 son ligeramente superiores a los reportados por estos autores. Pero, son muy superiores a los reportados para la presa y el Lago de Valle de Bravo, cuyo valor promedio máximo fue de $280 \mu\text{mhos cm}^{-1}$. Sin embargo, los valores son inferiores a los reportados por Sánchez (1985) y Mendoza (1981) quienes mencionan hasta 1470 y $1860 \mu\text{S cm}^{-1}$, respectivamente para el agua residual que riega gran parte del Valle del Mezquital, Hgo.

Retomando el significado de la CE, de acuerdo con Richards (1994) y Palacios y Aceves (1970), aparentemente los valores de la conductividad eléctrica indican que los efectos de esta variable en el suelo son casi nulos, ya que los valores son inferiores a $2000 \mu\text{S cm}^{-1}$. Al respecto, Palacio y Siebe (1994) y Romero *et al.* (1995)

detectaron en suelos conductividades de 2.0 y 3.5 mmhos/cm en el Valle del Mezquital y en el Valle de Atlixco, respectivamente, por el uso de aguas residuales, donde ya se reflejan los efectos de la salinidad.

El análisis de varianza indicó que existen diferencias significativas (con $P < 0.05$) entre las medias de los valores de conductividad eléctrica en los diferentes tipos de sitio en el mes de may94 (ver cuadro 6, apéndice B). La prueba de rango múltiple de Bonferroni (al 95 % de confianza) indicó que las mayores diferencias significativas fueron en el siguiente orden: entre el testigo y la noria, entre el testigo y los canales y entre los canales y la noria (ver apéndice C). Las diferencias de promedios entre el testigo y los canales se debieron a que en los canales el flujo de agua disminuyó, reflejándose en un aumento de sales (ver tabla 2, apéndice A). De acuerdo con Palacios y Aceves (1970) ésta agua se clasifica como C3S1, la cual es apropiada únicamente para cultivos muy tolerantes a la salinidad. La noria como ya se mencionó anteriormente se localiza a las orillas del río Atoyac.

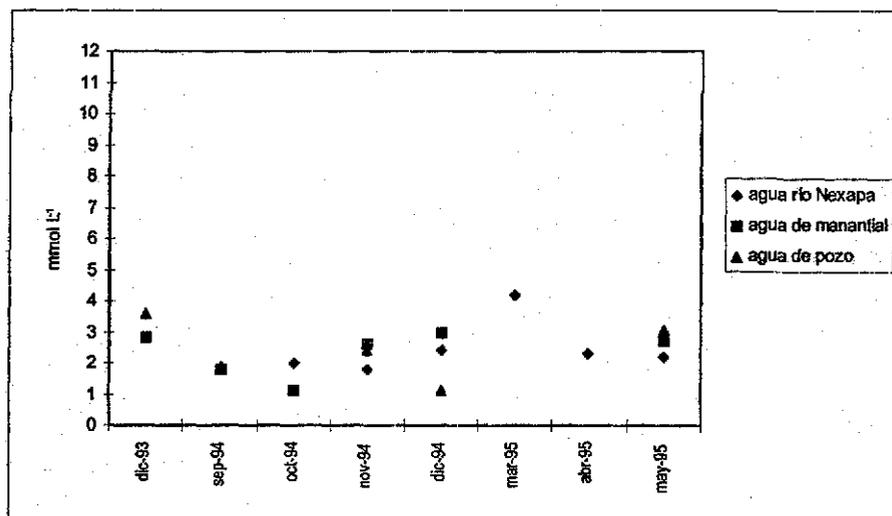
Las concentraciones de conductividad en el agua del ejido Flores Magón presentaron una relación fuerte con Cl^- , K^+ , Ca^{2+} , HCO_3^- y Na^+ con coeficientes de correlación de 0.9547, 0.8719, 0.8421, 0.8302 y 0.8174, respectivamente. También una relación moderada con SO_4^{2-} y Mg^{2+} con coeficientes de 0.7008 y 0.6662 (ver cuadro 11, apéndice B). Además una relación moderada con el Cd soluble con un coeficiente de 0.5524 (ver cuadro 12, apéndice B). Todas estas relaciones fueron directamente proporcionales con las concentraciones de CE y estadísticamente significativas (con $P < 0.05$).

7.1.3. Cationes Solubles

7.1.3.1. Calcio

El calcio es un elemento esencial para todos los organismos vivos y está presente en el agua como Ca^{2+} . Los compuestos de calcio son estables en el agua cuando el bióxido de carbono está presente. Las sales de calcio junto con las de magnesio, son las responsables de la dureza del agua (Chapman y Kimstach, 1992).

Las concentraciones de calcio en el transcurso del año presentaron cierta homogeneidad, a excepción de los meses de marzo, abril y mayo de 1995, donde se detectaron valores desde 5.60 hasta 11.20 mmol L^{-1} . Estas concentraciones altas se debieron a que corresponden a la época de secas, donde el flujo de agua en los canales disminuyó, lo cual se vió reflejado en un aumento de este catión (ver tabla 3, apéndice A y fig. 7.5).



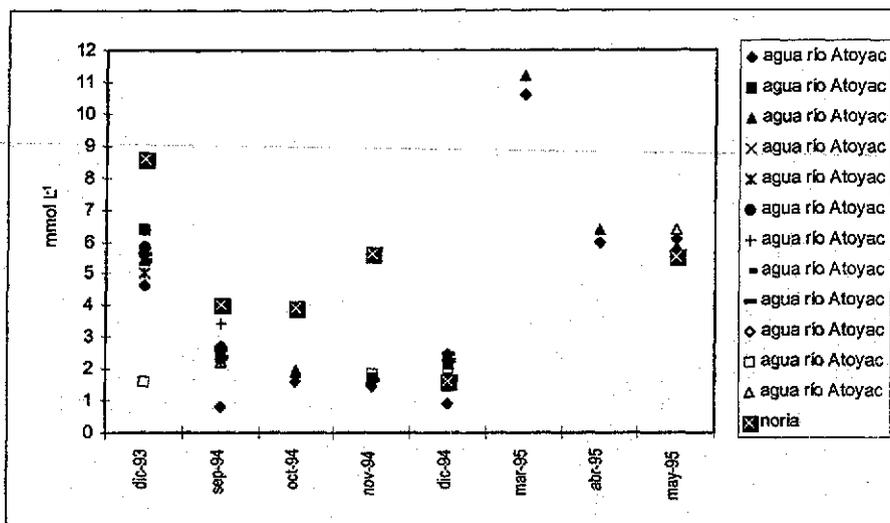


Fig. 7.5. Comportamiento mensual de Ca del agua del ejido Flores Magón, Atlixco, Puebla.

Los valores de calcio en el testigo en el mes de may94 presentaron un mínimo de 1.2 mmol L^{-1} y un máximo de 2.6 mmol L^{-1} con un valor promedio de 1.8 mmol L^{-1} (± 0.416), en los canales un mínimo de 3.6 mmol L^{-1} y un máximo de 5.2 mmol L^{-1} con un valor promedio de 4.18 mmol L^{-1} (± 0.213) y en la noria un mínimo de 6.2 mmol L^{-1} y un máximo de 6.2 mmol L^{-1} (± 0.0) (ver cuadro 1, apéndice B y fig. 7.6).

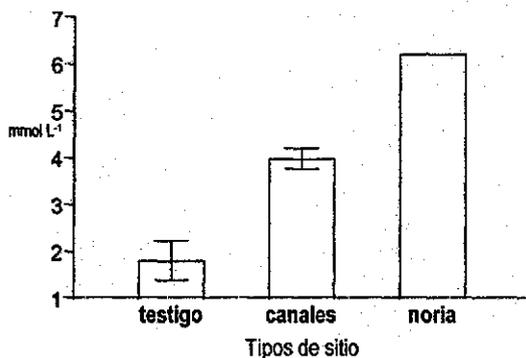


Fig. 7.6. Promedio (\pm un error estándar) de las concentraciones de calcio en el agua en el mes de may94 del ejido Flores Magón, Atlixco, Puebla

Chapman y Kimstach (1992) mencionan que las concentraciones de calcio en aguas naturales son típicamente menores a 0.75 meq L^{-1} . Sin embargo, Meybeck *et al.* (1992) citan que las concentraciones naturales de calcio en los ríos varían de 0.10 a 2.50 meq L^{-1} .

Las concentraciones promedio de calcio en el mes de may94 son menores a las reportadas por Bustos *et al.* (1992), quienes detectaron concentraciones promedio de 7.37 y 4.76 meq L^{-1} en los ríos Tajo y Jarama, España, respectivamente.

El análisis de varianza indicó que existen diferencias significativas (con $P < 0.05$) entre las medias de los valores de calcio en los diferentes tipos de sitio en el mes de may94 (ver cuadro 6, apéndice B). Por su parte la prueba de rango múltiple de Bonferroni (al 95 % de confianza), mostró que las mayores diferencias significativas se dieron entre el testigo y la noria y entre el testigo y los canales (ver apéndice C). Lo que demuestra que el testigo es agua de buena calidad para el riego agrícola, mientras que los canales y la noria son de agua residual del río Atoyac.

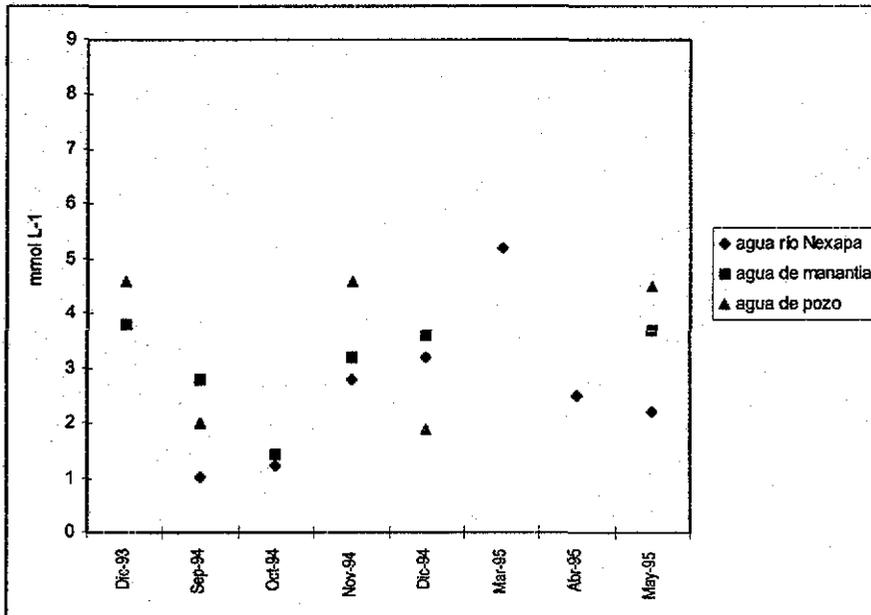
Las concentraciones de calcio en el agua del ejido Flores Magón presentaron una relación moderada con Mg^{2+} , Na^+ , K^+ , HCO_3^- , Cl^- y SO_4^{2-} con coeficientes de correlación de 0.6071 , 0.7334 , 0.6944 , 0.7247 , 0.7502 y 0.5955 . Así como una relación fuerte con la conductividad eléctrica, con un coeficiente de 0.8421 (ver cuadro 11, apéndice B). Todas estas relaciones fueron directamente proporcionales a los valores de calcio y estadísticamente significativas (con $P < 0.05$).

7.1.3.2. Magnesio

El magnesio es común en aguas naturales como Mg^{2+} , éste proviene de la intemperización de las rocas que contiene minerales ferromagnésicos y de algunas rocas carbonatadas. Aunque este elemento es usado en muchas industrias, éstas contribuyen relativamente poco con el magnesio total en aguas superficiales (Chapman y Kimstach, 1992).

Maya y Hansen (1995), mencionan que la acumulación de metales pesados como el Cd y el Pb en los organismos depende de la dureza del agua de tal manera que la bioacumulación disminuye al aumentar el contenido de calcio y magnesio.

Las concentraciones de magnesio en el transcurso del año fueron relativamente homogéneas, a excepción de los meses de marzo, abril y mayo del 1995 donde algunos canales presentaron concentraciones desde 5.0 hasta 8.6 $mmol L^{-1}$. Estas concentraciones corresponden a la época de secas, donde el flujo de agua disminuyó, reflejándose en un aumento de este catión (ver tabla 4, apéndice A y fig. 7.7).



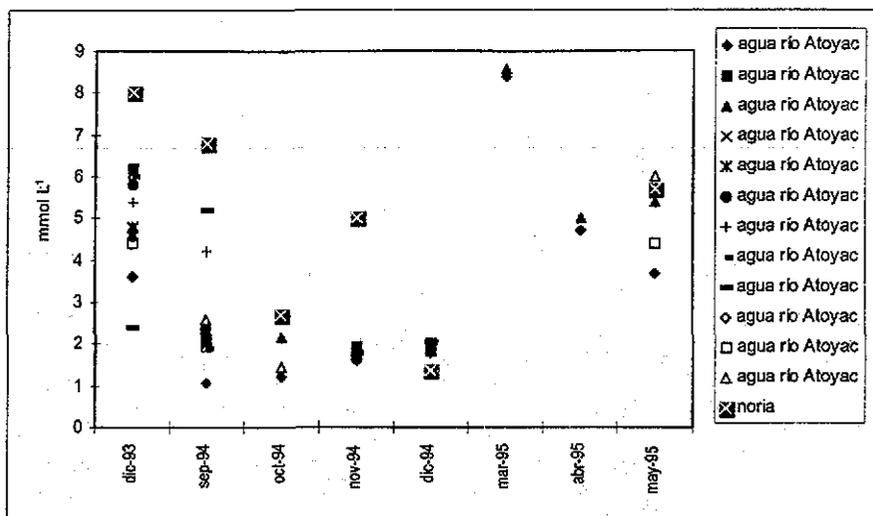


Fig. 7.7. Comportamiento mensual de Mg del agua del ejido Flores Magón, Atlixco, Puebla

Los valores de magnesio en el testigo en el mes de may94 presentaron un mínimo de 0.8 mmol L^{-1} y un máximo de 2.2 mmol L^{-1} con un valor promedio de 1.67 mmol L^{-1} (± 0.437), en los canales un mínimo de 2.6 mmol L^{-1} y un máximo de 4.6 mmol L^{-1} con un valor promedio de 3.0 mmol L^{-1} (± 0.159) y en la noria un mínimo de 6.2 mmol L^{-1} y un máximo de 6.2 mmol L^{-1} con promedio de 6.2 mmol L^{-1} (± 0.0) (ver cuadro 1, apéndice B y fig. 7.8).

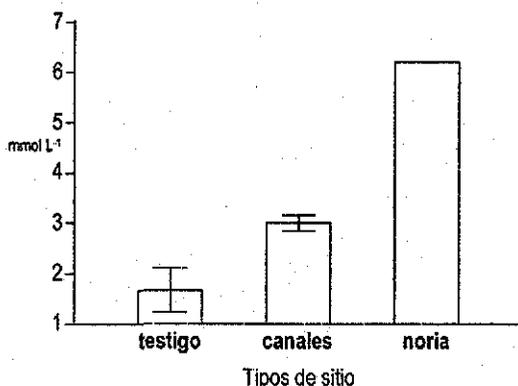


Fig. 7.8. Promedio (\pm un error estándar) de las concentraciones de magnesio en el agua en el mes de may94 del ejido Flores Magón, Atlixco, Puebla

Meybeck *et al.* (1992) citan que las concentraciones naturales de magnesio en los ríos va desde 0.07 a 1.0 meq L⁻¹. Por otra parte, Bustos *et al.* (1992) mencionan concentraciones promedio de 3.36 meq L⁻¹ y 1.67 meq L⁻¹ en los ríos Tajo y Jarama, respectivamente. Por lo que las concentraciones promedio de magnesio en el mes de may94 superan a las reportadas por estos autores.

El análisis de varianza mostró que existen diferencias significativas (con $P < 0.05$) entre las medias de las concentraciones de magnesio en los diferentes tipos de sitio en el mes de may94 (ver cuadro 6, apéndice B). Por su parte el análisis de rango múltiple de Bonferroni (al 95 % de confianza) indicó que las mayores diferencias significativas se dieron entre el testigo y la noria y entre los canales y la noria (ver apéndice C). Nuevamente se demuestra que el testigo es de agua de buena calidad para el riego agrícola, mientras que la noria es un sitio que se encuentra en las cercanías del río Atoyac.

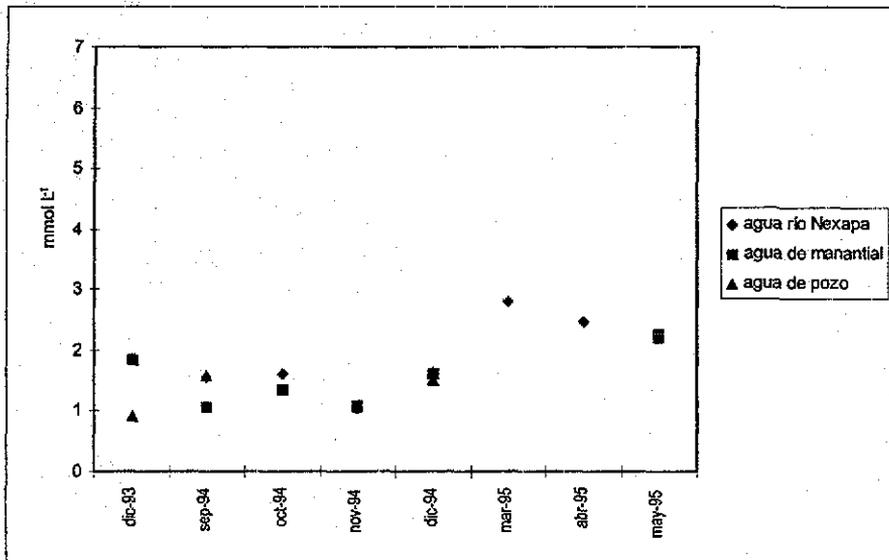
Las concentraciones de magnesio en el agua del ejido Flores Magón presentaron una relación fuerte y directamente proporcional con los bicarbonatos y, una moderada con los sulfatos y los cloruros con coeficientes de correlación de 0.8234, 0.7281 y 0.6978, respectivamente; por lo que las principales sales disueltas de magnesio en el agua con esos aniones fueron en ese orden (ver cuadro 11, apéndice B). Todas estas relaciones fueron estadísticamente significativas (con $P < 0.05$).

7.1.3.3. Sodio

El sodio es uno de los elementos más abundantes en el planeta, por lo que comúnmente es cuantificado en el agua que se utiliza con propósitos de potabilidad o agrícola, particularmente en el riego; esto debido a que la elevación de sodio en ciertos tipos de suelo, puede degradar su estructura, afectando la permeabilidad del mismo y como consecuencia limita el crecimiento de las plantas (Chapman y Kimstach, 1992).

Por otro lado, Bohn *et al.* (1993), mencionan que concentraciones altas de calcio y magnesio contrarrestan los efectos del Na^+ en la solución del suelo.

Las concentraciones de sodio en el transcurso del año fueron relativamente homogéneas, a excepción de los meses de marzo, abril y mayo de 1995, donde se detectaron concentraciones desde 4.49 hasta 6.31 mmol L^{-1} . Estas concentraciones se debieron a que el flujo de agua en los canales disminuyó, lo cual se vió reflejado en las concentraciones de este elemento (ver tabla 5, apéndice A y fig. 7.9).



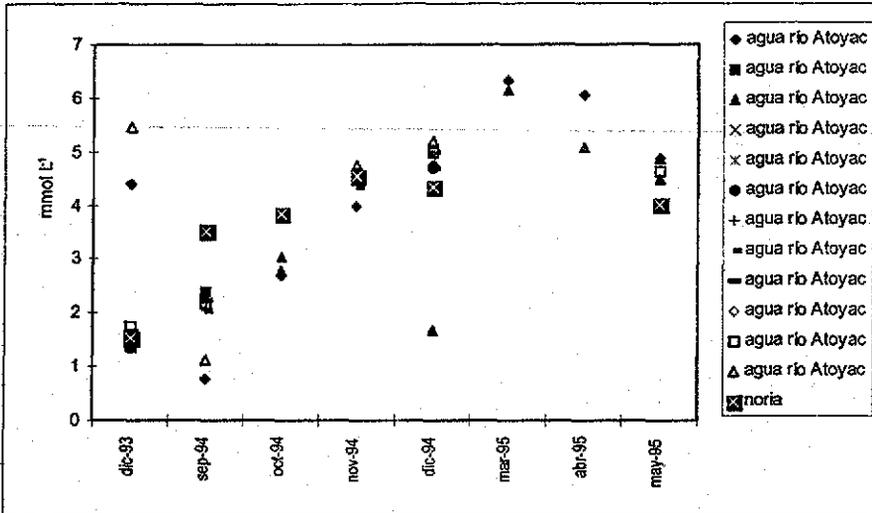


Fig. 7.9. Comportamiento mensual de Na del agua del ejido Flores Magón, Atlixco, Puebla

Los valores de sodio en el testigo en el mes de may94 presentaron un mínimo de 0.03 mmol L⁻¹ y un máximo de 0.16 mmol L⁻¹ con un valor promedio de 0.11 mmol L⁻¹ (+ 0.040), en los canales un mínimo de 0.30 mmol L⁻¹ y un máximo de 0.41 mmol L⁻¹ con un valor promedio de 0.35 mmol L⁻¹ (+ 0.113) y en la noria un mínimo de 0.44 mmol L⁻¹ y un máximo de 0.44 mmol L⁻¹ con un valor promedio de 0.44 mmol L⁻¹ (+0.0) (ver cuadro 1, apéndice B y fig. 7.10).

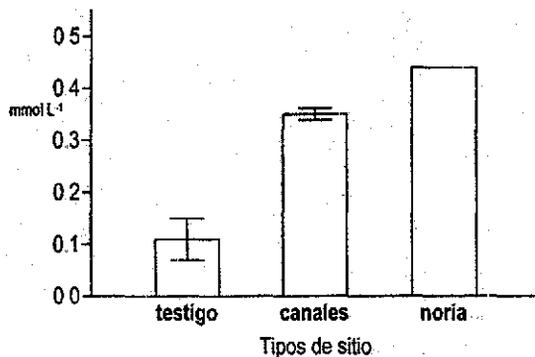


Fig. 7.10. Promedio (+ un error estándar) de las concentraciones de sodio en el agua en el mes de may94 del ejido Flores Magón, Atlixco, Puebla

Meybeck *et al.* (1992) citan que las concentraciones naturales de sodio en los ríos va desde 0.06 a 1.10 meq L⁻¹. Por otra parte, Bustos *et al.* (1992) detectaron concentraciones promedio de 4.28 meq L⁻¹ y 2.20 meq L⁻¹ en los ríos Tajo y Jarama, respectivamente. Por lo que las concentraciones promedio de sodio en el mes de may94 son muy inferiores a las reportadas por estos autores.

Al determinar la relación de adsorción de sodio (RAS) en el mes de may94 en los diferentes tipos de sitio para evaluar la calidad química del agua con fines de riego agrícola, propuesta por Palacios y Aceves (1970), se encontró que el sitio testigo corresponde a la clase C2S1, lo que indica que es agua de salinidad media y baja en sodio y puede usarse para el riego en la mayoría de los suelos con poca probabilidad de alcanzar niveles peligrosos de sodio intercambiable. No obstante los cultivos sensibles, como algunos frutales y aguacate, pueden acumular cantidades perjudiciales de este elemento. Los canales y la noria corresponden a la clase C3S1, la cual es un agua altamente salina y baja en sodio y no puede usarse en suelos cuyo drenaje sea deficiente. Aun con drenaje adecuado se pueden necesitar prácticas especiales de control de la salinidad, debiendo por tanto seleccionar únicamente especies vegetales muy tolerantes a la salinidad.

De acuerdo con estos datos, en la zona de estudio existen suelos arcillosos que podrían dificultar la permeabilidad, por lo que se deben tomar en cuenta las prácticas especiales para evitar la posible acumulación de sales en la capa arable.

El análisis de varianza mostró que existen diferencias significativas (con $P < 0.05$) entre las medias de las concentraciones de sodio en los diferentes tipos de sitio en el mes de may94 (ver cuadro 6, apéndice B). Por su parte el análisis de rango múltiple de Bonferroni (al 95 % de confianza) indicó que las mayores diferencias significativas se dieron entre el testigo y la noria y entre el testigo y los canales (ver apéndice C). Demostrándose así que el agua del testigo es de buena calidad para el riego agrícola, mientras que la de los canales es agua residual del río Atoyac.

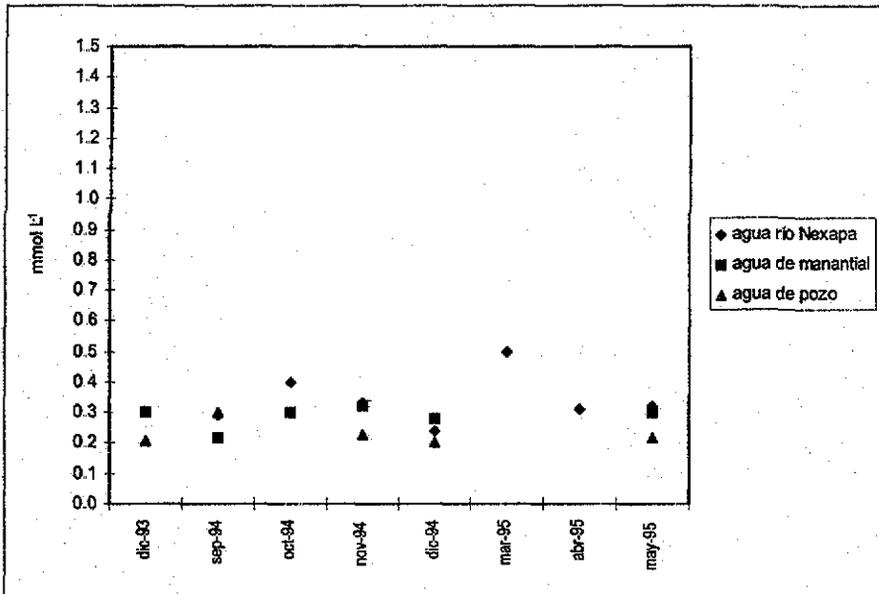
Las concentraciones de sodio en el agua del ejido Flores Magón presentaron una relación fuerte con los cloruros y una relación moderada con el potasio y los bicarbonatos con coeficientes de correlación de 0.8260, 0.7427 y 0.7195, respectivamente; por lo que las principales sales disueltas de sodio en el agua con

estos aniones fueron en ese orden (ver cuadro 11, apéndice B). También el sodio presentó una relación moderada con el manganeso de las plantas, con un coeficiente de correlación de 0.5572 (ver cuadro 12, apéndice B). Todas estas relaciones fueron directamente proporcionales a las concentraciones de sodio y estadísticamente significativas (con $P < 0.05$).

7.1.3.4. Potasio

Las sales de potasio son muy solubles y ampliamente usadas en la industria y en los fertilizantes agrícolas; por lo que este elemento entra en las aguas superficiales a través de las descargas industriales y los escurrimientos de suelos agrícolas (Chapman y Kimstach, 1992).

Las concentraciones de potasio en el transcurso del año fueron homogéneas, a excepción de los meses de marzo, abril y mayo de 1995, donde se detectaron concentraciones desde 0.53 hasta 0.96 mmol L⁻¹. Estas concentraciones corresponden a la época de secas, donde el flujo del agua de los canales disminuyó, reflejándose en las concentraciones altas de este catión (ver tabla 6, apéndice A y fig. 7.11).



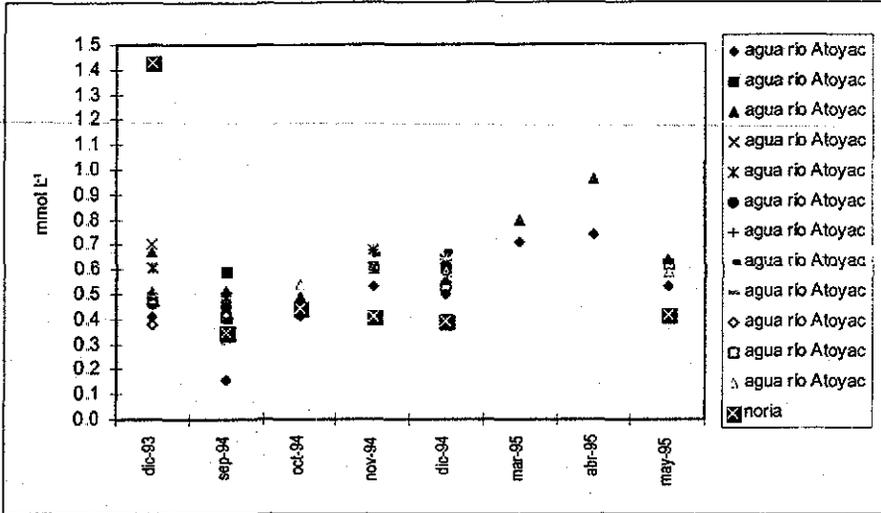


Fig. 7.11. Comportamiento mensual de K del agua del ejido Flores Magón, Atlixco, Puebla

Los valores de potasio en el testigo en el mes de may94 presentaron un mínimo de 0.07 mmol L⁻¹ y un máximo de 0.34 mmol L⁻¹ con un valor promedio de 0.22 mmol L⁻¹ (+/-0.080), en los canales un mínimo de 0.23 mmol L⁻¹ y un máximo de 0.68 mmol L⁻¹ con un valor promedio de 0.53 mmol L⁻¹ (+/- 0.033) y en la noria un mínimo de 0.46 mmol L⁻¹ y un máximo de 0.46 mmol L⁻¹ con promedio de 0.46 mmol L⁻¹ (+/-0.0) (ver cuadro 1, apéndice B y fig. 7.12).

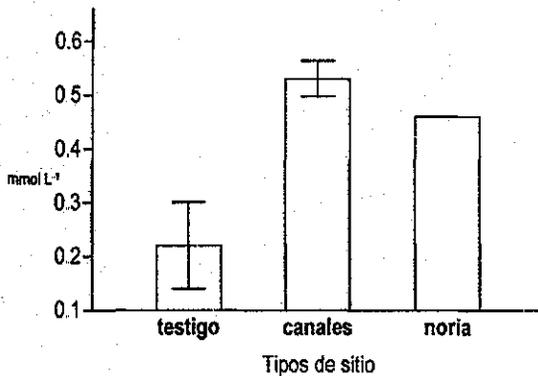


Fig. 7.12. Promedio (+/- un error estándar) de las concentraciones de potasio en el agua en el mes de may94 del ejido Flores Magón, Atlixco, Puebla

Meybeck *et al.* (1992) citan que las concentraciones naturales de potasio en los ríos varían de 0.01 a 0.10 meq L⁻¹. Por otra parte, Bustos *et al.* (1992) reportaron concentraciones promedio de 0.09 meq L⁻¹ y 0.19 meq L⁻¹ en los ríos Tajo y Jarama, España, respectivamente. Por lo que las concentraciones promedio de potasio en el mes de may94 son muy elevadas a las reportadas por estos autores.

El análisis de varianza indicó que existen diferencias significativas (con $P < 0.05$) entre las medias de las concentraciones de potasio en los diferentes tipos de sitio en el mes de may94 (ver cuadro 6, apéndice B). El análisis de rango múltiple de Bonferroni (al 95 % de confianza) mostró que las mayores diferencias significativas fueron entre el testigo y los canales (ver apéndice C).

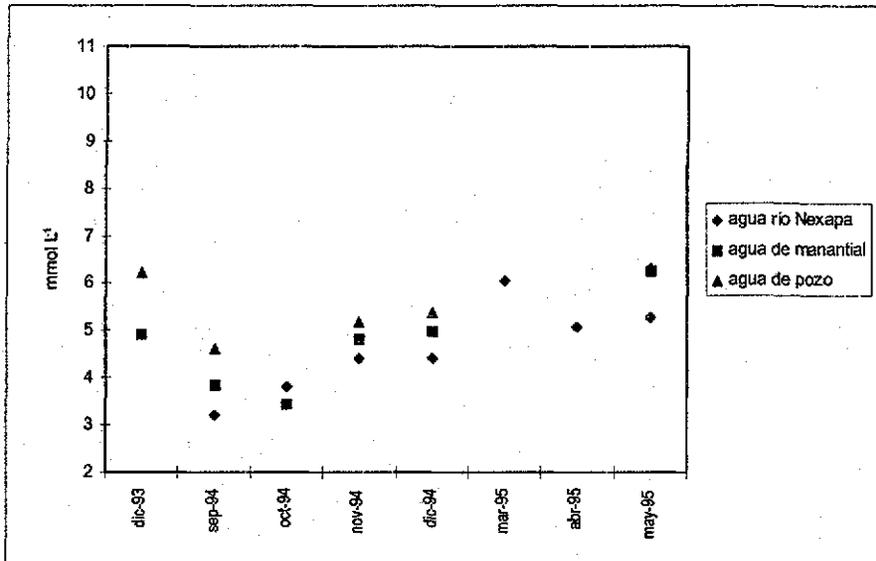
Las concentraciones de potasio en el agua del ejido Flores Magón mostraron una relación fuerte y una moderada con los cloruros, los bicarbonatos y los sulfatos, con coeficientes de correlación de 0.8247, 0.6215 y 0.5060 respectivamente; por lo que las principales sales disueltas de potasio en el agua con estos aniones fueron en ese orden (ver cuadro 11, apéndice B). Todas estas relaciones fueron directamente proporcionales a las concentraciones de potasio y estadísticamente significativas (con $P < 0.05$).

7.1.4. Aniones Solubles

7.1.4.1. Bicarbonatos

La presencia de carbonatos y bicarbonatos influyen en la dureza y alcalinidad del agua. Los procesos de intemperización combinados con el pH de las aguas superficiales (aprox. 6 a 8.2) dan como resultado que el anión HCO_3^- sea dominante en la mayoría de esta agua (Chapman y Kimstach, 1992).

Las concentraciones de bicarbonatos en el transcurso del año fueron heterogéneas, encontrándose concentraciones desde 9.12 hasta 10.75 mmol L^{-1} en los meses de marzo, abril y mayo de 1995. Estas concentraciones altas corresponden a la época de secas, donde el flujo de agua en los canales disminuyó, reflejándose en un aumento de este anión (ver tabla 7, apéndice A y fig. 7.13).



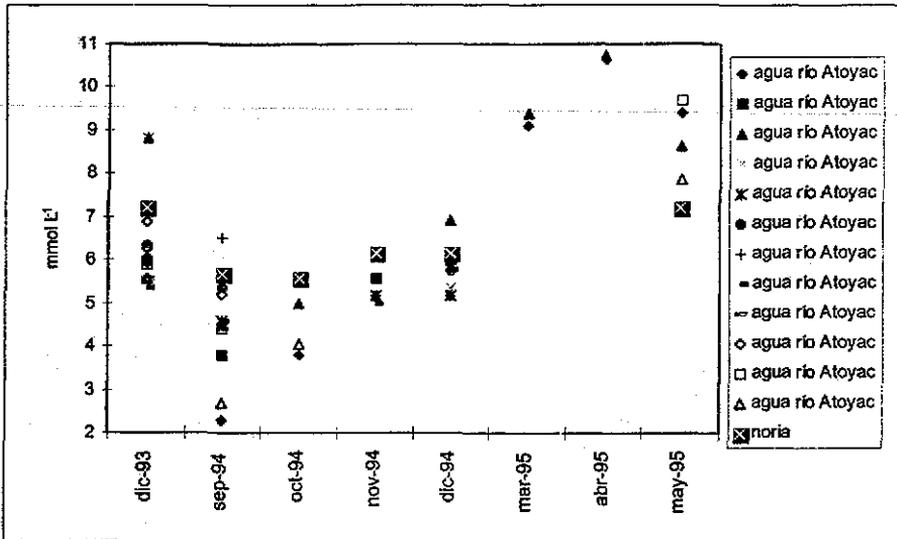


Fig. 7.13. Comportamiento mensual de HCO_3^- del agua del ejido Flores Magón, Atlixco, Puebla.

Los valores de bicarbonatos en el testigo en el mes de may94 presentaron un mínimo de 2.3 mmol L^{-1} y un máximo de 4.22 mmol L^{-1} con un valor promedio de 3.13 mmol L^{-1} ($+0.568$), en los canales un mínimo de 3.6 mmol L^{-1} y un máximo de 4.99 mmol L^{-1} con un valor promedio de 4.31 mmol L^{-1} ($+0.130$) y en la noria un mínimo de 4.8 mmol L^{-1} y un máximo de 4.8 mmol L^{-1} con un valor promedio de 4.8 mmol L^{-1} ($+0.0$) (ver cuadro 1, apéndice B y fig. 7.14).

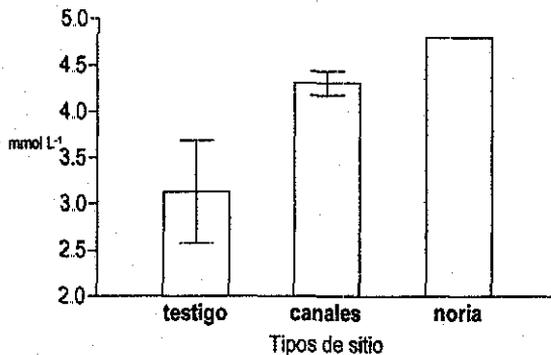


Fig. 7.14. Promedio (+ un error estándar) de las concentraciones de bicarbonatos en el agua en el mes de may94 del ejido Flores Magón, Atlixco, Puebla

Meybeck *et al.* (1992) citan que las concentraciones naturales de bicarbonatos en los ríos varían desde 0.17 a 2.80 meq L⁻¹. Por otra parte, Bustos *et al.* (1992) reportaron concentraciones promedio de 3.93 meq L⁻¹ y 4.32 meq L⁻¹ en los ríos Tajo y Jarama, España, respectivamente. Por lo que las concentraciones promedio de bicarbonatos en el mes de may94 fueron similares a las reportadas por estos autores.

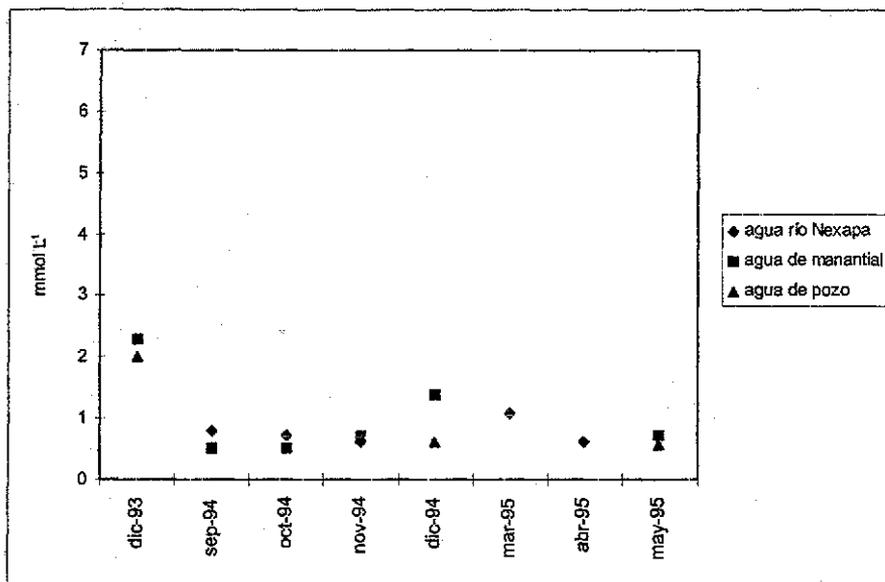
El análisis de varianza mostró que existieron diferencias significativas entre las medias de las concentraciones de bicarbonatos en los diferentes tipos de sitio en el mes de may94 (ver cuadro 6, apéndice B). El análisis de rango múltiple de Bonferroni (al 95 % de confianza) indicó que las mayores diferencias significativas se dieron entre el testigo y los canales (ver apéndice C).

Las concentraciones de bicarbonatos en el agua del ejido Flores Magón presentaron una relación fuerte con los cloruros y los sulfatos con coeficientes de correlación de 0.8918 y 0.8380 (ver cuadro 11, apéndice B). Estas relaciones fueron directamente proporcionales a las concentraciones de este anión y estadísticamente significativas (con $P < 0.05$).

7.1.4.2. Cloruros

Los cloruros frecuentemente están asociados con las aguas residuales, éstos son evaluados para determinar una posible contaminación fecal o la extensión de una descarga de agua residual en un cuerpo de agua. Además, altas concentraciones de cloruros hacen que el agua sea desagradable y, por lo tanto no apta para consumo humano o pecuario (Chapman y Kimstach, 1992).

Las concentraciones de cloruros en el transcurso del año fueron muy heterogéneas, encontrándose valores desde 3.0 hasta 6.40 mmol L⁻¹, en los meses de marzo, abril y mayo de 1995. Estas concentraciones corresponden a la época de secas, donde el flujo de agua de algunos canales disminuyó, reflejándose en las concentraciones altas de este anión (ver tabla 8, apéndice A y fig. 7.15).



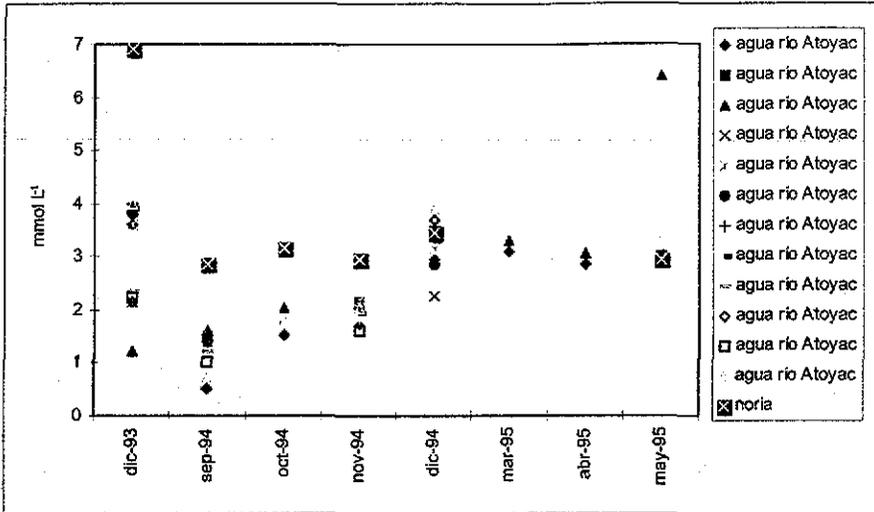


Fig. 7.15. Comportamiento mensual de Cl del agua del ejido Flores Magón, Atlixco, Puebla

Los valores de cloruros en el testigo en el mes de may94 presentaron un mínimo de 0.2 mmol L^{-1} y un máximo de 0.81 mmol L^{-1} con un valor promedio de 0.50 mmol L^{-1} ($+0.176$), en los canales un mínimo de 1.40 mmol L^{-1} y un máximo de 2.04 mmol L^{-1} con un valor promedio de 1.7 mmol L^{-1} (-0.049) y en la noria un mínimo de 3.5 mmol L^{-1} y un máximo de 3.5 mmol L^{-1} con un valor promedio de 3.5 mmol L^{-1} ($+0.0$) (ver cuadro 1, apéndice B y fig. 7.16).

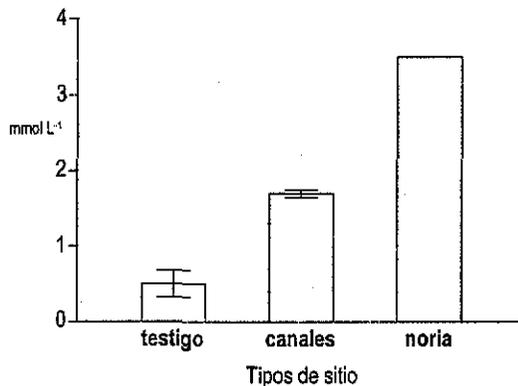


Fig. 7.16. Promedio (+ un error estándar) de las concentraciones de cloruros en el agua en el mes de may94 del ejido Flores Magón, Atlixco, Puebla

Meybeck *et al.* (1992) citan que las concentraciones naturales de cloruros en los ríos fluctúan entre 0.02 a 0.70 meq L⁻¹. Por otra lado, Bustos *et al.* (1992) reportaron concentraciones promedio de 2.17 meq L⁻¹ y 1.63 meq L⁻¹ en los ríos Tajo y Jarama, respectivamente. Por lo que las concentraciones promedio de cloruros en el mes de may94 fueron superiores a las citadas por estos autores.

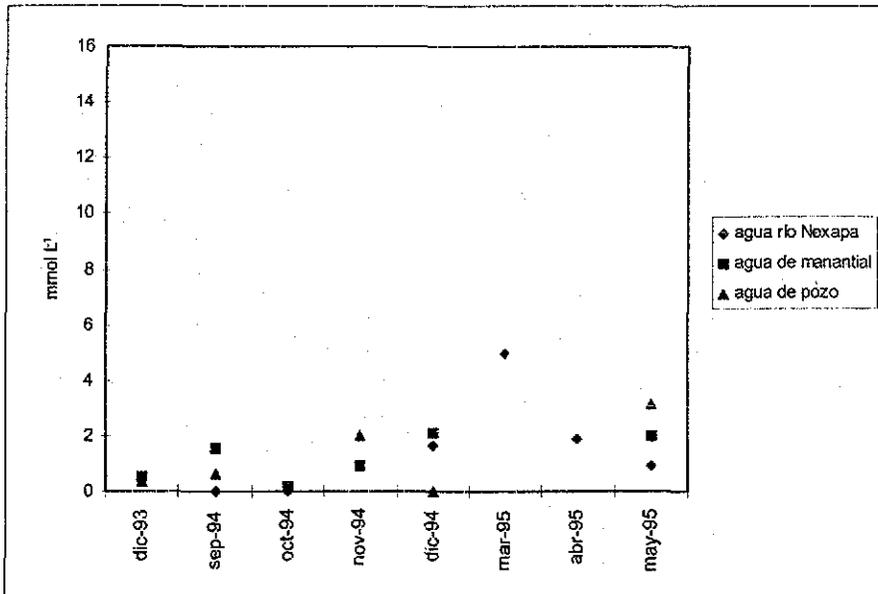
El análisis de varianza indicó que existen diferencias significativas (con $P < 0.05$) entre las medias de las concentraciones de cloruros en los diferentes tipos de sitio en el mes de may94 (ver cuadro 6, apéndice B). El análisis de rango múltiple de Bonferroni (al 95 % de confianza) mostró que las mayores diferencias significativas se dieron en el siguiente orden: entre el testigo y la noria, entre el testigo y los canales y entre los canales y la noria (ver apéndice C). Lo que demuestra que el testigo es agua de buena calidad para el riego agrícola, mientras que los canales y la noria son de agua residual del río Atoyac.

Las concentraciones de cloruros en el agua del ejido Flores Magón presentaron una relación fuerte con la CE, el Na⁺, el K⁺ y los HCO₃⁻ con coeficientes de 0.9547, 0.8260, 0.8247 y 0.8918. También presentaron una relación moderada con los sulfatos con un coeficiente de correlación de 0.7195 (ver cuadro 11, apéndice B). Todas estas relaciones fueron directamente proporcionales a las concentraciones de este anión y estadísticamente significativas (con $P < 0.05$).

7.1.4.3. Sulfatos

Las descargas industriales y la precipitación atmosférica pueden adicionar cantidades significativas de sulfatos en las aguas superficiales. Además, los sulfatos pueden ser usados como una fuente de oxígeno por bacterias transformándolos a H_2S y HS^- bajo condiciones anóxicas (Chapman y Kimstach, 1992).

Las concentraciones de sulfatos en el transcurso del año fueron muy heterogéneas, encontrándose valores desde 3.9 hasta $14.02 \text{ mmol L}^{-1}$, en los meses de marzo, abril y mayo de 1995. Estas concentraciones corresponden a la época de secas, donde el flujo de agua de algunos canales disminuyó, reflejándose en las concentraciones altas de este anión (ver tabla 9, apéndice A y fig. 7.17).



Meybeck *et al.* (1992) citan que las concentraciones naturales de sulfatos en los ríos fluctúan entre 0.05 a 1.20 meq L⁻¹. Por otro lado, Bustos *et al.* (1992) registraron concentraciones promedio de 5.23 meq L⁻¹ y 5.61 meq L⁻¹ en los ríos Tajo y Jarama, España, respectivamente. Por lo que las concentraciones promedio de sulfatos en el mes de may94 fueron inferiores a las citadas por estos autores.

El análisis de varianza mostró que existieron diferencias significativas entre las medias de las concentraciones de sulfatos en los diferentes tipos de sitio en el mes de may94 (ver cuadro 6, apéndice B). El análisis de rango múltiple de Bonferroni (al 95 % de confianza) indicó que las mayores diferencias significativas se dieron entre el testigo y la noria. Por lo que el testigo es agua de buena calidad para el riego agrícola (ver apéndice C).

Las concentraciones de sulfatos en el agua del ejido Flores Magón presentaron una relación fuerte con los bicarbonatos y una moderada con el magnesio, con los cloruros, con la conductividad eléctrica, con el sodio, con el calcio y con el potasio con coeficientes de correlación de 0.8380, 0.7281, 0.7195, 0.7008, 0.6482, 0.5955 y 0.5060, respectivamente (ver cuadro 11, apéndice B). Estas relaciones fueron estadísticamente significativas (con $P < 0.05$) y directamente proporcionales a las concentraciones de este anión.

7.2. Metales solubles en agua

Para la discusión de los metales pesados solubles se tiene que sólo en el mes de may94 se colectaron las muestras de los 16 sitios de muestreo, ya que en el resto de los meses, algunos canales se encontraron sin agua. Por lo tanto, sólo ese mes se analizó estadísticamente y en los demás meses se hizo una descripción del comportamiento en el transcurso del año.

7.2.1. PLOMO

El plomo se encuentra en forma natural en la corteza terrestre, en un promedio de 16 mg kg^{-1} . Fue uno de los primeros metales extraídos, a partir de la galena (PbS), la cerusita (PbCO_3) y la anglesita (PbSO_4).

La actividad humana ha llevado a través de los tiempos a crecientes descargas de plomo hacia los diferentes componentes ambientales, aumentando y diversificando las condiciones de exposición a niveles cada vez más altos de dicho metal en el ambiente.

El plomo, bajo las formas de diversos compuestos, es usado en las industrias de baterías, pigmentos para pinturas, alfarería, cables y productos químicos; además como tetraalquilos de plomo, se usa como antidetonante en la gasolina (Galvao, *et al.* 1989).

Las concentraciones de Pb en el transcurso del año fueron muy heterogéneas, sobresaliendo los meses de marzo, abril y mayo de 1995 donde se detectaron las mayores concentraciones, lo cual corresponde a la época de secas (ver tabla 10, apéndice A y fig. 7.19).

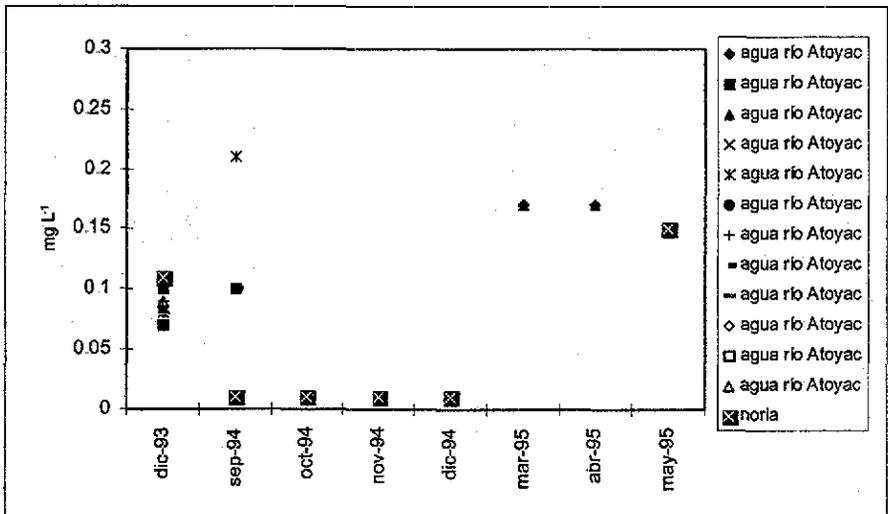
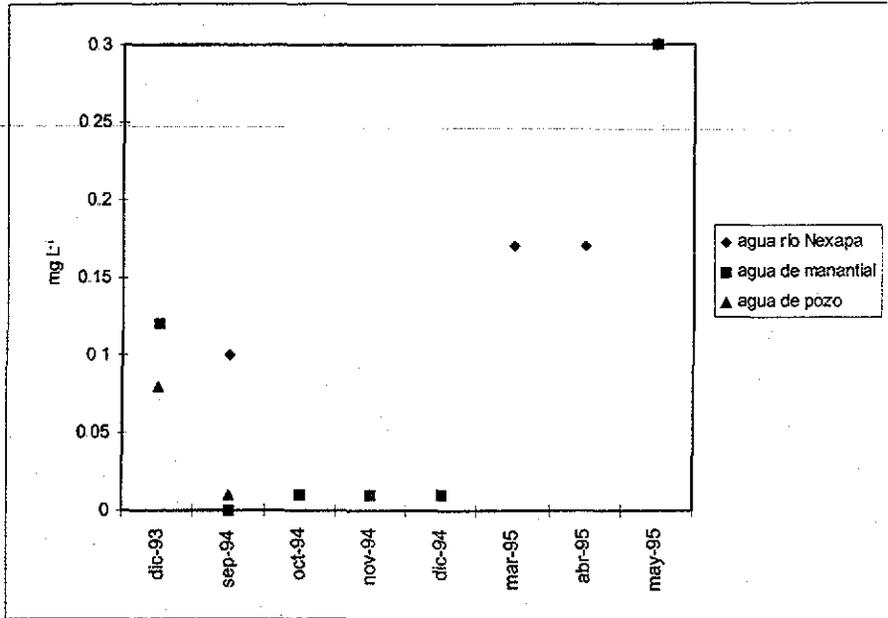


Fig. 7.19. Comportamiento mensual de Pb soluble del agua del ejido Flores Magón, Atlixco, Puebla

Los valores de Pb en el testigo en el mes de may94 presentaron un mínimo de 0.01 mg L⁻¹ y un máximo de 0.01 mg L⁻¹, con un promedio de 0.01 mg L⁻¹ (+ 0.0), en los canales un mínimo de 0.01 mg L⁻¹ y un máximo de 0.08 mg L⁻¹ con un promedio de 0.027 mg L⁻¹ (+ 0.0091), en la noria un mínimo de 0.01 mg L⁻¹ y un máximo de 0.01 mg L⁻¹ con un promedio de 0.01 mg L⁻¹ (+ 0.0) (ver cuadro 2, apéndice B y fig. 7.20).

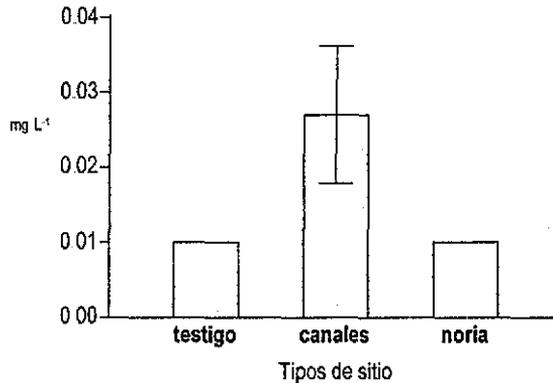


Fig. 7.20. Promedio (+ un error estándar) de las concentraciones de plomo en el mes de may94 del agua del ejido Flores Magón, Atlixco, Puebla.

En general las concentraciones de plomo fueron superiores a las encontradas por Mendoza (1981) quien da valores de 0.17 mg L⁻¹ de Pb en aguas residuales del Gran Canal de Desagüe de la Ciudad de México de 1975-1976. Son similares a las reportadas por Siebe (1994) que menciona cantidades de 0.08, 0.10, 0.08 y 0.15 mg L⁻¹ de Pb para el agua de riego proveniente de los canales Requena, Tlamaco-Juandhó, Atotonilco y el Salto-Tlamaco en el DR 03, respectivamente. Lo cual es considerable, si se toma en cuenta que el agua residual que se emplea para riego en el Distrito de Riego 03 proviene de la Zona Metropolitana de la Ciudad de México (ZMCM), es considerada como la zona más impactada por la complejidad de las industrias que vierten sus aguas residuales al Gran Canal de Desagüe. En este sentido, aunque el Pb no se detectó en todos los muestreos (ver tabla 10, apéndice A) el peligro está latente y sobre todo tratándose de un elemento bioacumulable (EPA, 1979).

Los valores de plomo que se obtuvieron en este trabajo, son ligeramente inferiores a los de El Hassanin (1993), quien reportó concentraciones que fluctuaron de 0.30 a 0.43 mg L⁻¹ en aguas residuales de Egipto que se han venido empleando para riego por más de 60 años.

Por otro lado, al comparar las concentraciones de plomo detectadas en el agua residual que se emplean para riego en el Valle de Atlixco con los límites permisibles por la NTE-CCA-032/91 y la US-EPA (1973), ésta se considera de buena calidad, ya que los valores son inferiores a 0.5 mg L⁻¹. Sin embargo, si tomamos en cuenta el criterio de la NOM-CCA-032-ECOL/93, los valores están muy por debajo del límite que es de 5.0 mg L⁻¹.

Tomando en cuenta que el agua residual que se emplea para riego en el Valle de Atlixco, y en varios municipios del Edo. de Puebla, proviene del río Atoyac, la calidad del agua de este río es mala, por lo que de acuerdo con la OMS, (1984) (citado por Galvao, *et al.* 1989) el límite de Pb en los ríos es de 0.008 mg L⁻¹ por lo cual los peces y crustáceos, entre otros organismos están ausentes en este río (Comunicación personal). Sin embargo, curiosamente en la presa Valsequillo que se alimenta del río Atoyac existen algunos tipos de peces, como la mojarra y la carpa que tienen gran demanda por los habitantes de la región.

Aunque si bien es cierto, que se han reportado altas concentraciones de plomo en varios cuerpos de agua, como son: Lago Chapala, Michigan, Wisconsin y Washington, donde las concentraciones máximas de plomo fueron de 170, 145, 124 y 400 mg L⁻¹ esto no nos debe consolar. De acuerdo con un estudio realizado por Rosas, *et al.* (1989) el plomo del medio ambiente (atmósfera, suelo y agua residual) puede afectar el agua subterránea. Estos autores detectaron hasta 1.11 mg L⁻¹ en agua de pozo de la Zona Metropolitana de la Ciudad de México, en el área de Lechería, Estado de México lo cual es grave ya que la NOM-127-SSA1-1994 tolera 0.025 mg L⁻¹. Otros organismos internacionales como WHO, EC, y varios países como Canadá y USA toleran como máximo 0.05 mg L⁻¹ para agua de consumo humano, lo cual habla mal de la calidad del agua potable en México. Por ello, es de vital importancia que se le preste la atención debida al agua residual que contiene metales pesados como el Pb, sobre todo cuando se utiliza

para riego de hortalizas de consumo directo, como ocurre en los municipios de Atlixco y Tecamachalco, Edo. de Puebla

Aunque las concentraciones de Pb soluble no son tan altas, éstas podrían representar ciertos riesgos en la cadena alimentaria, sobre todo cuando el agua se utiliza con fines de riego como ocurre con el agua del río Atoyac, ya sea porque se emplee directamente o se almacene en alguna presa para después ser utilizada a lo largo del año. Tal es el caso de la presa Valsequillo que se utiliza para riego en el DR 030 en Tecamachalco, Edo. de Puebla.

La descarga de metales pesados, entre ellos el plomo, originado por las actividades humanas tiene gran impacto en el ciclo ambiental, sobre todo en el medio acuático. D'Itri (1992) menciona que el Hg, As y posiblemente el Pb son biometilados por algunos hongos y bacterias produciendo compuestos altamente tóxicos, los cuales son movilizadas con facilidad y acumulados por organismos acuáticos, presentándose un aumento rápido a lo largo de la cadena alimentaria, cuya toxicidad y larga vida biológica puede implicar un riesgo para la salud y la estabilidad de los ecosistemas. En este sentido, las concentraciones de plomo soluble en el agua del río Atoyac son bajas. De acuerdo con Méndez *et al.* (1995) gran parte del Pb que proviene de distintas fuentes se ha estado precipitando en los sedimentos del río Atoyac, reportando valores hasta de 86.4 mg kg⁻¹.

El dato anterior es sólo un ejemplo del problema del plomo en el medio ambiente, que actualmente ha adquirido gran importancia al sumar las fuentes antropogénicas a las naturales y, sobre todo en las décadas pasadas cuando el plomo se utilizaba en grandes cantidades en las gasolinas, actividades industriales, agrícolas y domésticas, transportándose al agua, a la atmósfera, al suelo y nuevamente al agua, convirtiéndose en un problema cíclico, el cual actualmente ha cobrado gran interés, así como sus procesos de biometilación, acumulación, concentración y dispersión a través de la cadena alimentaria (D'Itri, 1992).

En el caso de la zona de estudio, la principal fuente de Pb proviene de la atmósfera y de las actividades industriales, principalmente de San Martín Texmelucan, Moyotzingo y Puebla que arrojan sus aguas residuales al río Atoyac,

además de otras zonas industriales del estado de Tlaxcala que vierten sus aguas residuales al río Zahuapan el cual se une al río Atoyac antes de llegar a la Ciudad de Puebla para agudizar el problema de degradación del agua del río.

Por otro lado, independientemente de las fuentes de plomo en el medio acuático, sedimentos o en el suelo, su comportamiento dinámico así como su solubilidad de acuerdo con Agemian y Chau (1977) depende de las actividades biológicas, composición de las partículas, textura del suelo o sedimento, características orgánicas e inorgánicas, temperatura y potencial de hidrógeno.

En los ambientes lacustres, así como presas y ríos las causas que inmovilizan al plomo son varias, sin que este proceso elimine el riesgo que el plomo representa en el sistema natural agua-sedimento-suelo-planta.

El análisis de varianza mostró que no existieron diferencias significativas entre las medias de las concentraciones de plomo en los diferentes tipos de sitio en el mes de may94 (ver cuadro 7, apéndice B). El análisis de rango múltiple de Bonferroni (al 95 % de confianza) indicó que el testigo, los canales y la noria fueron estadísticamente iguales (ver apéndice C).

Las concentraciones de plomo en el agua del ejido Flores Magón presentaron una relación mederada con el pH del agua con un coeficiente de correlación de -0.5794 (ver cuadro 12, apéndice B). Esta relación fue estadísticamente significativa (con $P < 0.05$) e indirectamente proporcional a los valores de plomo. También, presentó una relación moderada con el Cr soluble, con un coeficiente de 0.6179 (ver cuadro 13, apéndice B). Esta relación fue directamente proporcional a las concentraciones de plomo y estadísticamente significativa (con $P < 0.05$).

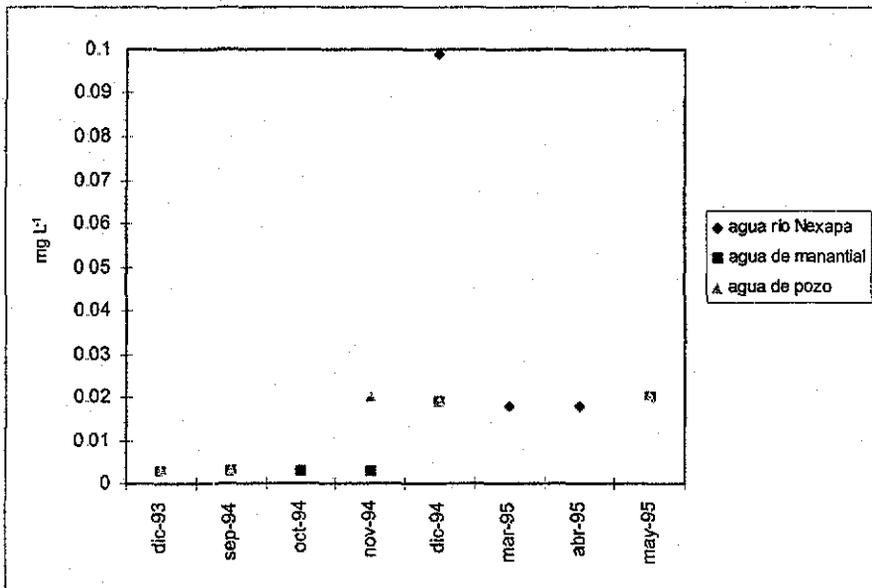
7.2.2. CROMO

El cromo está distribuido por toda la corteza terrestre, pero presenta una concentración mayor en las rocas básicas. El cromo puede presentarse en las siguientes formas iónicas Cr^{2+} , Cr^{3+} y Cr^{6+} . De éstas, las más importantes en cuanto a sus efectos en la salud humana son la trivalente y la hexavalente.

La utilización industrial del cromo se hace con fines de decoración, de cambios de color en varios tipos de materiales; además es un importante agente en los procesos de curtido de pieles.

Las industrias que presentan mayor riesgo por la presencia del cromo son: las de cemento, las de colorantes, las de construcción, material fotográfico, pinturas anticorrosivas, etc. (Galvao, *et al.* 1989).

Las concentraciones de Cr a lo largo del muestreo fueron muy heterogéneas, detectándose los valores más bajos en los meses de diciembre de 1993, septiembre, octubre y noviembre de 1994; mientras que en diciembre de 1994 se registró la mayor concentración de cromo (ver tabla 11, apéndice A y fig. 7.21).



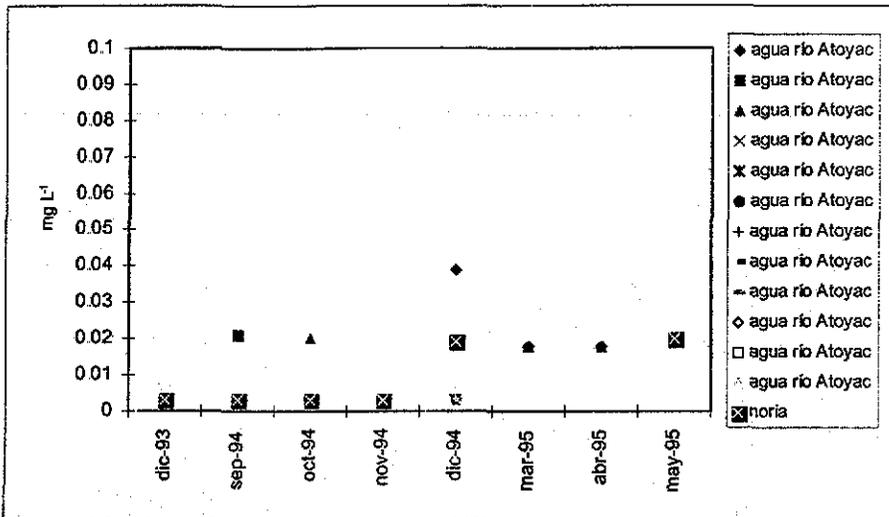


Fig. 7.21. Comportamiento mensual de Cr soluble del agua del ejido Flores Magón, Atlixco, Puebla.

Los valores de cromo en el testigo en el mes de may94 presentaron un mínimo de 0.018 mg L⁻¹, un máximo de 0.018 mg L⁻¹, con un promedio de 0.018 mg L⁻¹ (+ 0.0), en los canales un mínimo de 0.003 mg L⁻¹ y un máximo de 0.018 mg L⁻¹ con un promedio de 0.011 mg L⁻¹ (+ 0.0022), en la noria un mínimo de 0.037 mg L⁻¹ y un máximo de 0.037 mg L⁻¹ con un promedio de 0.037 mg L⁻¹ (+ 0.0) (ver cuadro 7.2, apéndice B y fig. 7.22).

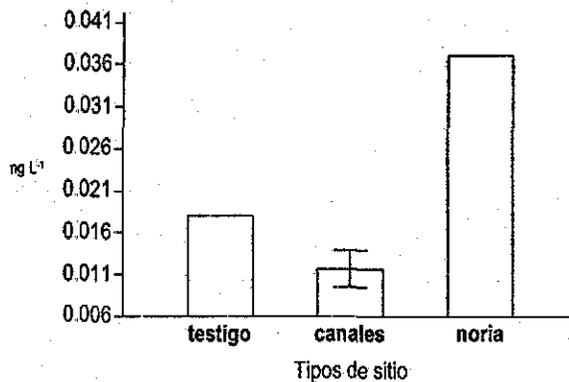


Fig. 7.22. Promedio (+ un error estándar) de las concentraciones de cromo en el mes de may94 del agua del ejido Flores Magón, Atlixco, Puebla.

Al comparar los resultados de este trabajo con los valores permisibles por la NOM-CCA-032-ECOL/93 y por la U.S-EPA (1973), el Cr soluble se encuentra dentro de los rangos establecidos por éstas normas, el cual es de 0.1 mg L^{-1} . Los valores de cromo aunque son inferiores a los límites máximos permisibles para aguas con fines de riego agrícola, deben tomarse en cuenta, sobre todo para los cultivos sensibles a los metales pesados como el Cr.

Por otra parte, si tomamos en cuenta que el agua del río Atoyac se almacena en la presa Valsequillo donde la pesca de carpa es una actividad importante, el cromo podría limitar esta actividad, ya que esta especie de acuerdo con la OMS, mencionado por Connor (1991) tolera como máximo 0.05 mg/día de cromo. En este sentido, existen otros organismos de menor importancia comercial que también pueden ser afectados, como ocurrió con la mayoría de los peces, que actualmente ya no se encuentran en el río y en la presa, como la trucha, que únicamente se le encuentra en la parte alta del río Atoyac (Sierra Nevada) antes de llegar a Río Frio.

Al comparar los valores de cromo soluble detectadas en el agua de riego del ejido Flores Magón con otros resultados obtenidos en agua residual cruda en otras zonas del país, estos son inferiores a los detectados por varios autores, entre los cuales están: Mendoza (1981), Sánchez (1985), Cajuste *et al.* (1991), Hansen (1992), Siebe (1994) y Siebe y Cifuentes (1995) que mencionan 0.35 , 0.21 , 0.11 , 68.0 , 0.13 y 0.11 mg L^{-1} para el Gran Canal de Desagüe de la Ciudad de México, Tlahuelilpan, agua de riego del Valle del Mezquital, Lago de Chapala, canal El Salto-Tlamaco, Atitalaquia y Tlamaco-Juandhó y Juandhó, Edo. de Hidalgo, respectivamente. Pero son ligeramente superiores a los mencionados por Méndez y Guajardo (1985), para el Valle del Mezquital, quienes reportaron valores de 0.02 mg L^{-1} .

Los valores de cromo soluble detectados en este trabajo son ligeramente parecidos a los reportados por Cajuste *et al.* (1991) y Carrillo *et al.* (1992) que reportaron 0.044 y 0.037 mg L^{-1} para agua mezclada del canal de Xochitlán y de la presa Requena, Edo. de Hidalgo, respectivamente.

Finalmente, al comparar los resultados de Cr con valores que se han publicado en otros países para los años sesentas, estos son muy inferiores, ya que se han reportado 77 y 7 mg L⁻¹ para los lagos de Michigan y Wisconsin, respectivamente (Hansen, 1992). En este sentido, el que se hayan reportado mayores concentraciones de Cr soluble en agua de otros países, no es ningún aliciente, ya que de acuerdo con la U.S.-EPA (1987) el Cr es un elemento muy tóxico, bioacumulable y no es biodegradable. Por lo que se debe prohibir el riego de hortalizas con agua residual, sobre todo en las zonas cercanas al DF, donde el número de habitantes que se exponen a la contaminación por Cr a través de las hortalizas es cada vez mayor. Galvao, *et al.* (1989), mencionan que las concentraciones naturales en los ríos varían de 0.1 a 5 µg L⁻¹. Por otro lado, en el Estado de México (Lechería), se encontraron pozos de agua potable contaminados por cromo proveniente de los residuos de Cromatos de México, S.A. una empresa que fue cerrada por SEDUE en los años 70's y que debe de tomarse en cuenta para que no se repita esta problemática (Rosas, *et al.* 1989).

El análisis de varianza mostró que existieron diferencias significativas entre las medias de las concentraciones de cromo en los diferentes tipos de sitio en el mes de may94 (ver cuadro 7, apéndice B). El análisis de rango múltiple de Bonferroni (al 95 % de confianza) indicó que las mayores diferencias significativas se dieron entre los canales y la noria (ver apéndice C).

Las concentraciones de cromo en el agua del ejido Flores Magón presentaron una relación moderada con el Pb soluble con un coeficiente de correlación de 0.6179 (ver cuadro 13, apéndice B). Esta relación fue estadísticamente significativa (con P<0.05) y directamente proporcional a las concentraciones de este metal. También, presentó una relación fuerte, pero inversamente proporcional con el Ni soluble con un coeficiente de -0.8526 (ver cuadro 13, apéndice B). Esta relación fue estadísticamente significativa (con P<0.05).

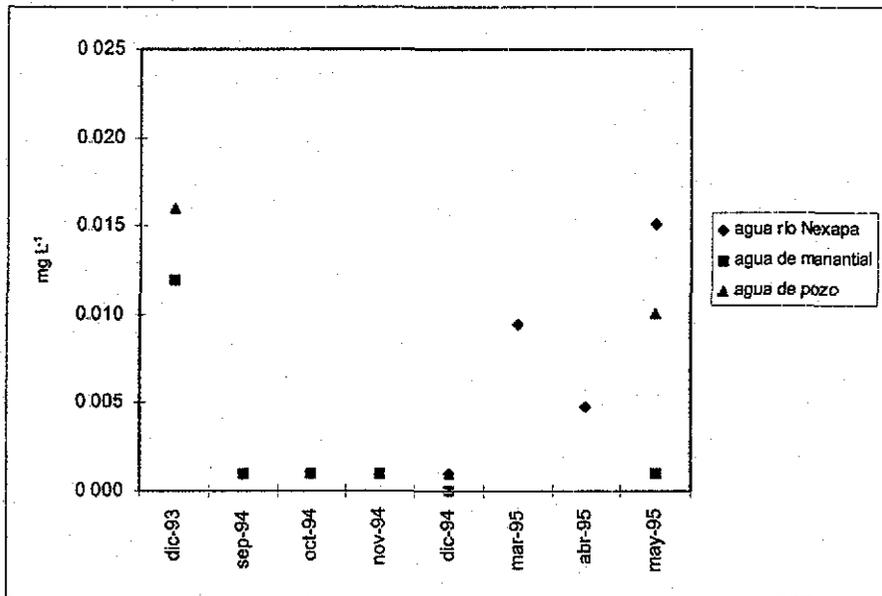
ESTA TESIS NO SALE
DE LA BIBLIOTECA

7.2.3. CADMIO

El cadmio está distribuido en toda la corteza terrestre en una concentración de 0.15 a 0.20 mg kg⁻¹. No existe en su estado puro sino asociado a otros minerales como los de plomo, cobre y zinc.

El cadmio en su forma natural presenta poca importancia como fuente de contaminación para el ambiente. Este elemento está presente en las actividades industriales, como componente de baterías y colorantes y como subproducto de la obtención del zinc (Galvao, *et al.* 1989).

Las concentraciones de cadmio en el transcurso del año fueron heterogéneas, detectándose las mayores concentraciones en el mes de diciembre de 1993 y mayo de 1995 (ver tabla 12, apéndice A y fig. 7.23).



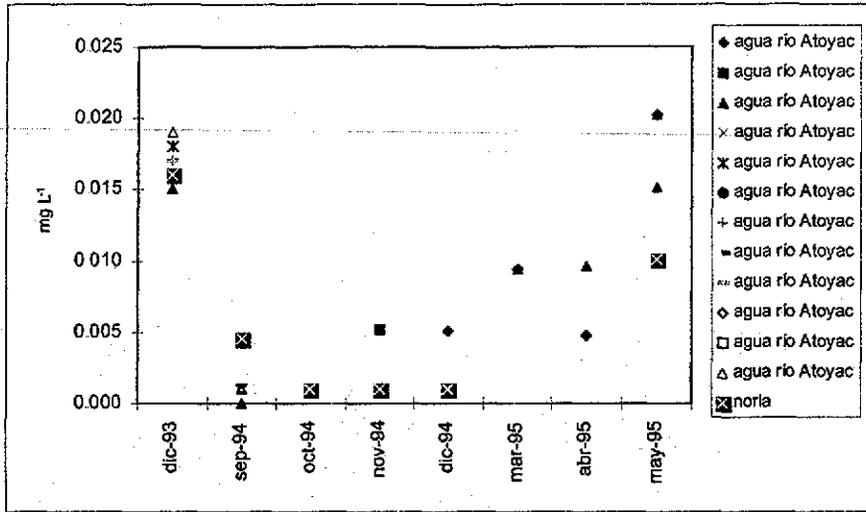


Fig. 7.23. Comportamiento mensual de Cd soluble del agua del ejido Flores Magón, Atlixco, Puebla.

Los valores de cadmio en el testigo en el mes de may94 presentaron un mínimo de 0.005 mg L⁻¹, un máximo de 0.01 mg L⁻¹, con un promedio de 0.0066 mg L⁻¹ (+- 0.001), en los canales un mínimo de 0.001 mg L⁻¹ y un máximo de 0.015 mg L⁻¹ con un promedio de 0.0071 mg L⁻¹ (+- 0.0010) y en la noria un mínimo de 0.005 mg L⁻¹ y un máximo de 0.005 mg L⁻¹ con un promedio de 0.005 mg L⁻¹ (+- 0.0) (ver cuadro 2, apéndice B y fig. 7.24).

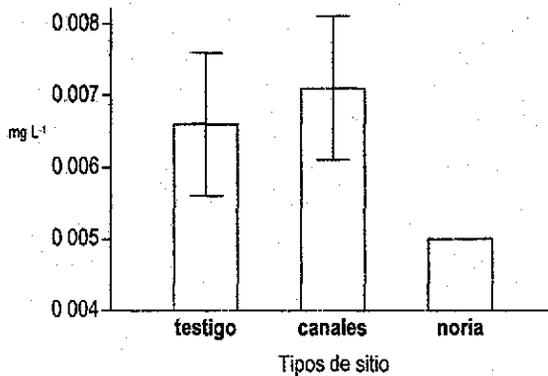


Fig. 7.24. Promedio (+- un error estándar) de las concentraciones de cadmio en el mes de may94 del agua del ejido Flores Magón, Atlixco, Puebla.

Galvao, *et al.* (1989), citan que el cadmio en aguas de áreas no contaminadas presenta concentraciones muy bajas que van de 0.04 a 0.30 $\mu\text{g L}^{-1}$ en océanos y alrededor de 1 $\mu\text{g L}^{-1}$ en ríos. En regiones contaminadas las concentraciones de cadmio van de 0.001 hasta 0.115 mg L^{-1} .

Al comparar los valores obtenidos de Cd soluble en el agua de riego del ejido Flores Magón, estos fueron ligeramente mayores a las cantidades permisibles por la NOM-CCA-032-ECOL/1993, la OMS (1984) (citado en Galvao *et al.* 1989) y U.S.-EPA (1973) donde toleran 0.01 mg L^{-1} .

Al relacionar los datos de cadmio soluble en el agua de riego del ejido Flores Magón, Atlixco, Edo. de Puebla con otros resultados obtenidos en otros trabajos, donde también se emplea agua residual con fines agrícolas, estos son inferiores a los reportados por Mendoza (1981), Sánchez (1985), Carrillo *et al.* (1992) y Hansen (1992) que reportan 0.03, 0.03, de 0.13 a 0.14 y 7.1 mg L^{-1} para aguas del gran Canal de Desagüe, canales del DR 03 en el Edo. de Hidalgo, agua mezclada del canal de Xochitlán con la presa Requena y Lago Chapala, respectivamente.

Aunque los resultados obtenidos en este trabajo son inferiores a los descritos anteriormente, estos constituyen un aviso para las autoridades de la Comisión Nacional del Agua y los estudiosos de las ciencias agrícolas de la posible acumulación de metales pesados en las zonas agrícolas del Edo. de Puebla, donde se utiliza el agua residual para riego. Los trabajos con los que se han comparado los resultados pertenecen a la zona más impactada por el uso de agua residual (Valle del Mezquital) donde el agua procede de la ZMCM. Lo anterior cobra interés, al detectar mayores concentraciones de metales pesados en el agua de riego del ejido Flores Magón, que en algunos trabajos realizados en algunas zonas del Valle del Mezquital. Algunos investigadores han reportado concentraciones de metales pesados solubles en agua, inferiores a los detectados en este trabajo. Es el caso de Cajuste *et al.* (1991), Siebe (1994) y Siebe y Cifuentes (1995) que reportaron concentraciones de 0.005, 0.006 y 0.005 mg L^{-1} para agua negra cruda en el Valle del Mezquital, canal El Salto-Tlamaco, Hgo., y canal Tlamaco-Juandhó, Hgo., respectivamente.

Al comparar los resultados obtenidos de cadmio en este trabajo, estos superan ligeramente a los reportados por El Hassanin, *et al.* (1993) en Egipto, donde detectaron concentraciones de Cd de 0.010 a 0.015 mg L⁻¹ en el agua residual que se ha empleado para riego por más de 67 años.

El análisis de varianza mostró que no existieron diferencias significativas entre las medias de las concentraciones de cadmio en los diferentes tipos de sitio en el mes de may94 (ver cuadro 7, apéndice B). Por lo cual, el análisis de rango múltiple de Bonferroni (al 95 % de confianza) indicó que el testigo, los canales y la noria fueron estadísticamente iguales (ver apéndice C).

Las concentraciones de cadmio en el agua del ejido Flores Magón presentaron una relación moderada con la conductividad eléctrica del agua con un coeficiente de correlación de 0.5524 (ver cuadro 12, apéndice B). Esta relación fue estadísticamente significativa (con $P < 0.05$) y directamente proporcional a las concentraciones de este metal.

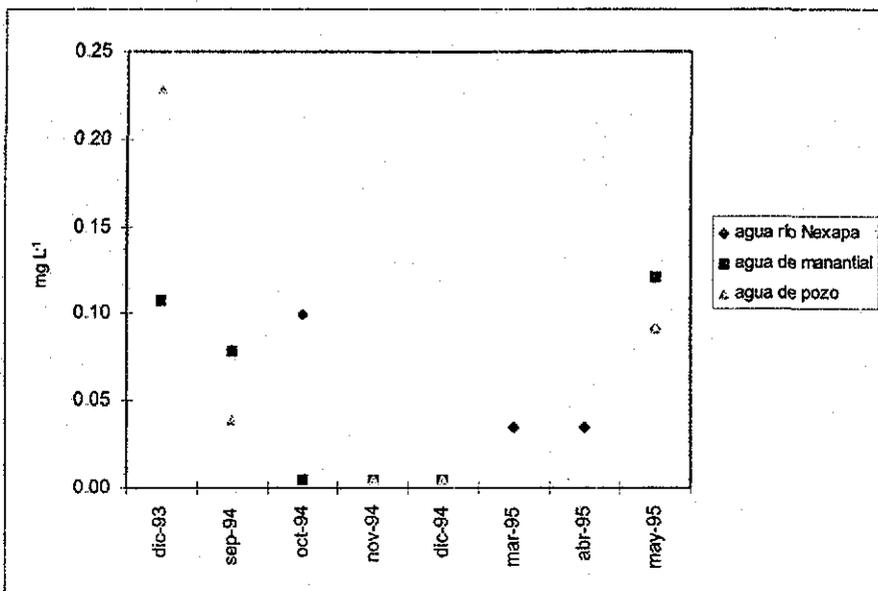
7.2.4. NÍQUEL

El níquel constituye cerca del 0.008 % de la corteza terrestre y se encuentra en un rango de 58 a 94 mgkg⁻¹, predominando en las rocas ígneas.

En los compuestos inorgánicos del níquel, solubles en el agua, el metal está presente como Ni²⁺, siendo importantes el acetato de níquel, el bromuro de níquel, el cloruro de níquel, el fluoruro de níquel, el nitrato de níquel y el sulfato de níquel.

El níquel es utilizado principalmente en la producción de aleaciones, incluyendo acero inoxidable, también se aplica en la industria química, en la electrónica, en utensilios domésticos, en la galvanoplastia, en la producción de pinturas y pigmentos y en la industria de la cerámica (Galvao, *et al.* 1989).

Las concentraciones de Ni a lo largo del muestreo fueron muy heterogéneas, detectándose las concentraciones más altas en diciembre de 1993 (ver tabla 13, apéndice A y fig. 7.25).



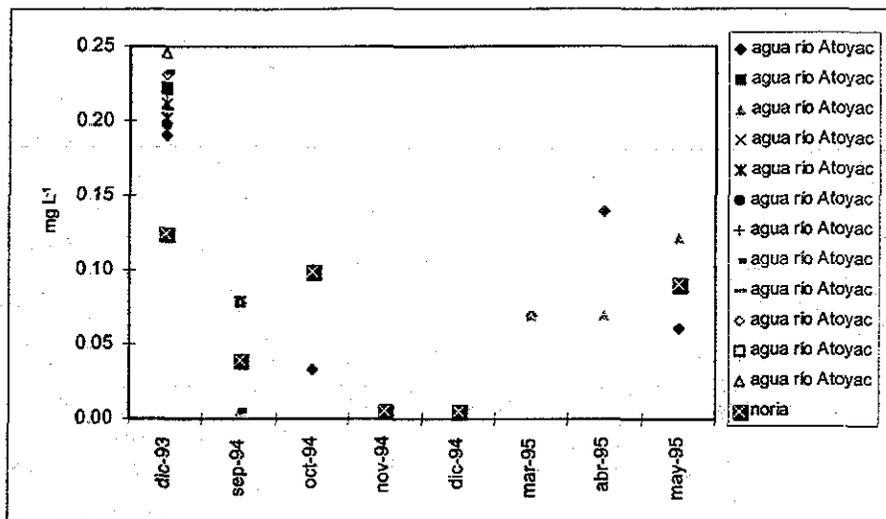


Fig. 7.25. Comportamiento mensual de Ni soluble del agua del ejido Flores Magón, Atlixco, Puebla.

Los valores de níquel en el testigo en el mes de may94 presentaron un mínimo de 0.005 mg L^{-1} , un máximo de 0.315 mg L^{-1} , con un promedio de 0.127 mg L^{-1} (± 0.095), en los canales un mínimo de 0.005 mg L^{-1} y un máximo de 0.094 mg L^{-1} con un promedio de 0.058 mg L^{-1} (± 0.0088) y en la noria un mínimo de 0.063 mg L^{-1} y un máximo de 0.063 mg L^{-1} con un promedio de 0.063 mg L^{-1} (± 0.0) (ver cuadro 2, apéndice B y fig. 7.26).

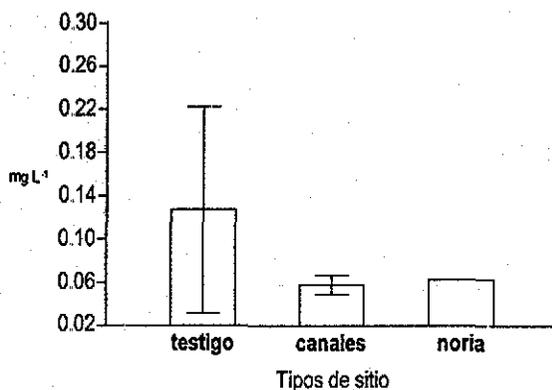


Fig. 7.26. Promedio (+ un error estándar) de las concentraciones de níquel en el mes de may94 del agua del ejido Flores Magón, Atlixco, Puebla.

Al comparar los valores de Ni con los límites permisibles por la NOM-CCA-032-ECOL/1993 y la U.S.-EPA (1973), éstos son inferiores ya que ambas normas toleran 0.50 mg L^{-1} .

Por otra parte comparando los resultados de Ni en el agua de riego del Ejido Flores Magón, con los valores en otras zonas del país, estos son superiores a los reportados por Cajuste *et al.* (1991) que mencionan concentraciones de 0.086 , 0.070 y 0.001 mg L^{-1} para agua residual cruda del canal de Tlaminulpa, agua mezclada del canal de Xochitlán con la presa Requena y agua de pozo, respectivamente, en el Valle del Mezquital.

Los valores detectados en los canales de este estudio son superiores a los valores reportados por Mendoza (1981) que menciona concentraciones de 0.190 , 0.110 y 0.100 mg L^{-1} para agua residual del Gran Canal de Desagüe de la ZMCM. Pero, son inferiores a los mencionados por Carrillo *et al.* (1992) quienes reportan concentraciones de 0.64 mg L^{-1} para el canal Tlamaco-Atitalaquia, en Hidalgo. También son muy inferiores a los detectados por Hansen (1992) y Maya y Hansen (1995) en el Lago de Chapala, Edo. de Jalisco, donde detectaron concentraciones de 59 y 86 mg L^{-1} de níquel, respectivamente.

Los resultados obtenidos de níquel soluble en este trabajo son altos, ya que se asemejan a las concentraciones detectadas en el agua de riego del Valle del Mezquital que procede de la ZMCM, considerada como el agua residual de muy mala calidad del país, por lo cual la similitud del agua del río Atoyac con el agua del río Tula es alarmante, ya que de acuerdo con varios investigadores, éste último es uno de los ríos más contaminados del mundo (Méndez, 1982; Siebe, 1994).

El análisis de varianza mostró que no existieron diferencias significativas entre las medias de las concentraciones de níquel en los diferentes tipos de sitio en el mes de may94 (ver cuadro 7, apéndice B). El análisis de rango múltiple de Bonferroni (al 95 % de confianza) indicó que el testigo, los canales y la noria fueron estadísticamente iguales (ver apéndice C).

Las concentraciones de níquel en el agua del ejido Flores Magón presentaron una relación fuerte con el cromo soluble y una moderada con el Ni

total con coeficientes de correlación de -0.8526 y 0.7430, respectivamente (ver cuadro 13, apéndice B). Estas relaciones fueron estadísticamente significativas (con $P < 0.05$), la establecida con el Cr soluble fue inversamente proporcional a las concentraciones de este metal; mientras que la otra fue directamente proporcional a las concentraciones de níquel.

7.3.5. MANGANESO

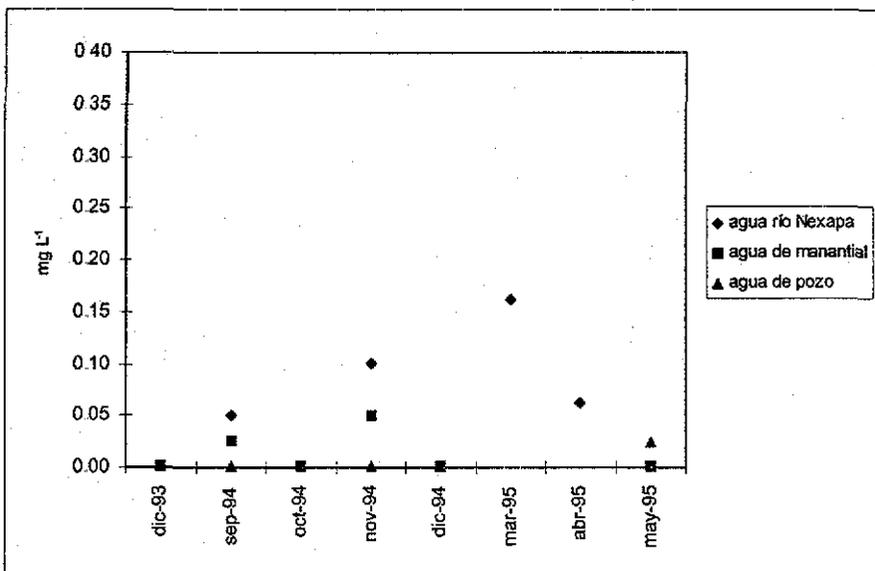
El manganeso es el 12º elemento más abundante en la corteza terrestre. Por su amplio uso industrial y la gran cantidad que de él se consume, es un contaminante potencial de la atmósfera.

Es un elemento esencial para algunas plantas y por esto tiene gran aplicación en la agricultura, la cual es en gran parte responsable de la contaminación del ambiente por este elemento.

Las formas más comunes en que el manganeso se presenta son la pirulosita (MnO_2), la bromita ($3Mn_2O_3 \cdot MnSiO_3$), la haussmanita (Mn_3O_4), el ferromanganeso, el silicomanganeso y el manganeso orgánico.

El Mn tiene amplias aplicaciones en la industria, ya que sirve de componente para varias aleaciones metálicas y para otros tipos de materiales como vidrio y cerámica. Además, puede originar compuestos químicos de mucho valor en la agricultura y la industria química (Galvao, *et al.* 1989).

Las concentraciones de manganeso a lo largo del muestreo fueron muy heterogéneas, detectándose las mayores concentraciones en diciembre de 1993 (ver tabla 14, apéndice A y fig. 7.27).



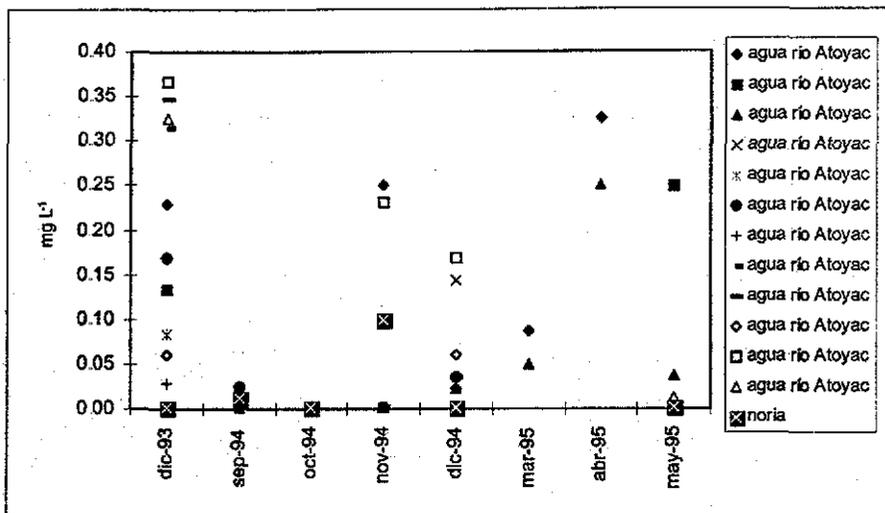


Fig. 7.27. Comportamiento mensual de Mn soluble del agua del ejido Flores Magón, Atlixco, Puebla.

Los valores de manganeso en el testigo en el mes de may94 presentaron un mínimo de 0.012 mg L^{-1} , un máximo de 0.012 mg L^{-1} , con un promedio de 0.012 mg L^{-1} (+- 0.0), en los canales un mínimo de 0.012 mg L^{-1} y un máximo de 0.024 mg L^{-1} con un promedio de 0.014 mg L^{-1} (+- 0.0013) y en la noria un mínimo de 0.012 mg L^{-1} y un máximo de 0.012 mg L^{-1} con un promedio de 0.012 mg L^{-1} (+- 0.0) (cuadro 7.2 y fig. 7.28).

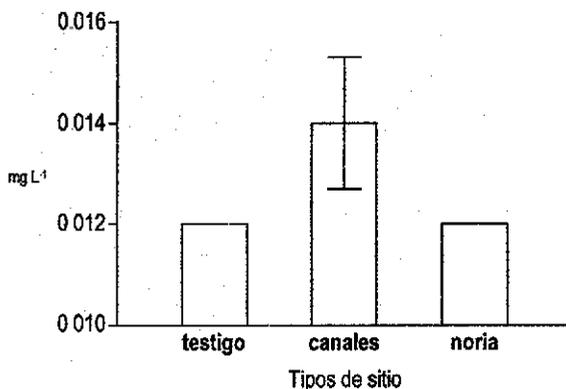


Fig. 7.28. Promedio (+- un error estándar) de las concentraciones de manganeso en el mes de may94 del agua del ejido Flores Magón, Atlixco, Puebla.

Galvao, *et al.* (1989), mencionan que las concentraciones en los ríos varían entre 0.02 y 530 $\mu\text{g L}^{-1}$.

Al comparar los resultados obtenidos con los niveles permisibles por la NOM-CCA-032-ECOL/93 y la US-EPA (1973), donde ambas toleran 0.20 mg L^{-1} , solo los canales rebasaron estas normas. Por otro lado, la NTE-CCA-032/91 tolera 0.02 mg L^{-1} (esta norma es más estricta), por lo cual si se comparan los resultados de este estudio con los niveles permisibles por ésta norma, éstos se encuentran muy excedidos en manganeso.

Al relacionar las cantidades de Mn encontradas en los canales de este trabajo con los niveles reportados por otros autores, en otras zonas del país, estas son similares a las mencionadas por Mendoza (1981), Sánchez (1985) y Cajuste *et al.* (1991) quienes detectaron concentraciones de 0.320, 0.320 y 0.323 mg L^{-1} para el Gran Canal de Desagüe de la ZMCM, canales de riego del Valle del Mezquital y agua residual cruda de Tlaminulpa. Pero, son superiores a las encontradas por Carrillo *et al.* (1992) quienes reportan concentraciones de 0.156 mg L^{-1} para agua residual mezclada del canal de Xochitlán con la presa Requena en el Valle de Mezquital. Las diferencias entre Atlixco y la ZMCM se deben a que el agua residual que proviene de los estados de Puebla y Tlaxcala está menos deteriorada que el agua residual de ZMCM que recibe una gran variedad de desechos industriales en la mayoría de los casos sin tratamiento alguno.

Respecto a las restricciones de Pb, Cr, Ni, Cd y Mn en el agua con fines agrícolas y en relación con su toxicidad, la EPA (1979) menciona que de acuerdo con su bioacumulación y la dificultad para biodegradarse, el Ni y el Mn son los menos problemáticos. La presencia de altas concentraciones de manganeso son menos preocupables, sin embargo, esto no significa que no se puedan tener problemas con este elemento en el agua de riego del ejido Flores Magón.

El análisis de varianza mostró que no existieron diferencias significativas entre las medias de las concentraciones de manganeso en los diferentes tipos de sitio en el mes de may94 (ver cuadro 7, apéndice B). El análisis de rango múltiple de Bonferroni (al 95 % de confianza) indicó que el testigo, los canales y la noria fueron estadísticamente iguales (ver apéndice C).

Las concentraciones de manganeso en el agua del ejido Flores Magón no presentaron correlaciones con ninguna variable (ver cuadros 12, 13 y 15, apéndice B).

7.3. SUELOS

7.3.1. Reacción del suelo

Los valores del pH en el testigo fluctuaron de 7.4 a 7.9 con un promedio de 7.66 (+ 0.145) y en el ejido de 7.4 a 8.1 con un promedio de 7.70 (-+ 0.051), los cuales de acuerdo con Jones and Wolf (1984) se clasifican como alcalinos (ver cuadro 3, apéndice B y fig. 7.29).

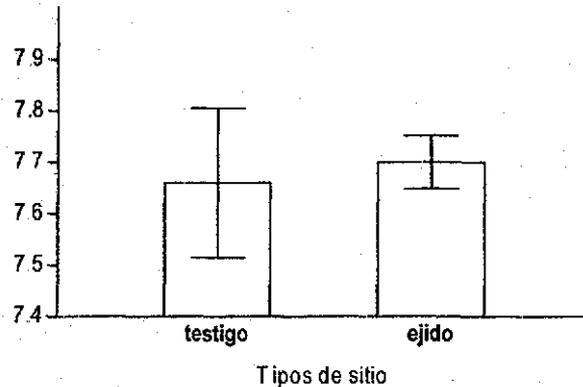


Fig. 7.29. Promedio (+ un error estándar) de los valores del pH de los suelos del ejido Flores Magón, Atlixco, Puebla.

Bohn, *et al.* (1993), mencionan que la alcalinidad de un suelo es el principal factor que limita la disponibilidad de los metales pesados en el suelo, lo cual es benéfico para la agricultura sobre todo en las zonas agrícolas donde se emplea el agua residual.

En el caso de la zona de estudio, la alcalinidad de los suelos de gran parte del Valle, podría deberse a su origen parental y debido a la topografía de la zona que es un área plana rodeada por cerros con pendientes pronunciadas, donde la precipitación anual (905.6 mm) contribuye con una fuerte lixiviación de las bases intercambiables Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^{+} y K^{+} hacia la parte plana reflejándose en las altas cantidades de los cationes antes mencionados, principalmente del calcio que satura casi la capacidad de intercambio catiónico del suelo.

Respecto al pH, ésta es una característica importante para el suelo por la influencia directa o indirecta en la disponibilidad de nutrientes, además de metales pesados. Los valores detectados en la zona de estudio son inferiores a los reportados por Flores *et al.* (1992) en cinco sitios del Valle del Mezquital, quienes mencionan valores de 8.1 a 8.4, y si en el Valle del Mezquital ya se han tenido problemas en los cultivos por la disponibilidad de metales pesados, con un valor del pH superior a los detectados en el Valle de Atlixco, razón de más para seguir de cerca la problemática del uso del agua residual en la zona, sobre todo en las áreas más arcillosas.

Hasta la fecha, en México, numerosas investigaciones han demostrado el efecto positivo de la alcalinidad del suelo y el agua con respecto a la precipitación de los metales pesados, tal es el caso del DR 063 en el Valle del Mezquital, donde el pH ha estado favoreciendo la precipitación de los metales pesados, quedando limitados a la solución del suelo (Hernández, 1990; Cajuste, *et al.* 1991 y Flores, *et al.* 1992).

Al comparar el pH de los suelos que se riegan con agua residual (ejido), estos son ligeramente más altos que el testigo que se riega con agua de pozo, por lo que el uso de agua residual ha estado contribuyendo con los valores del pH alcalinos que predominan en la región (ver tabla 15, apéndice A).

El análisis de varianza indicó que no existieron diferencias significativas entre los valores medios de pH (ver cuadro 8, apéndice B). El análisis de rango múltiple de Bonferroni (al 95 % de confianza) mostró que los suelos del testigo y del ejido estadísticamente fueron iguales (ver apéndice C).

Los valores del pH del suelo del ejido Flores Magón no presentaron correlaciones con ninguna variable (ver cuadros 14 y 15, apéndice B).

7.3.2. Cationes intercambiables

7.3.2.1. Calcio y Magnesio

Las concentraciones de los cationes Ca^{2+} y Mg^{2+} en el testigo fluctuaron de 2.65 a 9.01 y de 2.65 a 7.95 cmol kg^{-1} , con un promedio de 6.53 cmol kg^{-1}

(± 1.96) y $5.47 \text{ cmol kg}^{-1}$ (± 1.54), respectivamente. En el ejido variaron de 14.31 a $23.32 \text{ cmol kg}^{-1}$ y de 6.36 a $11.6 \text{ cmol kg}^{-1}$ con un promedio de 17.97 (± 0.80) y 9.18 (± 0.43) cmol kg^{-1} , respectivamente (ver cuadro 3, apéndice B y fig. 7.30)

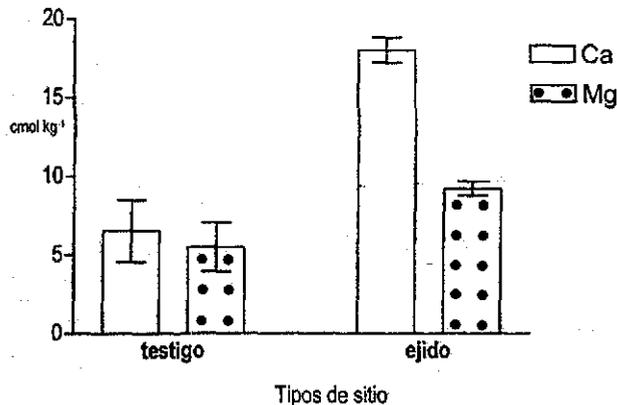


Fig. 7.30. Promedio (\pm un error estándar) de las concentraciones de calcio y magnesio en los suelos del ejido Flores Magón, Atlixco, Puebla.

Los valores de calcio y magnesio de acuerdo con Etchevers, *et al.* (1971) se consideran como altos, ya que superan los 10 y 3.0 cmol kg^{-1} , respectivamente. Ortega (1985), menciona que es muy común que la lixiviación de cationes se acentúe en los suelos con pendientes pronunciadas, como ocurre en el Valle de Atlixco, donde se corre el riesgo de una acumulación de sales en las partes bajas. Por otro lado, estos valores de acuerdo con Boul (1981) están dentro de lo que se ha reportado para suelos arcillosos de reacción alcalina, donde la presencia de carbonatos es común, y tanto el calcio como el magnesio juegan un papel importante en las reacciones de intercambio.

Al relacionar los valores de Ca^{2+} y Mg^{2+} detectados en la zona de estudio con los obtenidos por varios autores, entre ellos Hernández *et al.* (1994) en suelos impactados por el uso de agua residual en el Valle del Mezquital, estos son superiores a los reportados por estos autores, que mencionan concentraciones de 1.3 a 7.6 y de 0.94 a $5.24 \text{ cmol kg}^{-1}$ respectivamente. Esta comparación se hace principalmente tomando en cuenta el tipo de agua que se utiliza para riego, más

que por el origen, clima y tipos de suelos de ambas localidades. Respecto a las elevadas concentraciones de Ca^{2+} y Mg^{2+} , gran parte de estas provienen del agua de riego, aunque la mayor cantidad se debe al origen del suelo. Sin embargo, de acuerdo con Adriano (1986) las altas concentraciones de calcio y magnesio en los suelos son benéficos ya que amortiguan los efectos tóxicos de metales pesados, tanto en el suelo como en el agua.

Por otro lado, el efecto del agua residual se ha acentuado en los suelos, donde las cantidades de Ca^{2+} y Mg^{2+} son muy superiores en los sitios regados con esta clase de agua (ejido), que los sitios alejados del río Atoyac donde se riega con agua de pozo (testigo).

Por otro lado, de acuerdo con Maya y Hansen (1995) la presencia de altas concentraciones de cationes metálicos como el Ca^{2+} y el Mg^{2+} contrarrestan el efecto de los metales pesados divalentes como el Cd^{2+} y Pb^{2+} entre otros iones en el suelo, agua y sedimentos. Desde el punto de vista agrícola las altas cantidades de calcio y magnesio son de vital importancia para algunos cultivos como el maíz, frijol, alfalfa y cacahuete que son exigentes en calcio, sobre todo este último (Acevedo, 1992).

El análisis de varianza indicó que existieron diferencias significativas (con $P < 0.05$) entre las concentraciones medias de calcio y magnesio (ver cuadro 8, apéndice B). El análisis de rango múltiple de Bonferroni (al 95% de confianza) mostró que la diferencia entre el testigo y el ejido fue de 11.43 y 3.71 cmol kg^{-1} para calcio y magnesio, respectivamente (ver apéndice C).

Las concentraciones de calcio y magnesio no establecieron correlaciones con ninguna variable (ver cuadros 14 y 15, apéndice B).

7.3.2.2. Sodio y Potasio

Las concentraciones de los cationes Na^+ y K^+ en el testigo fluctuaron de 0.017 a 0.64 y de 0.25 a 0.53 cmol kg^{-1} , con un promedio de 0.34 cmol kg^{-1} (+ 0.18) y 0.41 cmol kg^{-1} (+ 0.08), respectivamente. En el ejido variaron de 0.64 a 1.8 cmol kg^{-1} y de 0.46 a 1.86 cmol kg^{-1} con un promedio de 0.9 (+ 0.08) y 0.83 (+ 0.11) cmol kg^{-1} , respectivamente (ver cuadro 3, apéndice B y fig. 7.31).

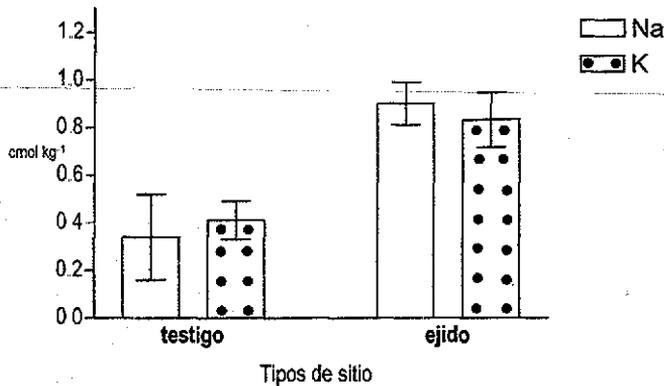


Fig. 7.31. Promedio (+ un error estándar) de las concentraciones de sodio y potasio en los suelos del ejido Flores Magón, Atlixco, Puebla.

El Na^+ , es un catión no esencial para las plantas (Salisbury, 1978). Llama la atención su presencia en el ejido, donde se detectaron concentraciones de hasta $1.80 \text{ cmol kg}^{-1}$, mientras que en el testigo las concentraciones de sodio son más bajas. Esta diferencia de concentraciones se debe a que el agua residual del río Atoyac está aportando este tipo de sales al suelo.

La presencia de sodio intercambiable hasta cierto punto y no obstante a las altas concentraciones de calcio y magnesio indica que, el sodio ha estado desplazando a estos cationes de los sitios de intercambio, lo cual es un aviso de un serio problema que se puede tener a futuro. Como ocurre actualmente en gran parte del Valle del Mezquital, donde Flores *et al.* (1992) reportan hasta 14.4 meq L^{-1} de Na^+ soluble del extracto de suelo saturado, sobre todo tratándose de suelos arcillosos, con permeabilidades deficientes.

Respecto al potasio, en el ejido se detectaron más de 1 cmol kg^{-1} . De acuerdo con Etchevers, *et al.* (1971), estas concentraciones son altas ya que rebasan los $0.61 \text{ cmol kg}^{-1}$. Las cantidades de este elemento son características de suelos regados con agua residual, las cuales se incorporan al suelo, al igual que otros elementos como el fósforo.

El análisis de varianza indicó que existieron diferencias significativas (con $P < 0.05$) entre las concentraciones medias de sodio; mientras que en las de

potasio no existieron diferencias significativas (cuadro 8, apéndice B). El análisis de rango múltiple de Bonferroni (al 95% de confianza) mostró que la diferencia entre el testigo y el ejido fue de $0.565 \text{ cmol kg}^{-1}$. En el caso del potasio mostró que los suelos del testigo y del ejido estadísticamente fueron iguales (ver apéndice C).

Las concentraciones de sodio y potasio no establecieron correlaciones con ninguna variable (ver cuadros 14 y 15, apéndice B).

7.3.3. Capacidad de Intercambio Catiónico Total

Los valores de la CICT en el testigo variaron de 4.7 a $22.3 \text{ cmol kg}^{-1}$ con un promedio de $14.10 \text{ cmol kg}^{-1}$ (+ 5.11), en el ejido fluctuaron de 21.7 a $37.5 \text{ cmol kg}^{-1}$ con un promedio de $30.11 \text{ cmol kg}^{-1}$ (+ 1.41) (cuadro 3, apéndice B y fig. 7.32).

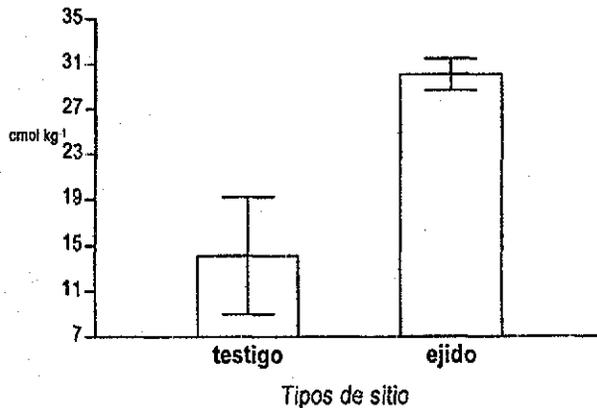


Fig. 7.32. Promedio (+ un error estándar) de las concentraciones de la capacidad de intercambio catiónico total en los suelos del ejido Flores Magón, Atlixco, Puebla.

De acuerdo con Fassbender y Bomemisza (1987) la CIC es de gran importancia, ya que de ella depende en gran medida el suministro continuo de nutrimentos para las plantas.

Por otra parte, los suelos con altas capacidades de intercambio son los que acumulan las mayores cantidades de metales por el alto contenido de arcilla y materia orgánica entre otros coloides del suelo (Bornemisza, 1982).

El valor promedio de la CICT detectado en el ejido ($30.11 \text{ cmol kg}^{-1}$) es inferior a los valores promedio encontrados por Flores *et al.* (1992) en varios sitios en el Valle del Mezquital que mencionan capacidades de 32.6 a $43.5 \text{ cmol kg}^{-1}$. Esta diferencia se debe fundamentalmente a que en el Valle del Mezquital el agua residual se ha venido empleando desde fines del siglo pasado y con ello la materia orgánica se ha incrementado, como lo han mencionado Méndez (1982), Gutiérrez (1982) y Siebe (1994).

El análisis de varianza indicó que existieron diferencias significativas (con $P < 0.05$) entre las concentraciones medias de la CICT (cuadro 8, apéndice B). El análisis de rango múltiple de Bonferroni (al 95% de confianza) mostró que la diferencia entre el testigo y el ejido fue de $16.01 \text{ cmol kg}^{-1}$ (ver apéndice C).

Los valores de la capacidad de intercambio catiónico de los suelos del ejido Flores Magón presentaron una relación fuerte con el % de limo y una moderada con los % de arcilla y arena con coeficientes de 0.8151, 0.6254 y -0.7908, respectivamente. Las dos primeras relaciones fueron directamente proporcionales a las concentraciones de la CICT y la última fue inversamente proporcional a los valores de ésta variable. Estas relaciones fueron estadísticamente significativas (con $P < 0.05$) (ver cuadro 14, apéndice B). También presentó una relación moderada con el Cd extractable con un coeficiente de 0.5925. Esta relación fue estadísticamente significativa y directamente proporcional a las concentraciones de la CICT (ver cuadro 15, apéndice B).

7.3.4. Materia Orgánica

Las concentraciones de materia orgánica en el testigo variaron de 0.75 a 1.94 % con un promedio de 1.23 % (+ 0.36), en el ejido fluctuaron de 0.96 a 2.66 % con un promedio de 1.92 % (+ 0.15) (ver cuadro 3, apéndice B y fig. 7.33).

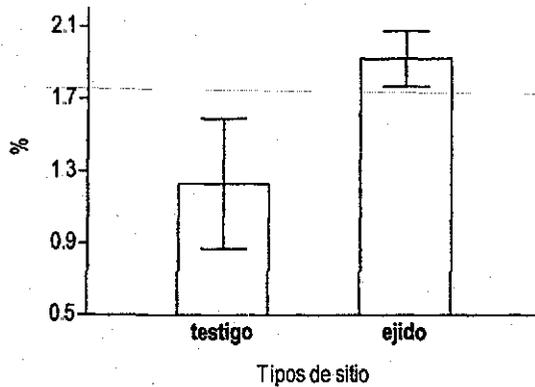


Fig. 7.33. Promedio (+ un error estándar) de las concentraciones de materia orgánica en los suelos del ejido Flores Magón, Atlixco, Puebla.

De acuerdo con Velasco (1980) los suelos de la zona de estudio se clasifican de pobres a medianamente ricos.

Al comparar las cantidades de MO de los suelos de Atlixco con las reportadas por Flores *et al.* (1992) para el Valle del Mezquital, los valores son inferiores a las detectadas por estos autores, ya que las concentraciones fluctuaron de 2.28 a 4.15 %. Estas diferencias probablemente se deben a que los suelos del Valle del Mezquital se han beneficiado con el empleo de aguas residuales un mayor tiempo, el cual data de fines del siglo pasado. Mientras en la zona de Atlixco el empleo de agua residual es reciente (aproximadamente 30 años). Esta diferencia es más clara si tomamos en cuenta que en el Valle del Mezquital, de acuerdo con Méndez (1982) se obtienen los más altos rendimientos sin el uso de fertilizantes y en Atlixco, se ha tenido que fertilizar con N-P y aún así los rendimientos no son comparables.

El análisis de varianza indicó que no existieron diferencias significativas entre las medias de los porcentajes de MO (ver cuadro 8, apéndice B). El análisis de rango múltiple de Bonferroni (al 95% de confianza) mostró que los suelos del testigo y el ejido fueron estadísticamente iguales (ver apéndice C).

Los porcentajes de materia orgánica de los suelos del ejido Flores Magón presentaron una relación moderada con el % de NT con un coeficiente de 0.7816

(ver cuadro 14, apéndice B). Esta relación fue estadísticamente significativa (con $P < 0.05$) y directamente proporcional a los porcentajes de materia orgánica. También presentó una relación fuerte con el Pb extractable y una moderada con el Mn extractable con coeficientes de 0.8363 y 0.5749, respectivamente (ver cuadro 15, apéndice B). Estas relaciones fueron estadísticamente significativas (con $P < 0.05$) y directamente proporcionales a los porcentajes de ésta variable.

7.3.5. Nitrógeno total

Las concentraciones de nitrógeno en el testigo variaron de 0.047 a 0.058 % con un promedio de 0.053 % (± 0.0036), en el ejido fluctuaron de 0.058 a 0.159 % con un promedio de 0.122 % (± 0.0083) (ver cuadro 3, apéndice B y fig. 7.34).

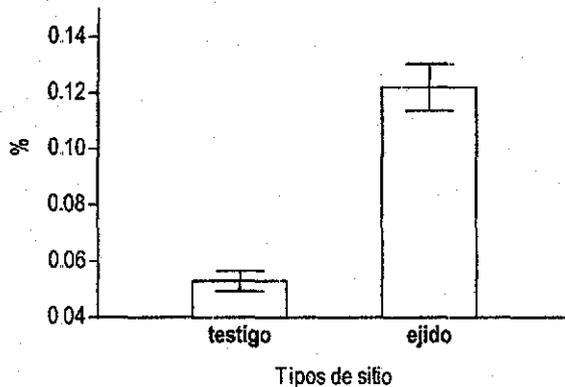


Fig. 7.34. Promedio (\pm un error estándar) de las concentraciones de nitrógeno total en los suelos del ejido Flores Magón, Atlixco, Puebla.

Tomando en cuenta éstos valores, los suelos analizados para este estudio se clasifican de medianamente pobres a medianamente ricos en nitrógeno total (Moreno, 1978). Tomando en cuenta los valores promedio, según el mismo autor se clasifican como medianos en este constituyente, siendo un claro reflejo de los bajos porcentajes de materia orgánica en estos suelos, aunque, en el caso de Atlixco las altas temperaturas contribuyen con la rápida mineralización de la materia orgánica.

El análisis de varianza indicó que existieron diferencias significativas (con $P < 0.05$) entre las medias de los porcentajes de nitrógeno (ver cuadro 8, apéndice B). El análisis de rango múltiple de Bonferroni (al 95% de confianza) mostró que la diferencia entre el testigo y el ejido fue de 0.06 % (ver apéndice C).

Los porcentajes de nitrógeno de los suelos del ejido Flores Magón presentaron una relación moderada con los % de limo, MO, arcilla y arena con coeficientes de 0.6383, 0.7816, 0.5802 y -0.6938, respectivamente (ver cuadro 14, apéndice B). Estas relaciones fueron estadísticamente significativas (con $P < 0.05$) y directamente proporcional a los porcentajes de nitrógeno, excepto la establecida con la arena que fue inversamente proporcional a los porcentajes de ésta variable. También presentó una relación fuerte con el Pb y el Mn extractables y una moderada con el Ni extractable con coeficientes de 0.8094, 0.8296 y 0.6728, respectivamente (ver cuadro 15, apéndice B). Estas relaciones fueron estadísticamente significativas (con $P < 0.05$) y directamente proporcionales a los porcentajes de este elemento.

7.3.6. Carbonatos insolubles totales

Las concentraciones de carbonatos insolubles totales en el testigo variaron de 1.05 a 2.83 % con un promedio de 1.65 % (+ 0.58), en el ejido fluctuaron de 1.47 a 4.22 % con un promedio de 2.54 % (+ 0.21) (ver cuadro 3, apéndice B y fig. 7.35).

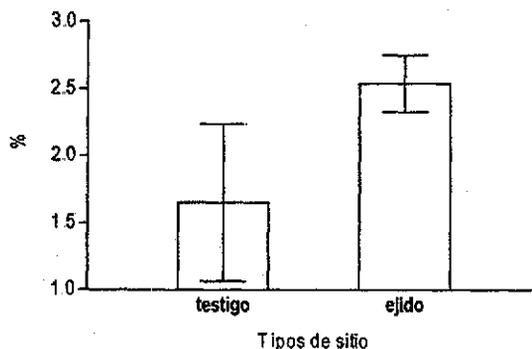


Fig. 7.35. Promedio (+ un error estándar) de las concentraciones de carbonatos insolubles en los suelos del ejido Flores Magón, Atlixco, Puebla

Generalmente las concentraciones de carbonatos en los suelos son bajas, ya que de acuerdo con Bohn *et al.* (1993) este anión junto con los sulfatos son los más perjudiciales para el desarrollo de las plantas, pues cuando se combinan con el Na^+ elevan el pH de la solución del suelo.

Afortunadamente las elevadas concentraciones de calcio en los suelos de la zona de estudio, se combinan con los CO_3^{2-} para formar sales de reacción neutra a ligeramente alcalinas. Aunque los carbonatos, no son abundantes en el suelo estudiado, si no se controla el pH, éstos se presentarían de forma perjudicial para el suelo.

El análisis de varianza indicó que no existieron diferencias significativas entre las medias de los porcentajes de carbonatos (ver cuadro 8, apéndice B). El análisis de rango múltiple de Bonferroni (al 95% de confianza) mostró que los suelos del testigo y el ejido fueron estadísticamente iguales (ver apéndice C).

Los porcentajes de carbonatos insolubles de los suelos del ejido Flores Magón presentaron una relación moderada con el % de arcilla con un coeficiente de 0.5518 (ver cuadro 14, apéndice B). Esta relación fue estadísticamente significativa (con $P < 0.05$) y directamente proporcional a los porcentajes de carbonatos.

7.3.7. Fósforo

Otra de las propiedades de un suelo para su caracterización con fines de fertilidad, es el fósforo. Al respecto, en la zona de estudio las concentraciones asimilables de este elemento en el testigo fluctuaron de 19.4 a 29 mg kg^{-1} con un promedio de 23.80 mg kg^{-1} (+- 2.80), en el ejido variaron de 7.0 a 74.2 mg kg^{-1} con un promedio de 31 mg kg^{-1} (ver cuadro 3, apéndice B y fig. 7.36).

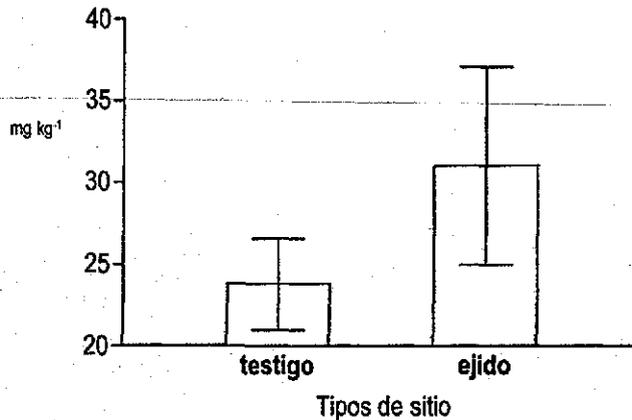


Fig. 7.36. Promedio (+ un error estándar) de las concentraciones de fósforo en los suelos del ejido Flores Magón, Atlixco, Puebla.

Según CSTPA (1980) el P asimilable es alto en el testigo y en el ejido. En este sentido, lo más probable es que las altas cantidades de fósforo, se deban principalmente a que el P de los fertilizantes se ha estado acumulando o el muestreo coincidió con el período de fertilización.

Respecto a los nutrientes, el N, P y K además de la MO se han estado incorporando al suelo por el agua de riego que es rica en estos elementos, lo cual desde el punto de vista de fertilidad es benéfico.

El análisis de varianza indicó que no existieron diferencias significativas entre las medias de las concentraciones de fósforo (ver cuadro 8, apéndice B). El análisis de rango múltiple de Bonferroni (al 95% de confianza) mostró que los suelos del testigo y el ejido fueron estadísticamente iguales (ver apéndice C).

Las concentraciones de fósforo asimilable de los suelos del ejido Flores Magón presentaron una relación moderada con el Ni extractable y el Cr total con coeficientes de 0.5373 y 0.6393 (ver cuadro 15, apéndice B). Estas relaciones fueron estadísticamente significativas (con $P < 0.05$) y directamente proporcionales a las concentraciones de este elemento.

7.3.8. Textura

Los porcentajes de arena, limo y arcilla en el testigo variaron de 61.12 a 92.76 %, de 3.64 a 25.28 % y de 3.6 a 13.6 % con un promedio de 74.33 % (+- 9.49), 16.06 % (+- 6.45) y de 9.60 % (+-3.05), respectivamente. En el ejido fluctuaron de 31.12 a 55.12 %, de 21.28 a 41.64 % y de 15.24 a 31.6 % con un promedio de 44.72 % (+- 2.11), 31.74 % (+- 1.68) y de 22.86 % (+- 1.60), respectivamente (ver cuadro 3, apéndice B y fig. 7.37).

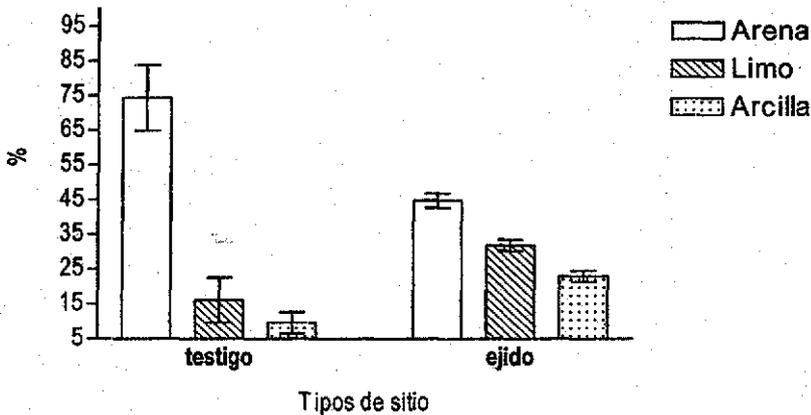


Fig. 7.37. Promedio (+- un error estándar) de la textura en los suelos del ejido Flores Magón, Atlixco, Puebla

De acuerdo con INEGI (1987) la mayoría de los suelos del municipio de Atlixco son de texturas arenosas, sin embargo, en algunas zonas muy localizadas del Valle, existen suelos cuyas texturas son finas, donde los porcentajes de arcilla son considerables, pero, en la zona de estudio, las texturas más frecuentes encontradas son: franco, migajón arcillo arenoso, migajón arenoso y arenoso (ver tabla 15, apéndice A).

El contenido de arcilla en suelos es importante, sobre todo cuando estos se riegan con agua residual sin tratamiento alguno, como es el caso del agua del río Atoyac cuyas aguas aportan ciertas cantidades de metales pesados, los cuales pueden adsorberse a los coloides del suelo incluyendo las arcillas.

El análisis de varianza indicó que existieron diferencias significativas (con $P < 0.05$) entre las medias de los porcentajes de arena, limo y arcilla (ver cuadro 8, apéndice B). El análisis de rango múltiple de Bonferroni (al 95% de confianza) mostró que las diferencias entre el testigo y el ejido fueron de 29.60, 15.68 y 13.20 %, respectivamente (ver apéndice C).

Los porcentajes de arena de los suelos del ejido Flores Magón presentaron una relación moderada con el Cd extractable y con el Mn extractable con coeficientes de -0.7268 y -0.5267. Estas relaciones fueron inversamente proporcionales a los porcentajes de arena. Los % de limo presentaron una relación moderada con el Cd extractable con un coeficiente de 0.7818 (ver cuadro 15, apéndice B). Esta relación fue directamente proporcional a los porcentajes de limo. Todas estas relaciones fueron estadísticamente significativas (con $P < 0.05$).

7.4. Metales extractables con DTPA.

7.4.1. PLOMO

Las concentraciones de plomo extractable con DTPA-TEA-CaCl₂ en el testigo fluctuaron de 2.0 a 3.7 mg kg⁻¹ con un promedio de 2.6 mg kg⁻¹ (+0.54), en el ejido variaron de 2.1 a 7.3 mg kg⁻¹ con un promedio de 4.8 mg kg⁻¹ (+0.38) (ver cuadro 4, apéndice B y fig. 7.38).

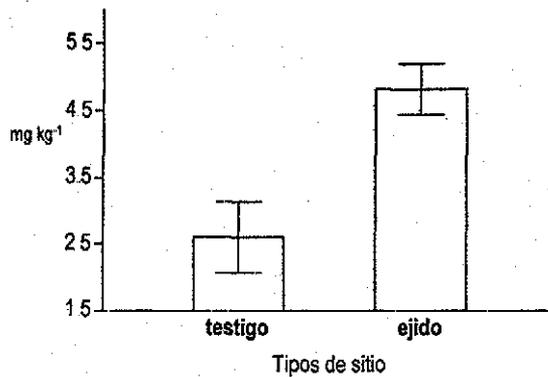


Fig. 7.38. Promedio (+ un error estándar) de las concentraciones de plomo extractable con DTPA en los suelos del ejido Flores Magón, Atlixco, Puebla.

Las cantidades de Pb extractable coinciden con las detectadas por El Hassanin (1993) en suelos de Egipto regados por varias décadas con aguas residuales, quien reporta 4.8 mg kg⁻¹ para una profundidad de 0 a 10 cm. Pero son inferiores a las de Seaker (1991), quien reporta hasta 11.40 µg g⁻¹ de Cd extractable en suelos de Philadelphia, después de dos años de aplicación de lodos residuales. Las concentraciones de Pb extractable en este trabajo son muy inferiores a las detectadas por Cajuste *et al.* (1991) en suelos de Tlaminulpa, Edo. de Hgo., quienes mencionan 17 mg kg⁻¹ en la capa superficial (0 a 8 cm); también son inferiores a las cantidades detectadas por Hernández *et al.* (1994) en suelos de la serie Actopan, Progreso y Tepatepec, en la zona del Valle del Mezquital,

Edo. de Hidalgo, donde encontraron concentraciones de 44.8, 51.2 y 27.2 mg kg⁻¹ en el horizonte Ap en los tres perfiles de estos sitios, respectivamente.

Las diferencias entre las cantidades de Pb extractable en este trabajo con las de la zona del Valle del Mezquital son altas, las cuales se deben fundamentalmente al tipo de agua, así como el tiempo al que ambos suelos han sido sujetos al riego con agua residual. En el Valle del Mezquital el uso de agua residual data de fines del siglo pasado y en Atlixco es reciente (aproximadamente 30 años), por lo cual existe cierta preocupación por la presencia de otros metales pesados en el suelo, que son bioacumulables y no biodegradables, los cuales llegan al hombre en forma indirecta en la cadena natural agua-suelo-planta-hombre.

El análisis de varianza indicó que existieron diferencias significativas (con $P < 0.05$) entre las medias de los valores de plomo (ver cuadro 9, apéndice B). El análisis de rango múltiple de Bonferroni (al 95 % de confianza) mostró que la diferencia entre el testigo y el ejido fue de 2.21 mg kg⁻¹ (ver apéndice C). Esta diferencia se debe a que los suelos del ejido son regados con agua residual del río Atoyac; mientras que los suelos del testigo son regados con agua de pozo.

Las concentraciones de Pb extractable en los suelos del ejido Flores Magón presentaron una relación moderada con el Mn extractable con un coeficiente de 0.7366 (ver cuadro 13, apéndice B). Esta relación fue directamente proporcional a las concentraciones de plomo. También presentó una relación fuerte con el nitrógeno y la materia orgánica del suelo con coeficientes de 0.8094 y 0.8363 (ver cuadro 15, apéndice B). Estas relaciones fueron directamente proporcionales a las concentraciones de este metal. Todas estas relaciones fueron estadísticamente significativas (con $P < 0.05$).

Scokart *et al.* (1983) reporta que la materia orgánica es el principal componente del suelo responsable para la inmovilidad de metales pesados en suelos ácidos y neutros.

7.4.2. CROMO

Las concentraciones de cromo extractable con DTPA-TEA- CaCl_2 en el testigo fluctuaron de < 0.04 a $< 0.04 \text{ mg kg}^{-1}$ con un promedio de $< 0.04 \text{ mg kg}^{-1}$ (± 0.0), en el ejido variaron de < 0.04 a $< 0.04 \text{ mg kg}^{-1}$ con un promedio de $< 0.04 \text{ mg kg}^{-1}$ (± 0.0) (ver cuadro 4, apéndice B y fig. 7.39).

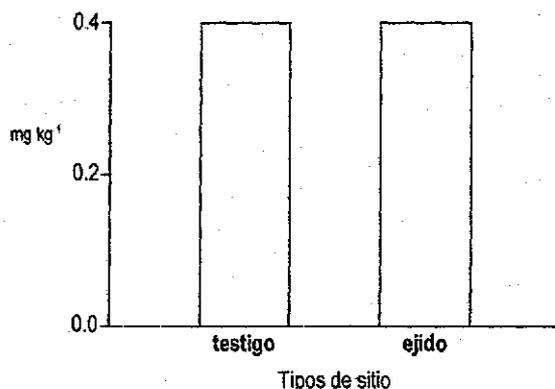


Fig. 7.39. Promedio (\pm un error estándar) de las concentraciones de cromo extractable con DTPA en los suelos del ejido Flores Magón, Atlixco, Puebla

El hecho de que en la mayoría de los sitios el Cr extractable con DTPA se haya detectado en concentraciones ínfimas (ver tabla 16, apéndice A), no significa que en la zona de estudio este elemento no este presente, ya que las concentraciones de cromo total en estos suelos son considerables. Esto indica que el Cr aportado por el agua residual, lo más probable es que se este precipitando en el suelo, como ocurre con la mayoría de los metales pesados donde prevalecen valores de pH alcalino.

Las concentraciones de cromo extractable en los suelos del ejido Flores Magón no presentaron correlaciones con ninguna variable (ver cuadros 12, 13 y 15, apéndice B).

7.4.3. CADMIO

Las concentraciones de cadmio extractable con DTPA-TEA-CaCl₂ en el testigo fluctuaron de 0.2 a 0.3 mg kg⁻¹ con un promedio de 0.27 mg kg⁻¹ (+- 0.03), en el ejido variaron de 0.3 a 0.4 mg kg⁻¹ con un promedio de 0.32 mg kg⁻¹ (+- 0.012) (ver cuadro 4, apéndice B y fig. 7.40).

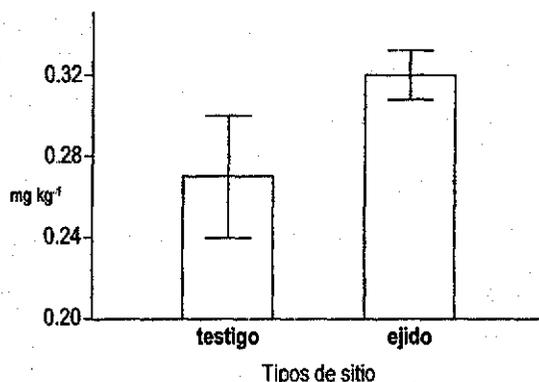


Fig. 7.40. Promedio (+- un error estándar) de las concentraciones de cadmio extractable con DTPA en los suelos del ejido Flores Magón, Atlixco, Puebla.

De acuerdo con varios autores, entre los cuales se encuentran Adriano (1992) y Sposito (1994) este elemento actualmente se le encuentra en cantidades considerables en la cadena natural agua-suelo-organismo, a consecuencia de que su uso se ha diversificado.

Las concentraciones de Cd detectadas en este trabajo son inferiores a las reportadas por Mendoza (1981), Cajuste *et al.* (1991), Hernández *et al.* (1994), Siebe (1994) y Siebe y Cifuentes (1995) quienes encontraron concentraciones de 5.3, 1.5, 7.72, 1.55 y 1.65 mg kg⁻¹ en suelos superficiales de Tlahuelilpan, Tlaminulpa, sitio 62, Serie Atocpan, Feozem y Leptosoles, respectivamente, en suelos regados con agua residual en el Valle del Mezquital, Hgo. Los valores detectados de Cd en este trabajo son semejantes a los obtenidos por Carrillo *et al.* (1992) en el municipio de Progreso, Hgo., quienes detectaron concentraciones de 0.4 a 1.0 mg kg⁻¹.

Por otro lado, al relacionar las concentraciones de Cd extractable con las obtenidas en otros países, con el mismo extractante que se empleó en este trabajo (DTPA-TEA-CaCl₂ pH 7.3), estas son semejantes a las obtenidas por Moreno *et al.* (1992), quienes mencionan concentraciones hasta de 0.36 mg kg⁻¹ para suelos del suroeste de Madrid. Son superiores a las de El Hassanin *et al.* (1993) ya que mencionan valores de 0.12 mg kg⁻¹ para suelos de Egipto. Pero, son inferiores a las de Hue and Subasinge (1994), quienes obtuvieron concentraciones de 1.19 mg kg⁻¹ para suelos de Kailua en Hawaii.

El análisis de varianza indicó que no existieron diferencias significativas (con $P < 0.05$) entre las medias de los valores de cadmio (ver cuadro 9, apéndice B). El análisis de rango múltiple de Bonferroni (al 95 % de confianza) mostró que los suelos del testigo y del ejido fueron estadísticamente iguales (ver apéndice C)

Las concentraciones de Cd extractable en los suelos del ejido Flores Magón presentaron una relación moderada con la arena del suelo con un coeficiente de -0.7268 (ver cuadro 15, apéndice B). Esta relación fue inversamente proporcional a las concentraciones de este elemento. También presentó una relación moderada con el limo y la CICT con coeficientes de 0.7818 y 0.5925, respectivamente (ver cuadro 15, apéndice B). Estas relaciones fueron directamente proporcionales a las concentraciones de este metal. Todas estas relaciones fueron estadísticamente significativas (con $P < 0.05$).

7.4.4. NÍQUEL

Las concentraciones de níquel extractable con DTPA-TEA-CaCl₂ en el testigo fluctuaron de 4 a 7 mg kg⁻¹ con un promedio de 5.7 mg kg⁻¹ (+- 0.87), en el ejido variaron de 4 a 8 mg kg⁻¹ con un promedio de 6.5 mg kg⁻¹ (+- 0.38) (ver cuadro 4, apéndice B y fig. 7.41).

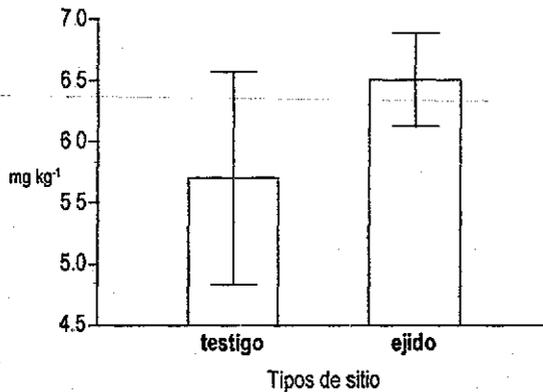


Fig. 7.41. Promedio (+ un error estándar) de las concentraciones de níquel extractable con DTPA en los suelos del ejido Flores Magón, Atlixco, Puebla.

Como se observa en la tabla 16 (ver apéndice A), el Ni extractable es muy homogéneo, lo cual no ocurrió en el agua. De acuerdo con Adriano (1992), esta característica es común en la mayoría de los suelos del mundo, ya que el níquel es un elemento que se le encuentra con frecuencia, tanto en forma total como extractable.

Las cantidades detectadas de Ni extractable en este trabajo, son muy superiores a las detectadas por Cajuste *et al.* (1991) y Carrillo *et al.* (1992) quienes mencionan concentraciones de 0.40, 0.20, 0.09 y 0.5, 0.2, 0.09 mg kg⁻¹, respectivamente en suelos superficiales (0 a 8 cm) de Tlaminulpa, Xochitlán y El Arenal (sitio control) en el Valle del Mezquital.

Por otro lado, las cantidades detectadas son semejantes a las reportadas por Hue and Subasinghe (1994) quienes mencionan valores que fluctuaron de 0.95 a 8.76 mg kg⁻¹ en suelos agrícolas de Hawaii, donde se han aplicado lodos residuales. Los valores detectados son inferiores a los que han reportado Mendoza (1981) y McBride (1994) quienes mencionan valores de níquel de 17, 23 y 33; 13 a 30 mg kg⁻¹ para suelos del Valle del Mezquital y de Estados Unidos, respectivamente.

Finalmente, el que haya concentraciones considerables de Ni extractable en los suelos del ejido Flores Magón, aparte de su contenido en el material parental, hace suponer que el agua residual juega un papel importante. La EPA

(1979), menciona que se trata de un elemento bioacumulable, dado que una vez que se incorpora al organismo, no es biodegradable.

El análisis de varianza indicó que no existieron diferencias significativas entre las medias de las concentraciones de níquel (ver cuadro 9, apéndice B). El análisis de rango múltiple de Bonferroni (al 95 % de confianza) mostró que los suelos del testigo y del ejido fueron estadísticamente iguales (ver apéndice C).

Las concentraciones de níquel extractable en los suelos del ejido Flores Magón presentaron una relación fuerte y una moderada con el Mn extractable y con el Cr presente en las plantas, con coeficientes de 0.8605 y 0.6055, respectivamente (ver cuadro 13, apéndice B). También presentó una relación moderada con el NT y con el P del suelo con coeficientes de 0.6728 y 0.5373 (ver cuadro 15, apéndice B). Todas estas relaciones fueron estadísticamente significativas (con $P < 0.05$) y directamente proporcionales a las concentraciones de este metal.

7.4.5. MANGANESO

Las concentraciones de manganeso extractable con DTPA-TEA- CaCl_2 en el testigo fluctuaron de 43 a 84 mg kg^{-1} con un promedio de 61 mg kg^{-1} (± 12.0), en el ejido variaron de 43 a 121 mg kg^{-1} con un promedio de 92 mg kg^{-1} (± 6.35) (ver cuadro 4, apéndice B y fig. 7.42).

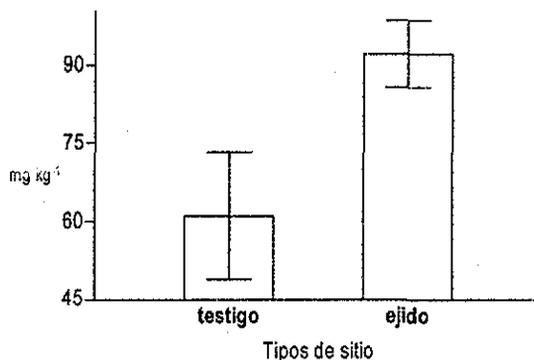


Fig. 7.42. Promedio (\pm un error estándar) de las concentraciones de manganeso extractable con DTPA en los suelos del ejido Flores Magón, Atlixco, Puebla.

Los valores detectados en este trabajo son muy superiores a los detectados por Cajuste *et al.* (1991) y Carrillo *et al.* (1992) quienes reportan concentraciones hasta de 14.0 y 24.0 mg kg⁻¹ extraídos con DTPA-TEA-CaCl₂ pH 7.3 en suelos de Tlaminulpa y Xochitlán en el Valle del Mezquital, Hgo., respectivamente. La diferencia de los valores entre la zona de estudio y la del Valle del Mezquital son altas, lo cual se debe probablemente y al tipo de suelo. En el Valle del Mezquital los suelos son arenosos y en el Valle de Atlixco son más arcillosos.

Los valores obtenidos coinciden con McBride (1994) quien menciona un rango mundial promedio de 80 a 1300 mg kg⁻¹. También coincide con Hue and Subasinghe (1994) quienes detectaron concentraciones de Mn de 5.3 a 172 mg kg⁻¹ en suelos de Hawaii donde se han aplicado lodos residuales.

El análisis de varianza indicó que existieron diferencias significativas (con $P < 0.05$) entre las medias de los valores de manganeso (ver cuadro 9, apéndice B). El análisis de rango múltiple de Bonferroni (al 95 % de confianza) mostró que la diferencia entre el testigo y el ejido fue de 30.71 mg kg⁻¹ (ver apéndice C). Esta diferencia se debe a que los suelos del ejido son regados con agua residual del río Atoyac; mientras que los suelos del testigo son regados con agua de pozo.

Las concentraciones de Mn extractable en los suelos del ejido Flores Magón presentaron una relación fuerte con el Ni extractable con un coeficiente de 0.8605. Una moderada con el Pb extractable con un coeficiente de 0.7366 (ver cuadro 13, apéndice B). Estas relaciones fueron directamente proporcionales a las concentraciones de manganeso. También presentó una relación fuerte con el nitrógeno y una moderada con la MO, el limo y la arena del suelo con coeficientes de 0.8296, 0.5749, 0.5233 y -0.5267, respectivamente (ver cuadro 15, apéndice B). Las relaciones establecidas con el NT, la MO y el limo fueron directamente proporcionales a las concentraciones de este metal; mientras que la establecida con la arena fue inversamente proporcional. Todas estas relaciones fueron estadísticamente significativas (con $P < 0.05$).

7.5. Metales totales

7.5.1. PLOMO

Las concentraciones de plomo en el testigo fluctuaron de < 100 a < 100 mg kg^{-1} con un promedio de < 100 mg kg^{-1} (± 0.0), en el ejido variaron de < 100 a < 100 mg kg^{-1} con un promedio de < 100 mg kg^{-1} (± 0.0) (ver cuadro 4, apéndice B y fig. 7.43).

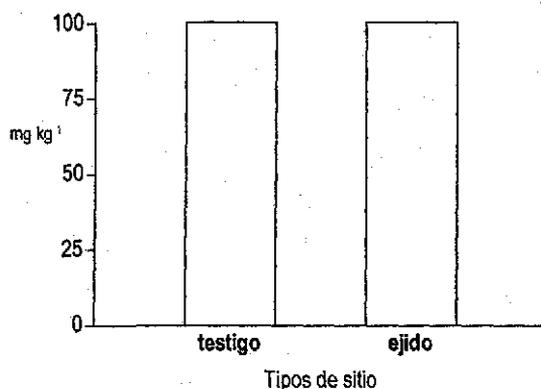


Fig. 7.43. Promedio (\pm un error estándar) de las concentraciones de plomo total en los suelos del ejido Flores Magón, Atlixco, Puebla.

Al relacionar las concentraciones de plomo total detectado en los suelos del ejido Flores Magón, con los valores encontrados en otras zonas donde se usa el agua residual para riego, los valores obtenidos coinciden con los reportados por Cajuste *et al.* (1991) en Xochitlán, Hgo., quienes detectaron 49 mg kg^{-1} . Cabe aclarar que en este sitio se han empleado aguas mezcladas para el riego. Mientras que en otro sitio (Tlaminulpa), se utiliza agua residual cruda, por ello las concentraciones de plomo total reportadas por estos autores son de 300 mg kg^{-1} superando enormemente las cantidades detectadas en el ejido Flores Magón. Los valores de Pb en este trabajo son superiores a los detectados por Cajuste *et al.* (1991) en un sitio control (El Arenal) en el Valle del Mezquital, que nunca ha sido regado con agua residual y donde reportaron 36 mg kg^{-1} .

Siebe (1994), detectó en Leptosoles del Valle del Mezquital 24 mg kg⁻¹ de Pb en profundidades de 0 a 30 cm, en Feozems 50 mg kg⁻¹ a una profundidad de 0 a 26 cm y en Vertisoles encontró 40 mg kg⁻¹ a una profundidad de 0 a 15 cm. Sin embargo, en la misma zona en el Valle del Mezquital, Hernández *et al.* (1994) ha reportado hasta 736.40 mg kg⁻¹ de Pb en la serie Tepatepec a una profundidad de 45 a 76 cm.

Al comparar los resultados obtenidos de plomo total en este trabajo, con los valores reportados en otros países, estos coinciden con los reportados por Moreno *et al.* (1992) en suelos agrícolas cercanos a Madrid regados con aguas residuales, donde detectaron un promedio de 50 mg kg⁻¹. Los valores más altos en los sitios muestreados correspondieron a las cercanías de las fábricas de muebles, pinturas, barnices, etc.

Por otro lado, El Hassanin *et al.* (1993) detectaron en suelos de Egipto que han sido regados con aguas residuales por más de 60 años concentraciones de 49.2 mg kg⁻¹ en una profundidad de 0 a 10 cm.

Las concentraciones de plomo total en este trabajo, son ligeramente inferiores a los niveles considerados como fitotóxicos por El Bassam and Tietjen (1977); Kabata-Pendias (1992) y Kloke (1979) que consideran 100 mg kg⁻¹ de Pb total. Existen otros criterios más estrictos para considerar los niveles de plomo como fitotóxico, estos son los de la Comunidad Europea y el Ministerio de Agricultura y Alimentos de Ontario, donde según Finnecy and Pearce (1986) y Page *et al.* (1988), consideran 50 y 60 mg kg⁻¹, respectivamente de Pb total como niveles fitotóxicos para suelos donde se han empleado aguas residuales para riego. Por lo que las concentraciones de plomo en este trabajo rebasaron estos niveles.

Las concentraciones de Pb en los suelos del ejido Flores Magón no presentaron correlaciones con ninguna variable (ver cuadros 12, 13 y 15, apéndice B).

7.5.2. CROMO

Las concentraciones de cromo en el testigo fluctuaron de 130 a 320 mg kg^{-1} con un promedio de 197 mg kg^{-1} (± 62), en el ejido variaron de 60 a 570 mg kg^{-1} con un promedio de 189 mg kg^{-1} (± 37.2) (ver cuadro 4, apéndice B y fig. 7.44).

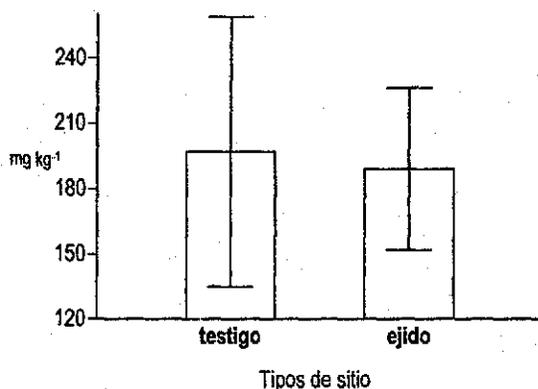


Fig. 7.44. Promedio (\pm un error estándar) de las concentraciones de cromo total en los suelos del ejido Flores Magón, Atlixco, Puebla.

Las cantidades de cromo en los suelos de la zona de estudio son muy superiores a los detectados por otros autores entre los cuales están: Mendoza (1981), Carrillo *et al.* (1992), Hernández *et al.* (1994) y Siebe (1994) quienes mencionan concentraciones hasta de 69, 94, 90.1 y 100 mg kg^{-1} para suelos de la capa arable de Tlahuelilpan, Valle del Mezquital, suelos de la serie Progreso y Feozem, respectivamente. Las diferencias encontradas de cromo total entre las dos zonas muy probablemente se deben a las metodologías empleadas, ya que en este trabajo se realizó un ataque ácido, donde se incluyó HF como menciona Jackson (1982), mientras la mayoría de los autores con los que se compararon los resultados emplearon una extracción con HNO_3 o $\text{HNO}_3\text{-HCl}$, donde no se extrae el cromo de los silicatos como ocurre con el HF-HClO_4 , descrito por Jackson (1982).

Por otro lado, la EPA (1979) menciona que en suelos agrícolas se puede detectar hasta 250 mg kg^{-1} de Cr y valores promedio hasta de 125 mg kg^{-1} , por lo cual, de acuerdo con este organismo los suelos del ejido Flores Magón están excedidos en cromo.

Los resultados obtenidos de Cr total en este trabajo, también son comparables con los valores más altos reportados por Adriano (1992) para varios países europeos, Canadá y Estados Unidos mencionando desde 2.3 hasta 150 mg kg^{-1} para suelos de Austria y Escocia, respectivamente, aunque este autor no detalla las metodologías empleadas para la extracción, donde quizá no se empleo HF que es el único ácido que ataca silicatos, razón por la cual en este trabajo se obtuvieron valores más altos de Cr total.

Finalmente, los valores de cromo total obtenidos en el testigo y en el ejido, rebasaron los rangos medios mundiales reportados por McBride (1994) quien menciona valores de 7 a 221 mg kg^{-1} para suelos agrícolas; este mismo autor, reporta concentraciones promedio de Cr total para los suelos de Estados Unidos que fluctuaron de 20 a 85 mg kg^{-1} , los cuales son inferiores a los detectados en el ejido Flores Magón. Por otra parte, las cantidades detectadas en este trabajo son inferiores a los reportados por Kloke (1982) quien menciona $20,000 \text{ mg kg}^{-1}$ de Cr total en suelos de Alemania, contaminados por metales pesados por el uso de lodos residuales y el riego con agua residual.

La presencia de Cr total en el suelo, aunque sea en forma no disponible en la zona de estudio, llama la atención, ya que de acuerdo con la EPA (1979) se trata de un elemento bioacumulable y no biodegradable, con el cual se debe tener ciertas precauciones, sobre todo cuando las concentraciones superan los 100 mg kg^{-1} .

Tomando en cuenta los criterios de varios autores como son: El Bassam and Tietjen (1977), Kabata-Pendias (1992), Kloke (1979) y Linzon (1978), se puede concluir que las concentraciones de cromo total en los suelos del testigo y del ejido son consideradas como fitotóxicas, ya que superan las 100 y 75 mg kg^{-1} . De acuerdo con Finnecy and Pearce (1986) estos datos superan también las concentraciones promedio propuestas por la Comunidad Europea para suelos

donde se emplean aguas residuales para riego, para lo cual se recomienda 50 mg kg⁻¹. Además, según Page *et al.* (1988) también superan los valores propuestos por el Ministerio de Agricultura y Alimentación de Ontario para suelos donde se emplea agua residual para riego agrícola donde proponen como límite 120 mg kg⁻¹.

El análisis de varianza indicó que no existieron diferencias significativas entre las medias de los valores de cromo (ver cuadro 9, apéndice B). El análisis de rango múltiple de Bonferroni (al 95 % de confianza) mostró que los suelos del testigo y del ejido estadísticamente fueron iguales (ver apéndice C).

Las concentraciones de Cr en los suelos del ejido Flores Magón presentaron una relación moderada con el Ni total con un coeficiente de 0.6351 (ver cuadro 13, apéndice B). También presentó una relación moderada con el fósforo del suelo con un coeficiente de 0.6393 (ver cuadro 15, apéndice B). Estas relaciones fueron directamente proporcionales a las concentraciones de cromo y estadísticamente significativas (con $P < 0.05$).

7.5.3. CADMIO

Las concentraciones de cadmio en el testigo fluctuaron de < 6 a < 6 mg kg⁻¹ con un promedio de < 6 mg kg⁻¹ (± 0.0), en el ejido variaron de < 6 a < 6 mg kg⁻¹ con un promedio de < 6 mg kg⁻¹ (± 0.0) (ver cuadro 4, apéndice B y fig. 7.45).

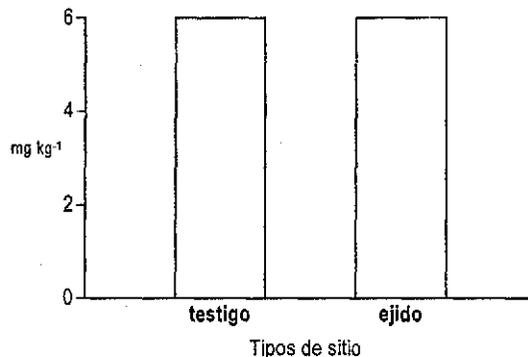


Fig. 7.45. Promedio (\pm un error estándar) de las concentraciones de cadmio total en los suelos del ejido Flores Magón, Atlixco, Puebla.

Al igual que el Cd extractable, el total, también se detectó en menores concentraciones que las que se han reportado para el Valle del Mezquital, donde Flores *et al.* (1992) reporta de 3.9 a 7.9 mg kg⁻¹ en cinco sitios de muestreo. También son muy inferiores a las cantidades reportadas por Kloke (1982) que menciona hasta 200 mg kg⁻¹ para suelos contaminados por metales pesados por el uso de lodos residuales en Alemania cerca de Berlín.

De acuerdo con Kabata-Pendias (1992), Kloke (1979) y El Bassam and Tietjen (1977), las concentraciones de Cd total detectadas en el testigo y en el ejido son consideradas como fitotóxicas, ya que rebasan las 3 ppm. También superan las concentraciones propuestas por la Comunidad Europea (citado en Finnecy and Pearce, 1986) y Page *et al.* (1988) quienes mencionan hasta 1.0 y 1.6 mg kg⁻¹ de Cd, respectivamente para suelos donde se emplean aguas residuales para riego.

Las concentraciones de Cd en los suelos del ejido Flores Magón no presentaron correlaciones con ninguna variable (ver cuadros 12, 13 y 15, apéndice B).

7.5.4. NÍQUEL

Las concentraciones de níquel en el testigo fluctuaron de 44 a 90 mg kg⁻¹ con un promedio de 65 mg kg⁻¹ (+- 13.5), en el ejido variaron de 44 a 104 mg kg⁻¹ con un promedio de 76 mg kg⁻¹ (+- 5.7) (ver cuadro 4, apéndice B y fig. 7.46).

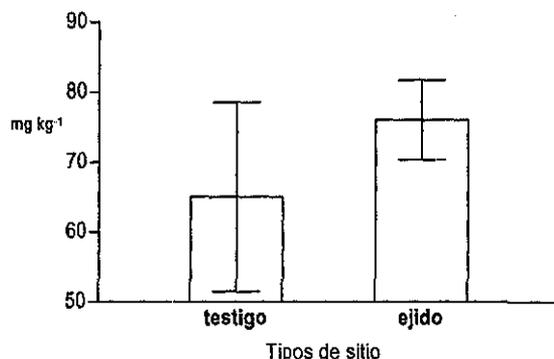


Fig. 7.46. Promedio (+- un error estándar) de las concentraciones de níquel total en los suelos del ejido Flores Magón, Atlixco, Puebla.

Los resultados de Ni en forma total detectados en este trabajo se ubican dentro de los niveles reportados por Sunderman (1988) que fluctúan de 5-500 $\mu\text{g/g}$, para suelos de Estados Unidos. Este autor menciona un valor promedio de 50 $\mu\text{g/g}$, el cual está por debajo del valor promedio detectado en los suelos del ejido Flores Magón.

Si los resultados obtenidos en este trabajo se comparan con suelos que han sido contaminados por lodos residuales, estos están muy por debajo de los publicados por Kloke (1982) que reporta hasta 10,000 mg kg^{-1} en suelos de Alemania Oriental.

Al comparar los resultados de este trabajo con los reportados en el Valle del Mezquital, los obtenidos en el ejido Flores Magón son muy superiores al igual que como ocurrió con los extractables. Por ejemplo Cajuste *et al.* (1991) y Carrillo *et al.* (1992) reportaron 5.40 y 4.0 mg kg^{-1} , respectivamente, lo cual se debe a que estos autores realizaron el ataque de la muestra únicamente con HNO_3 4 M, por lo que probablemente no obtuvieron el Ni total, ni el de silicatos ya que no utilizaron HF.

Finalmente, considerando el valor promedio del níquel total tanto en los suelos del testigo como del ejido, las concentraciones están por debajo de los niveles considerados como fitotóxicos por varios autores, entre los cuales está Kabata-Pendias (1992) que menciona 100 mg kg^{-1} . El Ni es un elemento, que aunque no es tan tóxico debe de tomarse en cuenta, sobre todo cuando se trata de zonas en donde se utiliza el agua residual para riego, como es el caso del ejido Flores Magón.

El análisis de varianza indicó que no existieron diferencias significativas entre las medias de los valores de níquel (ver cuadro 9, apéndice B). El análisis de rango múltiple de Bonferroni (al 95 % de confianza) mostró que los suelos del testigo y del ejido estadísticamente fueron iguales (ver apéndice C).

Las concentraciones de Ni en los suelos del ejido Flores Magón presentaron una relación moderada con el pH del agua con un coeficiente de 0.5264 (ver cuadro 12, apéndice B). También presentó una relación moderada con el Cr total y con el Pb soluble con coeficientes de 0.6351 y -0.7210,

respectivamente (ver cuadro 13, apéndice B). La relación establecida con el Pb soluble fue inversamente proporcional a las concentraciones de este metal; mientras que las otras dos fueron directamente proporcionales a las concentraciones de níquel. Todas estas relaciones fueron estadísticamente significativas (con $P < 0.05$).

7.5.5. MANGANESO

Las concentraciones de manganeso en el testigo fluctuaron de 260 a 430 mg kg^{-1} con un promedio de 317 mg kg^{-1} (+ 56.6), en el ejido variaron de 220 a 350 mg kg^{-1} con un promedio de 302.5 mg kg^{-1} (+9.9) (ver cuadro 4, apéndice B y fig. 7.47).

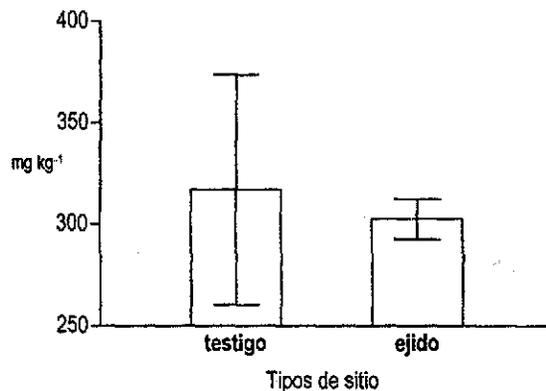


Fig. 7.47. Promedio (+ un error estándar) de las concentraciones de manganeso total en los suelos del ejido Flores Magón, Atlixco, Puebla.

Las cantidades de Mn total en el suelo son semejantes a las detectadas por Cajuste *et al.* (1991) quienes reportaron concentraciones de 466, 320 y 362 mg kg^{-1} en suelos de Tlaminulpa, Xochitlán y Arenal, respectivamente. Son inferiores a las mencionadas por Flores *et al.* (1992) quienes detectaron concentraciones de 575 hasta 775 mg kg^{-1} de Mn en los horizontes superficiales del Valle del Mezquital.

Finalmente, los resultados obtenidos de Mn total, de acuerdo con Kovalskiy (1974) y Linzon (1978) están dentro de los niveles normales, ya que estos autores

consideran 3000 y 1500 mg kg⁻¹ de Mn total, respectivamente como niveles fitotóxicos.

El análisis de varianza indicó que no existieron diferencias significativas entre las medias de los valores de manganeso (ver cuadro 9, apéndice B). El análisis de rango múltiple de Bonferroni (al 95 % de confianza) mostró que los suelos del testigo y del ejido estadísticamente fueron iguales (ver apéndice C).

Las concentraciones de Mn en los suelos del ejido Flores Magón no presentaron correlaciones con ninguna variable (ver cuadros 12, 13 y 15, apéndice B).

7.6. Índices de contaminación

Para determinar la situación de un suelo con respecto a su contaminación y toxicidad potencial por metales pesados, existen diferentes criterios:

1. El Zn equivalente; se basa en datos experimentales, donde se observa que las toxicidades potenciales de Cu y Ni son dos y ocho veces superiores a los del Zn. Por lo que valores por arriba de 250 mg kg⁻¹ pueden considerarse potencialmente tóxicos (Chumbley, 1971, citado en Andreu y Boluda, 1995).

$$\text{Equivalente de Zn} = \text{Zn} + 2 (\text{Cu}) + 8 (\text{Ni}) \text{ (en mg kg}^{-1}\text{)}$$

2. La relación Zn/Cd; es el efecto antagónico que el Zn del suelo puede ejercer sobre la asimilación del Cd por las plantas. No existe un acuerdo para determinar el valor límite que debe presentar esta relación, al respecto Chaney, 1973 (citado en Andreu y Boluda, 1995), considera que debe ser superior a 200. Sin embargo, Jones y Jarvis (1981) (citados en Andreu y Boluda, 1995), recomiendan que esta relación sea cercana a 1000 para que así el Zn pueda ejercer su antagonismo de manera eficaz en la planta.

$$\text{Relación Zn/Cd} = \frac{\text{Zn (mg kg}^{-1}\text{)}}{\text{Cd (mg kg}^{-1}\text{)}}$$

3. La relación extraíble/total; puede ser un indicador de la biodisponibilidad y movilidad de elementos en el suelo.

$$\text{Relación extraíble/total} = \frac{\text{metal extraíble}}{\text{metal total}} \times 100$$

Al aplicar los índices de contaminación a las muestras de suelo del ejido Flores Magón, se tiene que tanto los suelos del testigo como los del ejido son potencialmente tóxicos, según el equivalente de Zn, ya que rebasaron los 250 mg kg⁻¹, con promedios de 604 y 701.5 mg kg⁻¹, respectivamente (ver cuadro 16, apéndice B).

Errecalde, *et al.* (1991), mencionan valores promedio de 163, 260, 230 y 246 mg kg⁻¹ de Equivalente de Zn para suelos de España en las zonas de Massanassa Oeste (aguas de riego subterráneas), Massanassa Este (aguas residuales urbanas e industriales), Alboraiia (riego con aguas residuales) y Pobra de Vallbona (riego con agua de acequia), respectivamente.

Andreu y Boluda (1995), mencionan valores promedio de 323.40, 329.51, 461.56 y 477.78 mg kg⁻¹ de Equivalente de Zn, respectivamente para los suelos de España en las cuatro zonas de la "Albufera and Marsh Area", 198.95 mg kg⁻¹ para la zona de "Dunes" y 280.73, 308.88, 302.08 para las tres zonas de "Interior Areas", respectivamente.

Respecto a la relación Zn/Cd, si se siguen tanto los criterios de Jones y Jarvis (1981), así como los de Chaney (1973), los suelos del testigo y del ejido presentaron un índice menor a 1000 y 200 mg kg⁻¹, respectivamente, por lo que pueden presentarse problemas de toxicidad por Cd en la zona de estudio (ver cuadro 16, apéndice B).

Errecalde, *et al.* (1991), mencionan valores promedio de 122, 140, 403 y 84 mg kg⁻¹ de Zn/Cd para suelos de las zonas de Massanassa Oeste, Massanassa Este, Alboraiia y Pobra de Vallbona, respectivamente.

Andreu y Boluda (1995), mencionan valores promedio de 114.11, 95.68, 166.89 y 125.03 mg kg⁻¹ de Zn/Cd, respectivamente para los suelos de España en las cuatro zonas de la "Albufera and Marsh Area", 352.53 mg kg⁻¹ para la zona de "Dunes" y 156.75, 171.61, 92.45 para las tres zonas de "Interior Areas", respectivamente.

Según la relación extraíble/total muestra que posiblemente existe biodisponibilidad y movilidad de los elementos de Ni y Mn en el suelo, lo cual se reflejará en los cultivos analizados (ver cuadro 16, apéndice B).

Errecalde, *et al.* (1991), mencionan valores promedio de Cd extraíble/total de 41.80, 42.08, 47.07, y 12.03 % de Ni extraíble/total de 2.62, 3.72, 17.17 % y Nd (no determinado) y de Pb extraíble/total de 22.39, 24.65, 28.30 y 23.92 %, respectivamente para suelos de las zonas de Massanassa Oeste, Massanassa Este, Alboraiá y Poble de Vallbona.

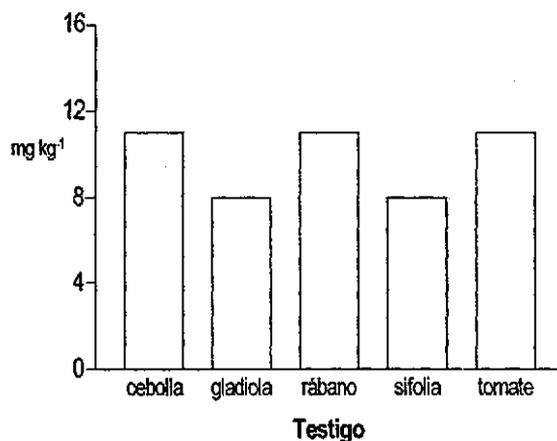
Andreu y Boluda (1995), mencionan valores promedio de Cd extraíble/total de 16.25, 21.63, 36.14 y 31.75 %, respectivamente para los suelos de España en las cuatro zonas de la "Albufera and Marsh Area", 29.27 % para la zona de "Dunes" y 21.24, 29.30, 17.00 % para las tres zonas de "Interior Areas", respectivamente. Cr extraíble/total de 0.58, 0.40, 0.22 y 0.23 %, respectivamente para los suelos de España en las cuatro zonas de la "Albufera and Marsh Area", 0.35 % para la zona de "Dunes" y 0.56, 0.48, 0.63 % para las tres zonas de "Interior Areas", respectivamente. Ni extraíble/total de 1.92, 1.16, 5.40 y 3.20 %, respectivamente para los suelos de España en las cuatro zonas de la "Albufera and Marsh Area", 0.67 % para la zona de "Dunes" y 3.63, 2.46, 1.99 % para las tres zonas de "Interior Areas", respectivamente. Pb extraíble/total de 10.43, 12.07, 22.28 y 17.74 %, respectivamente para los suelos de España en las cuatro zonas de la "Albufera and Marsh Area", 9.90 % para la zona de "Dunes" y 13.17, 14.16, 8.84 % para las tres zonas de "Interior Areas", respectivamente.

7.7. Metales totales en plantas

7.7.1. PLOMO

Las concentraciones de plomo total del festigo en los cultivos de cebolla variaron de < 8 a 11 mg kg^{-1} con un promedio de 11 mg kg^{-1} (± 0.0), de gladiola de < 8 a $< 8 \text{ mg kg}^{-1}$ con promedio de $< 8 \text{ mg kg}^{-1}$ (± 0.0), de rábano de 11 a 11 mg kg^{-1} con promedio de 11 mg kg^{-1} (± 0.0), de sifolia de < 8 a $< 8 \text{ mg kg}^{-1}$ con promedio de $< 8 \text{ mg kg}^{-1}$ (± 0.0), de tomate de < 8 a 11 mg kg^{-1} con promedio de 11 mg kg^{-1} (± 0.0).

En el ejido en los cultivos de alfalfa variaron de 9 a 11 mg kg^{-1} con un promedio de 10.2 mg kg^{-1} (± 0.10), de cebolla de < 8 a 11 mg kg^{-1} con promedio de 11 mg kg^{-1} (± 0.0), de gladiola de < 8 a 11 mg kg^{-1} con promedio de 10.5 mg kg^{-1} (± 0.40), de maíz de < 8 a 16 mg kg^{-1} con promedio de 10.75 mg kg^{-1} (± 1.45), de pasto de 11 a 11 mg kg^{-1} con promedio de 11 mg kg^{-1} (± 0.0), y de terciopelo de < 8 a 18 mg kg^{-1} con promedio de 13.5 mg kg^{-1} (± 0.0) (ver cuadro 5, apéndice B y fig. 7.48).



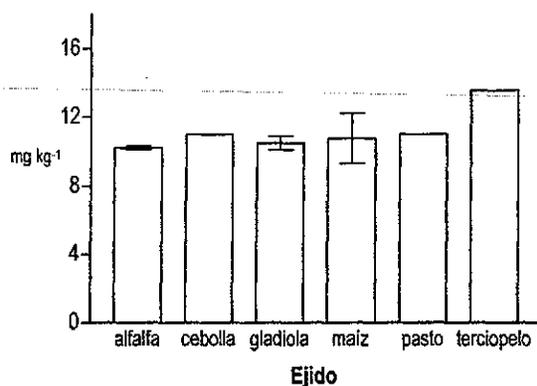


Fig. 7.48. Promedio (+/- un error estándar) de las concentraciones de plomo en los cultivos del ejido Flores Magón, Atlixco, Puebla.

Los valores más bajos corresponden a las muestras de alfalfa, maíz y plantas ornamentales (tallo). Mientras, los valores más altos se detectaron en maíz, plantas ornamentales, alfalafa y hortalizas tanto en raíz como en tallo (ver tabla 18, apéndice A y cuadro 5, apéndice B).

Las concentraciones de Pb en alfalfa superan las concentraciones reportadas por Chapman (1974) que menciona 7.75 y 9.21 mg kg⁻¹ para raíz y tallos, respectivamente. Lo mismo ocurre para hortalizas como la cebolla, cuyos valores superan las concentraciones reportadas por Chapman (1974) que menciona 3.77 mg kg⁻¹ como rango alto; en tomate, este mismo autor menciona concentraciones hasta de 8.70 mg kg⁻¹ como rango alto para raíz. Respecto al maíz y pasto los niveles están dentro de lo que reporta Kabata-Pendias (1992) ya que mencionan 56 mg kg⁻¹ para maíz y un rango de 63 a 232 mg kg⁻¹ para pasto como niveles excesivos en Gran Bretaña.

El análisis de varianza indicó que existieron diferencias significativas entre las medias de las concentraciones de plomo (ver cuadro 10, apéndice B). El análisis de rango múltiple de Bonferroni (al 95 % de confianza) mostró que los cultivos de terciopelo (raíz), maíz (planta), alfalafa (planta) y gladiola (planta) fueron estadísticamente iguales entre sí, pero parcialmente similares a los de gladiola (raíz), rábano (fruto), cebolla (fruto), pasto (raíz y planta), cebolla (planta), alfalafa

(raíz), tomate (raíz) y maíz (raíz), los cuales también fueron estadísticamente iguales entre sí; mientras que el cultivo de terciopelo (tallo) fue estadísticamente similar a los anteriores, pero muy diferente estadísticamente al cultivo de terciopelo (raíz) (ver apéndice C).

Las concentraciones de Pb de los cultivos del ejido Flores Magón presentaron una relación moderada con el Pb soluble del agua con un coeficiente de -0.5378 (ver cuadro 13, apéndice B). Esta relación fue inversamente proporcional a las concentraciones de plomo. También presentó una relación moderada con los carbonatos totales insolubles con un coeficiente de -0.5326 (ver cuadro 15, apéndice B). Esta relación fue inversamente proporcional a las concentraciones de este metal. Estas relaciones fueron estadísticamente significativas (con $P < 0.05$).

7.7.2. CROMO

Las concentraciones de cromo total del testigo en los cultivos de cebolla variaron de 2 a 2 mg kg^{-1} con un promedio de 2 mg kg^{-1} (± 0.0), de gladiola de 2 a 2 mg kg^{-1} con promedio de 2 mg kg^{-1} (± 0.0), de rábano de 1 a 1 mg kg^{-1} con promedio de 1 mg kg^{-1} (± 0.0), de sifolia de 1 a 1 mg kg^{-1} con promedio de 1 mg kg^{-1} (± 0.0), de tomate de 3 a 6 mg kg^{-1} con promedio de 5 mg kg^{-1} (± 1.5).

En el ejido en los cultivos de alfalfa variaron de 1 a 5.34 mg kg^{-1} con un promedio de 2.7 mg kg^{-1} (± 0.53), de cebolla de 1 a 2 mg kg^{-1} con promedio de 1.33 mg kg^{-1} (± 0.25), de gladiola de 1 a 3 mg kg^{-1} con promedio de 1.91 mg kg^{-1} (± 0.58), de maíz de 1 a 15 mg kg^{-1} con promedio de 5.2 mg kg^{-1} (± 3.19), de pasto de 1 a 5 mg kg^{-1} con promedio de 3 mg kg^{-1} (± 0.0) y de terciopelo de 1 a 6 mg kg^{-1} con promedio de 2.7 mg kg^{-1} (± 0.0) (ver cuadro 5, apéndice B y fig. 7.49).

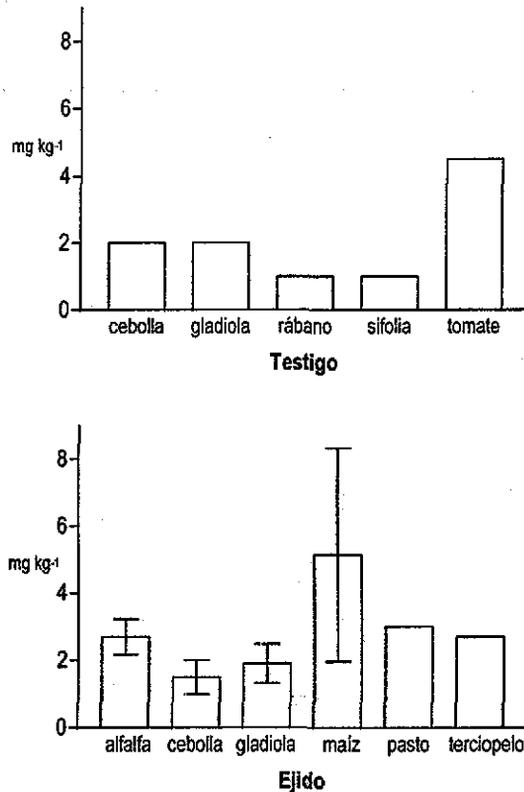


Fig. 7.49. Promedio (+ un error estándar) de las concentraciones de cromo en los cultivos del ejido Flores Magón, Atlixco, Puebla.

Los valores detectados fueron altos, sobre todo en maíz donde se detectaron las más altas concentraciones (ver tabla 18, apéndice A y cuadro 5, apéndice B), lo que implica que el Cr que se detectó probablemente provenga de la atmósfera, el cual se ha estado depositando sobre las plantas.

En este sentido, al cromo se le detectó en los cultivos en cantidades considerables en raíces de plantas ornamentales, hortalizas (tomate), alfalfa y pasto, respectivamente. Estas concentraciones son superiores a los niveles reportados por Chapman (1974) y Kabata-Pendias (1992) para maíz, plantas ornamentales, alfalfa, pasto y tomate quienes mencionan concentraciones de 4 a 9, 0.20 a 4.20, 0.10 a 0.9, 0.60 a 3.4 y 0.071 mg kg⁻¹, respectivamente. Inclusive,

en la mayoría de los demás cultivos los niveles de cromo detectados en tallo y hojas superan los valores reportados por Kabata-Pendias (1992).

Las cantidades de cromo son altas, sobre todo en las hortalizas, cuyo consumo en la mayoría de los casos es de toda la planta. En el tomate, al igual que en los demás cultivos su entrada a la planta y tomando en cuenta los bajos niveles de Cr extractable, puede ser por vía aérea o por mecanismos fisiológicos de la planta, como el antagonismo.

El análisis de varianza indicó que no existieron diferencias significativas entre las medias de las concentraciones de cromo (ver cuadro 10, apéndice B). El análisis de rango múltiple de Bonferroni (al 95 % de confianza) mostró que todos los cultivos tanto del testigo como del ejido fueron estadísticamente iguales (ver apéndice C).

Las concentraciones de Cr de los cultivos del ejido Flores Magón presentaron una relación moderada con el Ni extractable con un coeficiente de 0.6055 (ver cuadro 13, apéndice B). Esta relación fue estadísticamente significativa (con $P < 0.05$) y directamente proporcional a las concentraciones de este metal.

7.7.3. CADMIO

Las concentraciones de cadmio total del testigo en los cultivos de cebolla variaron de < 0.3 a 0.5 mg kg^{-1} con un promedio de 0.5 mg kg^{-1} (± 0.0), de gladiola de 0.5 a 0.8 mg kg^{-1} con promedio de 0.65 mg kg^{-1} (± 0.0), de rábano de 0.5 a 0.5 mg kg^{-1} con promedio de 0.5 mg kg^{-1} (± 0.0), de sifolia de < 0.3 a $< 0.3 \text{ mg kg}^{-1}$ con promedio de $< 0.3 \text{ mg kg}^{-1}$ (± 0.0), de tomate de 0.5 a 0.5 mg kg^{-1} con promedio de 0.5 mg kg^{-1} (± 0.0).

En el ejido en los cultivos de alfalfa variaron de < 0.3 a 1 mg kg^{-1} con un promedio de 0.57 mg kg^{-1} (± 0.02), de cebolla de < 0.3 a 0.5 mg kg^{-1} con promedio de 0.5 mg kg^{-1} (± 0.0), de gladiola de < 0.3 a 0.5 mg kg^{-1} con promedio de 0.5 mg kg^{-1} (± 0.0), de maíz de < 0.3 a 0.5 mg kg^{-1} con promedio de 0.42 mg kg^{-1} (± 0.06), de pasto de < 0.3 a $< 0.3 \text{ mg kg}^{-1}$ con promedio de $< 0.3 \text{ mg kg}^{-1}$ (± 0.0).

y de terciopelo de < 0.3 a 0.5 mg kg^{-1} con promedio de 0.5 mg kg^{-1} (± 0.0) (ver cuadro 5, apéndice B y fig. 7.50).

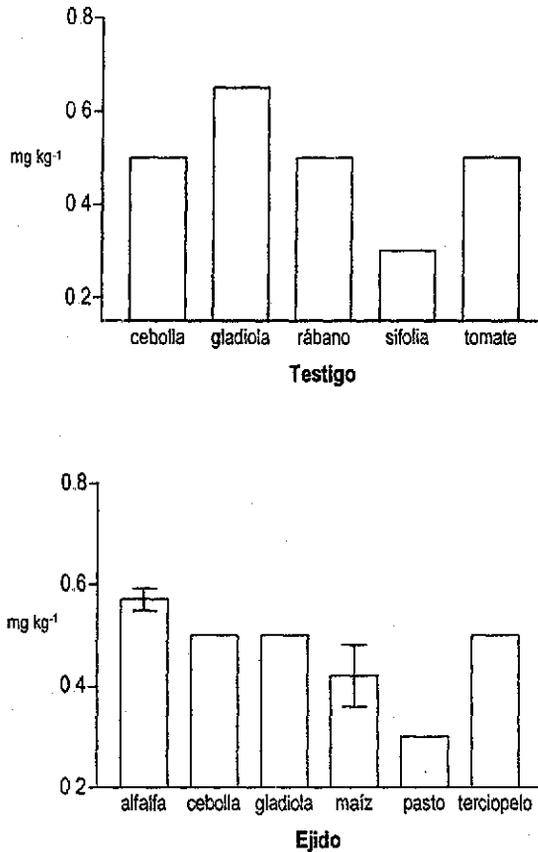


Fig. 7.50. Promedio (\pm un error estándar) de las concentraciones de cadmio en los cultivos del ejido Flores Magón, Atlixco, Puebla.

Las mayores concentraciones de cadmio corresponden a alfalfa y gladiola (testigo), mientras los valores más bajos se encontraron en tallos y hojas tanto de hortalizas, plantas ornamentales como en plantas forrajeras (ver tabla 18, apéndice A y cuadro 5, apéndice B). Aunque las concentraciones en las plantas varían, dependiendo de la estructura de que se trate, las concentraciones en general fueron más o menos homogéneas.

Por otro lado, los valores de cadmio detectados en la mayoría de los cultivos están dentro de los niveles promedio reportados por Kabata- Pendias (1992) para varios países europeos y los Estados Unidos.

Al comparar los valores de Cd que aparecen en la tabla 18, a excepción de los valores máximos la mayoría coinciden con los niveles de cadmio reportados por Chaney (1983), Moreno *et al.* (1992) que mencionan valores de 0.1 a 1.0 y de 0.01 a 0.44 mg kg⁻¹, respectivamente. Coinciden también con Cajuste *et al.* (1991) y Carrillo *et al.* (1992) que detectaron en suelos de Tlaminulpa del Valle del Mezquital concentraciones de 0.40 a 0.60 y de 0.50 a 0.80 mg kg⁻¹ en alfalfa y avena, respectivamente. Por otro lado, al comparar las cantidades de cadmio detectadas en este trabajo, estas son muy inferiores a las reportadas por Mendoza (1981) para alfalfa en el municipio de Atitalaquia, Hgo., donde detectó concentraciones de 5.25 mg kg⁻¹.

El análisis de varianza indicó que no existieron diferencias significativas entre las medias de las concentraciones de cadmio (ver cuadro 10, apéndice B). El análisis de rango múltiple de Bonferroni (al 95 % de confianza) mostró que todos los cultivos tanto del testigo como del ejido fueron estadísticamente iguales (ver apéndice C).

Las concentraciones de Cd de los cultivos del ejido Flores Magón no presentaron correlaciones con ninguna variable (ver cuadros 12, 13 y 15, apéndice B).

7.7.4. NÍQUEL

Las concentraciones de níquel total del testigo en los cultivos de cebolla variaron de < 2 a 5 mg kg⁻¹ con un promedio de 5 mg kg⁻¹ (+- 0.0), de gladiola de 4 a 6 mg kg⁻¹ con promedio de 5 mg kg⁻¹ (+- 0.0), de rábano de 5 a 5 mg kg⁻¹ con promedio de 5 mg kg⁻¹ (+- 0.0), de sifolia de 3 a 3 mg kg⁻¹ con promedio de 3 mg kg⁻¹ (+- 0.0), de tomate de 3 a 9 mg kg⁻¹ con promedio de 6 mg kg⁻¹ (+- 0.0).

En el ejido en los cultivos de alfalfa variaron de < 2 a 12 mg kg⁻¹ con un promedio de 5.72 mg kg⁻¹ (+- 0.66), de cebolla de 3 a 7 mg kg⁻¹ con promedio de 5 mg kg⁻¹ (+- 1.0), de gladiola de < 2 a 4 mg kg⁻¹ con promedio de 3.25 mg kg⁻¹

0.25), de maíz de 3 a 9 mg kg⁻¹ con promedio de 4.66 mg kg⁻¹ (+- 1.44), de pasto de 7 a 9 mg kg⁻¹ con promedio de 8 mg kg⁻¹ (+- 0.0) y de terciopelo de 4 a 7 mg kg⁻¹ con promedio de 5.7 mg kg⁻¹ (+- 0.0) (ver cuadro 5, apéndice B y fig. 7.51).

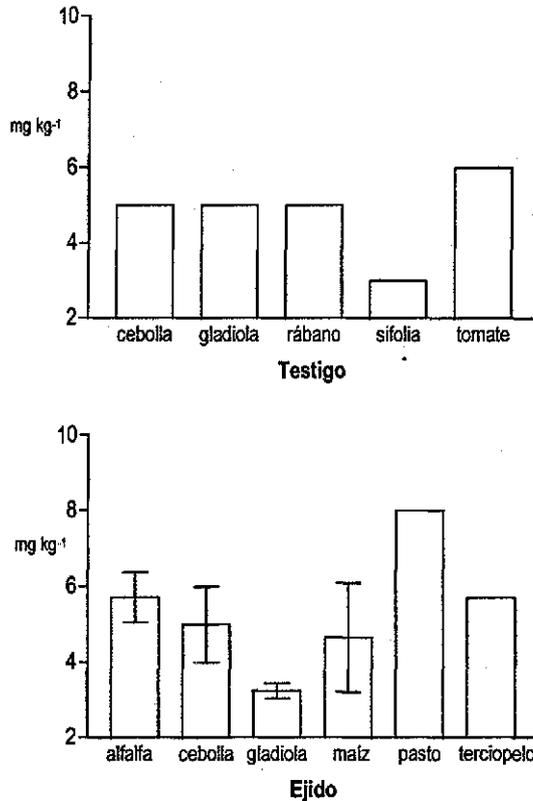


Fig. 7.51. Promedio (+- un error estándar) de las concentraciones de níquel en los cultivos del ejido Flores Magón, Atlixco, Puebla.

El contenido de níquel total en las plantas fue muy heterogéneo ya que corresponden tanto a especies como a estructura muy distintas, pero en general las concentraciones más altas se presentaron en alfalfa, pasto y tomate, principalmente en raíz. Mientras, las concentraciones más bajas fueron en tallos de cebolla, maíz y en alfalfa (ver tabla 18, apéndice A y cuadro 5, apéndice B).

Las concentraciones más altas de Ni encontradas en los cultivos son similares a las reportadas por Cajuste *et al.* (1991) y Carrillo *et al.* (1992) quienes detectaron concentraciones de 5.7 a 11.9 y de 2.00 a 8.60 mg kg⁻¹ en alfalfa y avena, respectivamente.

Al comparar los valores de la tabla 18, apéndice A para pasto, estos se consideran bajos, ya que Chapman (1974) reporta valores de 9 a 56 mg kg⁻¹ como un rango alto. Para tomate los valores están muy por arriba de los rangos intermedios ya que este mismo autor menciona concentraciones de 0.15 mg kg⁻¹. Lo mismo ocurre para cebolla con un valor de 0.16 mg kg⁻¹ como rango intermedio. Sin embargo, de acuerdo con Kabata-Pendias (1992) los rangos obtenidos en este trabajo coinciden con los que se han reportado en suelos contaminados de Europa, EU y Canadá, donde este autor reporta para pasto concentraciones de 10 a 24 mg kg⁻¹, para alfalfa 44 mg kg⁻¹, para clavel de 28 a 14.8 mg kg⁻¹ y para cereales de 9.7 a 20.8 mg kg⁻¹.

El análisis de varianza indicó que no existieron diferencias significativas entre las medias de las concentraciones de níquel (ver cuadro 10, apéndice B). El análisis de rango múltiple de Bonferroni (al 95 % de confianza) mostró que todos los cultivos tanto del testigo como del ejido fueron estadísticamente iguales (ver apéndice C).

Las concentraciones de Ni de los cultivos del ejido Flores Magón no presentaron correlaciones con ninguna variable (ver cuadros 12, 13 y 15, apéndice B).

7.7.5. MANGANESO

Las concentraciones de manganeso total del testigo en los cultivos de cebolla variaron de 30 a 95 mg kg⁻¹ con un promedio de 6.5 mg kg⁻¹ (+- 0.0), de gladiola de 24 a 50 mg kg⁻¹ con promedio de 35 mg kg⁻¹ (+- 0.0), de rábano de 51 a 51 mg kg⁻¹ con promedio de 51 mg kg⁻¹ (+- 0.0), de sifolia de 5 a 20 mg kg⁻¹ con promedio de 12.5 mg kg⁻¹ (+- 0.0), de tomate de 75 a 95 mg kg⁻¹ con promedio de 85 mg kg⁻¹ (+- 0.0).

En el ejido en los cultivos de alfalfa variaron de 20 a 155 mg kg⁻¹ con un promedio de 42.38 mg kg⁻¹ (+ 6), de cebolla de 25 a 75 mg kg⁻¹ con promedio de 43.3 mg kg⁻¹ (+ 1.25), de gladiola de 15 a 50 mg kg⁻¹ con promedio de 28.5 mg kg⁻¹ (+ 3.0), de maíz de 5 a 25 mg kg⁻¹ con promedio de 17.25 mg kg⁻¹ (+ 4.0), de pasto de 60 a 100 mg kg⁻¹ con promedio de 80 mg kg⁻¹ (+ 0.0) y de terciopelo de 40 a 45 mg kg⁻¹ con promedio de 43.3 mg kg⁻¹ (+ 0.0) (ver cuadro 5, apéndice B y fig. 7.52).

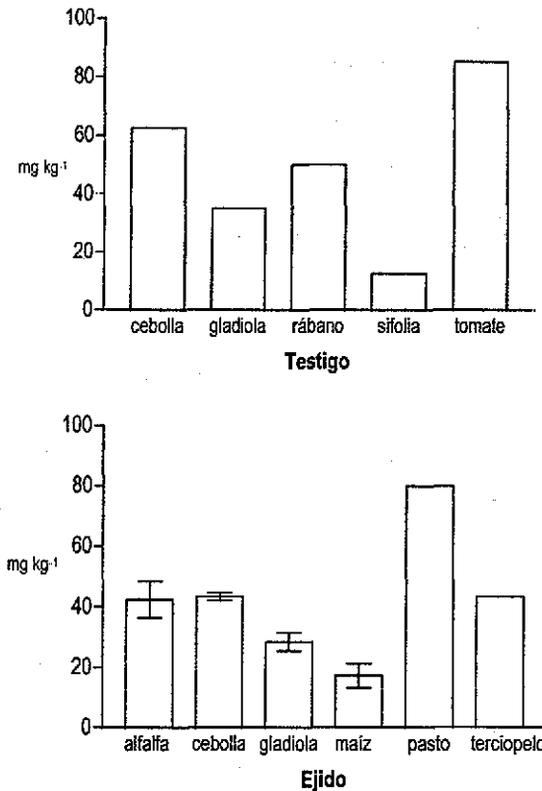


Fig. 7.52. Promedio (+ un error estándar) de las concentraciones de manganeso en los cultivos del ejido Flores Magón, Atlixco, Puebla.

Los valores altos de Mn total en las muestras de planta se detectaron en los cultivos de maíz y alfalfa. Otros cultivos donde también se detectaron concentraciones altas de manganeso fueron en pasto (raíz), cebolla y tomate.

Mientras, que los cultivos donde se encontraron concentraciones bajas fueron en sifolia y maíz (raíz) (ver tabla 18, apéndice A y cuadro 5)

Los resultados obtenidos de Mn en este trabajo en el cultivo de alfalfa son inferiores a los valores reportados por Mendoza (1981) quien menciona valores de 116, 103 y 89.8 mg kg⁻¹ para cultivos de alfalfa regados con agua blanca (Tula), agua mezclada (presa Requena) y agua residual (Atitalaquia), respectivamente. Los valores que aparecen en la tabla 18 a excepción del valor más alto, coinciden con las cantidades encontradas por Cajuste *et al.* (1991) en alfalfa regada con agua residual en Tlaminulpa, quienes reportaron concentraciones de 44.80 y 21.0 mg kg⁻¹ para hoja y raíz, respectivamente. Para avena regada con agua mezclada (agua residual y agua blanca) ellos mencionan concentraciones de 31.6 y 88.3 mg kg⁻¹ para el tallo y raíz, respectivamente. También coinciden con Carrillo *et al.* (1992) que mencionan valores de 57 a 130 mg kg⁻¹ en *Avena sativa* L. cultivada con agua residual en Xochitlán, Edo. de Hidalgo.

Finalmente, las concentraciones de Mn encontradas en este trabajo están dentro de los rangos de 15 a 150 mg kg⁻¹ reportado por Chaney (1983) como rangos normales. Sin embargo, Chapman (1974) reporta concentraciones de 46 mg kg⁻¹ como rango intermedio en hojas de tomate, por lo que las cantidades de Mn detectadas en este trabajo superan este criterio.

Chapman y Pratt (1979), han reportado concentraciones de Mn en tejido de plantas, que en general fluctúan de menos de 5 a más de 1000 mg kg⁻¹, por lo que de acuerdo con este último criterio las concentraciones de manganeso de este trabajo son normales.

El análisis de varianza indicó que no existieron diferencias significativas entre las medias de las concentraciones de manganeso (ver cuadro 10, apéndice B). El análisis de rango múltiple de Bonferroni (al 95 % de confianza) mostró que todos los cultivos tanto del testigo como del ejido fueron estadísticamente iguales (ver apéndice C).

Las concentraciones de Mn de los cultivos del ejido Flores Magón presentaron una relación moderada con el sodio soluble con un coeficiente de

0.5572 (ver cuadro 12, apéndice B). Esta relación fue directamente proporcional a las concentraciones de manganeso y estadísticamente significativa (con $P < 0.05$):

7.8. Discusión General

Con base en los resultados obtenidos de las muestras se tiene que las concentraciones de las variables analizadas se dieron en el siguiente orden:

AGUA

pH:	C>T>N
CE:	N>C>T
Ca:	N>C>T
Mg:	N>C>T
Na:	N>C>T
K:	C>N>T
HCO ₃ :	N>C>T
Cl:	N>C>T
SO ₄ :	N>C>T

A excepción del pH, las concentraciones en el testigo (T) siempre fueron menores a las de los canales (C) y a la noria (N) que fue el sitio donde se presentaron las mayores cantidades en las diferentes variables. Esto indica que el agua del testigo fue de buena calidad.

En el caso del pH, la noria fue la que presentó los valores menores.

METALES SOLUBLES

Pb:	T>C>N
Cr:	T>N>C
Cd:	C>N>T
Ni:	C>T>N
Mn:	C>T>N

Las mayores concentraciones de Pb y Cr solubles en el agua se presentaron en el sitio testigo (T), en el caso de plomo su presencia se relaciona

con la cercanía a la carretera Atlixco-Izúcar y de los agroquímicos ampliamente utilizados en la región. Las de cromo, éstas probablemente provinieron de los expendios de materiales de construcción (ladrilleras y cementeras) que se encuentran sobre la carretera cercana a la zona de estudio, así como del material parental.

SUELOS

pH:	T<E
Ca:	T<E
Mg:	T<E
Na:	T<E
K:	T<E
ClCT:	T<E
MO:	T<E
NT:	T<E
CaCO ₃ :	T<E
P:	T<E
Arena:	T>E
Limo:	T<E
Arcilla:	T<E

Las concentraciones de estas variables fueron más altas en el sitio del ejido (E) que en el sitio testigo (T). En el caso de la textura del suelo, se tiene que el testigo fue más arenoso que el ejido.

METALES EXTRACTABLES CON DTPA

Pb:	T<E
Cd:	T<E
Ni:	T<E
Mn:	T<E

Las concentraciones de los metales extractables fueron más altas en el sitio del ejido (E) que en el sitio testigo (T).

Las cantidades de Cr tanto en el ejido como en el testigo fueron menores al límite de detección que fue de 0.04 mg Kg^{-1} .

METALES TOTALES

Cr: T>E

Ni: E>T

Mn: T>E

Las concentraciones de cromo y manganeso fueron más elevadas en el sitio testigo, las cuales en el caso del Cr provinieron del agua residual. (El Cr soluble también se encontró alto en el sitio testigo).

En el caso del Mn, éstas posiblemente provinieron de los agroquímicos.

Las cantidades de Pb y Cd tanto en el ejido como en el testigo fueron menores al límite de detección que fue de 100 y 6 mg Kg^{-1} , respectivamente.

CORRELACIONES

Las cantidades de Ni soluble tuvieron relación con las concentraciones de Ni total en el suelo. También el Pb en los cultivos tuvo relación, aunque negativa, con las concentraciones de Pb soluble.

Finalmente, los objetivos planteados en el presente trabajo se cumplieron y la hipótesis se confirmó, ya que la incorporación de las aguas residuales al río Atoyac deterioran la calidad para el riego agrícola y la presencia de metales pesados se ha reflejado en su acumulación en los suelos y cultivos del ejido Flores Magón, Atlixco como resultado del riego por más de tres décadas.

8. CONCLUSIONES

- El agua residual y la de consumo humano, se caracterizó por ser de reacción alcalina, con ligeros problemas de salinidad, clasificándose como clase C3S1 principalmente en los sitios que correspondieron a la noria y a los canales de riego.
- Respecto a las concentraciones de Na^+ , HCO_3^- , Cl^- y SO_4^{2-} , aunque se detectaron dentro de los límites permisibles por la NOM-CCA-032-ECOL/93, éstos le dan un sabor desagradable al agua de consumo humano (noria) y en el caso del agua de riego forman sales de $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$, MgSO_4 , NaCl y $\text{Mg}(\text{HCO}_3)_2$ las cuales se podrían acumular en el suelo.
- En cuanto a los metales pesados solubles, las concentraciones de Cd y Ni rebasaron las 0.01 y 0.2 mg L^{-1} , respectivamente establecidas por la NOM-CCA-032-ECOL/93 para agua de uso agrícola.
- Respecto al Mn y al Pb, éste último rebasó el límite máximo permisible de la NOM-127-SSA1/1994 para agua de consumo humano que es de 0.025 mg L^{-1} ; mientras que para el agua de riego agrícola sólo el Mn excedió los 0.2 mg L^{-1} propuestos por la NOM-CCA-032-ECOL/93.
- En lo que respecta al Cr, este se encontró dentro de los niveles establecidos por los criterios antes mencionados, tanto para el agua residual como para el agua de consumo humano.
- Los suelos de la zona de estudio son alcalinos, sin problemas de salinidad y/o sodicidad, con concentraciones de bases intercambiables altas, así como de capacidad de intercambio catiónico total.
- En cuanto a los contenidos de materia orgánica y nitrógeno total los suelos se clasifican como medios en estos constituyentes, pero con concentraciones altas de fósforo asimilable. Estas concentraciones de P podrían deberse al uso del agua residual y de fertilizantes fosfatados o compuestos agroquímicos.
- La presencia de carbonatos insolubles totales en cantidades moderadamente altas junto con el pH alcalino del suelo en la zona de estudio podría contribuir en la precipitación de los metales pesados .

- Por lo que respecta a las concentraciones de metales extractables del suelo, éstas son altas, sobre todo de Pb y Cd, las cuales probablemente se estén depositando por vía atmosférica.
- Las cantidades de Cr y Mn total en el suelo se detectaron en concentraciones altas, reflejándose el empleo del agua residual por más de 30 años, así como probablemente el uso de agroquímicos sin control en la zona de estudio, respectivamente.
- De acuerdo al análisis de correlación, se encontró que la materia orgánica es el principal constituyente del suelo para la inmovilización de Pb y Mn. La fracción de limo retiene al Cd y Mn.
- En relación a los índices de contaminación y particularmente al equivalente de Zn, los suelos del ejido Flores Magón son potencialmente tóxicos ya que rebasaron los 250 mg kg⁻¹. También con respecto a la relación Zn/Cd podría existir el riesgo de toxicidad por Cd en los cultivos de la zona del testigo. Pero, como se mencionó anteriormente, afortunadamente los contenidos de limo podrían inmovilizar al Cd en el suelo.
- En cuanto a la relación extraíble/total, este indica que existe biodisponibilidad y movilidad de Ni y Mn en el suelo, ya que se reflejó en el contenido de éstos en los tejidos vegetales.
- En relación a los metales totales en las plantas, las concentraciones de Pb y Cr rebasaron los niveles reportados por Chapman (1974) y Kabata-Pendias (1992) en alfalfa, cebolla (fruto), tomate (raíz); maíz (raíz), tomate (raíz), alfalfa y pasto, respectivamente.
- Las cantidades de Ni y Mn rebasaron los criterios propuestos por Chapman (1974) para tomate y el Ni además los rebasó en el cultivo de cebolla.

9. RECOMENDACIONES

Con base en el desarrollo del presente trabajo y del análisis de los resultados obtenidos, se sugieren las siguientes recomendaciones:

- Para terminar con la contaminación de los ríos Atoyac y Nexapa, el agua residual debe ser tratada antes de ser vertida a los alcantarillados, para evitar que los metales pesados o cualquier sustancia tóxica altere las propiedades tanto químicas como físicas de los suelos. Además de otros ecosistemas naturales como son: lagunas, presas, mantos subterráneos y mares, que normalmente son sus destinos finales.
- Las aguas residuales deben recibir un tratamiento adecuado, que consiste por lo menos de un tratamiento primario y un secundario, antes de ser usados para el riego de suelos agrícolas.
- Mediante la Secretaría de Salubridad se debe vigilar que en los suelos del ejido Flores Magón, no se siembren hortalizas de consumo directo como son: cebolla, rábanos, cilantro, tomate, etc.
- Que se realicen estudios tanto a nivel experimental como a nivel campo sobre el uso de las aguas residuales, para evaluar la toxicidad de los metales pesados.
- Que frecuentemente se realicen estudios para evaluar la contaminación en la cadena natural agua-suelo-planta-organismos del ejido Flores Magón, Atlixco, Puebla.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

10. BIBLIOGRAFÍA

- ACEVEDO, S.A.O. 1992. Efecto del macroelemento secundario calcio en la producción y calidad del cacahuete (*Arachis hypogaea* L.) en el municipio de Tarimoro, Guanajuato. Tesis de Maestría en Edafología. Fac. de Ciencias, UNAM. 100 p.
- ADRIANO, D.C. (Ed). 1992. Biogeochemistry of trace metals. Edited by Domy C. Adriano. Lewis Publisher USA. 513 p.
- ADRIANO, D.C. 1986. Biogeochemistry of trace metals. Lewis Publisher. USA 513 p.
- AGEMIAN, H. Y A.S.Y. CHAU. 1977. A study of different analytical extraction methods for non-detrital heavy metals in aquatic sediments. In: *Archives of Environmental Contamination and Toxicology*. Vol. 6. Springer-Verlang, Londres. pp. 69-82.
- ALLAWAY, W.H. 1968. Agronomic Controls Environmental Cycling of Trace Elements. *Adv. Agron.* 20:235-274.
- ANDREU, V. AND BOLUDA, J.R. 1995. Application of Contamination Index on Different Farming Soils. *Bull. Environ. Contam. Toxicol.* 54:228-236.
- APHA-AWWA-WPCF. 1992. *Standar Methods for Examination of Water and Wastewater*. Amer. Pub. Health Asoc. Washington, D.C.
- BLACK, C.A. (Edit.) 1965. *Methods of Soil Analysis*. Part 2. Number 9 in the series *Agronomy*. Madison, Wisconsin, U.S.A. 771-1572 pp.
- BOHN, H., B. Mc. NEAL, Y G. O' CONNOR, 1993. *Química del Suelo*. Edit. Limusa, S.A. de C.V. Grupo Noriega Editores. 131 pp.
- BORNEMISZA, E. 1982. *Introducción a la Química de Suelos*. Secretaría General de la Organización de los Estados Americanos. Programa Regional de Desarrollo Científico y Tecnológico. Washington, D.C. 74 p.
- BOUL, S.W., HOLE, F.D. y R.J. Mc. CRAKEN. 1981. *Génesis y Clasificación de Suelos*. Edit. Trillas, México. 417 pp.
- BOUYOCOS, G.J. 1951. A recalibration of the hydrometer method for making mechanical analysis of soil. *Agron. Jour.* 43: 434-438.

- BUSTOS, A. ORTEGA, C. Y SASTRE, I. 1992. Determinación del grado de contaminación de los ríos mediante el estudio conjunto de la composición de sus aguas y sedimentos. *Suelo y Planta*. 2:505-516.
- CAJUSTE, L.J., G. R. CARRILLO, E. G. COTA, y R.J. LAIRD. 1991. The distribution of metals from wastewater in the Mexican Valley of Mezquital. *Water, Air and Soil Pollution*. 57-58: 763-771.
- CARRILLO, G.R., L.J. CAJUSTE. Y H.L. HERNANDEZ. 1992. Acumulación de metales pesados en un suelo regado con aguas residuales. *Rev. Terra*. Vol.10 No. 2.
- CE-CCA-001/89. Diario Oficial de la Federación. 13 de diciembre de 1986.
- CHANEY, R.L. 1983. Potential effects of waste constituents on the food chain. pp. 152- 240. In: J.F. Parr, *et al.* (Eds) *Land Treatment of Hazardous Wastes*. Notes Data Corp. Dark Ridge, N.Y.
- CHAPMAN, D. y V. KIMSTACH. 1992. The selection of water quality variables in *Water quality assessment*, D. Chapman Edit. Published by Chapman & Hall. London, England. p. 51-117.
- CHAPMAN, H.D. (Ed). 1974. *Diagnostic Criteria for Plants and Soils*. Abilene, Texas. 793 pp.
- CHAPMAN, H.D. AND PRATT, P.F. 1979. *Métodos para suelos, plantas y aguas*. Edit. Trillas, México. 195 pp.
- CNA - BGS. 1995. *Impact of Wastewater Reuse on Groundwater in the Mezquital Valley, Hidalgo state, Mexico. Phase I Report* . 80 p.
- CONNOR, R. 1991. *Metal Contamination of Food*. Second Edition. Sec. de Salud Pública, México.
- CSTPA, 1980. *Handbook on reference methods for soil testing*. Rev. Ed. Universidad de Georgia. Athens, Georgia.
- D'LTRI, M.F. 1992. El ciclo de metilmercurio y otros metales pesados en ambientes lacustres. *Rev. Ingeniería Hidráulica en México*. Mayo-Diciembre. pp 75-91.

- EL-BASSAM, N. AND TIETJEN, C. 1977. Municipal sludge as organic fertilizer with special reference to the heavy metals constituents in Soil Organic Matter studies. Vol. 2- IAEA, Viena. pp. 25-32.
- EL-HASSANIN, A.S., LABIB, T.M. Y DOBAL, A.T. 1993. Potential Pb, Cd, Zn and B contamination of Sandy Soils after different irrigation periods with sewage effluent. *Water, Air and Soil Pollution*. 66:239-249.
- EPA, 1979. Water- Related environmental fate of 129 priority pollutants. Vol. 1-2 office of water planning and standard . Office of water and waste management; Environmental Protection Agency. Washington, D.C.
- ERRECALDE, M.F., R. BOLUDA, M.J. LAGARDA y R. FARRE. 1991. Índices de contaminación por metales pesados en suelos de cultivo intensivo: aplicación en la comarca de L' Horta (Valencia). *Suelo y Planta* 1:483-494.
- ETCHEVERS, B.J.D., ESPINOZA, G., E. RIQUELME. 1971. Manual de fertilidad y fertilizantes . 2a. Edición corregida. Universidad de Concepción. Facultad de Agronomía, Chillan, Chile.
- FASSBENDER, H. W. Y BORNEMISZA, E. 1987. Química de suelos con énfasis en suelos de América Latina. IICA. Costa Rica. 420p.
- FINNECY, E.E. Y PEARCE, K.K. 1986. Land Contamination and Reclamation in understanding our environment. Royal Soc. Of Chemistry. London. pp. 329-337.
- FLORES, D.L., HERNANDEZ, S. G., ALCALA, M. R. Y MAPLES, V. M. 1992. Total contents of Cd, Cu, Mn and Zn in agricultural soil irrigated with wastewater from Hidalgo, Mexico. *Rev. Internacional de Contaminación Ambiental*. 8(1), 37-46.
- GALVAO, L.A.C. Y COREY, G. 1989. Serie plomo, cromo y cadmio. Centro Panamericano de Ecología Humana y Salud. Organización Mundial de la Salud.
- GARCIA, E. 1988. Modificación al Sistema de Clasificación climática de Köpen para adaptarlo a las condiciones de la República Mexicana. Inst. de Geografía, UNAM.

- GRAÑA, M.J., BARRAL, M.T., GUITIAN, F.E. Y GUITIAN, F. 1991. Formas de Cu, Ni y Zn en horizontes superficiales de suelos. *Suelo y Planta* 1: 467-482.
- GUAJARDO, V.R., RODRIGUEZ, D.L. Y MENDEZ, G.T. 1992. Evaluación de los grados de contaminación del Río Atoyac, Edo. de Puebla, por metales pesados, grasas y aceites. Mem. XXV Cong. Nal. de la Ciencia del Suelo. Acapulco, Gro. 9-14 nov. p. 110.
- GUTIERREZ, R.M. 1982. Estudio del contenido de iones inorgánicos en suelos y plantas de los Distritos de Riego 03 y 88. Tesis de Maestría. Fac. de Química, UNAM. 251 pp.
- HANSEN, A.M. 1992. Metales pesados en el sistema Lerma-Chapala: Distribución y migración. *Rev. Ingeniería Hidráulica en México*. Mayo-Diciembre. pp 92-98.
- HERNANDEZ, S.G. (ed.) 1990. Evaluación de los suelos degradados en un área del Distrito de Riego 063, Estado de Hidalgo. Informe de proyecto CONACYT clave: P218CCOC880360, México, D.F.
- HERNANDEZ, S.G., FLORES, D.L. MAPLES, V.M., SOLORIO, M.G. Y ALCALA, M.R. 1994. Riesgo de acumulación de Cd, Pb, Cr y Co en tres series de suelos del DR 03, Estado de Hidalgo, México. *Rev. Mexicana de Ciencias Geológicas*. Vol. 11, No. 1. pp. 53-61.
- HUE, N.V. AND SUBASINGHE, A.R. 1994. Sewage Sludge in Hawaii: Chemical composition and reactions with soils and plants. *Water, Air and Soil Pollution*. 72:265-282.
- IMTA, 1987. Diagnóstico y potencialidad del aprovechamiento de aguas residuales. SARH. México.
- IMTA, 1990. Panorama General sobre la Reutilización del Agua en el Riego Agrícola, en México. Taller Internacional Reuso del Agua en la Agricultura. Experiencia México-Israel. CNA. México.
- INEGI, 1983. Carta Topográfica 1:250,000. Atlixco E14 B52.
- INEGI, 1987. Síntesis Geográfica, Nomenclator y Anexo Cartográfico del Edo. de Puebla.
- INEGI, 1994. Atlixco. Estado de Puebla. Cuaderno estadístico municipal.

- JACKSON, M.L. 1982. Análisis químico de suelos. Ediciones Omega S.A., Barcelona, España. 662 pp.
- JONES, B.J. AND B. WOLF. 1984. Manual soil testing procedure using modified (Wolf). Morgan Extracting Reager Benton Laboratories INC, Athens, Georgia, USA.
- KABATA-PENDIAS, D. AND PENDIAS, H. 1992. Trace elements in soil and plants. Vol. 1 CCR. Press, Inc. Boca Ratón. Florida, USA. 365 pp.
- KLOKE, A. 1979. Content of As, Cd, Cr, Fe, Pb, Hg and Ni in plant grown on contaminated soil. Symp. on effects of airborne pollution on vegetation. C.C.E. Warsaw. p. 178-186.
- KLOKE, A. 1982. Re-use of sludge and treated wastewater in agriculture (Troubles arising from the contamination of soils with heavy metals and from application of sludge and treated wastewater in agriculture). Wat. Sci. Tech. Vol. 14. p. 61-72.
- KOVALSKIY, V.V. 1974. Geochemical environment, health and diseases. In: *Trace substance. Environmental Health*. Vol 8 Hemphill, D.D. De. University of Missouri Colombia. 137 p.
- LINDSAY, W.L. AND NORVELL, W.A. 1978. Development of a DTPA soil Zinc, Iron, Manganese and Copper. J. Am. Sci. Soil. 42:421-428.
- LINZON, S.N. 1978. Phytotoxicology excessive levels for contaminants in soil and vegetation. Report of Ministry of the Environment, Ontario, Canadá.
- LOPEZ, R. E. 1979. Geología de México. Edit. Escolar, México.
- MAYA, P. y HANSEN, A.M. 1995. Competencia de iones mayores en la migración química de cadmio y plomo en sedimentos del Lago de Chapala, México. Rev. Ing. Hidráulica en México. Vol. X, No. 1. p. 35-42.
- Mc BRIDE, M.B. 1994. Environmental Chemistry of Soils. Oxford University Press N.Y. 406 p.
- MENDEZ, G.T. 1982. Estudio sobre contaminación de suelos agrícolas del Valle del Mezquital, Hgo. Por ABS, Boro, y metales pesados por el uso de aguas negras de la Ciudad de México. Tesis Profesional. Biología. Fac. de Ciencias, UNAM. 134 pp.

- MELENDEZ, G.T. y GUAJARDO, V.R. 1985. Contaminación de las aguas negras de la Ciudad de México por boro, ABS y metales pesados. *Terra* 3(1):3-6.
- MELENDEZ, G.T., GUAJARDO, V.R. y FLORES, D.L. 1991. Contenido de metales pesados, boro, A.B.S., grasas y aceites en las aguas residuales del D.D.R. 063 Mixquiahuala, Hgo. Conv. Geol. Méx. 1er. Cong. Méx. Min. Inst. Geol., UNAM.
- MELENDEZ, G.T., LOPEZ, B.R., PALACIOS, M.S. y GONZALEZ, V.A. 1995. Contenido de Pb, Ni, Cr, Co y Cd y coliformes totales en el trayecto del Río Atoyac-Río Frío, Puebla. Mem. XXVI Cong. Nal. de la Ciencia del Suelo. Cd. Victoria, Tamps. p. 35.
- MENDOZA, M.H. 1981. A viable solution for management of wastewater in the Metropolitan Area of the Valley of Mexico. In municipal wastewater in Agriculture. Academic Press N.Y. pp. 163-193.
- MEYBECK, M; G. FRIEDRICH; R. THOMAS y D. CHAPMAN. 1992. Rivers in Water quality assessment , D. Chapman Edit. Published by Chapman & Hall. London, England. p. 239-313.
- MORENO, A.M., PEREZ, L. y GONZALEZ, J. 1992. Relaciones entre contenidos totales de Zn, Pb, Cu y Cd en suelos y plantas. *Suelo y Planta*. 2(4):757-771.
- MORENO, D.R. 1978. Cuadro de clasificaciones tentativas. Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas, SARH. México. Inédito.
- NOM-127-SSA1-1994. Diario Oficial de la Federación. 18 de enero de 1996.
- NOM-CCA-032-ECOL/93. Diario Oficial de la Federación. 18 de octubre de 1993.
- NTE-CCA-032/91. Diario Oficial de la Federación . 24 de septiembre de 1991.
- ORTEGA, T.E. 1985. Química de suelos. UACH, Chapingo, México. 152 pp.
- PAGE, A.L., CHANS, A.C. AND ADRIANO, D.C. 1988. Land application of municipal sewage sludge, guidelines- trace elements. In: *Proc. 2 ND. Int. Symp. Land Application. Sewage Sludge, Assoc. Utilization s.s.* Tokyo. p 154.
- PALACIOS, E.J. 1982. Puebla. Su territorio y sus habitantes. Tomo I. Junta de mejoramiento moral, cívico y material del municipio de Puebla, Pue. pags. 110-117 y 294-297.

- PALACIO, P.J.L. y SIEBE, G. CH. 1994. Variabilidad y distribución espaciales de algunos parámetros físicos y químicos del suelo en el Distrito de Riego 03, Edo. de Hidalgo, México. Parte 2. Cartografía. Rev. Mexicana de Ciencias Geológicas, vol. 11. No. 1. p. 68-78.
- PALACIOS, V.O. y ACEVES, N.E. 1970. Instructivo para el muestreo, registro de datos e interpretación de la calidad del agua para riego agrícola. Colegio de Postgraduados, Chapingo, México. 49 pp.
- RICHARDS, L.A. 1994. Diagnóstico y Rehabilitación de suelos salinos y sódicos. Edit. Limusa, México. 171 pp.
- RODRIGUEZ, D.L. 1992. Evaluación de los grados de contaminación del Río Atoyac por (Pb, Cr, Co, Cd, Ni, Fe, Cu, Mn y Zn), surfactantes, boro, grasas y aceites en el transecto Chiantla-Atlixco, Edo. de Puebla. Tesis profesional. Biología, FES-Z, UNAM. 121 pp.
- RODRIGUEZ, D.L., MENDEZ, G.T. y SALAS, C.A. 1995. Contaminación de los suelos del Ejido Flores Magón, municipio de Atlixco por Fe, Mn, Zn y Pb por el uso de aguas residuales del Río Atoyac. Mem. XXVI Cong. Nal. de la Ciencia del Suelo. Cd. Victoria, Tamps. p. 34.
- ROMERO, H.G., BONILLA, F.N., FLORES, D.L., CABRERA, M.C., HERNANDEZ, G.J. y SILVA, H.G. 1995. Estimación de la contaminación en suelos y lechuga, por uso de aguas negras de riego, en la región de Huaquechula, Puebla. Mem. XXVI Cong. Nal. de la Ciencia del Suelo. Cd. Victoria, Tamps. p. 38.
- ROSAS, I. BELMONT, R., BAEZ, A. y VILLALOBOS, R. 1989. Some aspects of the environmental exposure to chromium residues in Mexico. Water, Air and Soil Pollution. 48: 463-475.
- RZEDOWSKI, J. 1978. La vegetación de México, Edit. Limusa, México, D.F.
- SALISBURY, F.B. 1978. Plant Physiology. Edit. Wadsworth. Publishing company. Calif, E.U.A.
- SANCHEZ, D.N. 1985. Mexican experience in using Sewage Effluent for Large Scale Irrigation. Nicosia, Cyprus. 7-9 oct. FAO.
- SANCHEZ, S.O. 1980. La flora del Valle de México. Edit. Herrero, México.

- SCOKART, P.O. MEEUS-VERDINNE, K. AND BURGER, R. 1983. Mobility of Heavy Metals in Polluted Soil near Zinc Smelters. *Water, Air and Soil Pollution*. 20:451-463.
- SEAKER, E.M. 1991. Zinc, Copper, Cadmium and Lead in minespoil, water and plants from reclaimed mine land amended with sewage sludge. *Water, Air and Soil Pollution*. 57-58:849-859.
- SECRETARIA DE GOBERNACIÓN, 1988. Los municipios de Puebla. Colección Enciclopedia de los Municipios de México. pp. 134-142.
- SEDUE 1989. Acuerdo por el que se establecen los Criterios Ecológicos de Calidad del Agua CE-CCA-001/89. *Diario Oficial de la Federación*, 13 de diciembre de 1989. Tomo CDXXXV No. 9. México, D.F. pp. 7-28.
- SEDUE-SARH 1987. Ecología 100 acciones necesarias (acción 36). Normas Oficiales Mexicanas para la Protección del Ambiente. ECOTEC-87, SEDUE. México.
- SIEBE, CH. 1994. Acumulación y disponibilidad de metales pesados regados con aguas residuales en el D.R. 03, Tula, Hgo., México. *Rev. Internacional de Contaminación Ambiental*. 10(1), 15-21.
- SIEBE, CH. AND E. CIFUENTES. 1995. Environmental impact of wastewater irrigation in Central Mexico: an overview. *Int. Jour of Environ. Health Research*. 5: 161-173.
- SPOSITO, G. 1994. *Chemical Equilibria and Kinetics in Soil*. Oxford University Press N.Y. 268 p.
- STEIN, T.M. 1998. Lucha contra la contaminación agrícola de los recursos hídricos. Tomado de: *Land and water Electronic Newsletter*. No. 17. Estudio FAO, Riego y Drenaje del Suelo.
- SUNDERMAN, F.W., DINGLE, S.M. AND SURIFF. 1988. Acute Nickel toxicity in electroplating workers who accidentally ingested a solution of nickel sulfate and nickel chloride. *Am. J. Ind. Med.* 14:257-266.
- TEBBUTT, T.H.Y. 1990. *Fundamentos de control de la calidad del agua*. Edit. Limusa. 240 p.
- U.S.-EPA. 1973. *Water Quality Criteria*. Washington, D.C.

- U.S.-EPA. 1974. Methods for chemical analysis of water and wastes. Lab. Nat. Env. Res. Cent. Cincinnati, Ohio, U.S.A. 294 pp.
- U.S.-EPA. 1987. Quality Criteria for Water 1986. Office of water regulation and standards. Washington, D.C.
- VATHITYANATHAN, P. AND RAMANATHAN, A.L. 1993. Transport and distribution of Heavy Metals in Cauvery River. Water, Air and Soil Pollution. 71:13-28.
- VELASCO, M.H.A. 1980. Uso y manejo del suelo. Manual teórico-práctico. Monterrey, México. Instituto Tecnológico y Estudios Superiores de Monterrey.
- WALSH, L.M. 1971. Instrumental methods for analysis of soil and plant tissue. Soil Sci. Amer. Madison, Wisconsin. 222 pp.

APÉNDICES

En el apéndice A se incluyen los datos completos del agua, de los suelos y de las plantas.

En el apéndice B se presentan los sumarios estadísticos de las variables analizadas en el agua, en los suelos y en las plantas (**cuadros 1, 2, 3, 4 y 5**). El análisis de varianza de un factor de las variables de agua, suelos y plantas se presentan en los **cuadros 6, 7, 8, 9 y 10**. Las matrices de correlación de las variables de agua y suelo con los metales solubles, extractables y totales, además de los metales totales en las plantas se muestran en los **cuadros 12, 13, 14 y 15**. Los valores de los índices de contaminación en los suelos se incluyen en el **cuadro 16**.

En el apéndice C se muestran las pruebas de rango múltiple de Bonferroni de cada una de las variables analizadas.

APÉNDICE A

APÉNDICE A

Tabla 1. Concentración del pH del agua de riego del ejido Flores Magón, Atlixco, Puebla.

SITIO	DIC93	MAY94	SEP94	OCT94	NOV94	DIC94	MAR95	ABR95	MAY95
1. Pte. Colorado	ND	7.4	7.3	7.4	7.3	7.5	7.5	7.6	7.1
2. Ameyal	8.2	7.4	7.7	7.7	7.9	7.9	ND	ND	7.8
3. Pte. de la Viga	7.8	7.6	7.4	7.7	7.5	7.7	7.7	7.9	7.6
4. Noria	7.8	7.2	7.4	7.3	7.5	7.6	ND	ND	7.2
5. Canal	8.1	7.6	7.6	ND	7.7	ND	ND	ND	ND
6. Canal	7.9	7.7	7.7	7.8	ND	7.9	7.7	8.1	7.5
7. Canal	7.9	7.7	ND	ND	ND	7.6	ND	ND	ND
8. Canal	8.1	7.9	7.6	ND	7.6	7.6	ND	ND	ND
9. Canal	8.0	7.8	7.8	ND	ND	8.0	ND	ND	ND
10. Canal	7.6	7.8	7.7	ND	7.7	ND	ND	ND	ND
11. Canal	7.9	7.8	8.1	ND	7.6	7.7	ND	ND	ND
12. Canal	7.9	7.8	7.8	ND	ND	7.9	ND	ND	ND
13. Canal	8.1	7.7	7.8	ND	ND	7.8	ND	ND	ND
14. Canal	7.6	7.8	7.7	ND	7.5	7.7	ND	ND	7.7
15. Canal	7.6	7.9	7.4	7.8	7.7	7.8	ND	ND	7.8
16. S.A. Ixtahuistla	8.1	7.9	7.8	ND	8.0	7.6	ND	ND	7.2

ND= No se determinó

Tabla 2. Concentración de conductividad eléctrica (en $\mu\text{S cm}^{-1}$) del agua de riego del ejido Flores Magón, Atlixco, Puebla.

SITIO	DIC93	MAY94	SEP94	OCT94	NOV94	DIC94	MAR95	ABR95	MAY95
1. Pte. Colorado	ND	430	490	540	570	610	690	666	670
2. Ameyal	550	520	410	500	660	710	ND	ND	800
3. Pte. de la Viga	900	930	320	690	1000	1100	1350	1550	1500
4. Noria	1400	1350	1250	1200	1200	1350	ND	ND	1400
5. Canal	1100	1100	940	ND	1000	ND	ND	ND	ND
6. Canal	990	950	940	940	ND	1200	1400	1550	1550
7. Canal	1000	950	ND	ND	ND	1200	ND	ND	ND
8. Canal	950	970	850	ND	1000	1200	ND	ND	ND
9. Canal	1000	950	940	ND	ND	1200	ND	ND	ND
10. Canal	930	930	850	ND	1000	ND	ND	ND	ND
11. Canal	1000	1000	810	ND	1000	1200	ND	ND	ND
12. Canal	1000	990	830	ND	ND	1200	ND	ND	ND
13. Canal	1000	990	970	ND	ND	1200	ND	ND	ND
14. Canal	1000	950	830	ND	1000	1170	ND	ND	1500
15. Canal	1000	960	490	750	1000	1230	ND	ND	1650
16. S.A. Ixtahuistla	600	240	740	ND	720	770	ND	ND	850

ND= No se determinó

Tabla 3. Concentración de calcio (en mmol L⁻¹) del agua de riego del ejido Flores Magón, Atlixco, Puebla.

SITIO	DIC93	MAY94	SEP94	OCT94	NOV94	DIC94	MAR95	ABR95	MAY95
1. Pte. Colorado	ND	1.60	1.80	2.00	1.80	2.40	4.20	2.30	2.20
2. Ameyal	2.80	2.60	1.80	1.15	2.60	3.00	ND	ND	2.70
3. Pte. de la Viga	4.60	3.80	0.78	1.61	1.48	0.91	10.60	6.00	6.10
4. Noria	8.60	6.20	4.00	3.91	5.60	1.63	ND	ND	5.50
5. Canal	6.40	5.00	2.37	ND	1.69	ND	ND	ND	ND
6. Canal	5.40	4.20	2.73	1.95	ND	2.15	11.20	6.40	5.80
7. Canal	5.40	3.80	ND	ND	ND	2.30	ND	ND	ND
8. Canal	5.00	4.60	2.27	ND	1.63	2.28	ND	ND	ND
9. Canal	5.80	3.80	2.67	ND	ND	2.27	ND	ND	ND
10. Canal	5.80	4.20	3.40	ND	1.67	ND	ND	ND	ND
11. Canal	5.40	4.00	2.34	ND	1.67	2.25	ND	ND	ND
12. Canal	5.60	3.60	2.60	ND	ND	2.48	ND	ND	ND
13. Canal	6.40	4.00	2.58	ND	ND	2.46	ND	ND	ND
14. Canal	1.60	5.20	2.37	ND	1.88	2.03	ND	ND	5.60
15. Canal	5.40	4.00	2.20	1.89	1.60	2.41	ND	ND	6.40
16. S.A. Ixtahuistla	3.60	1.20	1.88	ND	2.40	1.15	ND	ND	3.10

ND= No se determinó

Tabla 4. Concentración de magnesio (en mmol L⁻¹) del agua de riego del ejido Flores Magón, Atlixco, Puebla.

SITIO	DIC93	MAY94	SEP94	OCT94	NOV94	DIC94	MAR95	ABR95	MAY95
1. Pte. Colorado	ND	2.20	1.01	1.21	2.80	3.20	5.20	2.50	2.20
2. Ameyal	3.80	2.00	2.80	1.42	3.20	3.60	ND	ND	3.70
3. Pte. de la Viga	3.60	2.60	1.06	1.20	1.59	1.79	8.40	4.70	3.70
4. Noria	8.00	6.20	6.80	2.71	5.00	1.37	ND	ND	5.70
5. Canal	6.20	4.60	2.08	ND	1.94	ND	ND	ND	ND
6. Canal	4.80	2.60	2.32	2.18	ND	1.94	8.60	5.00	5.40
7. Canal	4.60	3.20	ND	ND	ND	2.01	ND	ND	ND
8. Canal	4.80	2.80	2.01	ND	1.81	2.02	ND	ND	ND
9. Canal	5.80	3.00	2.37	ND	ND	2.02	ND	ND	ND
10. Canal	5.40	2.60	4.20	ND	1.81	ND	ND	ND	ND
11. Canal	6.00	2.80	1.91	ND	1.79	2.01	ND	ND	ND
12. Canal	2.40	3.20	5.20	ND	ND	2.05	ND	ND	ND
13. Canal	6.00	3.00	2.25	ND	ND	1.94	ND	ND	ND
14. Canal	4.40	3.00	1.94	ND	1.82	1.83	ND	ND	4.40
15. Canal	4.60	2.60	2.60	1.45	1.75	1.87	ND	ND	6.00
16. S.A. Ixtahuistla	4.60	0.80	1.99	ND	4.60	1.90	ND	ND	4.50

ND=No se determinó

Tabla 5. Concentración de sodio (en mmol L⁻¹) del agua de riego del ejido Flores Magón, Atlixco, Puebla.

SITIO	DIC93	MAY94	SEP94	OCT94	NOV94	DIC94	MAR95	ABR95	MAY95
1 Pte. Colorado	ND	0.16	1.56	1.60	1.04	1.63	2.80	2.46	2.20
2 Ameyal	1.84	0.14	1.06	1.35	1.08	1.61	ND	ND	2.25
3 Pte. de la Viga	4.40	0.37	0.78	2.70	3.98	4.77	6.31	6.06	4.86
4 Noria	1.53	0.44	3.52	3.84	4.55	4.34	ND	ND	4.02
5 Canal	1.35	0.41	2.38	ND	4.55	ND	ND	ND	ND
6 Canal	1.48	0.38	2.31	3.05	ND	1.69	6.13	5.09	4.49
7 Canal	1.50	0.38	ND	ND	ND	4.84	ND	ND	ND
8 Canal	1.50	0.41	2.17	ND	4.48	4.91	ND	ND	ND
9 Canal	1.44	0.35	2.27	ND	ND	4.70	ND	ND	ND
10 Canal	1.44	0.37	2.10	ND	4.55	ND	ND	ND	ND
11 Canal	1.63	0.38	2.03	ND	4.34	4.71	ND	ND	ND
12 Canal	1.65	0.35	2.24	ND	ND	4.98	ND	ND	ND
13 Canal	1.40	0.31	2.27	ND	ND	5.05	ND	ND	ND
14 Canal	1.73	0.30	2.17	ND	4.62	4.98	ND	ND	4.65
15 Canal	5.45	0.32	1.13	2.77	4.76	5.19	ND	ND	4.86
16. S.A. Ixtahuistla	0.92	0.03	1.57	ND	1.06	1.51	ND	ND	2.20

ND= No se determinó

Tabla 6. Concentración de potasio (en mmol L⁻¹) del agua de riego del ejido Flores Magón, Atlixco, Puebla.

SITIO	DIC93	MAY94	SEP94	OCT94	NOV94	DIC94	MAR95	ABR95	MAY95
1. Pte. Colorado	ND	0.26	0.29	0.40	0.33	0.24	0.50	0.31	0.32
2. Ameyal	0.30	0.34	0.22	0.30	0.32	0.28	ND	ND	0.30
3. Pte. de la Viga	0.41	0.47	0.16	0.41	0.53	0.50	0.71	0.74	0.53
4. Noria	1.43	0.46	0.35	0.44	0.41	0.39	ND	ND	0.42
5. Canal	0.49	0.51	0.59	ND	0.61	ND	ND	ND	ND
6. Canal	0.67	0.53	0.51	0.49	ND	0.56	0.80	0.96	0.64
7. Canal	0.70	0.57	ND	ND	ND	0.63	ND	ND	ND
8. Canal	0.61	0.55	0.49	ND	0.68	0.64	ND	ND	ND
9. Canal	0.46	0.58	0.45	ND	ND	0.61	ND	ND	ND
10. Canal	0.50	0.51	0.48	ND	0.68	ND	ND	ND	ND
11. Canal	0.46	0.61	0.40	ND	0.66	0.67	ND	ND	ND
12. Canal	0.47	0.68	0.39	ND	ND	0.64	ND	ND	ND
13. Canal	0.38	0.66	0.42	ND	ND	0.59	ND	ND	ND
14. Canal	0.48	0.55	0.41	ND	0.60	0.53	ND	ND	0.62
15. Canal	0.51	0.46	0.32	0.54	0.61	0.59	ND	ND	0.59
16. S.A. Ixtahuistla	0.21	0.07	0.30	ND	0.23	0.20	ND	ND	0.22

ND= No se determinó

Tabla 7. Concentración de bicarbonatos (en mmol L⁻¹) del agua de riego del ejido Flores Magón, Atlixco, Puebla.

SITIO	DIC93	MAY94	SEP94	OCT94	NOV94	DIC94	MAR95	ABR95	MAY95
1. Pte. Colorado	ND	2.88	3.20	3.80	4.41	4.41	6.04	5.08	5.28
2. Ameyal	4.92	4.22	3.84	3.45	4.80	4.99	ND	ND	6.24
3. Pte. de la Viga	5.56	4.42	2.30	3.80	5.56	5.18	9.12	10.65	9.40
4. Noria	7.20	4.80	5.68	5.56	6.14	6.14	ND	ND	7.20
5. Canal	5.98	4.40	3.80	ND	5.56	ND	ND	ND	ND
6. Canal	8.80	3.80	4.60	4.99	ND	6.91	9.40	10.75	8.64
7. Canal	8.80	4.80	ND	ND	ND	5.37	ND	ND	ND
8. Canal	6.14	4.00	4.60	ND	5.18	5.18	ND	ND	ND
9. Canal	6.33	4.00	5.36	ND	ND	5.76	ND	ND	ND
10. Canal	5.95	4.22	6.52	ND	5.18	ND	ND	ND	ND
11. Canal	5.37	3.60	4.60	ND	4.99	5.80	ND	ND	ND
12. Canal	5.56	4.00	4.40	ND	ND	6.00	ND	ND	ND
13. Canal	6.90	4.99	5.20	ND	ND	6.00	ND	ND	ND
14. Canal	5.89	4.80	4.41	ND	6.20	6.00	ND	ND	9.70
15. Canal	5.56	4.80	2.68	4.03	5.18	6.00	ND	ND	7.87
16. S.A. Ixtahuistla	6.20	2.30	4.60	ND	5.18	5.37	ND	ND	6.33

ND= No se determinó

Tabla 8. Concentración de cloruros (en mmol L⁻¹) del agua de riego del ejido Flores Magón, Atlixco, Puebla.

SITIO	DIC93	MAY94	SEP94	OCT94	NOV94	DIC94	MAR95	ABR95	MAY95
1. Pte. Colorado	ND	0.51	0.80	0.71	0.61	1.40	1.07	0.61	0.71
2. Ameyal	2.30	0.81	0.51	0.51	0.71	1.40	ND	ND	0.71
3. Pte. de la Viga	3.60	1.73	0.51	1.53	1.73	2.95	3.11	2.85	3.00
4. Noria	6.90	3.50	2.85	3.16	2.95	3.46	ND	ND	2.95
5. Canal	3.90	1.80	1.40	ND	2.14	ND	ND	ND	ND
6. Canal	1.22	1.50	1.60	2.04	ND	2.95	3.31	3.06	6.40
7. Canal	2.14	1.73	ND	ND	ND	2.26	ND	ND	ND
8. Canal	3.60	1.70	1.42	ND	1.83	3.16	ND	ND	ND
9. Canal	3.80	1.40	1.53	ND	ND	2.85	ND	ND	ND
10. Canal	4.00	1.70	1.42	ND	2.04	ND	ND	ND	ND
11. Canal	3.90	1.70	1.22	ND	1.93	3.30	ND	ND	ND
12. Canal	2.34	1.70	1.22	ND	ND	3.40	ND	ND	ND
13. Canal	2.14	2.04	1.40	ND	ND	3.70	ND	ND	ND
14. Canal	2.24	1.63	1.02	ND	1.62	3.50	ND	ND	3.00
15. Canal	4.00	1.83	0.71	1.83	2.04	3.90	ND	ND	3.46
16. S.A. Ixtahuistla	2.00	0.20	0.51	ND	0.71	0.61	ND	ND	0.56

ND= No se determinó

Tabla 9. Concentración de sulfatos (en mmol L⁻¹) del agua de riego del ejido Flores Magón, Atlixco, Puebla.

SITIO	DIC93	MAY94	SEP94	OCT94	NOV94	DIC94	MAR95	ABR95	MAY95
1. Pte. Colorado	ND	0.17	0.00	0.00	0.90	1.66	4.96	1.88	0.93
2. Ameyal	0.51	0.51	1.53	0.17	0.90	2.10	ND	ND	2.00
3. Pte. de la Viga	3.25	0.19	0.00	0.17	1.60	0.10	13.79	3.90	2.79
4. Noria	4.11	3.94	2.91	2.05	5.65	0.00	ND	ND	5.47
5. Canal	3.94	2.57	2.40	ND	0.68	ND	ND	ND	ND
6. Canal	2.40	2.39	1.90	1.37	ND	0.19	14.02	3.64	1.29
7. Canal	1.88	0.17	ND	ND	ND	1.15	ND	ND	ND
8. Canal	2.57	2.57	1.02	ND	1.37	1.51	ND	ND	ND
9. Canal	3.42	2.30	0.10	ND	ND	0.99	ND	ND	ND
10. Canal	2.39	0.68	0.00	ND	1.54	ND	ND	ND	ND
11. Canal	2.22	1.71	0.68	ND	1.54	0.54	ND	ND	ND
12. Canal	3.25	1.54	4.96	ND	ND	0.75	ND	ND	ND
13. Canal	4.11	0.17	2.22	ND	ND	0.34	ND	ND	ND
14. Canal	3.59	0.68	1.20	ND	1.19	0.10	ND	ND	2.57
15. Canal	3.77	0.75	2.20	0.85	2.05	0.10	ND	ND	6.52
16. S.A. Ixtahuistla	0.34	0.00	0.60	ND	2.00	0.00	ND	ND	3.13

ND= No se determinó

Tabla 10. Concentración de plomo soluble (en mg L⁻¹) del agua de riego del ejido Flores Magón, Atlixco, Puebla.

SITIOS	DIC93	MAY94	SEP94	OCT94	NOV94	DIC94	MAR95	ABR95	MAY95
1. Pte. Colorado	ND	0.01	0.10	0.01	0.01	0.01	0.17	0.17	0.30
2. Ameyal	0.12	0.01	0.00	0.01	0.01	0.01	ND	ND	0.30
3. Pte. de la Viga	0.08	0.01	0.10	0.01	0.01	0.01	0.17	0.17	0.15
4. Noria	0.11	0.01	0.010	0.01	0.01	0.01	ND	ND	0.15
5. Canal	0.10	0.08	0.10	ND	0.01	ND	ND	ND	ND
6. Canal	0.10	0.01	0.01	0.01	ND	0.01	0.17	0.17	0.15
7. Canal	0.07	0.01	ND	ND	ND	0.01	ND	ND	ND
8. Canal	0.08	0.01	0.21	ND	0.01	0.01	ND	ND	ND
9. Canal	0.07	0.01	0.01	ND	ND	0.01	ND	ND	ND
10. Canal	0.09	0.08	0.01	ND	0.01	ND	ND	ND	ND
11. Canal	0.08	0.01	0.10	ND	0.01	0.01	ND	ND	ND
12. Canal	0.08	0.01	0.01	ND	ND	0.01	ND	ND	ND
13. Canal	0.07	0.08	0.10	ND	ND	0.01	ND	ND	ND
14. Canal	0.07	0.01	0.01	ND	0.01	0.01	ND	ND	0.15
15. Canal	0.09	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	ND	ND	0.15
16. S.A. Ixtahuistla	0.08	0.01	0.01	ND	0.01	0.01	ND	ND	0.30

ND= No se determinó

Límite de detección: 0.01 mg L⁻¹

Tabla 11. Concentración de cromo soluble (en mg L⁻¹) del agua de riego del ejido Flores Magón, Atlixco, Puebla.

SITIO	DIC93	MAY94	SEP94	OCT94	NOV94	DIC94	MAR95	ABR95	MAY95
1. Pte. Colorado	ND	0.018	0.003	0.003	0.003	0.099	0.018	0.018	0.020
2. Ameyal	0.003	0.018	0.003	0.003	0.003	0.019	ND	ND	0.020
3. Pte. de la Viga	0.003	0.018	0.003	0.003	0.003	0.039	0.018	0.018	0.020
4. Noria	0.003	0.037	0.003	0.003	0.003	0.019	ND	ND	0.020
5. Canal	0.003	0.003	0.003	ND	0.003	ND	ND	ND	ND
6. Canal	0.003	0.018	0.003	0.02	ND	0.003	0.018	0.018	0.020
7. Canal	0.003	0.003	ND	ND	ND	0.003	ND	ND	ND
8. Canal	0.003	0.018	0.003	ND	0.003	0.003	ND	ND	ND
9. Canal	0.003	0.018	0.021	ND	ND	0.003	ND	ND	ND
10. Canal	0.003	0.003	0.003	ND	0.003	ND	ND	ND	ND
11. Canal	0.003	0.003	0.003	ND	0.003	0.003	ND	ND	ND
12. Canal	0.003	0.003	0.003	ND	ND	0.003	ND	ND	ND
13. Canal	0.003	0.018	0.003	ND	ND	0.019	ND	ND	ND
14. Canal	0.003	0.018	0.021	ND	0.003	0.019	ND	ND	0.020
15. Canal	0.003	0.018	0.003	0.003	0.003	0.003	ND	ND	0.020
16. S.A. Ixtahuistla	0.003	0.018	0.003	ND	0.02	0.019	ND	ND	0.020

ND= No se determinó

Límite de detección: 0.003 mg L⁻¹

Tabla 12. Concentración de cadmio soluble (en mg L⁻¹) del agua de riego del ejido Flores Magón, Atlixco, Puebla.

SITIO	DIC93	MAY94	SEP94	OCT94	NOV94	DIC94	MAR95	ABR95	MAY95
1. Pte. Colorado	ND	0.005	0.001	0.001	0.001	0.001	0.009	0.005	0.015
2. Ameyal	0.012	0.005	0.001	0.001	0.001	0.000	ND	ND	0.001
3. Pte. de la Viga	0.016	0.005	0.001	0.001	0.001	0.005	0.009	0.005	0.020
4. Noria	0.016	0.005	0.005	0.001	0.001	0.001	ND	ND	0.010
5. Canal	0.016	0.005	0.001	ND	0.005	ND	ND	ND	ND
6. Canal	0.015	0.005	0.000	0.001	ND	0.001	0.009	0.010	0.015
7. Canal	0.018	0.010	ND	ND	ND	0.001	ND	ND	ND
8. Canal	0.018	0.001	0.001	ND	0.001	0.001	ND	ND	ND
9. Canal	0.016	0.010	0.001	ND	ND	0.001	ND	ND	ND
10. Canal	0.017	0.010	0.001	ND	0.001	ND	ND	ND	ND
11. Canal	0.017	0.005	0.001	ND	0.001	0.001	ND	ND	ND
12. Canal	0.017	0.005	0.001	ND	ND	0.001	ND	ND	ND
13. Canal	0.016	0.005	0.005	ND	ND	0.001	ND	ND	ND
14. Canal	0.016	0.010	0.005	ND	0.001	0.001	ND	ND	0.010
15. Canal	0.019	0.015	0.001	0.001	0.001	0.001	ND	ND	0.020
16. S.A. Ixtahuistla	0.016	0.010	0.001	ND	0.001	0.001	ND	ND	0.010

ND= No se determinó

Límite de detección: 0.001 mg L⁻¹

Tabla 13. Concentración de níquel soluble (en mg L⁻¹) del agua de riego del ejido Flores Magón, Atlixco, Puebla.

SITIO	DIC93	MAY94	SEP94	OCT94	NOV94	DIC94	MAR95	ABR95	MAY95
1. Pte. Colorado	ND	0.005	0.079	0.099	0.005	0.005	0.035	0.035	0.091
2. Ameyal	0.108	0.315	0.079	0.005	0.005	0.005	ND	ND	0.121
3. Pte. de la Viga	0.190	0.063	0.079	0.033	0.005	0.005	0.069	0.139	0.061
4. Noria	0.125	0.063	0.039	0.099	0.005	0.005	ND	ND	0.091
5. Canal	0.221	0.094	0.079	ND	0.005	ND	ND	ND	ND
6. Canal	0.212	0.063	0.005	0.099	ND	0.005	0.069	0.069	0.121
7. Canal	0.212	0.063	ND	ND	ND	0.005	ND	ND	ND
8. Canal	0.202	0.094	0.079	ND	0.005	0.005	ND	ND	ND
9. Canal	0.198	0.063	0.079	ND	ND	0.005	ND	ND	ND
10. Canal	0.219	0.063	0.039	ND	0.005	ND	ND	ND	ND
11. Canal	0.233	0.005	0.005	ND	0.005	0.005	ND	ND	ND
12. Canal	0.209	0.063	0.079	ND	ND	0.005	ND	ND	ND
13. Canal	0.231	0.031	0.079	ND	ND	0.005	ND	ND	ND
14. Canal	0.222	0.005	0.039	ND	0.005	0.005	ND	ND	0.091
15. Canal	0.246	0.094	0.079	0.099	0.005	0.005	ND	ND	0.091
16. S.A. Ixtahuistla	0.228	0.063	0.039	ND	0.005	0.005	ND	ND	0.091

ND= No se determinó

Límite de detección: 0.005 mg L⁻¹

Tabla 14. Concentración de manganeso soluble (en mg L⁻¹) del agua de riego del ejido Flores Magón, Atlixco, Puebla.

SITIO	DIC93	MAY94	SEP94	OCT94	NOV94	DIC94	MAR95	ABR95	MAY95
1. Pte. Colorado	ND	0.012	0.051	0.001	0.100	0.001	0.163	0.063	0.001
2. Ameyal	0.001	0.012	0.026	0.001	0.050	0.001	ND	ND	0.001
3. Pte. de la Viga	0.229	0.012	0.013	0.001	0.251	0.024	0.088	0.325	0.248
4. Noria	0.001	0.012	0.013	0.001	0.100	0.001	ND	ND	0.001
5. Canal	0.133	0.012	0.013	ND	0.001	ND	ND	ND	ND
6. Canal	0.001	0.012	0.026	0.001	ND	0.024	0.050	0.250	0.037
7. Canal	0.000	0.012	ND	ND	ND	0.144	ND	ND	ND
8. Canal	0.083	0.012	0.013	ND	0.001	0.001	ND	ND	ND
9. Canal	0.169	0.012	0.026	ND	ND	0.036	ND	ND	ND
10. Canal	0.028	0.024	0.013	ND	0.001	ND	ND	ND	ND
11. Canal	0.314	0.012	0.001	ND	0.001	0.001	ND	ND	ND
12. Canal	0.346	0.012	0.001	ND	ND	0.036	ND	ND	ND
13. Canal	0.061	0.024	0.001	ND	ND	0.060	ND	ND	ND
14. Canal	0.367	0.012	0.013	ND	0.232	0.169	ND	ND	0.248
15. Canal	0.326	0.012	0.001	0.001	0.001	0.001	ND	ND	0.012
16. S.A. Ixtahuistla	0.001	0.012	0.001	ND	0.001	0.001	ND	ND	0.025

ND= No se determinó

Límite de detección: 0.001 mg L⁻¹

Tabla 15. Propiedades físicas y químicas de los suelos del ejido Flores Magón, Atlixco, Puebla.

Sitios	suelo-agua	suelo-KCl	cmol kg ⁻¹				
	pH (1:2.5)	pH (1:2.5)	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺	CICT
1. ejido	7.70	6.60	21.20	6.89	0.77	0.49	30.10
2. ejido	7.70	6.60	14.31	9.01	0.64	1.18	21.70
3. ejido	7.70	6.50	14.84	7.42	0.68	0.88	27.00
4. ejido	7.90	6.80	23.32	9.01	0.86	0.46	33.50
5. ejido	7.60	6.60	20.67	11.66	1.04	0.62	33.80
6. ejido	8.10	7.10	19.61	10.07	0.77	0.54	35.70
7. ejido	7.70	6.70	17.49	9.54	1.04	1.11	25.40
8. ejido	7.70	6.70	16.96	9.54	0.86	0.59	32.20
9. ejido	7.80	6.60	16.96	10.07	0.73	0.80	30.50
10. ejido	7.70	6.70	18.55	10.07	1.80	1.86	37.50
11. ejido	7.40	6.50	14.84	6.36	0.95	0.77	23.30
12. ejido	7.50	6.50	16.96	10.60	0.77	0.67	30.70
13. Sn. Félix Hgo.	7.90	6.90	9.01	7.95	0.37	0.46	15.30
14. Sn. A Ixtahuistla	7.40	6.30	7.95	5.83	0.64	0.54	22.30
15. Ribera del río	7.70	6.70	2.65	2.65	0.02	0.25	4.70

Tabla 15. Continuación...

Sitios	%			mg kg ⁻¹	%			Clase textural
	MO	NT	CO ₃ ²⁻ insolubles	P	Arena	Limo	Arcilla	
1. ejido	2.42	0.13	2.94	7.00	37.12	33.64	29.24	migajón arcilloso
2. ejido	1.95	0.12	3.01	47.30	41.12	21.28	29.60	migajón arcarenoso
3. ejido	2.22	0.13	2.20	52.20	53.12	23.64	23.24	migajón arcarenoso
4. ejido	1.63	0.10	3.31	13.70	38.76	29.64	31.60	migajón arcilloso
5. ejido	2.24	0.12	4.22	15.00	31.12	41.64	27.24	franco
6. ejido	1.18	0.10	2.46	8.80	49.48	27.64	22.88	migajón arcarenoso
7. ejido	1.42	0.12	2.18	74.20	48.76	31.64	19.60	franco
8. ejido	2.33	0.16	2.37	44.50	49.12	33.64	17.24	franco
9. ejido	2.66	0.16	2.45	42.00	41.48	37.28	21.24	franco
10. ejido	0.96	0.06	1.79	19.40	50.76	33.64	15.60	franco
11. ejido	1.81	0.11	2.11	30.00	55.12	29.64	15.24	migajón arcarenoso
12. ejido	2.31	0.16	1.47	17.90	40.76	37.64	21.60	franco
13. Sn Félix Hgo.	1.02	0.05	1.09	23.00	61.12	25.28	13.60	migajón arcarenoso
14. Sn. A Ixtahuistla	0.75	0.06	1.05	29.00	69.12	19.28	11.60	migajón arcarenoso
15. Ribera del río	1.94	0.05	2.83	19.40	92.76	3.64	3.60	arenoso

Tabla 16. Concentración (en mg kg⁻¹) de metales extractables con DTPA-TEA-CaCl₂ en los suelos del ejido Flores Magón Atlixco, Puebla.

sitios	Pb	Cr	Cd	Ni	Mn
1. ejido	5.0	< 0.04	0.30	6.0	84
2. ejido	5.7	< 0.04	0.30	6.0	90
3. ejido	6.0	< 0.04	0.30	7.0	109
4. ejido	4.0	< 0.04	0.3	5.0	67
5. ejido	4.7	< 0.04	0.40	7.0	104
6. ejido	3.2	< 0.04	0.30	5.0	71
7. ejido	5.3	< 0.04	0.30	8.0	106
8. ejido	5.0	< 0.04	0.30	7.0	96
9. ejido	7.3	< 0.04	0.40	8.0	107
10. ejido	2.1	< 0.04	0.25	4.0	43
11. ejido	5.1	< 0.04	0.30	7.0	101
12. ejido	4.5	< 0.04	0.30	8.0	121
13. Sn. Félix Hgo.	2.0	< 0.04	0.30	6.0	56
14. Sn. A. Ixtahuistla	2.1	< 0.04	0.30	7.0	84
15. Ribera del río	3.7	< 0.04	0.20	4.0	43

Límite de detección para Cr: 0.04 mg kg⁻¹

Tabla 17. Concentración (en mg kg⁻¹) de metales totales en los suelos del ejido Flores Magón Atlixco, Puebla.

Sitios	Pb	Cr	Cd	Ni	Mn
1. ejido	< 100	131	< 6	44	300
2. ejido	< 100	150	< 6	74	310
3. ejido	< 100	150	< 6	60	320
4. ejido	< 100	130	< 6	74	270
5. ejido	< 100	210	< 6	104	290
6. ejido	< 100	130	< 6	90	350
7. ejido	< 100	570	< 6	90	300
8. ejido	< 100	250	< 6	104	310
9. ejido	< 100	180	< 6	74	310
10. ejido	< 100	60	< 6	44	220
11. ejido	< 100	180	< 6	74	350
12. ejido	< 100	130	< 6	74	300
13. Sn. Félix Hgo.	< 100	130	< 6	60	260
14. Sn. A. Ixtahuistla	< 100	140	< 6	44	260
15. Ribera del río	< 100	320	< 6	90	430

Límite de detección para Pb: 100 mg kg⁻¹ y Cd: 6 mg kg⁻¹

Tabla 18. Concentración (en mg kg⁻¹) de metales totales en los cultivos del ejido Flores Magón, Atlixco, Puebla.

sitio	cultivo	órgano	Mn	Ni	Cd	Pb	Cr
1. ejido	alfalfa	planta	55	5	< 0.3	11	1
	alfalfa	raíz	40	5	< 0.3	11	2
	alfalfa	planta	50	7	0.8	9	< 1
	alfalfa	planta	50	7	0.5	9	1
2. ejido	cebolla	planta	75	5	< 0.3	11	1
	cebolla	fruto	30	3	0.5	< 8	1
	maíz	planta	19	9	0.5	< 8	15
	maíz	raíz	9	6	0.2	9	3
	alfalfa	planta	30	12	0.5	9	1
3. ejido	maíz	planta	20	3	< 0.3	< 8	1
	maíz	raíz	25	3	0.5	16	3
	alfalfa	planta	30	12	0.5	9	1
4. ejido	alfalfa	planta	35	5	< 0.3	< 8	3
	maíz	planta	25	3	0.5	9	< 1
	maíz	raíz	5.0	4	< 0.3	< 8	1
	alfalfa	planta	35	12	0.5	9	3
5. ejido	alfalfa	planta	55	3	0.50	< 8	1
	terciopelo	tallo	40	4	0.5	18	1
	terciopelo	raíz	45	6	0.5	9	6
	terciopelo	flor	45	7	< 0.3	< 8	1
6. ejido	alfalfa	planta	35	3	1	11	1
	alfalfa	raíz	65	7	0.5	11	4
	alfalfa	planta	20	4	< 0.3	< 8	< 1
7. ejido	gladiola	planta	50	3	0.5	11	1
	gladiola	raíz	15	3	< 0.3	11	1
	alfalfa	planta	40	3	< 0.3	9	1
	alfalfa	planta	28	< 2	< 0.3	9	< 1
8. ejido	alfalfa	planta	38	3	< 0.3	< 8	1
	alfalfa	raíz	70	5	0.5	< 8	5
	alfalfa	planta	155	6	0.8	< 8	2
	alfalfa	planta	30	4	0.8	9	< 1

Límite de detección para Pb: 8 mg kg⁻¹, Cr: 1 mg kg⁻¹, Cd: 0.3 mg kg⁻¹ y Ni: 2 mg kg⁻¹

Tabla 18. Continuación...

Sitio	cultivo	órgano	Mn	Ni	Cd	Pb	Cr
9. ejido	cebolla	fruto	25	7	< 0.3	11	2
	alfalfa	planta	25	3	1	9	3
	gladiola	planta	30	4	0.5	9	3
10. ejido	gladiola	planta	45	< 2	< 0.3	< 8	3
	gladiola	raíz	15	3	< 0.3	11	2
	alfalfa	planta	35	6	< 0.3	9	2
11. ejido	alfalfa	planta	45	5	< 0.3	11	1
	alfalfa	planta	35	6	0.5	< 8	3
12. ejido	pasto	planta	60	7	< 0.3	11	1
	pasto	raíz	100	9	< 0.3	11	5
	alfalfa	planta	35	6	0.5	9	2
	alfalfa	planta	35	3	0.5	9	2
13. Sn. Félix Hgo.	cebolla	planta	95	5	0.5	11	2
	cebolla	fruto	30	< 2	< 0.3	5.55	2
	gladiola	planta	50	4	0.8	< 8	2
	gladiola	raíz	20	6	0.5	< 8	2
14. Sn. A. Ixtahuistla	tomate	planta	95	3	0.5	< 8	3
	tomate	raíz	75	9	0.5	11	6
	rábano	fruto	50	5	0.5	11	1
15. Ribera del río	sifolia	planta	20	3	< 0.3	< 8	1
	sifolia	raíz	5	3	< 0.3	< 8	1

Límite de detección para Pb: 8 mg kg⁻¹, Cr: 1 mg kg⁻¹, Cd: 0.3 mg kg⁻¹ y Ni: 2 mg kg⁻¹

APÉNDICE B

Cuadro 1. Sumario estadístico de las propiedades químicas del agua de riego del ejido Flores Magón, Atlixco, Puebla.

	Tipo de sitio	promedio	mínimo	máximo	Desviación Estándar	Error estándar
pH	testigo	7.56	7.4	7.9	0.28	0.16
	canales	7.75	7.6	7.9	0.09	0.02
	noria	7.20	7.2	7.2	0.00	0.0
C E ($\mu\text{S cm}^{-1}$)	testigo	396.6	240	520	143	83
	canales	972.5	930	1100	46	14
	noria	1350	1350	1350	0.0	0.0
Ca^{2+} (mmol L ⁻¹)	testigo	1.80	1.20	2.60	0.72	0.41
	canales	3.98	3.00	5.20	0.74	0.21
	noria	6.20	6.20	6.20	0.00	0.00
Mg^{2+} (mmol L ⁻¹)	testigo	1.67	0.80	2.20	0.75	0.43
	canales	3.00	2.60	4.60	0.55	0.16
	noria	6.20	6.20	6.20	0.00	0.00
Na^+ (mmol L ⁻¹)	testigo	0.11	0.03	0.16	0.07	0.04
	canales	0.35	0.30	0.41	0.03	0.01
	noria	0.44	0.44	0.44	0.00	0.00
K^+ (mmol L ⁻¹)	testigo	0.22	0.07	0.34	0.13	0.008
	canales	0.53	0.23	0.68	0.11	0.033
	noria	0.46	0.46	0.46	0.00	0.00
HCO_3^- (mmol L ⁻¹)	testigo	3.13	2.30	4.22	0.90	0.57
	canales	4.31	3.60	4.99	0.45	0.13
	noria	4.80	4.80	4.80	0.00	0.00
Cl^- (mmol L ⁻¹)	testigo	0.50	0.20	0.81	0.30	0.18
	canales	1.70	1.40	2.04	0.15	0.05
	noria	3.50	3.50	3.50	0.00	0.00
SO_4^{2-} (mmol L ⁻¹)	testigo	0.22	0.00	0.51	0.25	0.15
	canales	1.31	0.17	2.57	0.97	0.28
	noria	3.94	3.94	3.94	0.00	0.00

Cuadro 2. Sumario estadístico de metales solubles en el agua de riego del ejido Flores Magón, Atlixco, Puebla.

	Tipo de sitio	promedio	mínimo	máximo	Desviación Estándar	Error estándar
Pb (mg L ⁻¹)	testigo	0.01	0.01	0.01	0.00	0.000
	canales	0.02	0.01	0.08	0.03	0.009
	noria	0.01	0.01	0.01	0.00	0.000
Cr (mg L ⁻¹)	testigo	0.018	0.018	0.018	0.000	0.000
	canales	0.011	0.003	0.018	0.007	0.002
	noria	0.037	0.037	0.037	0.000	0.000
Cd (mg L ⁻¹)	testigo	0.006	0.005	0.01	0.002	0.0016
	canales	0.007	0.001	0.015	0.003	0.0010
	noria	0.005	0.005	0.005	0.000	0.0000
Ni (mg L ⁻¹)	testigo	0.12	0.005	0.315	0.16	0.095
	canales	0.05	0.005	0.094	0.03	0.008
	noria	0.06	0.063	0.063	0.00	0.000
Mn (mg L ⁻¹)	testigo	0.012	0.012	0.012	0.000	0.000
	canales	0.014	0.012	0.024	0.004	0.001
	noria	0.012	0.012	0.012	0.000	0.000

Cuadro 3. Sumario estadístico de las propiedades químicas del suelo del ejido Flores Magón, Atlixco, Puebla.

	Tipo de sitio	promedio	mínimo	máximo	Desviación Estándar	Error estándar
pH	testigo	7.66	7.4	7.9	0.25	0.145
	ejido	7.70	7.4	8.1	0.17	0.051
Ca ²⁺ (cmol kg ⁻¹)	testigo	6.53	2.65	9.01	3.4	1.96
	ejido	17.97	14.31	23.32	2.7	0.80
Mg ²⁺ (cmol kg ⁻¹)	testigo	5.47	2.65	7.95	2.6	1.54
	ejido	9.18	6.36	11.6	1.5	0.45
Na ⁺ (cmol kg ⁻¹)	testigo	0.34	0.017	0.64	0.31	0.18
	ejido	0.90	0.64	1.8	0.30	0.08
K ⁺ (cmol kg ⁻¹)	testigo	0.41	0.25	0.53	0.14	0.08
	ejido	0.83	0.46	1.86	0.39	0.11
CICT (cmol kg ⁻¹)	testigo	14.10	4.7	22.3	8.6	5.11
	ejido	30.11	21.7	37.5	4.9	1.41
MO %	testigo	1.23	0.75	1.94	0.62	0.36
	ejido	1.92	0.96	2.66	0.53	0.15
NT %	testigo	0.053	0.047	0.058	0.006	0.0036
	ejido	0.122	0.058	0.159	0.028	0.0083
CO ₃ ⁻ %	testigo	1.65	1.05	2.83	1.01	0.58
	ejido	2.54	1.47	4.22	0.73	0.21
P (mg Kg ⁻¹)	testigo	23.8	19.4	29.0	4.8	2.80
	ejido	31.0	7.0	74.2	20.9	6.04
Arena %	testigo	44.7	61.12	92.76	16.4	9.49
	ejido	74.3	31.12	55.12	7.3	2.11
Limo %	testigo	16.0	3.64	25.28	11.1	6.45
	ejido	31.7	21.28	41.64	5.8	1.68
Arcilla %	testigo	9.6	3.6	13.6	5.2	3.05
	ejido	22.8	15.24	31.6	5.5	1.60

Cuadro 4. Sumario estadístico de metales extractables con DTPA y totales del suelo del ejido Flores Magón, Atlixco, Puebla.

	Tipo de sitio	promedio	mínimo	máximo	Desviación Estándar	Error estándar
EXTRACTABLES						
Pb (mg Kg ⁻¹)	testigo	2.6	2.0	3.7	0.95	0.54
	ejido	4.8	2.1	7.3	1.33	0.38
Cr (mg Kg ⁻¹)	testigo	< 0.04	< 0.04	< 0.04	0	0
	ejido	< 0.04	< 0.04	< 0.04	0	0
Cd (mg Kg ⁻¹)	testigo	0.27	0.2	0.3	0.06	0.03
	ejido	0.32	0.3	0.4	0.04	0.012
Ni (mg Kg ⁻¹)	testigo	5.7	4	7	1.52	0.87
	ejido	6.5	4	8	1.31	0.38
Mn (mg Kg ⁻¹)	testigo	61	43	84	21	12.12
	ejido	92	43	121	22	6.35
TOTALES						
Pb (mg Kg ⁻¹)	testigo	< 100	< 100	< 100	0	0
	ejido	< 100	< 100	< 100	0	0
Cr (mg Kg ⁻¹)	testigo	197	130	320	107	62
	ejido	189	60	570	129	37
Cd (mg Kg ⁻¹)	testigo	< 6	< 6	< 6	0	0
	ejido	< 6	< 6	< 6	0	0
Ni (mg Kg ⁻¹)	testigo	65	44	90	23.4	13.5
	ejido	76	44	104	19.7	5.7
Mn (mg Kg ⁻¹)	testigo	317	260	460	98.1	56.6
	ejido	302.5	220	350	34.4	9.9

AX

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**

Cuadro 5. Sumario estadístico de metales totales en los vegetales del ejido Flores Magón, Atlixco, Puebla.

Pb (mg kg ⁻¹)											
Cultivo	alfalfa	alfalfa	cebolla	cebolla	cebolla	cebolla	gladiola	gladiola	gladiola	gladiola	maíz
promedio	9.4	11	11	11	<8	11	10	11	<8	<8	9
mín.	9	11	11	11	<8	11	9	11	<8	<8	9
máx.	11	11	11	11	<8	11	11	11	<8	<8	9
D.S.	0.82	0	0	0	0	0	1.4	0	0	0	0
E.E.	0.18	0	0	0	0	0	0.8	0	0	0	0
Cr (mg kg ⁻¹)											
promedio	1.7	3.7	1.5	1	2	2	2.4	1.5	2	2	8
mín.	1	2	1	1	2	2	1	1	2	2	1
máx.	3	5	2	1	2	2	3	2	2	2	15
D.S.	0.84	1.53	0.71	0	0	0	1.16	0.71	0	0	9.9
E.E.	0.18	0.88	0.50	0	0	0	0.66	0.50	0	0	5.7
Cd (mg kg ⁻¹)											
promedio	0.65	0.5	0.5	<0.3	<0.3	0.5	0.5	<0.3	0.8	0.5	0.5
mín.	0.5	0.5	0.5	<0.3	<0.3	0.5	0.5	<0.3	0.8	0.5	0.5
máx.	1	0.5	0.5	<0.3	<0.3	0.5	0.5	<0.3	0.8	0.5	0.5
D.S.	0.20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
E.E.	0.04	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Ni (mg kg ⁻¹)											
promedio	5.7	5.7	5	5	<2	5	3.5	3	4	6	5
mín.	3	5	3	5	<2	5	3	3	4	6	3
máx.	12	7	7	5	<2	5	4	3	4	6	9
D.S.	3	1.15	2.8	0	0	0	0.71	0	0	0	3.5
E.E.	0.6	0.66	2	0	0	0	0.40	0	0	0	2
Mn (mg kg ⁻¹)											
promedio	43.14	59	27.5	77	30	95	41.7	15	50	20	21.3
mín.	20	40	25	77	30	95	30	15	50	20	20
máx.	155	70	30	77	30	95	50	15	50	20	25
D.S.	27.3	16.52	3.53	0	0	0	10.41	0	0	0	3.21
E.E.	5.96	9.52	2.50	0	0	0	6.01	0	0	0	1.05

D.S. = Desviación estándar

E.E. = Error estándar

Cuadro 5. Continuación...

Cultivo	Pb (mg kg ⁻¹)										
	maíz	pasto	pasto	rábano	sifolia	sifolia	terciopelo	terciopelo	terciopelo	tomate	tomate
promedio	12.5	11	11	11	<8	<8	<8	9	18	<8	11
min.	9	11	11	11	<8	<8	<8	9	18	<8	11
máx.	16	11	11	11	<8	<8	<8	9	18	<8	11
D.S.	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
E.E.	2.9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Cultivo	Cr (mg kg ⁻¹)										
	maíz	pasto	pasto	rábano	sifolia	sifolia	terciopelo	terciopelo	terciopelo	tomate	tomate
promedio	2.4	1	5	1	1	1	1	6	1	3	6
min.	1	1	5	1	1	1	1	6	1	3	6
máx.	3	1	5	1	1	1	1	6	1	3	6
D.S.	1.15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
E.E.	0.66	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Cultivo	Cd (mg kg ⁻¹)										
	maíz	pasto	pasto	rábano	sifolia	sifolia	terciopelo	terciopelo	terciopelo	tomate	tomate
promedio	0.35	<0.3	<0.3	0.5	<0.3	<0.3	<0.3	0.5	0.5	0.5	0.5
min.	0.2	<0.3	<0.3	0.5	<0.3	<0.3	<0.3	0.5	0.5	0.5	0.5
máx.	0.5	<0.3	<0.3	0.5	<0.3	<0.3	<0.3	0.5	0.5	0.5	0.5
D.S.	0.21	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
E.E.	0.12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Cultivo	Ni (mg kg ⁻¹)										
	maíz	pasto	pasto	rábano	sifolia	sifolia	terciopelo	terciopelo	terciopelo	tomate	tomate
promedio	4.3	7	9	5	3	3	7	6	4	3	9
min.	3	7	9	5	3	3	7	6	4	3	9
máx.	6	7	9	5	3	3	7	6	4	3	9
D.S.	1.53	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
E.E.	2.50	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Cultivo	Mn (mg kg ⁻¹)										
	maíz	pasto	pasto	rábano	sifolia	sifolia	terciopelo	terciopelo	terciopelo	tomate	tomate
promedio	13	60	100	50	20	5	45	45	40	95	75
min.	5	60	100	50	20	5	45	45	40	95	75
máx.	25	60	100	50	20	5	45	45	40	95	75
D.S.	10.58	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
E.E.	6.10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

D.S. = Desviación estándar

E.E. = Error estándar

Cuadro 6. Análisis de varianza de un factor por tipos de sitio (con $P < 0.05$), para las propiedades químicas del agua de riego del ejido Flores Magón, Atlixco, Puebla.

	Fuente de Variación	Suma de cuadrados	g.l.	Cuadrados medios	F _{cal}	Nivel de significancia
pH	Entre grupos	0.3416	2	0.17083	8.05	0.0053
	Dentro de grupos	0.2758	13	0.02121		
CE ($\mu\text{S cm}^{-1}$)	Entre grupos	1.0233E6	2	511676	10.046	0.00
	Dentro de grupos	64291.7	13	4945.51		
Ca ²⁺ (mmol L ⁻¹)	Entre grupos	18.0408	2	9.0204	16.57	0.0003
	Dentro de grupos	7.0766	13	0.5443		
Mg ²⁺ (mmol L ⁻¹)	Entre grupos	15.533	2	7.766	22.40	0.0001
	Dentro de grupos	4.5066	13	0.346		
Na ⁺ (mmol L ⁻¹)	Entre grupos	0.1600	2	0.080	38.69	0.00
	Dentro de grupos	0.0268	13	0.002		
K ⁺ (mmol L ⁻¹)	Entre grupos	0.2282	2	0.1141	7.87	0.005
	Dentro de grupos	0.1884	13	0.0144		
HCO ₃ ⁻ (mmol L ⁻¹)	Entre grupos	3.858	2	1.9290	5.97	0.014
	Dentro de grupos	4.201	13	0.3232		
Cl ⁻ (mmol L ⁻¹)	Entre grupos	7.3275	2	3.6637	102.44	0.00
	Dentro de grupos	0.4649	13	0.0357		
SO ₄ ²⁻ (mmol L ⁻¹)	Entre grupos	10.4137	2	5.206	6.37	0.011
	Dentro de grupos	10.6305	13	0.817		

Cuadro 7. Análisis de varianza de un factor por tipos de sitio (con $P < 0.05$), para metales pesados solubles del agua de riego del ejido Flores Magón. Atlixco, Puebla.

	Fuente de Variación	Suma de cuadrados	g.l.	Cuadrados medios	F _{cal}	Nivel de significancia
Pb (mg L ⁻¹)	Entre grupos	0.00091	2	0.000459	0.54	0.59
	Dentro de grupos	0.01102	13	0.000848		
Cr (mg L ⁻¹)	Entre grupos	0.000633	2	0.000316	6.28	0.012
	Dentro de grupos	0.000656	13	0.000050		
Cd (mg L ⁻¹)	Entre grupos	0.0000046	2	0.000023	0.17	0.84
	Dentro de grupos	0.0001763	13	0.000013		
Ni (mg L ⁻¹)	Entre grupos	0.01158	2	0.00579	1.16	0.34
	Dentro de grupos	0.06470	13	0.00497		
Mn (mg L ⁻¹)	Entre grupos	0.000012	2	0.000006	0.33	0.72
	Dentro de grupos	0.00024	13	0.000018		

Cuadro 8. Análisis de varianza de un factor por tipos de sitio (con $P < 0.05$), para las propiedades químicas del suelo del ejido Flores Magón, Atlixco, Puebla.

	Fuente de variación	Suma de cuadrados	g.l.	Cuadrados medios	F _{cal}	Nivel de significancia
pH	Entre grupos	0.0041	1	0.0041	0.114	0.744
	Dentro de grupos	0.4758	13	0.066		
Ca ²⁺ (cmol kg ⁻¹)	Entre grupos	314.05	1	314.05	37.500	0.000
	Dentro de grupos	108.87	13	8.37		
Mg ²⁺ (cmol kg ⁻¹)	Entre grupos	33.03	1	33.03	10.76	0.0067
	Dentro de grupos	41.38	13	3.18		
Na ⁺ (cmol kg ⁻¹)	Entre grupos	0.768	1	0.768	8.038	0.014
	Dentro de grupos	1.242	13	0.095		
K ⁺ (cmol kg ⁻¹)	Entre grupos	0.4116	1	0.4116	3.011	0.1063
	Dentro de grupos	1.7775	13	0.1367		
CICT (cmol kg ⁻¹)	Entre grupos	615.68	1	615.68	18.974	0.0008
	Dentro de grupos	421.83	13	32.44		
MO %	Entre grupos	1.145	1	1.1454	3.814	0.0727
	Dentro de grupos	3.904	13	0.3000		
NT %	Entre grupos	0.0114	1	0.0114	15.726	0.0016
	Dentro de grupos	0.0094	13	0.00073		
CO ₃ ⁻ %	Entre grupos	1.883	1	1.883	3.044	0.1046
	Dentro de grupos	8.042	13	0.618		
P (mg kg ⁻¹)	Entre grupos	124.41	1	124.41	0.333	0.580
	Dentro de grupos	4862.96	13	374.07		
Arena %	Entre grupos	2103.73	1	2103.73	24.154	0.003
	Dentro de grupos	1132.23	13	87.09		
Limo %	Entre grupos	590.06	1	590.06	12.281	0.0039
	Dentro de grupos	624.63	13	48.04		
Arcilla %	Entre grupos	421.98	1	421.98	13.887	0.0025
	Dentro de grupos	395.04	13	30.38		

XX

Cuadro 9. Análisis de varianza de un factor por tipos de sitio (con $P < 0.05$), para metales pesados extractables con DTPA y totales del suelo del ejido Flores Magón, Atlixco, Puebla.

	Fuente de Variación	Suma de cuadrados	g.l.	Cuadrados medios	F _{cal}	Nivel de significancia
EXTRACTABLES						
Pb (mg kg ⁻¹)	Entre grupos	11.8815	1	11.88	7.24	0.0185
	Dentro de grupos	21.3225	13	1.64		
Cd (mg kg ⁻¹)	Entre grupos	0.005041	1	0.005041	2.40	0.1452
	Dentro de grupos	0.027291	13	0.002099		
Ni (mg kg ⁻¹)	Entre grupos	1.666	1	1.666	0.92	0.3561
	Dentro de grupos	23.666	13	1.820		
Mn (mg kg ⁻¹)	Entre grupos	2244.82	1	2244.82	4.7	0.0492
	Dentro de grupos	6202.92	13	477.14		
TOTALES						
Cr (mg kg ⁻¹)	Entre grupos	132.017	1	132.017	0.01	0.9286
	Dentro de grupos	205841	13	15833.9		
Ni (mg kg ⁻¹)	Entre grupos	281.66	1	281.66	0.68	0.4239
	Dentro de grupos	5371.67	13	413.20		
Mn (mg kg ⁻¹)	Entre grupos	481.667	1	481.667	0.19	0.6669
	Dentro de grupos	32291.7	13	2483.97		

Cuadro 10. Análisis de varianza de un factor por tipos de sitio (con $P < 0.05$), para metales pesados totales de los vegetales del ejido Flores Magón, Atlixco, Puebla.

	Fuente de Variación	Suma de cuadrados	g.l.	Cuadrados medios	F _{cal}	Nivel de significancia
Pb (mg kg ⁻¹)	Entre grupos	89.778	14	6.4122	3.2	0.0112
	Dentro de grupos	36.1	18	2.0055		
Cr (mg kg ⁻¹)	Entre grupos	130.488	22	5.9312	1.22	0.3142
	Dentro de grupos	116.363	24	4.8484		
Cd (mg kg ⁻¹)	Entre grupos	0.292359	13	0.02248	0.67	0.7644
	Dentro de grupos	0.537308	16	0.03358		
Ni (mg kg ⁻¹)	Entre grupos	79.0833	21	3.7658	0.48	0.9569
	Dentro de grupos	212.917	27	7.8858		
Mn (mg kg ⁻¹)	Entre grupos	21112.7	22	959.668	1.79	0.0706
	Dentro de grupos	15536.6	29	535.745		

Cuadro 11. Matriz de correlación de los parámetros del agua

	CE	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺	HCO ₃ ⁻	Cl	SO ₄ ²⁻
CE	1.0000	0.8421	0.6662	0.8174	0.8719	0.8302	0.9547	0.7008
Ca ²⁺	0.0000	1.0000	0.6071	0.7334	0.6944	0.7247	0.7502	0.5955
Mg ²⁺		0.0000	1.0000	0.3619	0.3787	0.8324	0.6978	0.7281
Na ⁺			0.0000	1.0000	0.7427	0.7195	0.8260	0.6482
K ⁺				0.0000	1.0000	0.6215	0.8247	0.5060
HCO ₃ ⁻					0.0000	1.0000	0.8918	0.8380
Cl						0.0000	1.0000	0.7195
SO ₄ ²⁻							0.0000	1.0000

Coefficiente de correlación

Nivel de significancia

Cuadro 12. Matriz de correlación entre los parámetros determinados de agua con los metales solubles del agua, del suelo y la planta.

	Pbsol	Crsol	Cdsol	Nisol	Mnsol	Pbext	Cdext	Niext	Mnext
pH	-0.5794	-0.5728	-0.0219	0.5256	0.0723	-0.1507	-0.0080	0.0012	-0.0211
CE	0.0236	0.0256	0.9383	0.0442	0.7979	0.5918	0.9775	0.9965	0.9406
Ca ²⁺	-0.2630	-0.3065	0.5524	0.2292	0.2556	-0.1070	0.3785	0.3199	0.2930
Mg ²⁺	0.3435	0.2665	0.0327	0.4113	0.3579	0.7044	0.1642	0.2451	0.2892
Na ⁺	-0.1495	-0.0418	0.5100	0.0847	0.5058	-0.1042	0.4571	0.2652	0.1708
K ⁺	0.5949	0.8824	0.0521	0.7640	0.0544	0.7118	0.0861	0.3395	0.5421
HCO ₃ ⁻	0.2079	-0.0044	0.3704	0.2642	-0.2568	0.3489	0.3025	0.1866	0.3597
Cl	0.4571	0.9875	0.1742	0.3414	0.3556	0.2024	0.2732	0.5055	0.1879
SO ₄ ²⁻	-0.1898	-0.1167	0.3909	-0.0278	0.3819	-0.3281	0.3771	0.3540	0.1938
	0.4982	0.6789	0.1497	0.9216	0.1601	0.2325	0.1659	0.1955	0.4889
	-0.3774	-0.5022	0.4974	0.2495	0.2898	-0.0780	0.5926	0.3610	0.3113
	0.1655	0.0564	0.0592	0.3698	0.2948	0.7824	0.0199	0.1861	0.2491
	0.0906	-0.0806	0.2262	0.1287	-0.0443	0.1745	0.5030	0.3904	0.4151
	0.7480	0.7753	0.4175	0.6476	0.8755	0.5340	0.0560	0.1503	0.1239
	-0.2076	-0.3117	0.4173	0.2019	0.0970	0.0338	0.4382	0.4220	0.3992
	0.4578	0.2580	0.1217	0.4706	0.7310	0.9099	0.1023	0.1172	0.1405
	0.2060	0.0483	0.1859	0.2011	0.0381	0.1262	0.3231	0.3516	0.4316
	0.4675	0.8643	0.5071	0.4723	0.8927	0.6540	0.2392	0.1987	0.1057

Coefficiente de correlación

Nivel de significancia

Cuadro 12. Continuación...

	Crt	Nit	Mnt	Pbv	Crv	Cdv	Niv	Mnv
pH	0.1701	0.5264	0.0279	-0.0452	0.1827	0.0264	-0.3478	-0.0330
	0.5413	0.0438	0.9214	0.8891	-0.5147	0.9350	-0.2039	-0.9071
CE	-0.0718	0.1378	-0.3189	0.0916	0.1443	-0.1047	-0.0586	0.2068
	0.7992	0.6243	0.2466	0.7771	0.6078	0.7461	0.8356	0.4597
Ca ²⁺	-0.1909	0.1007	-0.3114	0.3395	0.1126	-0.1416	0.0198	0.3862
	0.4955	0.7211	0.2586	0.2802	0.6894	0.6608	0.9441	0.1551
Mg ²⁺	-0.1779	0.1939	-0.0899	-0.2186	-0.1741	-0.1227	0.3794	-0.1992
	0.5259	0.4886	0.7499	0.4948	0.5349	0.7041	0.1631	0.4767
Na ⁺	-0.0676	-0.2218	-0.5631	0.1702	0.3537	-0.3038	-0.1469	0.5572
	0.8109	0.4270	0.0289	0.5969	0.1959	0.3370	0.6014	0.0309
K ⁺	-0.0255	0.1629	-0.4583	0.2088	0.2005	0.1973	-0.2364	0.1806
	0.9282	0.5618	0.0857	0.5148	0.4738	0.5389	0.3962	0.5196
HCO ₃ ⁻	-0.0350	0.1063	-0.3065	-0.3448	0.0801	-0.2978	0.1532	0.1072
	0.9014	0.7062	0.2665	0.2724	0.7765	0.3472	0.5858	0.7037
Cl ⁻	-0.0638	0.0192	-0.4010	0.1623	0.2310	-0.1180	0.0547	0.1728
	0.8212	0.9459	0.1385	0.6144	0.4074	0.7149	0.8464	0.5379
SO ₄ ²⁻	-0.0164	0.0644	-0.1694	-0.0588	0.0988	-0.5678	0.2131	0.1897
	0.9537	0.8196	0.5461	0.8560	0.7262	0.0541	0.4456	0.4982

sol= soluble

ext= extractable

t= total

v= vegetal

Coeficiente de correlación

Nivel de significancia

Cuadro 13. Matriz de correlación de los metales en agua, suelo y planta.

	Crv	Crt	Crsol	Cdext	Cdsol	Cdv	Niext	Nisol
Crv	1.0000							
	0.0000							
Crt	0.0342	1.0000						
	0.9160	0.0000						
Crsol	-0.3275	-0.0628	1.0000					
	0.2988	0.8464	0.0000					
Cdext	0.2268	-0.4323	-0.1724	1.0000				
	0.4785	0.1605	0.6931	0.0000				
Cdsol	0.2041	-0.0460	-0.3858	0.0704	1.0000			
	0.5247	0.8871	0.2155	0.8278	0.0000			
Cdv	0.1439	0.2203	-0.3184	0.3026	0.4296	1.0000		
	0.6555	0.4914	0.3132	0.3391	0.1634	0.0000		
Niext	0.6055	0.4144	0.0498	0.4298	-0.0688	0.0210	1.0000	
	0.0369	0.1805	0.8779	0.1632	0.8318	0.9484	0.0000	
Nisol	0.0880	0.1710	-0.9526	0.0152	0.2603	0.0727	-0.0475	1.0000
	0.1856	0.5951	0.0004	0.1632	0.4139	0.8224	0.8835	0.0000
Nit	0.0750	0.6351	-0.6006	0.0256	0.3926	0.4551	0.0375	0.7430
	0.8370	0.0485	0.0663	0.9439	0.2618	0.1863	0.9180	0.0138
Niv	-0.6088	-0.2255	0.2411	-0.3687	-0.5645	-0.6187	-0.2340	0.0133
	0.0617	0.5311	0.5021	0.2945	0.0891	0.0565	0.5153	0.9710
Mnext	0.3442	0.3403	-0.0016	0.2854	-0.1669	-0.0099	0.8605	0.1142
	0.3301	0.3359	0.9965	0.4241	0.6448	0.9783	0.0014	0.7535
Mnsol	0.0059	-0.0833	0.2717	-0.3468	0.2120	-0.3829	-0.0595	-0.4065
	0.9870	0.8191	0.4476	0.3262	0.5566	0.2748	0.8703	0.2438
Mnt	-0.0504	0.2698	-0.3408	0.0242	0.1985	0.3881	0.1420	0.2863
	0.8901	0.4509	0.3353	0.9470	0.5824	0.2678	0.6956	0.4226
Mnv	0.0796	0.2072	0.4338	-0.3027	-0.0082	-0.2001	-0.1167	-0.4533
	0.8270	0.5656	0.2104	0.3952	0.9827	0.5794	0.7481	0.1882
Pbv	0.0542	-0.2263	-0.1340	-0.2497	0.3503	0.0744	-0.3655	-0.1486
	0.8818	0.5296	0.7120	0.4866	0.3211	0.8381	0.2990	0.6820
Pbsol	-0.3869	-0.4949	0.6179	-0.1003	0.4898	-0.3998	-0.0210	-0.4610
	0.2693	0.1459	0.0569	0.7827	0.1507	0.2523	0.9541	0.1799
Pbext	0.2635	0.4095	-0.0768	0.5970	0.3872	0.2016	0.5965	0.0702
	0.4619	0.2400	0.8331	0.0684	0.2690	0.5164	0.0687	0.8972

sol= soluble
 ext= extractable
 t= total
 v= vegetal

Coefficiente de correlación

Nivel de significancia

Cuadro 13. Continuación...

	Nit	Niv	Mnext	Mnsol	Mnt	Mnv	Pbv	Pbsol	Pbext
Crv									
Crt									
Crsof									
Cdext									
Cdsol									
Cdt									
Cdv									
Niext									
Nisol									
Pbt									
Nit	1.000								
	0.000								
Niv	-0.3370	1.000							
	0.3409	0.000							
Mnext	0.0877	0.0360	1.000						
	0.8096	0.9214	0.000						
Mnsol	-0.2959	0.0753	-0.2938	1.000					
	0.4065	0.8363	0.4100	0.000					
Mnt	0.3441	-0.1032	0.4160	-0.1778	1.000				
	0.3302	0.7766	0.2318	0.6231	0.000				
Mnv	-0.0402	-0.2504	-0.4903	0.6053	-0.5498	1.000			
	0.9123	0.4853	0.1502	0.0637	0.0997	0.000			
Pbv	-0.0642	-0.3885	-0.5102	0.5272	0.2700	0.3226	1.000		
	0.8607	0.2672	0.1319	0.1174	0.4506	0.3632	0.000		
Pbsol	-0.7210	0.5591	0.1744	-0.2153	-0.3377	-0.2626	-0.5378	1.000	
	0.0186	0.0929	0.6298	0.5503	0.3398	0.4636	0.0188	0.000	
Pbext	-0.0157	0.2275	0.7366	-0.4845	0.3428	-0.5913	-0.6298	0.2854	1.000
	0.9657	0.5274	0.0151	0.1559	0.3323	0.0718	0.0510	0.4241	0.000

Coefficiente de correlación

Nivel de significancia

Cuadro 14. Matriz de correlación de las variables del suelo

	NT	CICT	CO ₃	limo	MO	arcilla	arena
NT	1.0000	0.5101	0.3023	0.6383	0.7816	0.5802	-0.6938
	0.0000	0.0520	0.2734	0.0104	0.0006	0.0234	0.0041
CICT		1.0000	-0.2058	0.8151	-0.1098	0.6254	-0.7908
		0.0000	0.4617	0.0002	0.6968	0.0127	0.0004
CO ₃			1.0000	0.1631	0.5072	0.5518	-0.4059
			0.0000	0.5615	0.0536	0.0330	0.1333
limo				1.0000	0.3109	0.5579	-0.8634
				0.0000	0.2593	0.0307	0.0000
MO					1.0000	0.3694	-0.3862
					0.0000	0.1754	0.1551
arcilla						1.0000	-0.8905
						0.0000	0.0000
arena							1.0000
							0.0000

Coefficiente de correlación

Nivel de significancia

Cuadro 15. Matriz de correlación de las variables del suelo y los metales pesados

	Pbext	Cdext	Niext	Mnext	Crt	Nit	Mnt
pH	-0.0802	0.0000	-0.4302	-0.4146	-0.0668	0.1843	0.0399
	0.7764	1.0000	0.1095	0.1244	0.8131	0.5109	0.8878
NT	0.8094	0.5016	0.6728	0.8296	0.1229	0.3680	0.0668
	0.0003	0.0568	0.0060	0.0001	0.6626	0.1772	0.8130
P	0.5025	0.0665	0.5373	0.4562	0.6393	0.1891	0.0224
	0.0562	0.8139	0.0389	0.0874	0.0103	0.4997	0.9369
limo	0.2892	0.7818	0.4906	0.5233	-0.1246	0.1029	-0.5287
	0.2959	0.0006	0.0633	0.0453	0.6581	0.7153	0.0427
MO	0.8363	0.3042	0.4043	0.5749	0.0697	0.3455	0.3772
	0.0001	0.2704	0.1349	0.0250	0.8050	0.2072	0.1657
CICT	0.1288	0.5925	0.1458	0.2958	-0.3140	0.0053	-0.5239
	0.6474	0.0199	0.6042	0.2845	0.2543	0.9852	0.0450
CO ₃	0.4341	0.2733	-0.1694	0.0699	0.1285	0.5125	0.2791
	0.1059	0.3244	0.5451	0.8045	0.6480	0.0508	0.3138
arcilla	0.4373	0.5040	0.1774	0.3963	-0.2257	0.0302	-0.3041
	0.1031	0.0554	0.5271	0.1437	0.4187	0.9151	0.8705
arena	0.4291	-0.7268	-0.3804	-0.5267	0.2029	-0.0794	0.4731
	0.1104	0.0021	0.1619	0.0437	0.4695	0.7784	0.0749

Coefficiente de correlación

Nivel de significancia

Cuadro 15. Continuación....

	Pbsol	Crsol	Cdsol	Nisol	Mnsol	Pbv	Crv	Cdv	Niv	Mnv
pH	-0.0292	-0.1131	0.2474	-0.0213	0.0672	0.2617	-0.2140	0.2089	0.0864	-0.2018
	0.9178	0.6882	0.3740	0.9400	0.8118	0.3460	0.4438	0.4550	0.7594	0.4707
NT	0.1467	0.0467	-0.1060	0.2778	-0.2743	0.0012	0.0926	0.5034	0.0231	-0.2896
	0.5980	0.8686	0.7069	0.3252	0.3225	0.9967	0.7427	0.0557	0.9347	0.2952
P	-0.0939	-0.1553	-0.3652	0.1483	-0.0425	0.2049	0.2559	-0.0616	0.1238	-0.0959
	0.7393	0.5806	0.1807	0.5978	0.8805	0.4639	0.3573	0.8273	0.6603	0.7338
limo	-0.0117	-0.1390	-0.0235	-0.0307	0.0323	-0.0448	0.1065	0.3308	-0.2116	0.0646
	0.9671	0.6213	0.9337	0.9136	0.9089	0.8739	0.7055	0.2284	0.4489	0.8191
MO	0.4213	0.3775	-0.1810	0.0207	-0.2733	-0.1224	-0.0035	0.4612	0.0877	-0.1046
	0.1179	0.1654	0.5186	0.9416	0.3244	0.6639	0.9901	0.0836	0.7559	0.1379
CICT	-0.0743	-0.3202	0.1294	0.0845	-0.0744	-0.0656	0.0253	0.2818	0.0090	-0.0891
	0.7924	0.2447	0.6458	0.7647	0.7923	0.8164	0.9288	0.3090	0.7746	0.7520
CO _s	0.5033	0.1429	-0.1872	0.1475	-0.4320	-0.5326	-0.4449	0.0268	0.1271	-0.4405
	0.0558	0.6114	0.5041	0.5999	0.1079	0.0410	0.0966	0.9243	0.6518	0.1003
arcilla	0.4699	0.0606	-0.2334	0.1715	-0.1440	0.0662	-0.0940	0.2646	0.4092	-0.2283
	0.0772	0.8302	0.4025	0.5412	0.6086	0.8146	0.7389	0.3405	0.1299	0.4131
arena	-0.2448	0.0504	0.2113	-0.0981	0.0893	-0.0275	-0.0207	-0.3428	-0.1549	0.1005
	0.3792	0.8585	0.4498	0.7280	0.7515	0.9225	0.9416	0.2109	0.5815	0.7215

ext= extractable

t= total

sol= soluble

v= vegetal

Coeficiente de correlación

Nivel de significancia

Cuadro 16. Valores de los índices de contaminación para las muestras de suelo analizadas del ejido Flores Magón, Atlixco, Puebla.

Sitios	Eq. Zn (mg Kg ⁻¹)	Zn/Cd (mg Kg ⁻¹)	Relación extraíble/ total (%)	
			Mn	Ni
ejido	482	37	28	14
ejido	702	47	29	8
ejido	570	47	34	12
ejido	692	10	25	7
ejido	922	20	36	7
ejido	820	27	20	6
ejido	830	47	35	9
ejido	952	47	31	7
ejido	672	50	34	11
ejido	422	-	19	9
ejido	692	33	29	9
ejido	662	33	40	11
PROMEDIO	701.5	36.18	30	9.16
testigo	550	-	21	10
testigo	442	13	32	16
testigo	820	20	10	4
PROMEDIO	604	16.5	21	10

APÉNDICE C

APÉNDICE C

Prueba de Rango Múltiple por tipos de sitio para el pH del agua de riego

Método: 95 %		Bonferroni	
Nivel	n	Promedio	Grupos Homogéneos
noria	1	7.20	x
testigo	3	7.56	xx
canales	12	7.75	x

Prueba de Rango Múltiple por tipos de sitio para la CE del agua de riego

Método: 95 %		Bonferroni	
Nivel	n	Promedio	Grupos Homogéneos
testigo	3	396.6	x
canales	12	972.5	x
noria	1	1350	x

Prueba de Rango Múltiple por tipos de sitio para el calcio del agua de riego

Método: 95 %		Bonferroni	
Nivel	n	Promedio	Grupos Homogéneos
testigo	3	1.80	x
canales	12	3.98	x
noria	1	6.20	x

Prueba de Rango Múltiple por tipos de sitio para el magnesio del agua de riego

Método: 95 %		Bonferroni	
Nivel	n	Promedio	Grupos Homogéneos
testigo	3	1.66	x
canales	12	3.00	x
noria	1	6.20	x

Prueba de Rango Múltiple por tipos de sitio para el sodio del agua de riego

Método: 95 %		Bonferroni	
Nivel	n	Promedio	Grupos Homogéneos
testigo	3	0.11	x
canales	12	0.35	x
noria	1	0.44	x

Prueba de Rango Múltiple por tipos de sitio para el potasio del agua de riego

Método: 95 % Bonferroni			
Nivel	n	Promedio	Grupos Homogéneos
testigo	3	0.22	x
noria	1	0.46	x x
canales	12	0.53	x

Prueba de Rango Múltiple por tipos de sitio para los bicarbonatos del agua de riego

Método: 95 % Bonferroni			
Nivel	n	Promedio	Grupos Homogéneos
testigo	3	3.13	x
canales	12	4.31	x
noria	1	4.80	x x

Prueba de Rango Múltiple por tipos de sitio para los cloruros del agua de riego

Método: 95 % Bonferroni			
Nivel	n	Promedio	Grupos Homogéneos
testigo	3	0.50	x
canales	12	3.23	x
noria	1	3.50	x

Prueba de Rango Múltiple por tipos de sitio para los sulfatos del agua de riego

Método: 95 % Bonferroni			
Nivel	n	Promedio	Grupos Homogéneos
testigo	3	0.22	x
canales	12	1.29	x
noria	1	3.94	x

Prueba de Rango Múltiple por tipos de sitio para el plomo soluble

Método: 95 % Bonferroni			
Nivel	n	Promedio	Grupos Homogéneos
testigo	3	0.01	x
noria	1	0.01	x
canales	12	0.02	x

Prueba de Rango Múltiple por tipos de sitio para el cromo soluble

Método: 95 % Bonferroni			
Nivel	n	Promedio	Grupos Homogéneos
canal	12	0.011	x
testigo	3	0.018	x
noria	1	0.037	x

Prueba de Rango Múltiple por tipos de sitio para el cadmio soluble

Método: 95 % Bonferroni			
Nivel	n	Promedio	Grupos Homogéneos
noria	1	0.005	x
testigo	3	0.006	x
canales	12	0.007	x

Prueba de Rango Múltiple por tipos de sitio para el níquel soluble

Método: 95 % Bonferroni			
Nivel	n	Promedio	Grupos Homogéneos
canales	12	0.058	x
noria	1	0.063	x
testigo	3	0.127	x

Prueba de Rango Múltiple por tipos de sitio para el manganeso soluble

Método: 95 % Bonferroni			
Nivel	n	Promedio	Grupos Homogéneos
testigo	3	0.012	x
noria	1	0.012	x
canales	12	0.014	x

Prueba de Rango Múltiple por tipos de sitio para el pH del suelo

Método: 95 % Bonferroni			
Nivel	n	Promedio	Grupos Homogéneos
testigo	3	7.66	x
ejido	12	7.70	x

Prueba de Rango Múltiple por tipos de sitio para el calcio del suelo

Método: 95 % Bonferroni			
Nivel	n	Promedio	Grupos Homogéneos
testigo	3	6.53	x
ejido	12	17.97	x

Prueba de Rango Múltiple por tipos de sitio para el magnesio del suelo

Método: 95 % Bonferroni			
Nivel	n	Promedio	Grupos Homogéneos
testigo	3	5.47	x
ejido	12	9.18	x

Prueba de Rango Múltiple por tipos de sitio para el sodio del suelo

Método: 95 % Bonferroni			
Nivel	n	Promedio	Grupos Homogéneos
testigo	3	0.343	x
ejido	12	0.909	x

Prueba de Rango Múltiple por tipos de sitio para el potasio del suelo

Método: 95 % Bonferroni			
Nivel	n	Promedio	Grupos Homogéneos
testigo	3	0.416	x
ejido	12	0.830	x

Prueba de Rango Múltiple por tipos de sitio para la CICT del suelo

Método: 95 % Bonferroni			
Nivel	n	Promedio	Grupos Homogéneos
testigo	3	14.10	x
ejido	12	30.11	x

Prueba de Rango Múltiple por tipos de sitio para la MO del suelo

Método: 95 % Bonferroni			
Nivel	n	Promedio	Grupos Homogéneos
testigo	3	1.23	x
ejido	12	1.92	x

Prueba de Rango Múltiple por tipos de sitio para el NT del suelo

Método: 95 % Bonferroni			
Nivel	n	Promedio	Grupos Homogéneos
testigo	3	0.053	x
ejido	12	0.122	x

Prueba de Rango Múltiple por tipos de sitio para los carbonatos del suelo

Método: 95 % Bonferroni			
Nivel	n	Promedio	Grupos Homogéneos
testigo	3	1.65	x
ejido	12	2.54	x

Prueba de Rango Múltiple por tipos de sitio para el fósforo del suelo

Método: 95 % Bonferroni			
Nivel	n	Promedio	Grupos Homogéneos
testigo	3	23.80	x
ejido	12	31.00	x

Prueba de Rango Múltiple por tipos de sitio para la textura (arena) del suelo

Método: 95 % Bonferroni			
Nivel	n	Promedio	Grupos Homogéneos
testigo	3	44.72	x
ejido	12	74.33	x

Prueba de Rango Múltiple por tipos de sitio para la textura (limo) del suelo

Método: 95 % Bonferroni			
Nivel	n	Promedio	Grupos Homogéneos
testigo	3	16.06	x
ejido	12	31.74	x

Prueba de Rango Múltiple por tipos de sitio para la textura (arcilla) del suelo

Método: 95 % Bonferroni			
Nivel	n	Promedio	Grupos Homogéneos
testigo	3	9.60	x
ejido	12	22.86	x

Prueba de Rango Múltiple por tipos de sitio para el Pb extractable del suelo

Método: 95 % Bonferroni			
Nivel	n	Promedio	Grupos Homogéneos
testigo	3	2.6	x
ejido	12	4.8	x

Prueba de Rango Múltiple por tipos de sitio para el Cd extractable del suelo

Método: 95 % Bonferroni			
Nivel	n	Promedio	Grupos Homogéneos
testigo	3	0.26	x
ejido	12	0.31	x

Prueba de Rango Múltiple por tipos de sitio para el Ni extractable del suelo

Método: 95 % Bonferroni			
Nivel	n	Promedio	Grupos Homogéneos
testigo	3	5.6	x
ejido	12	6.5	x

Prueba de Rango Múltiple por tipos de sitio para el Mn extractable del suelo

Método: 95 % Bonferroni			
Nivel	n	Promedio	Grupos Homogéneos
testigo	3	61	x
ejido	12	91.58	x

Prueba de Rango Múltiple por tipos de sitio para el Cr total del suelo

Método: 95 % Bonferroni			
Nivel	n	Promedio	Grupos Homogéneos
ejido	12	189.25	x
testigo	3	196.66	x

Prueba de Rango Múltiple por tipos de sitio para el Ni total del suelo

Método: 95 % Bonferroni			
Nivel	n	Promedio	Grupos Homogéneos
testigo	3	64.66	x
ejido	12	75.5	x

Prueba de Rango Múltiple por tipos de sitio para el Mn total del suelo

Método: 95 % Bonferroni			
Nivel	n	Promedio	Grupos Homogéneos
ejido	12	302.5	x
testigo	3	316.6	x

Prueba de Rango Múltiple por tipos de cultivo para el Pb total de las plantas

Método 95 % Bonferroni			
Nivel	n	Promedio	Grupos Homogéneos
terciopelo ejr	1	9	x
maíz ejp	1	9	x
alfalfa ejp	15	9.4	x
gladiola ejp	2	10	x
gladiola ejr	2	11	xx
rábano ff	1	11	xx
cebolla ejf	1	11	xx
pasto ejr	1	11	xx
pasto ejp	1	11	xx
cebolla ejp	1	11	xx
alfalfa ejr	2	11	xx
cebolla tp	1	11	xx
tomate tr	1	11	xx
maíz ejr	2	12.5	xx
terciopelo ej tallo	1	18	x

ej= ejido f= testigo p= planta r= raíz f= fruto

Prueba de Rango Múltiple por tipos de cultivo para el Cr total de las plantas

Método 95 % Bonferroni				
Nivel	n	Promedio	Grupos Homogéneos	
sifolia tr	1	1	x	
pasto ejp	1	1	x	
terciopelo ej flor	1	1	x	
rábano tf	1	1	x	
sifolia tp	1	1	x	
terciopelo ej tallo	1	1	x	
cebolla ejp	1	1	x	
gladiola ejr	2	1.5	x	
cebolla ejf	2	1.5	x	
alfalfa ejp	17	1.7	x	
cebolla tp	1	2	x	
cebolla tf	1	2	x	
gladiola tr	1	2	x	
gladiola tp	1	2	x	
gladiola ejp	3	2.3	x	
maíz ejr	3	2.3	x	
tomate tp	1	3	x	
alfalfa ejr	3	3.6	x	
pasto ejr	1	5	x	
terciopelo ejr	1	6	x	
tomate tr	1	6	x	
maíz ejp	2	8	x	

ej= ejido t= testigo p= planta r= raíz f= fruto

Prueba de Rango Múltiple por tipos de cultivo para el Cd total de las plantas

Método 95 % Bonferroni				
Nivel	n	Promedio	Grupos Homogéneos	
maíz ejr	2	0.35	x	
cebolla ejf	1	0.50	x	
terciopelo ej tallo	1	0.50	x	
alfalfa ejr	2	0.50	x	
rábano tf	1	0.50	x	
terciopelo ejr	1	0.50	x	
gladiola ejp	2	0.50	x	
cebolla tp	1	0.50	x	
maíz ejp	2	0.50	x	
gladiola tr	1	0.50	x	
tomate tr	1	0.50	x	
tomate tp	1	0.50	x	
alfalfa ejp	13	0.64	x	
gladiola tp	1	0.80	x	

ej= ejido t= testigo p= planta r= raíz f= fruto

Prueba de Rango Múltiple por tipos de cultivo para el Ni total de las plantas

Método 95 % Bonferroni			
Nivel	n	Promedio	Grupos Homogéneos
sifolia tp	1	3	x
tomate tp	1	3	x
gladiola ejr	2	3	x
sifolia tr	1	3	x
gladiola ejp	2	3.5	x
terciopelo ej tallo	1	4	x
gladiola tp	1	4	x
maiz ejr	3	4.3	x
maiz ejp	3	5	x
cebolla ejf	2	5	x
cebolla ejp	1	5	x
rábano tf	1	5	x
cebolla tp	1	5	x
alfalfa ejr	3	5.6	x
alfalfa ejp	20	5.7	x
terciopelo ejr	1	6	x
gladiola tr	1	6	x
terciopelo ejflor	1	7	x
pasto ejp	1	7	x
tomate tr	1	9	x
pasto ejr	1	9	x

ej= ejido t= testigo p= planta r= raíz f= fruto

Prueba de Rango Múltiple por tipos de cultivo para el Mn total de las plantas

Método 95 % Bonferroni			
Nivel	n	Promedio	Grupos Homogéneas
sifolia tr	1	5	x
maiz ejr	3	13	x
gladiola ejr	2	15	x
gladiola tr	1	20	x
sifolia tp	1	20	x
maiz ejp	3	21.3	x
cebolla ejf	2	27.5	x
cebolla tf	1	30	x
terciopelo ejtallo	1	40	x
gladiola ejp	3	41.6	x
alfalfa ejp	21	42.7	x
terciopelo ejr	1	45	x
terciopelo ejflor	1	45	x
rábano tf	1	50	x
gladiola tp	1	50	x
alfalfa ejr	3	58.3	x
pasto ejp	1	60	x
tomate tr	1	75	x
cebolla ejp	1	75	x
cebolla tp	1	95	x
tomate tp	1	95	x
pasto ejr	1	100	x

ej= ejido t= testigo p= planta r= raíz f= fruto